AIRI - ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE

LE INNOVAZIONI DEL PROSSIMO FUTURO

TECNOLOGIE
PRIORITARIE
PER L'INDUSTRIA

IX edizione 2016



SCENARI & RICERCHE

Airi
ASSOCIAZIONE
ITALIANA
PER LA RICERCA
INDUSTRIALE

AGRA

AIRI - Associazione Italiana per la Ricerca Industriale

Dal 1974, anno di costituzione dell'associazione, AIRI promuove la ricerca industriale in Italia e nell'Unione Europea.

Oggi AIRI - associazione con status di persona giuridica - è un punto di riferimento per circa 100 Soci, gruppi industriali, imprese e centri di ricerca privati, università ed enti pubblici di ricerca, nonché associazioni di categoria, parchi scientifici, istituti finanziari.

I Soci rappresentano un totale di circa 35.000 addetti alla ricerca industriale – pari a circa un terzo del totale nazionale. Questa significativa rappresentatività permette ad AIRI di essere un interlocutore autorevole nei confronti dei decisori pubblici e privati coinvolti nelle scelte nazionali di politica della ricerca e nella gestione aziendale, in particolare quella industriale.

AIRI sin dalla sua fondazione si è battuta per affermare la centralità del ruolo della ricerca e dell'innovazione nelle imprese e per favorire la collaborazione tra ricerca pubblica e privata, sia in Italia che in Europa. A questo scopo AIRI si propone di fornire agli organi di governo, alle pubbliche amministrazioni e in particolare all'opinione pubblica e agli opinion leader, idee e proposte concrete per l'identificazione e l'attuazione di adeguate politiche di sostegno della ricerca industriale italiana.

Soci sostenitori

con il supporto di

>LE INNOVAZIONI DEL PROSSIMO FUTURO<

TECNOLOGIE PRIORITARIE PER L'INDUSTRIA

IX edizione – 2016

AIRI – Associazione Italiana per la Ricerca Industriale

Le innovazioni del prossimo futuro
Tecnologie Prioritarie per l'Industria
IX edizione – 2016

Agra Editrice srl
sede legale
Viale B. Bardanzellu 77N 00155 Roma
tel +39 0644254205
fax +39 0644254239
e-mail info@agraeditrice.it
www.agraeditrice.it

Copyright © 2016 AIRI
Associazione Italiana per la Ricerca Industriale
viale Gorizia, 25/c
I – 00198 Roma
tel +39 068848831 – 068546662
fax +39 068552949
e-mail info@airi.it
www.airi.it

Finito di stampare
nel mese di gennaio 2016
Realizzazione editoriale
Agra Editrice srl
Foto di copertina
Shutterstock
Stampa
CSR – Roma
Distribuzione in libreria
Agra Editrice srl

Tutti i diritti sono riservati ad AIRI. Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta o utilizzata in alcun modo, senza l'autorizzazione scritta di AIRI né con mezzi elettronici né meccanici, incluse fotocopie, registrazione o riproduzione attraverso qualsiasi sistema di elaborazione dati.

Indice

Premessa **11**

Settore 1 >Informatica e Telecomunicazioni< **18**

1. Le nuove tecnologie informatiche **33**
2. Le piattaforme applicative dell'information technology **38**
3. Nuove architetture di reti e servizi **41**
4. Reti e servizi radiomobili **44**
5. Dispositivi e sistemi **49**
6. Tecnologie per "home network" **55**
7. Tecnologie per la sicurezza **61**
8. Tecnologie per l'infomobilità **67**
9. Tecnologie per "online contents" **75**

Settore 2 >Microelettronica e semiconduttori< **82**

1. Integrazione di sistemi elettronici su silicio **97**
2. Integrazione di sistema 3d su fetta **103**
3. Integrazione embedded-non-volatile-memory su silicio **106**
4. Tecnologie per componenti optoelettronici e fotonici **111**
5. Tecnologie dei materiali a base di grafene **114**
6. Tecnologie per la sensoristica chimica **118**
7. Tecnologia dei nodi multisensoriali **122**
8. La chimica avanzata del boro nell'impiantazione ionica – trimix in sistema uptime **126**
9. Sistemi per componenti optoelettronici e fotonici **128**

Settore 3 >Energia< **134**

1. Tecnologie sostenibili ed efficienti per il recupero di idrocarburi **147**
2. Tecnologie di trasporto e accumulo dell'energia **158**
3. Tecnologie e materiali avanzati per la produzione di energia elettrica **173**
4. Tecnologie pro vettori energetici **180**
5. Tecnologie per la valorizzazione dell'energia solare **202**
6. Tecnologie per l'efficienza energetica e la sostenibilità ambientale **217**

Settore 4 >Chimica< **228**

1. Nuove tecnologie operanti in flusso per lo sviluppo di una produzione chimica sostenibile **242**
2. Membrane e processi a membrana nel trattamento delle acque **247**
3. Tecnologie innovative a membrana per la separazione di gas industriali **252**
4. Bioraffinerie integrate per la produzione di biochemicals **257**
5. Utilizzo di biomasse nelle tecnologie di produzione degli elastomeri **264**
6. Tecnologia di recupero del polivinilcloruro **269**
7. Tecnologie dei nanomateriali **272**
8. Grafeni in 3D **278**
9. Sviluppo di materiali plastici con nanocariche **283**
10. Tecnologie formulative per l'industria **288**

Settore 5 >Farmaceutica e Biotecnologie< **320**

1. Genomica **336**
2. Proteomica e metabolomica **340**
3. Nuove tecnologie applicate al drug discovery **345**
4. Diagnostica in vitro **350**
5. Nanotecnologie **357**
6. Produzione di biomolecole **360**
7. Imaging molecolare **366**
8. Tecnologie mini-invasive **369**
9. Tecnologie per le terapie avanzate **373**
10. Applicazioni e tecniche di impiego dell'azoto liquido in campo industriale ed a supporto dell'attività di ricerca & sviluppo **379**

Settore 6 >Trasporti< **384**

1. Combustibili **417**
2. Sistemi di motopropulsione **422**
3. Sicurezza integrata **426**
4. Materiali innovativi **434**
5. Tecnologie dell'auto connessa per una mobilità efficiente, ecologica e sicura **452**
6. Soluzioni & tecnologie per l'interazione uomo macchina (HMI) **460**
7. Efficienza energetica **464**
8. Metodologie e tecnologie innovative per la diagnostica predittiva del sistema ferroviario e metropolitano a guida autonoma tramite veicoli commerciali **470**
9. Tecnologie e materiali innovativi per l'incremento della capacità in ambito ferroviario **473**
10. Tecnologie per la tracciabilità e diagnostica dei carri merci **475**
11. Tecnologie per lo sviluppo di veicoli ferroviari ad alta efficienza energetica **477**
12. Soluzioni e tecnologie innovative per aumentare la sicurezza in mare **479**
13. Soluzioni e tecnologie innovative per una maggiore sostenibilità ambientale **481**
14. Soluzioni e tecnologie innovative per l'efficienza energetica a bordo **483**
15. Soluzioni e tecnologie innovative per la comunicazione e la connettività **485**
16. Soluzioni e tecnologie innovative per migliorare il comfort dei passeggeri e dell'equipaggio **487**
17. Soluzioni e tecnologie innovative per la realizzazione di nuovi mezzi marini **489**
18. Soluzioni e tecnologie innovative per il processo produttivo ed il life-cycle del prodotto **490**
19. Soluzioni e tecnologie innovative per infrastrutture, logistica e portualità **492**

Settore 7 >Aeronautica< **496**

1. Nuovi materiali e processi produttivi e di manutenzione per le strutture ed i motori aeronautici **522**

2. Tecnologie per la riduzione dell'impatto ambientale **530**
3. Tecnologie per motori a basse emissioni **537**
4. Tecnologie per architetture motore convenzionali ed innovative **542**
5. Tecnologie digitali per la progettazione e la produzione aeronautica: dal "virtual product" al "direct digital manufacturing" **545**
6. Health management system **548**
7. Tecnologie per sistemi autonomi **554**
8. Funzioni avanzate per l'air traffic management (ATM) e l'interoperabilità dei sistemi di traffico aereo **558**
9. Interoperabilità nell'air traffic system **564**
10. Architetture avioniche avanzate **566**
11. Interfacce uomo-macchina di nuova generazione **569**
12. Tecnologie per la gestione avanzata dell'energia on board (generazione, storage, distribuzione, controllo elettrico) **572**

Settore 8 >Spazio< **578**
1. Tecnologie per missioni gravimetriche **593**
2. Tecnologie per l'esplorazione solare **596**
3. Strutture avanzate ultraleggere e adattive **599**
4. Tecnologie robotiche per l'esplorazione planetaria **604**
5. Tecnologie per il rientro atmosferico e per l'esplorazione **608**
6. Sistemi avanzati per integrazione, rifornimento, trasporto e rimozione satelliti/detriti in orbita **615**
7. Tecnologie e applicazioni per la sicurezza nello spazio **619**
8. Tecnologie per antenne a bordo di satelliti **631**
9. Tecnologie di miniaturizzazione equipaggiamenti per microsatelliti, payload compatti e relative applicazioni di emergenza **635**
10. Tecnologie per radar da osservazione della terra **643**
11. Sistemi digitali a banda larga e trasmissione dati a terra ad altissima velocità nelle bande ka e x **649**
12. Orologi atomici spaziali **653**
13. Tecnologie per la propulsione spaziale **655**
14. Sviluppo nuovi propellenti solidi avanzati **662**
15. Sistemi di separazione stadi e controllo spinta **665**
16. Sistemi di lancio orbitale **668**

17. Serbatoi e strutture di nuova generazione per lanciatori e veicoli spaziali **672**
18. Additive manufacturing **681**
19. Tecnologie spaziali di telecomunicazione per colmare il divario digitale **685**
20. Gnss based applications **688**

Settore 9 > Beni strumentali per l'industria e i servizi < **694**

1. Macchine e sistemi di produzione intelligenti eco-sostenibili sviluppati secondo il paradigma della smart-factory / ind 4.0 **718**
2. Nuovi strumenti ad alto contenuto di conoscenza per la progettazione, simulazione e messa in produzione di prodotti avanzati **722**
3. Strumenti cad-cam basati sulla conoscenza per la progettazione e produzione di prodotti di alta qualità ed alta variabiltà **727**
4. Metodi e standard per la automazione ed integrazione di sistemi produttivi complessi in grado di gestire produzioni on demand e just in time **730**
5. Metodi e tecnologie ict basate su internet per la integrazione in tempo reale degli attori della filiera dal retail, ai produttori, ai fornitori **732**
6. Tecnologie per il controllo, il monitoraggio, la supervisione, la diagnosi e la manutenzione per aumentare ciclo di vita ed efficienza dei sistemi di produzione **733**
7. Tecniche e soluzioni software per la pianificazione in tempo reale della produzione e della logistica **735**
8. Sensori e componenti meccatronici ad alte prestazioni per migliorare efficienza e qualità della produzione e dei prodotti finali **738**
9. Nuove configurazioni di macchine e sistemi eco-sostenibili per ottimizzare efficienza energetica ed impatto ambientale dei sistemi di produzione **740**
10. Nuove tecnologie di processo eco-sostenibili per ridurre consumi ed emissioni dei processi industriali **742**
11. Nuovi macchinari, processi e materiali per la manifattura di prodotti avanzati tramite tecniche additive **747**

Settore 10 >Ambiente< **754**

1. Tecnologia per il campionamento passivo delle matrici ambientali **772**
2. Tecnologie per il trattamento di LNAPL in siti contaminati **775**
3. Bonifica dei siti contaminati mediante tecniche interamente biologiche **778**
4. Tecnologia SBBGR (sequencing batch biofilter granular reactor) di depurazione dei reflui civili ed industriali con riduzione fanghi **781**
5. Recupero e riciclo di materiali da RAEE: il recupero di metalli preziosi da schede elettroniche **785**
6. Recupero dei materiali e componenti delle gomme per loro riutilizzo industriale **788**
7. Tecnologie per la conversione della CO_2 per ridurre i cambiamenti climatici e promuovere lo sviluppo sostenibile **790**
8. Tecnologie ambientali avanzate per il settore heat & power **795**
9. Innovazioni tecnologiche per l'ambiente da prodotti e processi dei materiali polimerici **797**

SOCI AIRI **803**

Premessa

Il Rapporto «Le Innovazioni del prossimo futuro – Tecnologie prioritarie per l'industria», che AIRI – Associazione Italiana per la Ricerca Industriale – produce con cadenza triennale a partire dal 1995, è giunto alla nona edizione. Presenta le analisi e le relative valutazioni sulle previsioni di sviluppo tecnologico prioritario nel breve-medio termine di alcuni settori industriali di interesse per il Paese. Il rapporto è frutto del contributo volontario delle Aziende, delle Università e degli Enti di ricerca associati ad AIRI, anche in collaborazione con valide strutture di ricerca e sviluppo tecnologico pubbliche e private, o aziende non associate, quando si è ritenuto necessario.

Nel recente quinquennio il sistema tecnologico del Paese si è dovuto confrontare con un mercato globale caratterizzato da periodici scenari di crisi economica e finanziaria e da una competitività sempre più serrata. In tale scenario, il sistema tecnologico italiano ha saputo, nonostante le ben note debolezze strutturali e finanziarie del Paese, mantenere il passo a livello internazionale in molti settori rilevanti per il contesto sociale ed economico del Paese, e sta generalmente conservando e talvolta incrementando la competitività dei suoi processi produttivi e dei suoi prodotti. Solo in alcuni specifici settori, anche se talvolta significativi per il Paese, la crisi economica e le pesanti problematiche strutturali e sociali non hanno permesso di mantenere il passo e quindi vi è stata una preoccupante contrazione della competitività e talvolta anche della presenza industriale.

Le «Innovazioni del prossimo futuro – Tecnologie prioritarie per l'industria» analizzano quella parte del sistema della ricerca industriale del Paese, di rilevanza per i Soci AIRI, che sta partecipando alla competizione tecnologica globale con linee innovative di ricerca e sviluppo tecnologico la cui ricaduta sul sistema produttivo e sui servizi avanzati si colloca già nel medio-breve periodo, o solo in alcuni specifici settori in un periodo più lungo.

A tale scopo, grazie ad una analisi il più possibile dettagliata e tecnicamente adeguata, il volume fornisce una panoramica di 115 tecnologie prioritarie, che i gruppi di analisi settoriali di AIRI ritengono si debbano sviluppare in dieci settori industriali rilevanti per il Paese.

I settori analizzati in questa edizione sono i seguenti:

1) Informatica e telecomunicazioni
2) Microelettronica e semiconduttori
3) Energia
4) Chimica
5) Farmaceutica e biotecnologie farmaceutiche
6) Trasporto su strada, ferro e marittimo
7) Aeronautica
8) Spazio
9) Beni strumentali
10) Ambiente

La principale novità dell'edizione presente è il ritorno di una significativa selezione e valutazione delle tecnologie prioritarie del settore Ambiente e del settore Spazio. Nel complesso i settori analizzati sono quelli nei quali sono presenti in maniera significativa i Soci AIRI, mentre le tecnologie identificate rappresentano una selezione fra quelle che sono state ritenute rilevanti oggi o nel futuro più prossimo. Tale selezione è basata su un approfondito lavoro da parte di dieci gruppi di lavoro.

Per ognuno dei settori analizzati sono state selezionate le tecnologie considerate prioritarie anche in base ai seguenti criteri:

- innovatività e loro impatto, particolarmente nel medio-breve periodo sulla competitività delle industrie italiane operanti nello specifico settore;
- durata media necessaria per condurre a buon fine lo sviluppo delle tecnologie selezionate, cioè al mercato o anche solo al prototipo;
- analisi di alcuni aspetti relativi all'impatto socio-economico come la realizzabilità dello sviluppo delle tecnologie selezionate nel contesto industriale e socio-economico italiano, il possibile impatto sull'occupazione, la sostenibilità sociale e ambientale della tecnologia, e, in genere, la fattibilità tecnica ed economica per arrivare al prodotto finito o al processo produttivo, e quindi al mercato;
- sintonia con le nuove linee europee per la ricerca e lo sviluppo tecnologico, anche per ciò che riguarda il ruolo per le varie tecnologie prioritarie selezionate delle Key Enabling Technologies (KETs: Biotecnologie industriali, Nuovi materiali, Fotonica, Nanotecnologie, Micro e nano elettronica, Sistemi avanzati di produzione) e coerenza degli obiettivi, cui si volgono le tecnologie se-

lezionate, con le grandi sfide sociali che sono sempre più rilevanti per l'Italia e l'Europa in generale, oltre che con nuovi temi tipici della Ricerca e Innovazione Responsabile (RRI).

Ciascuna tecnologia è presentata con una scheda che riporta le motivazioni per la loro scelta prioritaria, lo stato dell'arte in Italia e all'estero. Ogni profilo di settore riporta il valore medio dell'ordine di grandezza degli investimenti in ricerca e sviluppo tecnologico necessari per raggiungere il successo del suo sviluppo. Trattandosi di settori industriali con caratteristiche eterogenee, l'ammontare finanziario può avere dimensioni molto diverse. Vi sono infatti settori caratterizzati da un'evoluzione dei prodotti o dei processi molto rapida, nei quali l'attività di ricerca industriale e di sviluppo tecnologico si riferisce al medio-breve periodo ed è incentrata spesso su miglioramenti, anche incrementali, ma significativi ed essenziali per il mantenimento del vantaggio competitivo nel mercato. In questo caso si richiede quindi un impegno di risorse economiche, relativamente limitato ma intensivo nel medio-breve periodo, soprattutto nella fase di sviluppo della tecnologia e di validazione dell'innovazione di prodotto o di processo. Per contro, vi sono settori in cui l'evoluzione tecnologica di prodotto o di processo è più radicale e, quindi lo sviluppo di una tecnologia o di un prodotto necessita di un periodo di tempo più ampio e di impegni finanziari più significativi fin dalla prima fase di ricerca applicata vera e propria, in quanto non si tratta di mantenere la competitività dei processi e dei prodotti, ma di accrescere la competitività dell'intero settore tramite il lancio di nuovi processi o prodotti. In questo caso l'impegno finanziario è più distribuito nel tempo, ma progressivamente crescente e quindi alla fine molto significativo e quindi è molto più elevato il rischio di non raggiungere il risultato previsto.

Di seguito sono riportati alcuni dati che riassumono il contenuto del volume e cioè:

• Settori industriali presi in considerazione	(n.)	10
• Tecnologie identificate ed analizzate	(n.)	115
• Ordine di grandezza del totale delle risorse finanziarie, valutate in maniera preliminare, necessarie per raggiungere lo sviluppo delle tecnologie selezionate fino al mercato o al prototipo	(M€)	>8.000
• Durata media necessaria per lo sviluppo delle tecnologie	(anni)	3
• Valore medio dell'ordine di grandezza del totale delle risorse finanziarie necessarie per ogni singolo anno	(M€)	2.300
in rapporto con la spesa annua per ricerca intra-muros elle imprese nazionali (2014)	(%)	20,00
• Membri del Gruppo di lavoro		200

di cui
- > soci AIRI 146
- > non associati 54

di cui
- > da imprese 125
- > da enti pubblici, università, centri di ricerca privati, associazioni e consorzi 75

- Aziende, Enti pubblici di ricerca, Università, Centri di ricerca privati, Associazioni e Consorzi che hanno partecipato ai Gruppi di lavoro 77

di cui
- > soci AIRI 42
- > non associati 35

di cui
- > imprese 46
- > enti pubblici di ricerca 3
- > università 8
- > centri di ricerca privati, associazioni e consorzi 20

Nel complesso quindi questo insieme è ben rappresentativo del sistema italiano industriale e dei servizi avanzati che opera nella ricerca industriale volta allo sviluppo tecnologico dei settori presi in esame. L'impostazione della analisi alla base della selezione delle tecnologie prioritarie, come è stata tracciata da AIRI, guarda alla crescente integrazione europea del sistema di ricerca e sviluppo tecnologico nazionale, necessaria anche per rispondere alla complessità dei crescenti bisogni sociali oltre che alla sempre più intensa competitività tecnologica a livello internazionale. Integrazione che assume, come fattore discriminante anche la sostenibilità delle tecnologie e il rispetto di quanto richiesto da una innovazione responsabile. Si tratta di nuove traiettorie che impatteranno sullo sviluppo tecnologico del sistema produttivo europeo e nazionale, che dovrà essere sempre più orientato a sviluppare prodotti e processi più competitivi e innovativi tecnologicamente, ma che nello stesso tempo devono tener conto delle crescenti richieste di sostenibilità e di responsabilità sociale.

Relativamente ai dieci settori considerati si può evidenziare che:

1. Lo sviluppo del peso delle tecnologie ICT nei processi industriali e nei prodotti di largo consumo grazie ad un crescente contenuto di dati digitali, dovrà essere alla base dell"adeguamento di macchine, reti, infrastrutture e dell'uso di sistemi sempre più potenti e più intelligenti, attraverso l'impiego di tecnologie di ubiquitous connectivity, elaborazione mobile e pervasive, software e architetture evolute.

2. La velocità imposta dalla Internet of Thing alla complessità della sensoristica da utilizzare nel business e nel sistema produttivo impone lo sviluppo di nuovi modelli di gestione e programmazione delle produzioni che richiedono la crescita delle fabbriche intelligenti.

3. Il fabbisogno di energia "pulita" spinge verso la ricerca di tecnologie atte a migliorare l'efficienza di utilizzo dei carburanti tradizionali, riducendo allo stesso tempo l'impatto sull'ambiente, e nello stesso tempo l'impiego integrato di fonti energetiche rinnovabili, in particolare energia solare e biomasse, dove le sfide tecnologiche sono rivolte allo stoccaggio e distribuzione smart. Infine è sempre più rilevante l'interesse per lo sviluppo di processi di produzione di biocarburanti che non impattino le produzioni agricole.

4. Il nuovo indirizzo dell'industria chimica punta non solo alla chimica verde per uno sviluppo sostenibile, ma si realizza anche con tecnologie atte alla gestione della sicurezza di prodotti e processi. Sono di rilevanza al riguardo le tecnologie per la minimizzazione dei rischi di processo; le tecnologie della chimica verde centrate su fonti naturali e rinnovabili al posto di materie prime pericolose; le nuove tecnologie formulative sempre più rispettose dell'ambiente e della sicurezza del cliente.

5. L'innovazione biotech è sempre più farmaceutica grazie alla più completa comprensione dei meccanismi biologici delle malattie. L'uso crescente delle conoscenze nella genomica, nella proteomica sta portando a innovazioni senza precedenti, grazie a combinazioni avanzate di tecnologie biotecnologiche, bioinformatica e ingegneria genetica. I nuovi farmaci stanno rappresentando la frontiera per il trattamento di patologie rilevanti quali, ad esempio, il diabete, la sclerosi multipla, l'epatite C e diverse malattie oncologiche e autoimmuni.

6. Il sistema dei trasporti, su strada, ferro e mare, converge verso la sicurezza dei passeggeri e l'eco-sostenibilità, attraverso tecnologie orientate a sviluppare motori più puliti ed efficienti durante l'intero ciclo di vita, a creare un sistema di mobilità sicura e integrata, a favorire lo sviluppo di nuovi materiali e di nuovi processi di fabbricazione più efficienti e meno energivori.

7. L'Industria aeronautica sta creando una differenza di leadership che verte su rilevanti innovazioni dei velivoli volte anche al rispetto dell'ambiente e all'incremento della sicurezza e a significativi miglioramenti del costo energetico. Un nuovo filone d'avanguardia per le tecnologie aeronautiche ri-

guarda i velivoli senza pilota. Dal punto di vista dei nuovi materiali questa industria richiede che essi siano sempre più leggeri e low cost.

8. L'industria aerospaziale richiede una innovazione continua in tutte le sue componenti, raccordandola così ad altri settori come le più avanzate tecniche di telecomunicazioni, l'energetica dello spaziale, la sistemistica e la sensoristica avanzata, le tecnologie produttive intelligenti e sofisticate, la sicurezza nei lanci e nello spazio, l'uso sempre più ampio delle tecnologie digitali.

9. L'innovazione nei beni strumentali per l'industria è il cuore dello sviluppo della fabbrica intelligente, che tocca trasversalmente quasi tutti i settori industriali. Le linee innovative prioritarie riguardano: sistemi produttivi avanzati per la produzione rapida e personalizzata, nuovi metodi e strumenti per la sostenibilità del sistema produttivo, valorizzazione di nuove competenze umane nelle fabbriche, nuovi processi produttivi evolutivi e adattativi, processi produttivi fortemente collegati alle tecnologie digitali.

10. Le tematiche ambientali sono trasversali rispetto a tutti i settori industriali. Le tecnologie prioritarie cercano oggi di rispondere, introducendo innovazioni che provengono spesso da altri settori, a necessità come la riduzione del consumo di materie prime, acqua, energia e della produzione di sostanze nocive per l'uomo e l'ambiente; la riduzione della produzione di rifiuti e la loro valorizzazione; la riduzione delle emissioni in atmosfera. Di grande importanza sono le nuove tecnologie per una bonifica dei siti contaminati, che non sia troppo "invasiva". Si tratta di un complesso di interventi innovativi che, essendo inseriti nei singoli settori industriali, necessita sempre di più di attività volte ad una innovazione mirata per risolvere i problemi ambientali di uno specifico settore produttivo e per l'integrazione delle innovazioni ambientali sviluppate con i processi produttivi del settore.

Questo rapporto ovviamente non può e non vuole rappresentare le prospettive tecnologiche di tutto il sistema industriale e dei servizi tecnologici avanzati dell'Italia. Per esempio alcuni importanti settori (agro-alimentare, biotecnologie nel senso più ampio, tecnologie digitali per gestire i grandi sistemi e la complessità, ecc.) non sono stati considerati poiché non sono sufficientemente rappresentati dai Soci AIRI. Malgrado queste limitazioni il presente IX rapporto vuole essere un contributo concreto di informazioni e valutazioni che AIRI produce anche per le istituzioni nazionali e regionali, oltre che per il governo, con lo scopo non solo di informare riguardo alle tendenze tecnologiche di rilevanza per alcuni settori del Paese ma anche di dimostrare che una cooperazione forte

tra ricerca industriale e ricerca pubblica, intensificata in questo rispetto ai precedenti rapporti, è un processo che potrebbe permettere di ottenere analisi e indirizzi tecnologici più completi per definire realistiche politiche nazionali per la ricerca e l'innovazione tecnologica. Infatti queste <<Innovazioni del prossimo futuro – Tecnologie prioritarie per l'industria>>, possono consentire di cogliere elementi significativi per definire alcune priorità scientifiche e tecnologiche per il Paese, anche in coerenza con le nuove linee indicate dall'Unione Europea.

Permane quindi la speranza che le indicazioni di questo rapporto possano essere ritenute utili per un più realistico ed efficace Programma Nazionale di Ricerca, per efficienti Programmi operativi nazionali e per linee di Strategia regionale di specializzazione intelligente, che non nascano solo dalla consulenza di teorici dell'innovazione. Importante potrebbe essere anche questo IX Rapporto come un ruolo di indirizzo per gli Enti pubblici e privati di ricerca e per le Università più innovative, affinché impostino programmi e linee di ricerca coerenti con reali problemi scientifici e tecnologici di una parte rilevante dell'industria italiana. L'opera è stata realizzata con l'apporto volontaristico di 200 ricercatori industriali e pubblici, che rappresentano i Soci AIRI e che ringraziamo caldamente. È un contributo per la crescita tecnologica del Paese, del quale AIRI è orgogliosa.

Renato Ugo
Presidente AIRI

SETTORE 1

>INFORMATICA E TELECOMUNICAZIONI<

PROFILO DI SETTORE

Le tecnologie dell'informatica e delle telecomunicazioni sono da anni considerate il fronte più importante per lo sviluppo economico e sociale del nostro Paese e dell'Europa stessa. Esistono diversi studi ed analisi che dimostrano, in modo abbastanza netto e incontrovertibile, il legame inscindibile tra ICT e sviluppo. L'ICT permea i processi e i prodotti delle imprese e delle pubbliche amministrazioni, rendendoli più efficienti ed intelligenti e quindi a maggiore valore aggiunto. Ma l'ICT è anche divenuto un elemento insostituibile nella vita dei singoli cittadini, attraverso gli smartphone, i tablets, i social networks, i nuovi contenuti multimediali. Queste tecnologie sono dunque un elemento cardine per la competitività complessiva della nostra società, lo sviluppo dei rapporti sociali, il miglioramento della qualità della vita. Più specificamente, tre sono i fronti dove questa centralità risulta sempre più evidente e determinante.

1. L'ICT incide profondamente nei processi delle imprese pubbliche e private, automatizzandone passaggi e operazioni, permettendo lo svolgimento di funzioni prima irrealizzabili o troppo costose, abilitando la realizzazione di strutture organizzative distribuite, federate, globali (digital enterprise).
2. L'ICT entra nei prodotti di ogni settore merceologico: dai trasporti agli elettrodomestici, dall'automazione industriale ai sistemi di controllo ambientale, dai sistemi di produzione agroalimentare a settori tradizionali come l'abbigliamento (es., capi intelligenti), l'arredamento (es., ICT integrata nei mobili di ufficio).
3. L'ICT cambia i processi sociali di comunicazione e di partecipazione, rivoluzionando settori come la pubblicità, l'editoria, i media, la comunicazione politico-istituzionale.

Questi brevi spunti rappresentano solo la punta di quell'iceberg che definisce l'impatto e il ruolo dell'ICT nella nostra società. Per poter comprendere compiutamente lo spettro e l'ampiezza di tale impatto è utile ricordare i principali fronti lungo i quali queste tecnologie si stanno evolvendo.

1. Ubiquitous connectivity

Lo sviluppo delle tecnologie di telecomunicazione wireless e wireline non conosce limiti. Per quanto riguarda il wireless, oggi non esiste punto del pianeta che non possa essere interconnesso con almeno una delle tecnologie di telecomunicazione disponibili: tecnologie wireless mobili 3G e 4G, tecnologie wireless fisse come WiFi e WiMax, tecnologie satellitari. Sul fronte delle tecnologie wireline si va sempre più diffondendo l'utilizzo della fibra pur sottolineando come anche le tecnologie basate sul doppino in rame continuino ad evolvere grazie a nuove soluzioni come il vectoring. Indubbiamente, il futuro vedrà un uso combinato ed armonico di tecnologie wireless mobili e fisse evolute, con una progressiva diffusione, per quanto riguarda le tecnologie wireline, dell'utilizzo della fibra ottica. Diventerà quindi ancora più vero il sogno di avere un mondo totalmente e costantemente connesso. Lo sviluppo di wearable devices, droni, auto senza conducente o più in generale dell'internet delle cose, tende a rafforzare il concetto di ubiquitous connectivity.

2. Tecnologie di elaborazione pervasive e mobili

Se le moderne tecnologie di telecomunicazione costituiscono il tessuto nervoso interconnettivo, i nodi di tale sistema sono costituiti da una varietà sempre più ampia e articolata di sistemi di elaborazione caratterizzati da alcune proprietà chiave: potenza di calcolo crescente, capacità di memorizzazione delle informazioni sempre più elevata, dimensioni decrescenti, consumi decrescenti. Grazie a questi quattro trend chiave e all'integrazione con i sistemi di telecomunicazione wireless e wireline, è oggi possibile inserire capacità di elaborazione, cioè intelligenza, non solo nei computer tradizionali (client e server), ma anche nei dispositivi mobili utilizzati dagli utenti (smartphone e tablet) e soprattutto negli spazi e negli oggetti della nostra vita quotidiana. Si pensi, per esempio, alla sensoristica a bordo di una motocicletta che è in grado di interagire con il giubbotto del motociclistica, che a sua volta integra al proprio interno altri sensori e un airbag. È solo un esempio di quel fenomeno ampio e diffuso che definisce la cosiddetta "Internet delle cose" (IoT o Internet of Things), cioè un sistema globale caratterizzato da connettività pervasiva che abilita l'interazione e la cooperazione tra oggetti sempre più "intelligenti" e diffusi in tutti i prodotti e manufatti prodotti dall'intelligenza e dalla creatività dell'uomo. Per

taluni (come CISCO) si sta già passando alla cosiddetta "Internet of Everything" (IoE), espressione con la quale si sottolinea la totale integrazione di oggetti, persone, comunità, territorio.

3. Software e architetture informatiche evolute

Reti e dispositivi pervasivi costituiscono una piattaforma di elaborazione diffusa e globale. Tale piattaforma, peraltro, sarebbe inutile se non potesse essere arricchita e animata dal software. È il software che definisce le funzioni e le operazioni eseguite dai sistemi di elaborazione. È il software che incorpora gli algoritmi, gli schemi risolutivi, l'intelligenza in grado di offrire valore aggiunto. Motori di ricerca, sistemi operativi per dispositivi mobili, cloud computing, sistemi per l'analisi in tempo reale dei dati, applicazioni per smartphone e tablet: sono solo alcuni dei tanti settori di sviluppo del software. Questi settori stanno sempre più evolvendo nell'ottica della creazione di ecosistemi digitali complessi, cioè infrastrutture e modelli operativi e di business attraverso i quali si crea una molteplicità di applicazioni e prodotti digitali in grado di cooperare e condividere risorse informative e infrastrutturali condivise.

In generale, grazie alla virtuosa e sinergica integrazione di sistemi di telecomunicazione, sistemi di elaborazione e software, l'ICT sta sempre più consolidando quel ruolo centrale nello sviluppo dell'economia moderna.

MERCATO

Il mercato digitale a livello mondiale

Nel corso del 2013 il mercato mondiale delle tecnologie digitali ha registrato un volume d'affari complessivo di 4.379 miliardi di dollari, segnando un rallentamento della crescita, che si è attestata al 3,8% rispetto al 5,2% dell'anno precedente **(fig. 1).**

Le ragioni di tale andamento sono correlabili sia al perdurare della crisi mondiale, che solo in alcune aree sta diminuendo i propri effetti, sia all'effetto di una maggiore diffusione e pervasività delle tecnologie digitali, proposte con prezzi via via calanti sui vari segmenti di offerta.

L'andamento complessivo è tuttavia frutto delle dinamiche differenti delle diverse componenti del mercato: le aree più significative per dimensione di spesa – i servizi di rete TLC e i dispositivi e sistemi – che rappresentano oltre il 60% del mercato, hanno registrato crescite nell'ordine del 2% e 2,4%, sensibilmente inferiori rispetto al 2012 (rispettivamente +5,6% e +3,1%). Sono risultate particolarmente in calo le componenti di servizi TLC legate alla rete fissa mentre sono stati ancora in crescita i ricavi correlati alle comunicazioni mobili, seppur in significativo ridimensionamento (+5,1% rispetto al quasi +10% del 2012).

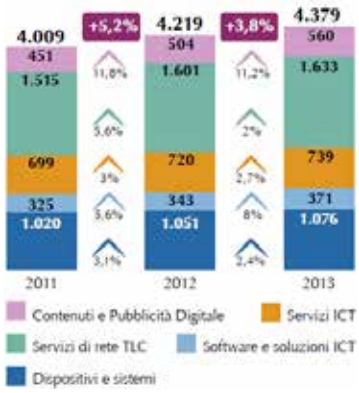


FIG. 1 – IL MERCATO MONDIALE DELLE TECNOLOGIE DIGITALI (2011-2013) MILIARDI DI DOLLARI – VARIAZIONI IN % (FONTE: ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014)

Per quanto riguarda i dispositivi e sistemi, si è registrato un calo delle componenti hardware (PC, server, storage e tablet, -0,8%) in cui i prodotti innovativi non sono riusciti a compensare il calo di quelli tradizionali, mentre ha mantenuto una buona dinamica di crescita il segmento dei personal & mobile device che, trainati dagli smartphone, hanno fatto segnare un incremento del 3,7% rispetto al 2012 e sfiorato in valore i 300 miliardi di dollari.

Alla dinamica contenuta di queste macro componenti hanno fatto da contraltare le crescite sostenute dell'e-content a 560,2 miliardi di dollari con un incremento dell'11,2%, e quella del software e delle soluzioni ICT che ha registrato un valore di 370,8 miliardi di dollari, in aumento dell'8% rispetto al +5,6% del 2012. Stabile il trend dei servizi ICT, anche se la presenza di servizi eterogenei ha generato una dinamica controversa: alla crescita significativa dei servizi di outsourcing legati al data center e al cloud (+5,9%) si è contrapposto un trend decisamente più contenuto dei servizi tradizionali di system integration e application management, aumentati in valore solo dell'1,9%.

Analizzando le dinamiche per aree geografiche si può valutare quanto le differenti congiunture economiche abbiano influenzato l'andamento del mercato digitale. Infatti, a fronte di un rallentamento della dinamica in tutte le macroaree considerate, emerge che le zone che hanno già superato gli effetti della crisi sono anche quelle che hanno generato un incremento maggiore della spesa in tecnologie digitali.

In particolare, l'area dell'Asia Pacifico (APAC) è quella che in valore assoluto ha evidenziato la crescita più consistente, raggiungendo 1.195 miliardi di dollari (+6,6%, contro il +8,8% del 2012, fig. 2), mentre in America Latina (LATAM) la crescita si è attestata al +5,8% (era stata +9,5% nel 2012).



FIG. 2 – IL MERCATO MONDIALE DELLE TECNOLOGIE DIGITALI PER MACROAREA GEOGRAFICA (2011-2013)
MILIARDI DI DOLLARI – VARIAZIONI IN % (FONTE: ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014)

L'andamento e i trend del mercato digitale in Italia

Nel 2013 il mercato italiano delle tecnologie digitali ha accusato un ulteriore peggioramento, da interpretare però anche alla luce della crescente proposta di servizi e prodotti che affermano nuovi modelli di fruizione delle tecnologie, orientati al contenimento della spesa e impattanti sui prodotti e servizi digitali "tradizionali". Così, il valore complessivo del mercato digitale ha raggiunto un valore di poco superiore ai 65 miliardi di euro, in contrazione del 4,4% rispetto al 2012 (fig. 3) quando aveva superato i 68 miliardi di euro.

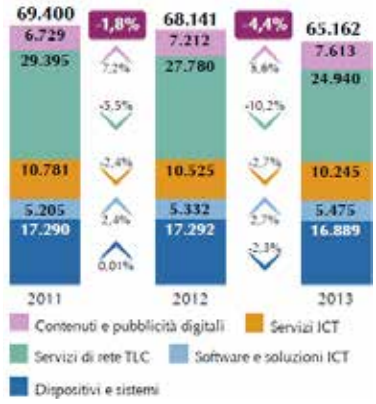


FIG. 3 – IL MERCATO DIGITALE IN ITALIA_MILIONI DI EURO – VARIAZIONI IN %
(FONTE: ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014)

Si sono quindi confermate le difficoltà economiche già evidenziate nel 2012 e, allo stesso tempo, l'incapacità di cogliere le opportunità che scaturiscono da un'innovazione tecnologica che traspare dai dati sulla diffusione dei nuovi di-

spositivi, nuove applicazioni, nuove forme di comunicazione e intrattenimento.

I fattori principali sono i seguenti:

1. In generale, la crisi internazionale che ha colpito molte aziende italiane ha fatto sì che si siano ridotti gli investimenti in ICT. Il mercato è in contrazione, sia nel settore delle telecomunicazioni che in quello dell'Information Technology in senso stretto.
2. Il mancato o rallentato decollo dello sviluppo delle reti di nuova generazione (NGN) ha fatto sì che gli investimenti degli operatori in tecnologie di rete siano stagnanti o in calo. Ciò ha causato forti contraccolpi per i costruttori di apparati e tecnologie di rete.
3. L'ICT e il settore delle telecomunicazioni in particolare stanno vivendo profonde trasformazioni a livello internazionale, con nuovi player che entrano sul mercato (in particolare le aziende cinesi e indiane) e il consolidamento di quelli storici europei e americani, dovuto anche alla progressiva standardizzazione e convergenza delle tecnologie abilitanti.
4. Sul fronte pubblico, sono mancate sia incisive politiche di adozione e diffusione dell'ICT nelle pubbliche amministrazioni, sia programmi di supporto alla diffusione dell'ICT e dell'innovazione presso cittadini e imprese.
5. Il mercato italiano dell'ICT è caratterizzato da una forte pressione sulla riduzione dei costi, piuttosto che su una valorizzazione della qualità e del contributo dell'ICT alla competitività dell'azienda o della pubblica amministrazione. Molte aziende continuano a percepire l'ICT come una commodity, sostanzialmente slegata dai processi di innovazione dell'impresa.
6. In generale, manca una politica pubblica illuminata e lungimirante sul fronte dell'utilizzo diffuso e mirato dell'ICT. Mancano luoghi e strutture di governance e mancano programmi di investimento credibili e lungimiranti. Non è stata ancora definita una strategia convincente di passaggio al digitale e "switch-off" delle procedure amministrative tradizionali.

Tutto ciò ha comportato un sostanziale arretramento del mercato e una crisi anche dell'occupazione nel settore, fatti in sostanziale controtendenza rispetto a quanto accade in altri paesi, a cominciare dalla Germania e dagli stessi Stati Uniti.

Le tabelle successive, tratte dal rapporto Assinform 2014, danno un'idea molto chiara delle problematiche del mercato dell'ICT nel nostro paese.

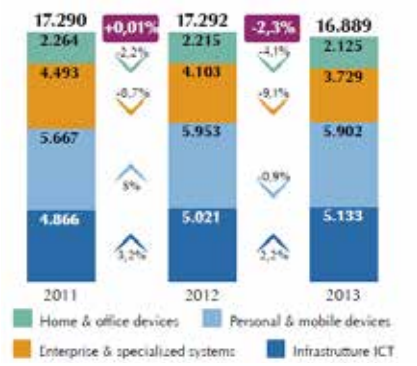


FIG. 4 – IL MERCATO DISPOSITIVI E SISTEMI IN ITALIA – MILIONI DI EURO – VARIAZIONI IN %
(FONTE: ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014)

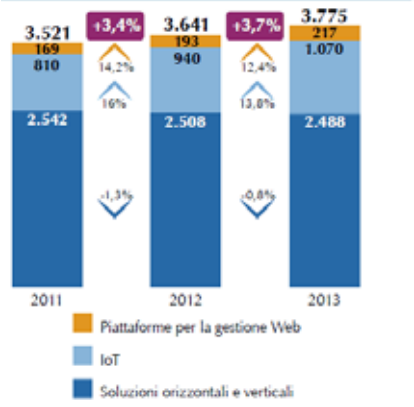


FIG. 5 – IL MERCATO DEL SOFTWARE APPLICATIVO – MILIONI DI EURO – VARIAZIONI IN %
(FONTE: ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014)

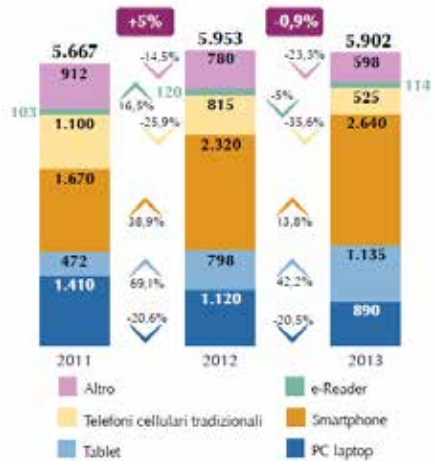


FIG. 6 – IL MERCATO DEI PERSONAL E MOBILE DEVICE – MILIONI DI EURO – VARIAZIONI IN %
(FONTE: ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014)

Servizi di rete fissa e mobile

I servizi di telecomunicazione hanno vissuto nel 2013 forse l'anno più difficile di tutta la loro storia in Italia, fermandosi a 24.940 milioni di euro, in riduzione del 10,2% sul 2012. Le cause della contrazione della spesa sono ricorsive e possono essere ricondotte a tre filoni principali:

1. la congiuntura negativa, che ha spinto gli utenti di tutte le tipologie (business e, soprattutto, consumer) a cercare di contenere la spesa, attraverso rinegoziazioni, cambi di fornitore, adesioni a promozioni e ridimensionamenti dei servizi fruiti;
2. la competizione fra carrier, sempre più stretti fra la minaccia dei servizi erogati da operatori over the top e la necessità di acquisire nuovi clienti in un mercato da tempo saturato, soprattutto nel mobile;
3. gli ulteriori e ripetuti interventi regolatori, che hanno determinato la riduzione dei costi di terminazione mobile delle chiamate originate da rete fissa. L'effetto combinato di questi tre fattori è stato forte sull'intero comparto, e sul segmento del mobile in particolare.

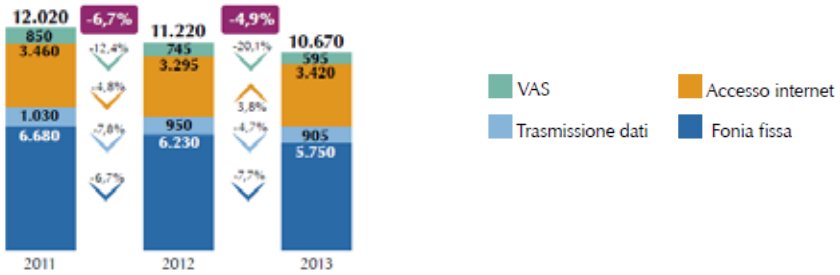


FIG. 7 – IL MERCATO DEI SERVIZI TLC DI RETE FISSA MILIONI DI EURO – VARIAZIONI IN %
(FONTE: ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014)

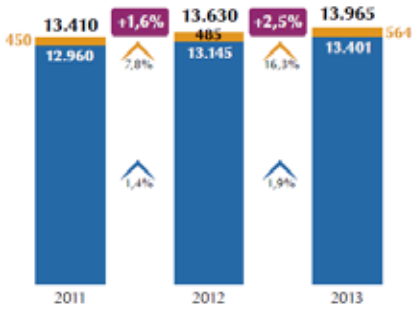


FIG. 8 – GLI ACCESSI A BANDA LARGA PER TIPOLOGIA – MIGLIAIA DI UNITÀ – VARIAZIONI IN %
(FONTE ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014

Contenuti digitali

Il segmento dei contenuti digitali è costituito da un insieme eterogeneo di mercati basati su canali trasmissivi diversi (Internet, rete mobile, satellite, DTH) e caratterizzati da diverse anzianità ed evoluzioni. Gli editori o fornitori di contenuti appartengono a comparti quali l'editoria libraria, giornalistica, broadcasting televisivo, major musicali, società di servizi professionali, internet service provider. Li accumuna l'utilizzo di canali digitali per offrire contenuti a pagamento a una massa vastissima di clienti, per la maggior parte consumer, in possesso di device di ultima generazione in grado offrire all'utente finale livelli di interazione più o meno elevati. Il mercato in questione ha raggiunto 6.060 milioni di euro mantenendo la crescita del 2012 (fig. 9); ciò è però il risultato di trend alquanto diversi fra i vari sottosettori. Come vedremo, il comparto del video digitale, che da solo pesa per circa il 50% del totale (era il 54% nel 2012), ha evidenziato un trend negativo compensato dalle crescite di tutte le altre componenti.

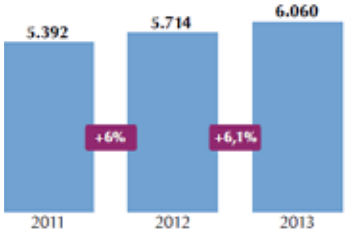


FIG. 9 – IL MERCATO DEI CONTENUTI DIGITALI – MILIONI DI EURO – VARIAZIONI IN %
(FONTE: ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014)

News ed editoria elettronica on line

Internet costituisce oggi, in Italia, il terzo mezzo di informazione, utilizzato da oltre il 40% delle persone che si interessano attivamente all'attualità, con un distacco, in diminuzione, di appena 3 punti percentuali, dai quotidiani (fig. 10). L'andamento del mercato è riportato in fig. 11.

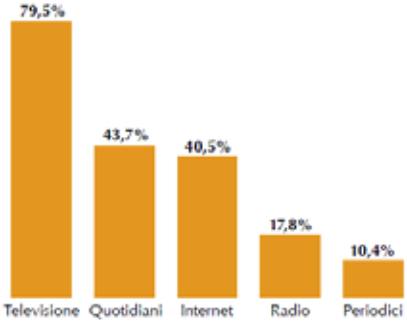


FIG. 10 RUOLO DEI MEZZI PER INFORMARSI IN ITALIA – % POPOLAZIONE
(FONTE: ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014)

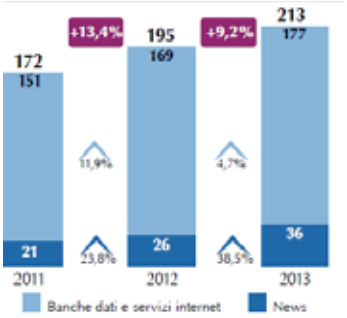


FIG. 11 IL MERCATO DELLE NEWS E DELL'EDITORIA ON LINE – MILIONI DI EURO – VARIAZIONI IN % (FONTE: ASSINFORM/NETCONSULTING, 2014)

OCCUPAZIONE

Il settore ICT a livello nazionale totalizza circa 2,5 milioni di addetti, 1 milione di imprese e un fatturato annuo di oltre 300 miliardi di euro. Tali dati includono le attività di informatica, telecomunicazioni, ingegneria e consulenza.

Secondo i più recenti dati Istat la diffusione delle tecnologie informatiche di base nelle imprese dell'industria e dei servizi è elevata. Nel 2013 il 98,2% delle imprese con almeno 10 addetti ha usato il computer e il 96,8% aveva una connessione ad internet.

Circa l'86,3% delle imprese usufruisce della rete per accedere a servizi bancari e finanziari on line, circa il 69% ha un proprio sito web. In generale, tra il 2009 e il 2013 si è verificata una crescente diffusione delle principali tecnologie di base nelle imprese italiane.

RICERCA E SVILUPPO

In Italia ai continui proclami sull'importanza della ricerca non seguono purtroppo i fatti, come appare dall'ultima rilevazione ufficiale dell'Istat sulle spese in R&S a livello nazionale. Secondo i dati disponibili a fine dicembre 2011, non solo il livello complessivo di spesa che l'Italia impegna in ricerca e sviluppo – circa l'1,3% del prodotto interno lordo – non aumenta, ma nel 2011 è addirittura in calo. Resta dunque lontanissima la pattuglia dei "leader" Ue dell'innovazione formata da Danimarca, Germania e Finlandia, dove si è già raggiunto l'obiettivo del 3% del Pil degli investimenti in ricerca.

In Italia nel settore ICT gli addetti alla R&S sono circa 100.000, in decrescita rispetto al 2010. Negli ultimi anni l'ampiezza e l'intensità dell'attività di ricerca e sviluppo è in diminuzione a causa di due concomitanti fattori negativi:

- Le multinazionali stanno tendenzialmente diminuendo o terminando i loro investimenti in R&S nel nostro paese.
- Le risorse pubbliche per finanziare la R&S nel settore dell'ICT sono limitate e poco finalizzate.

Va sottolineato che l'indebolimento delle attività di ricerca e sviluppo non costituisce un fenomeno chiuso su stesso.

Meno R&S significa anche un indebolimento del capitale umano del paese e un più debole processo di commistione tra mondo della ricerca e mondo delle applicazioni dell'ICT. In generale, diminuisce il patrimonio di competenze ICT da riusare sia nello sviluppo di nuovi prodotti ICT, sia nelle concezioni di innovative applicazioni dell'ICT negli altri settori dell'economia e della società in generale.

TEMI STRATEGICI A MEDIO-LUNGO TERMINE

L'ICT evolve continuamente con tempi e dinamiche difficilmente prevedibili. Anche quando si davano alcuni settori dell'ICT per "morti" – come per esempio il settore dei sistemi operativi – sono occorsi cambiamenti di scenario, di tecnologie collegate o delle preferenze e dei gusti degli utenti, che hanno portato a nuove discontinuità e linee di sviluppo. Per restare al caso dei sistemi operativi, lo sviluppo di iOS, Android, Windows Mobile e dei relativi appstore ha totalmente rivoluzionato il mondo dei dispositivi mobili e della telefonia cellulare, mettendo fuori mercato o in grave difficoltà leader storici come RIM e Nokia.

Nonostante questa estrema variabilità, è peraltro possibile identificare alcuni temi che nel medio periodo presumibilmente costituiranno linee di sviluppo strategico nello sviluppo dell'ICT.

Pervasive ICT

La tendenza verso la crescente miniaturizzazione e diffusione di sistemi di elaborazione sia in dispositivi mobili che in veri e propri microsistemi pervasivi (IoT e IoE), renderà sempre più complesso il progetto di tali dispositivi, la progettazione del software necessario al loro funzionamento, il loro dispiegamento nei diversi ambiti applicativi, il loro monitoraggio, aggiornamento e controllo. Sarà quindi necessario sia migliorare le singole tecnologie hardware e software, sia introdurre nuovi metodi di progettazione e gestione dei sistemi.

Wearable computing

Il wearable computing, che gestisce i wearable devices, rappresenta un cam-

biamento profondo delle pratiche di business e forse un nuovo modello di business per i produttori di device e per i fornitori di contenuti ed applicazioni. I wearable devices oggi rappresentano un insieme di prodotti come orologi, occhiali, giubbetti e scarpe... con intelligenza e capacità di connessione che permettono di accedere a tutto un insieme di servizi, quali quelli legati alla propria salute, all'ambiente, al traffico e così via. La società Juniper prevede che nel mondo saranno venduti centinaia di milioni di oggetti con tali caratteristiche e che il wearable computing rappresenterà uno dei filoni emergenti dell'ICT.

Big Data e Real-time business analytics

La pervasività dell'ICT porta alla creazione, diffusione e memorizzazione di enormi quantità di informazioni (Big Data). Allo stesso tempo, le aziende hanno bisogno di rispondere sempre più velocemente alle dinamiche del mercato. Per questi motivi, diviene sempre più cruciale sviluppare tecniche e metodi che permettano di elaborare in tempo reale grandi quantità di dati, generate e elaborate in un arco di tempo sempre più ristretto. Questo scenario richiede lo sviluppo di moderne architetture di elaborazione dati e nuovi sistemi di data mining, data warehousing e data analysis in generale.

Data visualization

Il tema della data visualization è strettamente collegato a quanto discusso nel punto precedente. Le informazioni digitali devono essere comprese e fruite da una fascia sempre più ampia di utenti, su tecnologie che non sono limitate ai classici computer desktop e in situazioni e contesti che richiedono velocità di analisi, efficiente interpretazione del dato e immediatezza di reazione. Ciò richiede lo sviluppo di nuovi paradigmi e tecnologie di visualizzazione e accesso alle informazioni come, per esempio, nuove tipologie di schermi o ologrammi, sistemi di interazione 3D, nuovi paradigmi grafici di visualizzazione del dato, nuove interfacce e metafore per semplificare le operazioni dell'utente finale.

Semantic web

Il web sta diventando sempre più "intelligente" in quanto le informazioni in esso presenti acquistano sempre più significato e valore. Anche in questo caso, per assecondare, promuovere e sostenere questo trend sarà necessario migliorare sia le tecnologie di base utilizzate per rappresentare e manipolare i dati, sia i metodi di progettazione delle basi informative e delle applicazioni che le utilizzano e gestiscono.

Social networks, privacy, new media

Le tecnologie mobili unite allo sviluppo dei sistemi multimediali per la fruizione dei contenuti ha dischiuso nuove possibilità allo sviluppo di social net-

work innovativi, che combinano funzioni di community con produzione e accesso a contenuti multimediali. Questo settore vedrà un notevole sviluppo perché le potenziali applicazioni sono molteplici (per esempio, comunità di utenti, sistemi innovativi di relazione tra impresa e suoi clienti, sistemi di partecipazione diffusa ai processi decisionali e politici), sia perché continuano a nascere nuove tecnologie e sistemi (vedi per esempio Pinterest), a testimonianza di una dinamica creativa ancora lungi dall'essersi esaurita.

Security e privacy

La diffusione del cloud computing, del web, dei social networks, dei contenuti multimediali digitali e dei dispositivi mobili georeferenziati, tipicamente integrati attraverso un unico sistema di comunicazione globale con una molteplicità di sistemi di backend, pone questioni sempre più complesse e articolate nel campo della security e della privacy. I temi sono così importanti e cruciali da travalicare i confini della ricerca tecnologica o dell'analisi dei trend di mercato. Si tratta di tematiche centrali per lo sviluppo della società e per la tutela delle libertà e dei diritti fondamentali della persona e richiederanno quindi un profondo ripensamento anche a livello normativo e giuridico, in un ambito che non può non essere almeno quello europeo.

Low power

La progressiva diffusione dell'ICT negli oggetti e nei prodotti più disparati, unite alla necessità di renderli autonomi dal punto di vista dell'alimentazione, rende sempre più essenziale lo sviluppo di tecnologie hardware a basso consumo. Anche il software, peraltro, deve essere sviluppato in modo da minimizzare l'utilizzo delle risorse di calcolo o di comunicazione (trasmissione wireless) al fine di minimizzare il consumo di energia.

Sostenibilità-Green IT

Con la crescente consapevolezza che le emissioni di gas serra da parte dell'uomo sono un fattore importante per il riscaldamento globale, le imprese, i governi e la società in generale hanno ora un nuovo importante ordine del giorno: come affrontare le questioni ambientali e l'adozione di pratiche ecocompatibili. L'information technology è responsabile del 2% delle emissioni di CO_2. Quanto poi alla spazzatura elettronica, nel 1998 in Europa venivano generati 6 milioni di tonnellate di elettro-rifiuti, l'11% dei quali proprio dal comparto IT. Tuttavia, ciò che ha risvegliato le coscienze oltre i timori legati al cambiamento climatico sono i crescenti costi dell'elettricità che sono quadruplicati negli ultimi 10 anni.

Per Green IT, si intende un'informatica ecologicamente sostenibile.

Green IT Si occupa dello studio e della messa in pratica di tecniche di proget-

tazione e realizzazione di computer, server, e sistemi connessi come ad esempio monitor, stampanti, dispositivi di archiviazione e reti e sistemi di comunicazione efficienti con impatti ambientali limitati o nulli. Quindi comprende la sostenibilità ambientale, l'efficienza energetica, il costo di smaltimento e di riciclaggio.

Si è iniziato dalle schede madri senza piombo, poi i pc verdi, i server, i data center, fino ai processi produttivi a basso impatto ambientale. Rendere i prodotti IT, le applicazioni e i servizi "verdi" è sì una pratica economica, ma anche un imperativo ambientale legato alla nostra responsabilità sociale. Di conseguenza, un numero crescente di fornitori IT e di utenti si sta muovendo verso la green IT, aiutando in tal modo la costruzione di una società e un'economia ecologicamente sostenibili.

In conclusione gli obiettivi dell'informatica verde sono: massimizzare l'efficienza energetica nel corso della vita del prodotto e promuovere la riciclabilità o la biodegradabilità dei prodotti stessi.

TECNOLOGIE PRIORITARIE

Nei successivi capitoli verranno discusse nel dettaglio le diverse tecnologie che costituiscono gli assi portanti del settore nel prossimo triennio.

Rispetto all'edizione precedente si è deciso d'inserire l'area delle tecnologie a larga banda nelle nuove architetture di reti e servizi e di introdurre una nuova area tecnologica definita "dispositivi e sistemi".

1. Le nuove Tecnologie informatiche
2. Le piattaforme applicative dell'IT
3. Nuove architetture di reti e servizi
4. Reti e servizi radiomobili
5. Dispositivi e sistemi
6. Tecnologie per "Home networks"
7. Tecnologie per la sicurezza
8. Tecnologie per l'infomobilità
9. Tecnologie per "Online content"

RISORSE ECONOMICHE TOTALI

Più di 1 miliardo di euro.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 1

LE NUOVE TECNOLOGIE INFORMATICHE

DESCRIZIONE

Le tecnologie informatiche e nello specifico il software costituiscono il cuore delle evoluzioni presenti in moltissimi prodotti e servizi della nostra società. Grazie infatti al software, la capacità elaborativa e di comunicazione offerta dalle moderne tecnologie elettroniche e delle telecomunicazioni wireless e wireline si anima dell'intelligenza applicativa che costituisce il valore ultimo per imprese, cittadini, la società nel suo complesso.

In questi anni, le tecnologie informatiche si sono evolute sotto la spinta di una serie di fenomeni sempre più significativi:

1. Lo sviluppo dei sistemi mobili, degli smartphone e dei tablet ha portato alla nascita di nuovi bisogni applicativi e di rinnovate modalità di creazione e distribuzione del software. Il fenomeno degli AppStore (come quelli di Apple e Android) ha cambiato profondamente sia i processi di sviluppo e commercializzazione del software, sia le dinamiche del mercato, i modelli di business e il comportamento stesso degli utenti (si pensi al concetto di "acquisto impulsivo" e alla teoria della "coda lunga").
2. Lo sviluppo di sistemi di raccolta, elaborazione e distribuzione delle informazioni sempre più pervasivi e diffusi ha fatto si che si sviluppassero nuovi bisogni nel campo della memorizzazione, organizzazione e elaborazione di ingenti quantità di dati. Il tema dei cosiddetti "big data" è divenuto una questione centrale, sia per ciò che concerne gli strumenti e le tecnologie per l'organizzazione e la conservazione del dato, sia per ciò che concerne gli algoritmi e le tecniche di analisi, elaborazione e visualizzazione delle informazioni.
3. La diffusione dei dispositivi mobili come l'iPhone e l'iPad è stata resa possibile grazie ad un significativo sviluppo delle tecnologie per interfacce non convenzionali e multimediali. L'interazione tra uomo e dispositivi informatici si sta rapidamente evolvendo. I sistemi di riconoscimento dei movimenti utilizzati nelle consolle dei videogiochi e le tecnologie di visualizzazione 3D stanno uscendo dall'ambito dell'entertainment per dare origine a nuove tipologie di applicazioni e servizi social e business.
4. Uno dei principali fattori che ha abilitato le dinamiche discusse nei punti precedenti è stato lo sviluppo di tecnologie elettroniche e di sistemi di elaborazione sempre più piccoli, potenti e capaci. Lo sviluppo di sensoristica avanzata, come i giroscopi e gli accelerometri digitali per i quali l'italiana STM è un leader indiscusso a livello mondiale, ha abilitato lo sviluppo di nuove tipologie di applicazioni nei settori più disparati (dal gaming alla sicurezza fisica delle infrastrutture). Lo sviluppo di queste nuove tipologie di applicazioni deve necessariamente basarsi su un'attenta analisi dei consumi di corrente, in quanto spesso siamo di fronte a si-

stemi alimentati a batteria. Tutto ciò ha portato allo sviluppo di nuove tecnologie e metodi di progettazione dell'hardware e dello sviluppo del software che ottimizzano le elaborazioni dal punto di vista del consumo energetico.

5. Ovviamente, in un mondo dove le tecnologie informatiche e il software sono sempre più diffuse e incapsulate ("embedded") in qualunque servizio, prodotto o processo, le tematiche relative alla sicurezza, privacy e safety assumono un ruolo sempre più importante e centrale.
6. Le tecnologie del cloud computing stanno rivoluzionando le modalità secondo le quali i servizi ICT classici vengono offerti e fruiti. Stanno nascendo nuovi paradigmi di procurement che aggiungono al già diffuso Software-as-a-service anche i concetti di infrastrutture-as-a-service e platoform-as-a-service. Conseguentemente, mutano anche i criteri di progettazione e gestione di molte soluzioni informatiche classiche.
7. In generale, stiamo assistendo alla rinascita di temi di ricerca e sviluppo che erano stati dati come ormai sorpassati: i sistemi operativi e i linguaggi di programmazione. Se fino a qualche anno fa si sosteneva che in queste aree fossimo ormai arrivati alla fine della storia, mai come oggi dobbiamo verificare una dinamicità di questi settori. La battaglia sui dispositivi mobili è principalmente un confronto tra diversi sistemi operativi e relativi ambienti e linguaggi di sviluppo (vedi iOS di Apple, Android di Google/Samsung e Windows Mobile di Microsoft/Nokia).
8. Il bisogno di creare sistemi informativi distribuiti, federati e variamente integrati (si pensi al caso delle smartcity) ha reso sempre più urgente lo sviluppo di metodi, modelli architetturali di riferimento e tecnologie abilitanti la costruzione e gestione di Ecosistemi Digitali. Essi permettono di combinare le applicazioni e risorse informatiche di una molteplicità attori (mashup applicativo) al fine di creare comunità digitali o filiere integrate di servizi (si pensi al caso dell'ecosistema E015 sviluppato per Expo 2015).
9. Infine, non si può non ricordare l'impressionante sviluppo delle tecnologie del web e di Internet, in tutte le loro diverse articolazioni: social networks, strumenti evoluti di ricerca, apps, wikis, blog.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le tecnologie e le evoluzioni tecnico-scientifiche discusse nel precedente paragrafo hanno un profondo impatto su tutti i settori economici e sociali del Paese. Tutte le aziende e le pubbliche amministrazioni hanno sistemi informativi che sempre più escono dai confini dell'IT aziendale tradizionale e si immergono nei prodotti e servizi offerti all'utente. Le tecnologie informatiche diventano elementi di competitività nei prodotti dei settori più disparati, dagli elettrodomestici ai sistemi di trasporto, dalla moda (si pensi ai sistemi di anticontraffazione dei prodotti) al legno-arredo ("mobili intelligenti"), dai sistemi di produzione alle macchine utensili, dai nuovi media al mondo del turismo e spettacolo. Non vi è settore che non sia toccato dalle tecnologie informatiche.

Per questi motivi, è vitale per il paese sviluppare competenze, conoscenze, tecnologie in questi settori chiave quali, ad esempio, i seguenti:

- Ambienti di sviluppo per sistemi mobili a basso consumo.
- Sistemi di elaborazione intelligente ed efficiente delle informazioni.
- Sistemi di visualizzazione dei dati e nuovi paradigmi di interazione uomo-macchina.

Si noti che se è vero che il Paese sconta ritardi e sconfitte nel campo della produzione di tecnologie di base, è anche vero che a livello internazionale il dinamismo delle tecnologie, dei mercati e dei vari settori industriali è molto più ampio e significativo di quanto spesso non si immagini. Se è vero che molti treni del passato sono ormai transitati e persi, è altrettanto vero che lo sviluppo delle tecnologie di base e l'evoluzione dei gusti e delle tendenze dei consumatori introducono nuovi bisogni e opportunità che potrebbero offrire significative opportunità anche a imprese italiane esistenti o di nuova concezione (si veda per esempio il successo di STM nel campo della sensoristica avanzata). Tra l'altro, la tradizione e la forza italiana nel settore del design potrebbero offrire opportunità uniche, se combinate opportunamente con le tendenze e gli sviluppi discussi in precedenza (si pensi per esempio ai prodotti consumer portatili o alle nuove tipologie di interfacce uomo-macchina).
Peraltro, indipendentemente dallo sviluppo di nuove tecnologie informatiche, è vitale per il nostro paese conservare e anzi incrementare il patrimonio di cultura, competenze e capacità professionali legati a questo settore. Proprio perché il software e l'ICT sono sempre più pervasivi e caratterizzanti il livello di prestazioni e di qualità di qualunque prodotto o servizio, è vitale per il nostro paese disporre di quel capitale umano e di quelle capacità di progettazione e sviluppo che consentano a tutti i settori della nostra economia di sfruttare al meglio le tecnologie informatiche per rendere sempre più competitivi e a maggior valore aggiunto le nostre produzioni.
I due aspetti (capacità di sviluppo delle tecnologie e capacità di applicazione) in realtà non sono scollegati. La capacità di applicazione si sviluppa nelle sue forme più sofisticate e discontinue solo in presenza di un substrato di ricerca e sviluppo industriale e accademico che si misuri continuamente con le sfide più evolute nel campo delle nuove tecnologie e metodologie di progettazione e che, quindi. alimenti e incrementi lo stock di capitale umano che opera presso le imprese. È perciò vitale promuovere una ricerca e sviluppo diffusa nel settore dell'informatica, certamente declinata e orientata per cogliere al meglio le specificità e i bisogni delle nostre imprese e del territorio in generale.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

L'Italia sta vivendo un progressivo depauperamento delle proprie capacità di ricerca e sviluppo. Ciò è vero in generale, ma è ancora più critico e visibile nel campo dell'ICT e dell'informatica. Non sono solo scomparsi o fortemente diminuiti gli insediamenti manifatturieri che, seguendo trend che certamente non sono solo visibili nel nostro paese, sono stati trasferiti in altre aree del mondo caratterizzati da costi di produzione più bassi. Molto più grave, quasi tutte le aziende multinazionali hanno chiuso i centri di ricerca e sviluppo che erano presenti nel Paese. Ciò non costituisce solo una riduzione di occupazione nel settore specifico della ricerca e sviluppo IT o ICT, ma costituisce un depauperamento complessivo che incide su tutta la filiera industriale. I centri di ricerca IT erano anche un luogo di formazione di skill, competenze e professionalità che, una volta

trasferitisi in altre aziende, portavano competenze e innovazione nei diversi settori industriali e economici del paese. Si sono persi non solo posti di lavoro, ma anche fucine di risorse pregiate e utili a tutta l'economia del paese.

A questa perdita di competenze e strutture di R&S si affianca anche un mercato dell'IT poco maturo e sviluppato. Oltre ad una diminuzione degli investimenti e della spesa in IT, il nostro paese è caratterizzato da una valorizzazione dei prodotti e servizi IT molto inferiore a quella in essere negli altri paesi. Ciò si manifesta in basse tariffe, bassi salari, precarietà, un'offerta scarsamente innovativa, una domanda debole e a sua volta poco qualificata. Come conseguenza, sono sempre più numerosi i nostri giovani che, conseguito il loro titolo di studio, emigrano all'estero dove la valorizzazione della loro professionalità è molto maggiore. Va peraltro osservato che uno delle principali cause di questa scarsa maturità del mercato è il ruolo negativo giocato da molte pubbliche amministrazioni i cui processi di acquisizione considerano i servizi IT alla stregua di commodity da acquisire solo sulla base del valore economico e senza alcuna valutazione della qualità dell'offerta. È un pericoloso driver che innesca un continuo ciclo al ribasso sul fronte qualitativo e della valorizzazione delle competenze.

Questo fenomeno distingue il nostro paese dai principali competitor internazionali. In tutti i paesi, l'ICT e l'informatica nello specifico sono sempre più considerate leve essenziali per garantire competitività e sviluppo economico. In altri paesi, come per esempio la Germania, l'IT assume un ruolo sempre più centrale, con un incremento del mercato e una crescente scarsità di risorse umane capaci di rispondere a questa domanda così vasta e qualificata. Ciò non fa che aumentare il rischio per il nostro Paese di una progressiva perdita di quel prezioso capitale umano che sta alla base delle capacità di intervento e di sviluppo nel settore dell'IT.

Per contrastare questo fenomeno sono sempre più vitali azioni che da un lato promuovano una significativa maturazione del mercato dell'IT e dall'altro incrementino l'attrattività del nostro paese come luogo privilegiato per gli investimenti in R&S nel settore dell'IT. Oltre ad azioni di carattere generale valide per qualunque settore economico (per esempio, lo snellimento dei procedimenti civili), vi sono almeno due capitoli che sono di particolare rilevanza per quanto riguarda l'IT:

1. Una domanda pubblica qualificata. Il pubblico nelle sue varie articolazioni (enti centrali, enti locali, regioni) è uno dei principali elementi della domanda IT. Una maggiore qualificazione della domanda sul fronte dell'entità degli investimenti e, ancor più importante, sul lato della qualità dei contenuti progettuali e dei processi di procurement è vitale per rinvigorire il mondo dell'offerta, qualificandola e nel contempo incentivando investimenti e insediamenti dall'estero.
2. Una politica chiara sul fronte dei finanziamenti e degli incentivi alla ricerca e sviluppo. Per attrarre investimenti nazionali e esteri nel settore dell'IT serve chiarezza e risorse sul fronte degli incentivi e dei finanziamenti alla ricerca e sviluppo nel settore. Tutti i paesi oggi competono per attrarre intelligenze, aziende, insediamenti produttivi nei settori delle alte tecnologie. Il nostro Paese deve definire una politica della ricerca efficace, dotata di risorse adeguate e, soprattutto, con una prospettiva temporale che dia certezze e prospettive ai potenziali investitori.
3. Una normativa fiscale e procedimenti amministrativi che promuovano il digitale. Per spin-

gere il nostro paese verso un uso sempre più consapevole e diffuso delle tecnologie digitali è vitale che le norme, la leva fiscale, i procedimenti amministrativi siano rivisti in modo da favorire sistematicamente l'adozione delle tecnologie digitali. Per esempio, la fiscalità nel campo dei prodotti editoriali piuttosto che i costi dei procedimenti amministrativi dovrebbe sempre premiare l'uso del canale digitale rispetto a quello tradizionale.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 2

LE PIATTAFORME APPLICATIVE DELL'INFORMATION TECHNOLOGY

DESCRIZIONE

L'innovazione si può realmente sviluppare solo in presenza di una serie di condizioni abilitanti. Quali esse siano è stato ed è oggetto di molti studi ed analisi. Certamente, uno degli elementi più importanti è la presenza di "piattaforme" in grado di favorire e accelerare lo sviluppo di applicazioni, prodotti e servizi. Una piattaforma è un insieme di tecnologie e, in generale, soluzioni infrastrutturali che forniscono funzionalità comuni e standardizzate e, in quanto tali, permettono interoperabilità, economie di scala, esternalità di rete e sinergie nello sviluppo del mercato.

Internet è una piattaforma che ricade in questa classificazione, in quanto offre funzioni e protocolli standard che permettono lo sviluppo di applicazioni e servizi integrati e interoperabili. Peraltro, Internet offre solo alcuni di questi elementi e quindi non esaurisce l'insieme dei bisogni ai quali è necessario dare risposta per creare un vero ecosistema a supporto dell'innovazione. Quali sono questi altri elementi? Esistono azioni di sistema che ne possono abilitare, promuovere e sostenere lo sviluppo? Quale ruolo per il pubblico e per il privato?

Nel campo dell'Information Technology esistono diversi filoni di lavoro e di intervento che contribuiscono alla creazione e alla promozione di piattaforme a sostegno dell'innovazione diffusa, capace cioè di offrire un contributo positivo e determinante in tutti i settori economici e sociali della società. Questi filoni di intervento si sommano e arricchiscono quanto visto nel precedente capitolo a proposito delle principali tecnologie abilitanti e costituiscono, nei fatti, un modo per declinarne la loro valenza sistematica nei diversi settori applicativi dell'economia e della società nel suo complesso.

In particolare, è possibile identificare le seguenti aree di intervento:

1. Integrazione in filiere pubblico-private. Uno dei principali problemi che a volte limitano l'effetto dell'introduzione dell'ICT è una loro applicazioni isolata all'interno della singola azienda o pubblica amministrazione. In realtà queste tecnologie dispiegano tutto il loro potenziale solo quando sono in grado di abilitare scambi informativi "ricchi" e di valore tra una molteplicità di soggetti. È questo il caso della cooperazione tra amministrazioni, o tra amministrazioni e imprese o tra filiere di imprese. Il tema delle smartcity, per esempio, ricade appieno in questa casistica. Perché tali interazione "ricche" possano avvenire è vitale definire architetture di riferimento, modalità condivise di scambio dei dati e strategie di integrazione tra i back-end. Ciò richiede necessariamente azioni concordate a livello di sistema così come è avvenuto, non casualmente, nel caso dello standard GSM, la cui definizione e adozione ha permesso negli ultimi due decenni una straordinaria diffusione dei servizi di telefonia mobile.
2. Uso del cloud per una informatizzazione diffusa, economicamente efficace e standardizzata di imprese e amministrazioni. Il cloud computing permette, in modo flessibile, efficiente e

standardizzato, una gestione evoluta e organica di infrastrutture, applicazioni e servizi infotelematici. Queste sue caratteristiche distintive lo rendono particolarmente adatto per risolvere i problemi delle piccole-medie imprese e di molte pubbliche amministrazioni locali, che hanno bisogno di soluzioni dal costo contenuto, gestito in modo semplice e efficiente da parte dei fornitori di soluzioni ICT, e che inglobino in modo standardizzato anche i meccanismi di integrazione e interoperabilità all'interno di filiere di sistema (sia nel settore privato che pubblico), così come accennato nel punto precedente.

3. Sistemi standard di identificazione, autenticazione e pagamento. Lo sviluppo di servizi e prodotti evoluti che sfruttino appieno i vantaggi dell'economia e delle tecnologie digitali non può prescindere dalla definizione di strumenti e meccanismi standard per l'identificazione dell'utente, l'autenticazione e il pagamento. Esistono oggi una molteplicità di tecnologie e servizi, in alcuni casi ancora solo in forma prototipale. È evidente che perché tali servizi evoluti possano diffondersi, è vitale definire standard e soluzioni condivise che, nel rispetto della piena competizione e apertura del mercato, da un lato semplifichino il compito degli sviluppatori di applicazioni e servizi e, dall'altro, offrano soluzioni semplici e facilmente utilizzabili ai consumatori e utenti finali. Anche in questo sono vitali azioni di sistema che sostengano un processo di convergenza e standardizzazione nel settore, ovviamente nell'ottica di un mercato europeo e internazionale, e non solo domestico.
4. Diritto di autore e gestione dei contenuti digitali. La promozione dei servizi digitali richiede un profondo ripensamento delle norme, delle procedure e delle tecnologie utilizzate per tutelare il diritto di autore. Non è possibile e non ha senso riusare quanto disponibile nel mondo fisico anche in quello digitale, pena una sostanziale riduzione e penalizzazione dei diritti degli utenti e delle reali opportunità di crescita del mercato. Si tratta in questo caso di definire una "piattaforma" normativa e legislativa, prima ancora che tecnologica. Ciò non di meno, si tratta di un contributo assolutamente determinante e decisivo.
5. Privacy. Similmente, anche il tema della privacy deve essere affrontato con un approccio analogo, al fine di tutelare da un lato i diritti dei singoli e, dall'altro, non introdurre norme liberticide o comunque limitatrici dello sviluppo della società della rete.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Perché queste azioni sono necessarie? Le aziende devono competere in mondo sempre più interconnesso e aperto. Per di più non possono più limitarsi ad una competizione basata sul costo: è vitale definire prodotti percepiti dall'utente come "ad alto valore aggiunto" (qualunque sia l'interpretazione data al termine "valore"), che abilitino di conseguenza lo sviluppo di servizi "intelligenti", anche essi a maggiore valore aggiunto.

Tutto ciò è possibile solo se l'ICT riesce a penetrare sempre più nel profondo delle aziende, dei loro processi, servizi e prodotti. Ecco quindi che le azioni discusse nei punti precedenti (e anche nel precedente capitolo) hanno lo scopo di declinare le tecnologie dell'ICT affinché si diffondano in modo capillare in tutti i settori economici e sociali del paese. Esse sono vitali per evitare che l'innovazione risulti episodica e occasionale, e costituisca invece una reale occasione di sviluppo armonico del paese nel suo complesso.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Qual è la situazione in Italia? Quali limiti rispetto a quanto avviene negli altri paesi? Cosa serve? In parte alcuni di questi temi sono stati discussi nel capitolo precedente. Per quanto riguarda il tema delle piattaforme dell'Information Technology, è possibile sottolineare alcuni aspetti chiave:

- È vitale promuovere lo sviluppo di competenze professionali forti che, lungi dal considerare le tecnologie come commodity, siano in grado di fornire "dual thinkers" e le cosiddette figure "a T", cioè professionisti capaci di coniugare sviluppo tecnologico e applicazione sul mercato, ma anche specializzazione e lavoro multidisciplinare in team. Sono caratteristiche vitali per lo sviluppo dei nuovi servizi e prodotti digitali nelle imprese e nelle pubbliche amministrazioni.
- È vitale rianimare un mercato dell'ICT sostanzialmente immaturo e conseguentemente, una dinamica del lavoro nel settore dell'ICT che risulta sostanzialmente asfittica e orientata a premiare solo la riduzione del costo rispetto alla qualità e alla valorizzazione delle professionalità.
- È vitale che siano definiti strumenti di governance e di procurement che guidino e valorizzino la spesa pubblica e privata. Ciò deve essere accompagnato da una razionalizzazione degli investimenti che elimini ridondanze, spesa improduttiva o non sinergica.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 3

NUOVE ARCHITETTURE DI RETI E SERVIZI

DESCRIZIONE

Le architetture di reti TLC fisse si sono evolute gradualmente da architetture a circuito a quelle a pacchetto, con un'adozione crescente del protocollo IP dal core sino all'accesso. La migrazione riflette un cambio nella "destinazione di uso" delle reti TLC fisse dalla fonia, che gradualmente si sposta sul mobile, all'accesso dati a larga banda e ultralarga per fruire di servizi avanzati, in particolare di tipo video on demand. La banda ultralarga si può raggiungere già sul rame con tecnologia xDSL sfruttando nuove tecnologie come il vectoring. Ma gli accessi in rame verranno gradualmente sostituiti da accessi in fibra favoriti per la parte di investimenti dai finanziamenti previsti dalle agende digitali nazionali ed europee. Le scelte strategiche che gli operatori di rete si trovano ad affrontare sono legate alla gradualità dell'accesso in fibra, che potrà sfruttare in una prima fase ancora il rame per l'ultimo miglio nelle architetture FTTC (Fiber to the Curb) o per l'ultimo tratto nelle soluzioni FTTB (Fiber to the Building), per arrivare a tendere all'accesso in fibra dalla casa con il FTTH (Fiber to the Home).

La migrazione ad una architettura di rete All IP a banda larga nel mondo fisso è in fase di realizzazione anche nel mobile grazie all'avvento delle tecnologie 4G/LTE concepita sin dall'inizio per il solo servizio dati senza voce. Quest'ultima viene garantita grazie all'interoperabilità dei terminali con le reti 2G e 3G, che realizzano il servizio di fonia grazie ancora ad un architettura a circuito – si parla pertanto di servizio voce realizzato in 4G in modalità CSFB (Circuit Switch Fall Back), per cui quando si realizza una chiamata voce il terminale si scollega dalla rete IP (4G) e si registra su rete 2G/3G. Per garantire la completa migrazione delle reti di vecchia generazione e lo spegnimento degli elementi di rete a circuito di vecchia generazione la industry del mobile ha concepito un servizio di voce su IP per reti 4G denominata VoLTE (Voice over LTE), caratterizzata dalla coesistenza con un servizio dati con lo stesso collegamento radio in modalità SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity) e da nuove caratteristiche tecniche come un tempo di set up della chiamata quasi nullo ed una qualità HD Voice. Il servizio VoLTE deve essere supportato da una architettura IMS (IP Multimedia Subsystem) che garantisce l'interoperabilità del servizio tra operatori diversi e verso il mondo a circuito. Il VoLTE verrà spesso accompagnato da un servizio di videochiamata ad alta definizione denominato ViLTE (Video over IP).

Con il fine di garantire il servizio VoLTE anche in copertura indoor è stato definito anche un accesso del servizio VoWiFi (Voice over Wifi) associato al VoLTE sul "tasto verde" del terminale, per offrire un servizio voce di alta qualità in maniera trasparente al cliente secondo una esperienza green button: il cliente per fruire il servizio voce userà ancora il tasto verde del cellulare, la chiamata sarà realizzata con continuità di servizio da ambienti indoor (in WiFi) a quelli outdoor (in LTE) e vi-

ceversa in totale trasparenza per l'utilizzatore. Anche il VoWiFi necessita di un'architettura IMS per garantire l'interoperabilità del servizio tra operatori e con l'accesso VoLTE, mentre sono in corso di definizione le architetture roaming di tali servizi basati su interconnessione IP.

Il servizio di messaggistica di nuova generazione destinato a soppiantare il SMS è il servizio RCS (Rich Communications Suite) basato su Instant Messagging e alcuni servizi popolari grazie a servizi Internet come il file sharing (es. foto e video). Come VoLTE anche RCS sarà accessibile direttamente dalla rubrica dello smartphone essendo fornito in maniera preinstallata sul terminale senza necessità di scaricare e aggiornare continuamente un' app come Whatsapp. RCS inoltre sarà accessibile a parti terze tramite APIs per fornire servizi di messaggistica da nuovi ambienti, come l'autovettura.

I servizi suddetti saranno offerti dagli operatori in maniera nativa, con garanzia di interoperabilità e qualità di servizio grazie all'utilizzo di bande licenziate in ottemperanza delle normative di sicurezza e privacy tipici dei mercati regolamentati. Sono già fruibili da players over the top (OTT) come Skype o Whatsapp secondo modelli di business free o premium, ma senza le garanzie di qualità e privacy offerte dagli operatori in quanto finanziati grazie alla condivisione dei dati di utente con il mondo della pubblicità.

Se i servizi core di voce e messaggistica descritti in precedenza saranno appannaggio degli operatori tradizionali, si configurano all'orizzonte nuovi servizi abilitati da tecnologie mobili che vedranno la nascita di ecosistemi più complessi, con la partecipazione di industrie come quelle bancarie, automobilistiche o delle utilities.

Le tecnologie mobile abilitanti non saranno solo quelle di reti ma vedranno in primo piano anche quelle che garantiscono la sicurezza e privacy, basati sulla SIM e sulle infrastrutture di autenticazione degli operatori mobili o di operatori capaci di offrire livelli equivalenti di trust.

Nel campo dell'identità digitale saranno fondamentali servizi di autenticazione che sapranno comprovare la identità di un cliente nell'uso di servizi digitali come previsto ad esempio dalla normativa SPID (Servizio Pubblico di Identità Digitale). Tali servizi si basano su diversi LoA (Livelli di Assurance) dell'identità, da quelli più semplici basati su username/psw a quelli tipo strong authentication come la firma digitale, che necessitano di certificati elettronici tipo PKI che vengono rilasciati da un identity provider a fronte del riconoscimento de visu. La gestione di certificati elettronici richiede un Secure Element (SE) ovvero di un HW sicuro come la SIM. Forme intermedie di autenticazione richiedono l'immissione di un PIN da inviare via SMS, USSD o un' App.

Strettamente connessi ai servizi di autenticazione saranno i sistemi di autorizzazione, in particolare per i pagamenti elettronici. Tali sistemi richiedono la virtualizzazione di un account bancario come la carta di debito o credito su un secure element e la sua gestione per mezzo di un Mobile Wallet (borsellino elettronico), tramite piattaforme trusted denominate TSM (Trusted Service Manager). Ad oggi si stanno affermando come piattaforme di autorizzazione quelle basate su tokens (gettoni di autorizzazione usa e getta) che non richiedono più un secure element e un TSM per la loro gestione, ma una semplice app.

Seppur ampiamente ripreso nel capitolo precedente si ribadisce l'importanza che rivestirà il paradigma Internet of Things (IOT) come nuovo scenario trainante il mercato post voce e post human della telefonia mobile. Le tecnologie abilitanti lo scenario IoT non saranno solo le tecnologie

di rete come le Low Power Wide Area (LPWA) networks ma anche tutte quelle capaci di garantire la sicurezza delle comunicazioni e l'autenticazione dei nodi. In tale ambito risulterà di grande importanza la diffusione della embedded SIM (eSIM), ovvero di un nuovo concept di SIM pensato per il mercato M2M grazie ad un sistema di remote provisioning, che permette il cambio del profilo operatore anche in fase post vendita, al contrario degli scatti attuali, che vede un profilo operatore indissolubilmente vincolato ad una SIM fisica spesso non rimovibile (es. in una macchina o smart meter). La eSIM potrebbe essere adottata anche dal mondo consumer (es. per tablets e eReaders).
Anche in ambito M2M un ruolo fondamentale sarà rivestito da tecnologie di sicurezza e autenticazione dei nodi.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le tecnologie precedentemente descritte fanno parte del programma strategico Vision 2020 di sviluppo del business della GSMA per conto della comunità mondiale degli operatori mobili. Tali tecnologie potranno godere di economie di scopo e di scala per un mercato mondiale che traguarderà i 6 miliardi di utenti mobili e 20 miliardi di utenti M2M. Andranno a beneficiare non solo l'industria delle TLC ma anche quella di una vasta serie di industrie adiacenti, che baseranno il proprio sviluppo di servizi / prodotti su reti ultralarga e su enablers del mondo mobile.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le reti a banda ultralarga sono già state standardizzate e si trovano in fase di dispiegamento sia nel campo fisso che nel campo mobile. In questo ultimo caso sono propedeutiche alle reti 5G descritte nel capitolo precedente.
Le altre tecnologie descritte si trovano in stato di sviluppo pre competitivo con trials già attivi in diversi mercati con grossi players coinvolti (es. per la eSIM, VoLTE, RCS). Le opportunità saranno legate non solo nello sviluppo degli enablers descritti ma anche nell'incorporarli nello sviluppo di prodotti e servizi terzi tramite APIs.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 4

RETI E SERVIZI RADIOMOBILI

DESCRIZIONE

Evoluzione dei servizi mobili

L'evoluzione dei servizi mobili ha come principale paradigma di riferimento quello di reti 5G che propongono una visione totalmente rivoluzionaria rispetto al passato. Sostanzialmente lo sviluppo di nuovi servizi quali, ad esempio, "Internet of Things" (IoT), Machine Type Communications (MTC) based on devices such as vehicular, utility, sensors, "Tactile Internet" richiederanno la disponibilità di una connettività capillare che possa garantire l'utilizzazione dei vari servizi in qualsiasi momento, ambiente e condizione in modo trasparente rispetto al dispositivo utilizzato o al tipo di tecnologia d'accesso disponibile. In tale contesto la mobilità è un ingrediente essenziale per consentire una connettività continua nello spazio, nel tempo e fra qualsiasi mezzo. D'altro canto, pero', dovrà essere possibile richiedere una fornitura di servizi personalizzati e specifici per le esigenze dei vari utenti nei più disparati campi di applicazione che vanno dal mondo della medicina a quello della sicurezza, o altri. In tal senso i sistemi 5G devono essere considerati come il prossimo passo per l'evoluzione delle comunicazioni mobili in quanto componente chiave della cosiddetta "Networked Society" che si basa proprio sul principio di consentire l'accesso all'informazione e la condivisione dei dati in ogni condizione di connettività ed ubicazione.

Le soluzioni 5G, pertanto, non richiederanno solo la connettività mobile per le persone, ma la estenderanno ad ogni tipo di dispositivo, abilitando la realizzazione di nuove applicazioni e "use cases" includendo servizi "wearables", "smart homes", ed applicazioni industriali di vario genere. In tale contesto, a differenza delle precedenti generazioni l'accesso wireless 5G non sarà visto come una specifica tecnologia radio d'accesso, quanto piuttosto come una soluzione d'accesso che abilita le comunicazioni mobili per il prossimo futuro ed oltre il 2020.

In tale contesto, la tecnologia LTE, pur dovendo garantire l'interlavoro coi sistemi attuali, avrà un ruolo importante per le soluzioni 5G basate su bande di frequenza sotto i 6GHz. Si prevede, infatti, che intorno al 2020 ci sarà uno sviluppo massivo di LTE che abiliterà un ingente numero di dispositivi operanti in tali bande. Ad ogni modo la possibilità di introdurre funzionalità 5G compatibili con soluzioni installate, assicurerà che i dispositivi legacy possano continuare ad essere serviti sulla stessa portante, a grande beneficio di operatori che hanno limitate risorse spettrali.

In parallelo, emergeranno nuove tecnologie di accesso radio (RAT) non compatibili con l'installato, per lo più relative a nuovi porzioni di spettro. In una prospettiva di lungo termine, comunque, le nuove tecnologie migreranno probabilmente a lavorare in porzioni di spettro esistenti.

In tale scenario si prevede una aumento di traffico con caratteristiche di seguito riportate:

- La velocità di trasmissione dei servizi aumenterà di vari ordini di grandezza che vanno dalle decine al centinaio rispetto a quelli attuali, e che si svilupperanno in aree urbane particolar-

mente dense con un tipico valore di rate per utente che può arrivare alla decina di Gb/s.
- Il volume di traffico per area e per utente sarà oltre i 100 Gbps/km^2, che corrisponde a circa 500 Gbyte/utente/mese.
- Il numero di dispositivi connessi aumenteranno di ordini di grandezza che vanno dalla decina al centinaio.
- Dovrà essere possibile il supporto di applicazioni che richiedono tempi di risposta ultra veloci, come, ad esempio, nel caso di servizi "tactile Internet" per i quali si richiede un valore di latenza "End-to-End" minore di 5 ms.

In aggiunta alle nuove applicazioni, la comunicazione E2E fra dispositivi (MTC) sarà di rilevante importanza. In particolare, tali tipi di comunicazioni si dividono in due gruppi: MTC massivi e MTC critici.
La categoria di MTC massivi tipicamente coinvolge un ingente numero di dispositivi di differente tipologia come sensori, attuatori o dispositivi simili. Questi, solitamente devono essere comunicazioni a basso costo e ridotto consumo di energia in modo da consentire l'utilizzo di batterie.
Allo stesso tempo l'ammontare di dati generato da ciascun dispositivo è esiguo e la latenza non è un requisito stringente. In tal caso, la connettività fra tali dispositivi potrebbe essere fornita mediante reti "capillari" invece di connettività diretta. Nelle reti capillari, la connettività locale è fornita mediante interfacce trasmissive radio (RAT) cosiddette short range come, ad esempio, Wi-Fi, Bluetooth, o 802.15.4/6LowPAN. La connettività wireless oltre l'area locale è fornita mediante la rete mobile attraverso un nodo di gateway.
La categoria di MTC critici, invece, corrisponde ad applicazioni nell'ambito della salute/sanità, controllo di infrastrutture critiche e connettività wireless per processi industriali. Tali applicazioni richiedono un alto livello di affidabilità della connettività wireless e sono spesso associati a requisiti stringenti di latenza. Del resto il numero di dispositivi coinvolti ed il consumo di potenza è meno critico rispetto a quanto non lo sia per le applicazioni MTC di tipo massivo.
Risulta evidente come sia rilevante poter provvedere una differenziazione nella fornitura dei vari servizi inclusi quelli mobili a larga-banda e un'ampia varietà di servizi MTC utilizzando lo stessa tecnologia di accesso wireless nello stesso spettro.

Impatto sull'infrastruttura di rete

Le reti tradizionali, basate su un'architettura verticale, erano sostanzialmente concepite per essere applicate alla fornitura di singolo servizio con traffico predicibile nel tempo. L'architettura risultante, però, mal si adatta alla variazione di domanda degli utenti e al soddisfacimento di sfidanti requisiti degli use cases emergenti. Principale limite è quello di minimizzare sia i tempi di fornitura di servizi che il loro costo.
Gli operatori come anche le enterprises, vorrebbero fornire e gestire servizi a costi molto ridotti pur garantendo un adeguato livello di qualità. Per far ciò, le entità di management nei sistemi 5G necessiteranno di fornire processi di provisioning del servizio in modo automatizzato e di coordinare risorse collocate in "cloud" per sistemi dinamici complessi che richiedono il controllo dell'accesso alle risorse e la gestione della qualità del servizio. Data la crescente domanda di

Servizi Level Agreement (SLA) dinamici, la rete necessita di giocare un ruolo più attivo dove la funzionalità di orchestrazione tipo E2E ha il compito fondamentale di collocare le funzioni di rete virtualizzata sulle risorse che sono fisicamente vicine ai vari utenti.
Nuove tecnologie saranno necessarie per far fronte all'ingente aumento di carico di traffico da gestire, come, ad esempio, nuove funzioni per la Radio Access network (RAN) basate sulla automazione di "data analytics".
Le tecnologie Cloud in congiunzione con il paradigma software-defined networking (SDN) and Network Functions Virtualization (NFV) forniscono i tool abilitanti alla realizzazione di infrastrutture con un più elevato grado di astrazione con il grande vantaggio di aumentare in modo consistente il grado di flessibilità della rete.
Sostanzialmente Cloud, SDN e NFV permettono di realizzare delle architetture orizzontali che possono essere combinate (chained) insieme in modo rapido e semplice mediante un adeguato livello di programmabilità e di virtulizzazione, così da poter fornire servizi in modo scalabile, rapido e facilmente adattabile ai vari use cases.
NFV, separando l'hardware dal software, consente alle funzioni di rete di essere implementate in modo progammabile invece di essere dei veri e propri componenti hardware. Tale capacità permette di fornire servizi on demand in modo scalabile. Grazie alla virtualizzazione, infatti, il maggiore beneficio del paradigma NFV è la flessibilità di eseguire le funzioni di rete indipendentemente da dove sono localizzate geograficamente. Come conseguenza, la stessa funzione di rete può essere eseguita in differenti locazioni. In base allo specifico use case, una funzione di rete potrebbe essere eseguita in un Data Center (DC) o in prossimità di una stazione radio base. A seconda della posizione geografica di dove la funzione è posizionata in rete ci possono essere diversi valori di latenza. Questo è uno degli aspetti critici da considerare nella evoluzione delle reti. Da un lato, infatti ci si spinge verso una centralizzazione di molte funzioni concentrandole in data centers con il conseguente vantaggio di riduzioni di costi di esercizio. D'altro canto, però, i stringenti requisiti di latenza e di basso costo che i nuovi servizi richiedono, spingerebbe a posizionare alcune funzioni più in prossimità delle stazioni radio base. Altro elemento importante è il costo del trasporto per collegare i vari data centers in rete, in quanto risulta difficilmente riducibile. In tal senso, soprattutto nel segmento di rete di accesso, l'organizzazione di funzioni in sistemi "cloud" non sembra così promettente. La centralizzazione di dispositivi di processing in central office controllati è la soluzione target a cui ci si spinge in modo da avere vantaggi sia in termini di riduzione di costi di esercizio che di vantaggi di maggior coordinamento fra le varie celle radio, ma la estremizzazione delle centralizzazione mediante l'organizzazione di tutte le funzioni in cloud non sembra essere stata risolta mediante soluzioni che effettivamente siano in grado di garantire bassi costi, basso consumo di potenza, e bassa latenza.
Nei sitemi 5G, le reti saranno ulteriormente astratte in delle cosiddette "network slices", definite come un numero di funzioni software defined networking capaci di gestire coperture di aree geografiche, in termini di durata, capacità, velocità trasmissiva, latenza, robustezza e sicurezza .
Il concetto base di network slice, non è del tutto nuovo e ne esistono esempi nelle diverse tecnologie di trasporto tradizionali come ad esempio quello di Virtual Private Network (VPN), che però si evolve ed assume un significato del tutto nuovo in questo contesto. Sostanzialmente per network

slicing si intende la capacità di fornire un vero e proprio servizio di rete on-demand capace di rispettare requisiti stringenti.
I principi base sono quelle di organizzare i servizi e la rete in layers, ognuno dei quali in un rapporto client and servier con quelli sottostanti in modo da definire in modo inequivocabile responsabilità e ruoli di ciascun layer.
SDN è un modello abilitante del paradigma NFV e, di conseguenza, all'organizzazione di reti in slices, in quanto permette di organizzare le infrastrutture di rete separando fisicamente il piano dati con quello di controllo che viene centralizzato ed implementato in framework architetturali, come ad esempio Open Day Light (ODL): esso offre interfacce standard per il controllo del piano dato ed access programmable interface (API) che permettono agli operatori di programmare le varie funzioni di rete per realizzare i vari servizi in modo agnostico alle tecnologie del piano dati. Tale livello di completa flessibilità e programmabilità di rete però, se ben si adatta a segmenti di rete tradizionalmente indicati come "core" e "metro", non ha un'immediata applicazione alla parte di accesso radio dove i requisiti stringenti di costo e latenza potrebbero non essere pienamente compatibili con l'architetura SDN. La centralizzazione di funzioni di rete è comunque una caratteristica importante per la riduzione di costi in contesti altamente densi. Se tale centralizzazione di alcune funzionalità, però, porti ad una applicazione del modello "Cloud" anche nella parte di accesso radio non sembra al momento molto chiaro.
La centralizzazione di alcune funzioni di processing radio sta portando all'introduzione di nuovi segmenti di rete anche nella parte di accesso radio fra le unità di antenna e le unità di processamento attualmente collocate nello stesso dipositivo. Il successo di tali modelli architetturali, però, dipende fortemente dalla capacità di definire soluzioni di networking a basso costo ed alta capacità in grado di soddisfare requisiti trasmissivi abbastanza stringenti. È il caso, ad esempio, di reti di "fronthaul" per il trasporto di comunicazioni CPRI tra le unità di antenna remote e i corrispondenti unità di processamento centralizzate.
Un altro tipo di comunicazione da considerare nell'ambito di reti mobile è quella definita come comunicazione diretta device to device (D2D). Recentemente introdotta come specifica dei sistemi LTE è la comunicazione diretta device-to-device (D2D), tale funzionalità dovrà essere completamente riconsiderata nell'ambito dei sistemi 5G, dove si considerano comunicazioni peer-to-peer direttamente tra i dispositivi come anche, ad esempio, l'utilizzo di dispositivi mobili, che agiscono da relay per estendere la copertura di rete. Le comunicazioni D2D nell'ambito dei sistemi 5G dovrebbero essere parte integrante delle soluzioni di accesso wireless piuttosto che delle soluzioni indipendenti, allo scopo di estendere ed arricchire l'efficienza delle reti stesse. Motivo principale infatti per considerare tali comunicazioni sotto il controllo di rete, è la necessità di evitare delle interferenze incontrollate che causerebbero, specialmente nell'ambito di porzioni di spettro licenziato.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'evoluzione di sistemi 5G definirà nuovi modelli di business con nuove tipologie di customers e partnership. Particolarmente rilevante saranno l'impiego massivo di servizi MTC per una serie di applicazioni quali fabbriche intelligenti, assistenza a distanza, automazione della logistica.

La mobilità sarà un fattore abilitante alla realizzazione di tali nuovi modelli di servizio richiedendo l'estensione di nuove interfacce radio, la gestione E2E della rete che si estenderà con nuovi segmenti.
In tal senso particolarmente sfidante sarà la realizzazione di reti capillari spesso realizzate mediante funzionalità di realays su dispositivi stessi, ad esempio sfruttando le funzionalità D2D della tecnologia LTE.
L'impatto che i servizi 5G sarà tale che si predice un aumento di utenze "smartphone" da 1.2 miliardi del 2012 a 4.5 miliardi entro il 2018, che fa prevedere un corrispondente aumento di traffico dati per la rete mobile di circa 12 volte rispetto a quello attuale entro il 2018. Tale enorme quantità di traffico sarà inoltre caratterizzato da requisiti molto stringenti e sfidanti in termini di bassa latenza, ridotto consumo di energia, basso costo e soprattutto, un massivo utilizzo di dispositivi in contesti a densità di popolazione estremamente elevata. Di particolare interesse, inoltre, sarà la realizzazione di soluzioni di management e di orchestrazione E2E, che permetterà l'armonizzazione di domini molto eterogenei fra loro in modo da organizzare le reti secondo una stratificazione che possa permettere facilmente di esporre le funzionalità di rete verso vari operatori, che in modo agnostico possano definire nuovi servizi con tempi di mercato e costi molto ridotti. Anche da un punto di vista tecnologico sarà importante l'introduzione di tecnologie nuove a basso costo per la realizzazione dei nuovi segmenti di rete.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Al momento la definizione dei sistemi 5G è ad uno stato iniziale, per lo più confinato a livello di ricerca o poco più che prototipale. NGMN ha definito il requisito principale e l'impatto sulle reti.
Relativamente all'utilizzo di modelli cloud per il segmento di rete mobile, invece, ci sono delle sperimentazioni in campo ma sostanzialmente non si hanno ancora delle soluzioni commercialmente pronte, che coniugano i requisiti di latenza, banda con quelli di basso costo.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 5
DISPOSITIVI E SISTEMI

DESCRIZIONE

In questo capitolo si fa riferimento alla vasta casistica di soluzioni elettroniche e fotoniche che non ricadono più specificatamente nelle altre aree tematiche trattate. A livello indicativo, queste soluzioni possono essere raggruppate nelle seguenti famiglie:

- Home & office
- Enterprise & specialized systems
- Infrastrutture ICT
- Dispositivi mobile
- Dispositivi wearable
- Sistemi medicali
- Internet of Things / Internet of Everythings

In considerazione delle expertises, know how tecnologico presente in Italia, possibilità di effettuare attività di ricerche significative, presenza industriale, la trattazione si focalizzerà su un sottoinsieme delle aree tematiche.

Internet of Things / Internet of Everything

L'internet of things, o sempre più comunemente IoE Internet of Everything, rappresenta la proiezione dell'evoluzione tecnologica dei sensori e delle comunicazioni nelle due forme principali di interazione: Man to Machine e Machine to Machine communication. In questa prospettiva, gli oggetti creano un sistema pervasivo ed interconnesso avvalendosi di molteplici tecnologie di comunicazione (tipicamente a corto raggio).

Per la grande parte, l'architettura dei sistemi IoT, in particolar modo quelli embedded, si può riportare alla figura 12:



FIG. 12 ARCHITETTURA DEI SISTEMI IOT, 2015

Tale sistema può essere oggi realizzato grazie ad una serie di continue "piccole" ma costanti inno-

vazioni in 4 aree principali legate alla microelettronica:

Tecnologie legate al silicio:

- Moore's Law Miniaturization
- More than Moore Functionalities
- 3D Structure: i.e. MEMS
- Through-Silicon Vias

Nuovi materiali:

- Getters
- Polimeri
- Shape Memory Alloy
- Piezoelectrico(PZT)
- SiC & GaN
- Grafene

Packaging:

- Wafer Level Packaging (Staked Multi Dice)
- Nuove Interconnessioni (Bondless, Sintering, Cu on Cu)
- Smart System In Package (SiP)

Proprietà intellettuale e SW:

- Orientation & Localization Algorithms
- Embedded Predictive & Reactive Capabilities

Tra le aree sopra esposte, quella che probabilmente sta raggiungendo ora una maturità tecnologica e che si pone come il mattone fondamentale è quella legata ai MEMS. Per avere un'idea del livello di pervasività che stanno raggiungendo, si consideri la seguente elencazione non esaustiva di "classi" di applicazioni:

Motion MEMS

- Accelerometri
- Bussola
- Giroscopi
- Brain

Environmental MEMS

- Pressione
- Temperatura
- Umidità
- Chemicals
- Infrarossi

Microattuatori

- Elettrostatici
- Piezoelettrici
- Termici

MEMS acustici

- Microfoni
- Altoparlanti

Tutte queste tecnologie e le applicazioni da essa derivate sono legate ad una tecnologia fondamentale: la comunicazione. Mentre i primi sistemi sfruttavano principalmente i tag RFID, si è sentita ben presto la necessità di nuove tecnologie in grado di rendere più efficiente la comunicazione tra gli oggetti.
Tra esse spicca lo standard IEEE 802.11 (Wi FI) e, soprattutto, il suo recente emendamento IEEE 802.11.ah (sub Ghz), in grado di incrementare notevolmente l'affidabilità dei collegamenti a radio frequenza e l'efficienza energetica, grazie all'adozione di frequenze sotto il GHz. Un'altra tecnologia di interesse è la Wi FI WSN (wireless sensor network9) che indirizza reti dense di dispositivi interoperanti. Queste tecnologie di più basso livello, quando integrate in architetture protocollari basate sul protocollo IP, possono dar concretamente vita alla visione dell'Internet delle cose, essendo in grado di dialogare con i nodi della rete Internet. In tal senso, è importante menzionare i protocolli IETF 6LoWPAN, RPL, e CoAP, in grado di creare operativamente una rete IP di oggetti che può dialogare con la rete Internet per creare nuovi servizi in molteplici domini applicativi.
Oltre a dispositivi basati sulla microelettronica, anche dispositivi ottici e fotonici, in particolare sensori, possono essere parte integrante di IoT. Questi ultimi sono applicati alla rilevazione di specie chimiche e biologiche in svariati ambiti, fra cui:

- Analisi della qualità del cibo
- Sicurezza
- Diagnosi medica
- Monitoraggio ambientale

In generale, il rilevamento di sostanze con metodi ottici può essere estremamente sensibile, specialmente quando vengono sfruttati fenomeni come la risonanza plasmonica su superfici metalliche. Inoltre, sensori che utilizzano spettroscopie vibrazionali come metodo di rilevazione, sono dotati di notevole specificità in quanto possono distinguere una sostanza da un'altra sulla base del loro fingerprint vibrazionale. Molto spesso i sensori ottici permettono anche di analizzare un campione senza deteriorarlo.
Per quanto riguarda l'analisi della qualità del cibo, è stato dimostrato che sensori ottici plasmonici sono in grado di riconoscere patogeni come Escherichia coli o la Salmonella enteritidis, tossine e contaminanti chimici. Dal punto di vista medicale, sono state efficacemente condotte, con sensori ottici plasmonici, analisi dei marker tumorali del cancro alla prostata, di anticorpi specifici del virus dell'epatite e dei metaboliti di sostanze stupefacenti quali eroina e morfina.
Alcuni esempi di potenziale utilizzo di queste tecnologie su larga scala riguardano per esempio il controllo in linea di processi produttivi per verificare la qualità e il corretto impacchettamento del cibo, oppure il miglioramento della sorveglianza e della sicurezza negli spazi pubblici attraverso l'identificazione di materiali pericolosi o proibiti.
La regione spettrale più favorevole per l'utilizzo dei sensori ottici è quella dell'infrarosso esteso,

poiché in questa regione è possibile riconoscere in maniera specifica diversi composti all'interno di un campione, grazie al loro fingerprint vibrazionale; inoltre, i tessuti biologici sono trasparenti nell'infrarosso, permettendo di eseguire analisi in profondità in maniera non invasiva. Lo svantaggio attualmente riconosciuto è che sorgenti luminose e sistemi di rilevazione nell'infrarosso sono ancora molto costosi rispetto ai loro analoghi nel visibile.
Pertanto una più larga diffusione di queste tecnologie richiede il coinvolgimento di KETs (quali advanced materials, micro-nano electronics, advanced manufacturing) che permettano lo sviluppo di materiali e dispositivi con un migliore rapporto prestazione / prezzo nell'infrarosso.
Dalla semplice lettura delle tecnologie coinvolte, appare chiaro che se la ricerca di base in tali settori è naturalmente di competenza delle industrie di semiconduttori e dei laboratori specializzati di ricerca, il loro utilizzo all'interno di applicazioni e/o prodotti è esattamente nelle capacità della PMI italiana.

Dispositivi wearable

Dopo anni di promesse, la tecnologia ha finalmente raggiunto il livello in cui è effettivamente possibile integrare funzionalità e sensori all'interno di oggetti senza "snaturarne" la forma e/o creare nuovi oggetti ad hoc. In questa ottica, il fitness rappresenta il primo concreto mercato dove iniziare la progressiva integrazione dell'utente con i sensori indossati. Tra questi troviamo ad esempio:

- Activity monitors
- Smart watches
- Smart fashion accessories
- Glasses
- Sport related

Prima di entrare nelle prospettive tecnologiche di queste famiglie. È importante ricordare che in tutte queste soluzioni, il design della forma dell'oggetto e la scelta degli opportuni materiali ha un'importanza pari, se non superiore, al contenuto tecnologico intrinseco dell'applicazione. Un esempio su tutti sono gli smart watches. L'Italia è ai vertici del design di accessori legati al mondo della moda, e questo dovrebbe spingere a sinergie fra settori sino ad ora slegati, quali appunto fashion e IT.
A livello architetturale le soluzioni wearable presentano generalmente la stessa struttura già illustrata. La differenza principale consiste nelle estremamente ridotte dimensioni dell'oggetto e nella necessità di integrare sensori specializzati. Il basso consumo risulta quindi una necessità vitale.

Sistemi medicali

Una particolare classe di dispositivi è quella dei sistemi medicali. Per questi ultimi valgono le generiche indicazioni architetturali già esposte, ma con considerazioni relative all'affidabilità, precisione e durata nettamente superiori. Ad esempio, se per uno sportivo è sufficiente un'indicazione abbastanza precisa del numero di battiti, nell'equivalente medicale è necessario il numero esatto, possibilmente integrato da indicazioni sul numero di respiri e possibilmente un elettrocardio-

gramma. In termini prospettici, questo è uno dei settori di maggior interesse industriale. Uno dei principali limiti allo sviluppo è rappresentato dalla difficoltà di comunicazione fra due mondi che sinora sono stati "lontani": la microelettronica e la medicina. La prima dispone delle tecnologie, e ne realizza sempre di nuove, mentre la seconda in molti casi sa cosa vorrebbe misurare ma non immagina che sia possibile. Quello che rende difficile questa comunicazione è che mancano le figure in grado di raccordare efficacemente i due mondi, anche se la crescente diffusione di tali sistemi sta facendo aumentare costantemente il numero di queste figure.
A livello di prodotti, questi devono sottostare a lunghe e rigorose procedure di validazione dei sistemi realizzati.

Dispositivi mobile

I dispositivi mobile rappresentano la colonna fondante di gran parte dello sviluppo tecnologico dell'ultimo decennio. Quasi tutte le tecnologie che caratterizzano lo scenario attuale sono derivate dalle ricerche che hanno portato al passaggio dal telefono cellulare allo smartphone: capacità di calcolo ad altre prestazioni e con consumi ridotti, connessione a larga banda,Wi-FI BT e NFC, GPS, fotocamere, sensori MEMS.
Parte di queste innovazioni sono nate come singole applicazioni (per esempio i navigatori satellitari) per poi venire inglobate e trasformate a loro volta in applicazioni integrate con altre, quali quelle "social" (Facebook, Twitter, WhatsApp, ecc).
Anche dal punto di vista del mercato, le prospettive economiche del settore appaiono più che interessanti. La crescita del mercato delle app per smartphone particolarmente vigorosa nel settore dei test medicali, è evidenziata dalla nascita di numerose start-up negli USA, in Europa e nei paesi asiatici. Per i test si usa una varietà di tecnologie, da semplici strisce di carta usa e getta bio-funzionalizzate con anticorpi a schede applicate allo smartphone contenenti circuiti microfluidici e nanoparticelle plasmoniche.

Embedded SW

Un elemento che non deve assolutamente essere trascurato è la produzione di SW di qualità che accompagni e dia vita alle soluzioni HW. In tutte le categorie citate, il SW rappresenta una complessità analoga a quella della realizzazione su silicio e, al contempo, consente una maggiore possibilità di differenziare la propria soluzione dai concorrenti pur partendo da una base HW simile. Il vantaggio si amplifica qualora le due progettazioni avvengano in modo corrente tramite tecniche di Codesign, in modo tale da enfatizzare i propri punti di forza e minimizzare le deficienze. In questo caso si può effettivamente affermare che la combinazione è maggiore della somma delle parti.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Come illustrato nell'introduzione, le tecnologie proposte si collocano trasversalmente su tutte le varie tipologie evidenziate nella descrizione, dall'Home/office all'IoE/IoT.
Con il continuo processo di distribuzione delle funzionalità sul Cloud, le architetture stesse dei vari sistemi cessano di essere morfologicamente stabili e assumono sempre più una connotazio-

ne liquida per adattarsi alle mutate necessità. La sempre maggiore accettazione a livello sociale di comportamenti digitali e la nascita di nuove applicazioni industriali, che sfruttano la sempre crescente mole di dati con la connessa ricerca da parte dei consumatori di dispositivi e/o sistemi in grado di soddisfare le loro esigenze, forniscono una spinta molto forte per l'industria. Diventa quindi prioritario per quest'ultima proporre soluzioni in linea con le aspettative.
Lo sforzo necessario nell'ambito di ricerca è soprattutto rivolto allo studio di soluzioni integrate e di soluzioni di interoperabilità tra le varie tecnologie (MEMS e altri sensori). Tale sforzo necessita di un sempre più spinto livello di coordinamento e standardizzazione non solo a livello nazionale, ma anche europeo, per riuscire ad avere un mercato competitivo con quello americano ed asiatico, sempre più agguerriti. Per avere successo in tale ambito si rende indispensabile un attento lavoro di coordinamento nazionale fra le parti interessate (industrie, ministeri e università/centri di ricerca). È importante anche il contributo che la ricerca può dare al miglioramento delle prestazioni e alla riduzione dei costi dei dispositivi, favorendone la diffusione in diversi importanti settori applicativi. Si ritiene quindi importante proseguire nella ricerca e nell'innovazione di tecnologie e prodotti. Tale sviluppo non può comunque in nessun caso non essere integrato in un discorso più ampio che tenga conto di altri aspetti quali la sicurezza dei dati, la gestione di politiche del copyright, il software di gestione dei sistemi stessi, etc.
La presente tecnologia prioritaria risulta quindi estremamente interessante dal punto di vista generale e può dare un significativo impulso all'economia, grazie alla pervasività che ne caratterizza le soluzioni e alla possibilità di PMI di entrare efficacemente sul mercato con soluzioni originali e competere quindi a livello mondiale.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Per quanto riguarda la realizzazione di dispositivi, in Italia esistono delle realtà industriali, quali la ST-Microelectronics, che sono in grado di competere con le equivalenti aziende estere nella realizzazione di componenti basati su silicio. A questo si affianca una pletora di aziende di sistema che sono in grado di integrare le varie soluzioni tecnologiche di base in sistemi. In ambito universitario, il Consorzio INSTM svolge un importante ruolo nel promuovere l'attività di ricerca che viene svolta nelle Università consorziate nel settore della Scienza e Tecnologia dei Materiali. Nell'ambito dei materiali e delle tecnologie utilizzabili nella fotonica e nell' ICT sono attivi numerosi gruppi che, a solo titolo di esempio, si occupano della modifica chimica e funzionalizzazione del grafene, di polimeri coniugati e nanostrutture multifunzionali per applicazioni biomediche, dispositivi basati su materiali fotocromici e ossidi semiconduttori, patterning 3D a due fotoni.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 6

TECNOLOGIE PER "HOME NETWORK"

DESCRIZIONE

Nella precedente edizione di questo lavoro relativa al 2012, si era identificato lo smartphone come l'elemento di accesso privilegiato alla Home network. Questo dispositivo era stato correttamente identificato come l'abilitatore principale della "bolla digitale centrata sull'utente" grazie alla sua capacità di dialogare con le varie tipologie di rete presenti nell'ambiente.

Nel corso dei tre anni trascorsi, il panorama si è ora ulteriormente modificato nell'includere non più semplicemente l'utente che dialoga con l'ambiente circostante, ma anche l'ambiente che sempre più "digitalizzato" interagisce con lui. Questo è principalmente dovuto alla sempre maggiore pervasività di tecnologie quali la Internet of Things/Internet of Everything.

Fulcri di questa digitalizzazione sono i sensori che stanno permettendo di monitorare l'ambiente e gli utenti stessi. Chiaramente per ottenere questo risultato le tecnologie richieste vanno ben oltre le potenzialità dello smartphone stesso sia in termini di capacità di processamento che di immagazzinamento dell'informazione. Il cloud, sia come funzione di storage che di processing fornisce il primo aiuto indispensabile. Il secondo aiuto, o piuttosto necessità, è la disponibilità di tecnologie di comunicazione Low power ad alta efficienza, visto che una delle più significative caratteristiche della IoT/IoE è di essere praticamente always on.

La proiezione di questo scenario sull'ambito "home network" permette quindi di individuare alcune fra le funzionalità e/o tecnologie che ci si aspetta saranno maggiormente presenti nella realizzazione effettiva delle soluzioni e quindi più attrattive per attività di ricerca industriale.

Energy Efficient Radio su Flexible Radio

Il termine Internet of Things -IoT- è un concetto relativamente recente che si sta diffondendo ovunque e, dopo aver varcato il confine dell'ambiente lavorativo, sta iniziando ad accompagnarci in molti aspetti della nostra vita quotidiana.

Con questo nuovo paradigma, in un futuro non troppo lontano, ogni dispositivo che potrà essere collegato alla rete formerà una rete gigantesca (cloud) di nodi interconnessi in grado di raccogliere informazioni, elaborare dati e comunicare con altri nodi. Tutto ciò impatterà sostanzialmente nel modo in cui viviamo e nel nostro modo di lavorare (Forbes).

Negli ultimi 30 anni abbiamo assistito dapprima alla diffusione dei computer collegati tra loro attraverso la rete e ciò ha permesso di comunicare su lunghe distanze e avere accesso a quantità e qualità di informazioni inimmaginabili fino a quel momento. Successivamente gli smartphones, piccoli e maneggevoli, hanno consentito di accedere alla cloud in mobilità, senza la necessità di essere vincolati ad un cavo di rete, permettendoci di accedere alle applicazioni di nostro interes-

se praticamente da ogni luogo: dal divano di casa alla spiaggia o dall'automobile per cercare l'indirizzo di un luogo sconosciuto.
È facile immaginare che questo trend continuerà ininterrotto nel prossimo futuro ramificandosi nei sensori più disparati per rilevare ogni forma di dato utile: il livello di inquinamento, un incidente, una fuga di gas o altro ancora.
Per fare tutto questo occorre sviluppare una nuova generazione di dispositivi intelligenti che solo all'apparenza assomigliano a quelli attuali. Essi dovranno fondere assieme un sensore (es. una telecamera, un rilevatore CoxE), un microprocessore e un link radio. Il tutto a un costo estremamente ridotto per consentire di installare milioni o miliardi di dispositive per tutto il pianeta con un investimento sostenibile.
In un ambiente residenziale o commerciale (indoor) caratterizzato da geometrie limitate nello spazio e stabili nel tempo, i sistemi basati su WiFi che operano nelle bande libere a 2.4 o 5 GHz sono già oggi una realtà.
Tuttavia per poter operare al di fuori dei muri perimetrali e coprire distanze maggiori (es 1Km rispetto ai 10-20 m del WiFi) occorre una tecnologia assai diversa.
Oggi sono disponibili prevalentemente soluzioni proprietarie capaci di trasmettere flussi di dati piuttosto limitati e incapaci di inter operare tra di loro. La specificità dell'offerta fa sì che nel caso si rendesse necessario modificare l'impianto installato, i costi di manutenzione potrebbero essere molto elevati.
In sintesi, l'IoT del futuro sarà fondato su 5 pilastri fondamentali:

1. Il primo cardine è certamente l'aspetto economico per consentirne la diffusione su larga scala.
2. La sicurezza è il secondo aspetto importante per garantire che dati sensibili non vengano alterati o catturati in modo fraudolento. Si pensi ad esempio ai pagamenti per servizi.
3. Maggiore capacità di trasmissione dati per consentire attività di streaming o aggregazione dati.
4. Facilità di accesso attraverso alla rete mediate protocolli standardizzati (IPv6 giocherà un ruolo fondamentale in questi scenari, prevedendo che sia il vero punto di interoperabilità tra le diverse sotto reti fisiche come IPv4 lo è stato per internet come lo conosciamo oggi).
5. Elevata efficienza energetica.

Con la ratifica degli standard radio IEEE 802.15.4g e 802.11ah che regolamentano perfettamente tutti questi aspetti, sarà possibile avere interoperabilità tra diversi service-provider e sarà possibile sostituire o aggiungere risorse hardware provenienti da innumerevoli fornitori indipendenti. Il tutto occupando bande di frequenza libere senza i costi aggiuntivi introdotti da un operatore di TCL.
Lo sviluppo di una Software Defined Radio (SDR) innovativa è l'estrema sintesi della flessibilità necessaria per potersi adattare alle diverse bande di frequenza e alle svariate modalità di funzionamento specificate da questi standard.
Una delle sfide fondamentali per la SDR, è quella di bilanciare la flessibilità con l'efficienza energetica. Un sensore collocato all'esterno non sempre ha accesso alla linea elettrica e per la maggior

parte delle volte deve essere alimentato con delle batterie, magari abbinate a un piccolo pannello solare. Nel suo insieme, una rete di un miliardo di sensori comporta il consumo di una notevole quantità di energia. Energia che deve essere prodotta da centrali elettriche o fornita da batterie. In entrambi i casi si ha un forte impatto ambientale che causa inquinamento e produce scorie per l'ambiente.
C'è quindi una forte esigenza di sviluppare nuove SDR sempre più efficienti e sofisticate, capaci di sfruttare ogni possibile accorgimento per ridurre il consumo di potenza. Ci sono vari metodi per esplorare lo spazio delle soluzioni su come ottenere l'efficienza energetica in un sistema SDR. Oltre allo sviluppo tecnologico occorre la flessibilità e l'adattabilità intrinseca di una soluzione programmabile su cui innestare algoritmi adattativi che in funzione del profilo di utilizzo gestiscano in modo 'smart' le risorse disponibili.
La scelta di quale canale a radiofrequenza utilizzare, la banda occupata, la potenza trasmessa sono solo alcuni dei parametri che devono essere gestiti attentamente per minimizzare l'energia consumata e allo stesso tempo evitare di interferire con altri smart-nodes. La ricerca ha davanti se ancora molti quesiti a cui si cerca ancora una risposta per ottimizzare non solo la trasmissione punto-punto ma la gestione della rete a livello globale.

Sistemi Smart Grid

I sistemi Smart Grid (SG) stanno diventando sempre più popolari e si riferiscono ad una "griglia" di elettrodomestici dotati di funzionalità di misurazione intelligenti, come il monitoraggio dei consumi e la lettura dei contatori a distanza, che possano essere utilizzati per migliorare l'efficienza dei consumi energetici del cliente o per fatturare i consumi.
La tecnologia SG ha campo applicativo molto vasto dato che l'introduzione dei relativi dispositivi implica una fondamentale riprogettazione della rete di distribuzione di energia elettrica e del settore dei servizi. Tuttavia il termine è spesso usato in combinazione con "contatori intelligenti", che invece rappresentano solo una parte, o meglio un fattore abilitante della SG più generale, ma da solo non costituisce una SG.
Per la loro configurazione, le classi di dispositivi che si prestano maggiormente per attività di ricerca industriale per PMI sono:

In home displays (IHD)

Sono dispositivi che comunicano in modalità wireless con un contatore intelligente e permettono di visualizzare l'attuale consumo energetico delle famiglie in un formato leggibile sullo schermo. La classe più semplice di questi IHD è rappresentata da sistemi autonomi che non svolgono alcuna funzione oltre a presentare il consumo di energia, a livello di casa o fino al livello del singolo individuale dell'apparecchio/dispositivo senza però implementare alcun controllo o automazione di altri sottosistemi esistenti all'interno della casa, senza avere quindi la possibilità per i servizi di implementare di programmi di tipo Demand Response (DR). Soluzioni più integrate prevedono invece l'utilizzo della Home area network (HAN), per interallacciare ed integrare diversi dispositivi presenti in casa quali termostati, elettrodomestici intelligenti, interruttori di controllo del carico, lampadine wireless e spine intelligenti / morsettiere di uscita, tutte possono

essere spente da un programma di DR. Per avere un idea di questo mercato abbastanza facilmente accessibile sul piano industriale e delle sue potenzialità, si valuti l'acquisizione da parte di Google della Nest per 3.2 B$.

Smart appliances

Il termine Smart Appliance rispetto alla Smart Grid riferisce ad una modernizzazione del sistema di consumo di energia elettrica di un elettrodomestico in modo che controlli, protegga e regoli automaticamente il suo funzionamento in base alle esigenze del suo proprietario. Secondo il Libro bianco sulle Smart Grid (uscito nel dicembre 2009) le seguenti sei caratteristiche fondamentali sono associati con elettrodomestici intelligenti:

1. L'informazione dinamica sui prezzi dell'energia elettrica che viene fornita all'utente, offrendo quindi la possibilità di regolare la domanda di consumo di energia elettrica in base al costo;
2. Può rispondere a segnalazioni dei fornitori di energia per contribuire agli sforzi per migliorare la capacità di gestione picco della Smart Grid e risparmiare energia:
   a. Fornendo promemoria al consumatore per spostare l'utilizzo ad un orario del giorno dove i prezzi dell'elettricità sono inferiori, o
   b. Riducendo l'utilizzo sulla base di linee guida precedentemente stabilite dal consumatore e/o tramite comandi manuali;
3. Garantendo l'integrità del suo funzionamento tramite la regolazione automatica per rispondere a situazioni di emergenza e/o aiutare a prevenire i black-out;
4. Il consumatore può modificare tutte le selezioni precedentemente programmate o istruzioni dalla Smart Grid, mentre al contempo assicurando che le funzioni di sicurezza del dell'apparecchio rimangano attive;
5. Una volta collegato attraverso una Home Area Network e/o controllati attraverso un sistema di Home Management Energy, elettrodomestici intelligenti consentono un approccio olistico all'energia nella casa. Ciò consente al consumatore di sviluppare il proprio profilo di utilizzo energetico e utilizzare i dati in per cercare di ottenere ulteriori benefici;
6. Si possono sfruttare le caratteristiche di utilizzo delle energie rinnovabili, spostando il consumo di energia ad un orario ottimale per la produzione di energia da fonti rinnovabili, vale a dire, quando il vento soffia o il sole splende.

Applicazioni software per la casa digitale

Il SW rappresenta il collante tecnologico che permette sia di abilitare le singole applicazioni che di interconnetterle tra loro i vari sistemi. La ubiqua presenza di collegamenti ad Internet nella case consente inoltre una "feature" fondamentale non possibile per la parte HW del sistema: la possibilità di effettuare aggiornamenti on line. L'esempio più tipico di ciò sono le nuove smart TV, che periodicamente si collegano al sito della casa madre per scaricare drivers aggiornati e nuovi applicazioni con ulteriori funzionalità. Questo, che a primo acchito può apparire una caratteristica secondaria, è in realtà indispensabile al fine di mantenere a livello "state of the art" apparecchi il cui costo è troppo elevato per ipotizzare un veloce rimpiazzo dei medesimi.

Interfacce uomo-terminali

Questa è probabilmente una delle aree dove ci si aspetta che la ricerca si focalizzi nel prossimo triennio. Ciò è dovuto al fatto che alla possibilità dei dispositivi di essere dotati di piattaforme inerziali MEMS (i.e. giroscopi), gli stessi possono essere dotati di telecamere per il riconoscimento della scena (riconoscimento dell'utente e dei suoi gesti) e quindi combinarli opportunamente con un data base contenenti le preferenze del singolo utente, le sue abitudini e quindi la possibilità di fornire un reale supporto intelligente per le sue scelte.

Immersività

Tra le varie tecniche utilizzate, una delle più interessanti è quella legata alla analisi delle scene basata su descrittori compatti che è attualmente in fase di standardizzazione nell'ambito MPEG "Compact Descriptors for Visual Search" (CDVS). Queste tecniche permettono di estrarre le informazioni più importanti presenti in un'immagine scattata (punti chiave), che ne descrivono le caratteristiche e successivamente comprimendoli sul terminale (un telefono cellulare, una macchina) prima di inviare le informazioni ad un server per recuperare contenuti multimediali associati che possono essere forniti. L'informazione così "aumentata" viene inviata al terminale per il rendering. Questa tecnica può essere sfruttata per lo shopping aumentato, navigazione aumentata, l'assistenza per le persone non vedenti, ecc.

Domotica/SmartHome

Si prevede la sempre maggiore interoperabilità orizzontale tramite IPv6 di tutti i dispositivi connessi nella casa, a partire dai dispositivi per il consumo di energia, passando per telecamere di videosorveglianza, apparecchiature per playback/capture di audio, video, elettrodomestici, dispositivi per la cura della persona, game console etc. Questo favorirà l'esplosione di applicazioni "mesh up" dove le diverse applicazioni, talora residenti sui terminali dell'utente, talora residente sulla cloud, potranno utilizzare in modalità "data fusion" tutte i dati raccolti dai diversi sensori, includendo applicazioni di monitoraggio e profilazione delle abitudini delle persone al fine di ottimizzare le funzionalità dei diversi terminali/servizi per la persona. Questo comporterà una stretta sorveglianza della privacy e dei diritti di accesso ai dati grezzi, al fine di salvaguardare la riservatezza degli stessi.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le tecnologie e la potenza di calcolo normalmente presenti in una casa del 2015 sono attualmente superiori a quelle sfruttate per arrivare sulla Luna nel 1969. Nonostante questo fatto molte delle abitudini e degli stili di vita sono rimasti immutati. Questo è dovuto in grande parte a causa della "compartimentalizzazione" che esisteva tra applicazioni e dispositivi, ciascuno progettato per essere efficiente come entità singola, ma non portato a "comunicare" con altri dispositivi. Questa situazione sembra oggi sul punto di cambiare grazie sia alla digitalizzazione dei contenuti che ai progressi sia nell'ambito dei protocolli di comunicazione, sia wireless che wireline, e alle nuove esperienze di uso che vedono l'hub domestico come il luogo primario di godimento dell'informazione, rendendo disponibile a distanza di un click del mouse le pressoché infinite potenzialità

della rete. Le tecnologie dell'home network permettono la fruizione e la condivisione dell'informazione digitale a seconda delle necessità dell'utente. Un film scaricato da Internet sul proprio PC/tablet/smartphone, attraverso l'hub domestico potrà essere visto con comodità sul flat panel di grandi dimensioni situato nel soggiorno. La visione potrà essere sospesa per comunicare o condividere le proprie impressioni sui vari social networks (i.e. facebook, twitter, ℰ). La nuova sensoristica legata all'Internet of Thing/Internet of Everything permette inoltre di migliorare tutti gli aspetti della propria vita, dalla salute alla sicurezza dal "social" alla mobilità. E una cosa tutte queste innovazioni hanno in comune: sono prodigiosamente voraci di energia e di potenza computazionale di banda.

Lo sforzo necessario nell'ambito di ricerca è quindi soprattutto rivolto alla studio di soluzioni integrate e di soluzioni di interoperabilità tra le varie tecnologie esistenti nell'area domestica e tra queste e le tecnologie dell'area di accesso. Tale sforzo necessita di un sempre più spinto livello di coordinamento e standardizzazione non solo a livello nazionale, ma anche europeo, per riuscire ad avere un mercato competitivo con quello americano ed asiatico, sempre più agguerriti. Per avere successo in tale ambito si rende indispensabile un attento lavoro di coordinamento nazionale fra le parti interessate (industrie, ministeri e università/centri di ricerca). È pertanto necessario creare una collaborazione molto forte per l'intera catena del valore partendo dalle università, passando dalla grande industria per arrivare alla PMI. Grazie alla globalizzazione è proprio quest'ultima che è sia la più "minacciata" da analoghe industrie estere che quella meglio posizionata ed in grado di ricavare i maggiori benefici dall'introduzione di prodotti effettivamente innovativi.

Diventa quindi prioritario e vitale per l'industria, ed in particolare la PMI, proporre soluzioni in linea con le aspettative o meglio ancora creare le aspettative stesse. Quando è uscito il primo rapporto sulle innovazioni del prossimo futuro nel 1995, Google non era ancora stata fondata.

La presente tecnologia prioritaria risulta quindi estremamente interessante dal punto di vista generale e può dare un significativo impulso all'economia, grazie alla pervasività che ne caratterizza le soluzioni.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Il know how su tale dispositivi è presente in Italia in modo equivalente a quello dell'estero. Quello che però è completamente differente è il grado di diffusione e la base installata di tali dispositivi, il che implica conseguentemente una minore presenza industriale di PMI nel settore.

A livello accademico esistono dei centri di eccellenza in grado di fornire l'opportuno know how e preparare in maniera soddisfacente studenti.

Risulta indispensabile quindi sia una opera di regia nazionale attraverso programmi mirati, sia la disponibilità di piattaforme su cui le PMI possano realizzare rapidamente soluzioni prototipali e, successivamente, impostare prodotti. Gli investimenti nel settore potrebbero certamente portare a interessanti ritorni economici qualora correttamente focalizzati.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 7
TECNOLOGIE PER LA SICUREZZA

DESCRIZIONE

Nel panorama delle tecnologie, la sicurezza sta diventando sempre più importante con l'aumentare dell'utilizzo di sistemi informatici, sia per il business che per la vita privata degli utenti. Il fenomeno dei social networks è forse l'esempio più significativo.

La protezione dei contenuti distribuiti attraverso differenti canali di comunicazione, l'identificazione degli utenti e degli accessi a dati e risorse, la gestione dei diritti e copyright, la protezione delle informazioni personali che viaggiano in rete, sono solo alcuni dei temi connessi con la sicurezza.

Come già anticipato nelle precedenti edizioni del rapporto, negli ultimi anni si è assistito allo spostamento radicale nelle tecnologie di telecomunicazioni da un mercato basato su reti proprietarie e tecnologie di interconnessione vendor-based a un accesso universale e indistinto alle risorse tramite protocolli aperti e tecnologie internet-based, come le applicazioni su web, la posta elettronica, l'instant messaging, i servizi di presence, le applicazioni di Voice-Over-IP, di audio-videoconferenza su IP, la condivisione di dati multimediali tra utenti, lo sviluppo delle reti P2P e le trasmissioni broadcast multimediali come nell'IP-TV. L'accesso alla rete Internet, tradizionalmente effettuato tramite PC fissi (con utenza corporate o domestica) con connettività di tipo cablata, sta inoltre sperimentando un'assai rapida diversificazione con la diffusione di connettività di tipo wireless LAN EDGE/GPRS, WCDMA/UMTS, WiMAX o 3GPP/LTE tramite PC laptop, tablet e smartphone che consentono connettività IP e accesso ai tipici servizi Internet (web browsing, email, web-streaming, ecc). Con l'avvento del Cloud si sono resi disponibili nuovi paradigmi di intercomunicazioni con risorse remote, come per esempio la sincronizzazione remota. Questa tecnologia si è inoltre legata all'altra tecnologia/applicazione che rappresenta una delle novità del prossimo futuro: l'Internet delle cose (IoT) dove gli oggetti si rendono riconoscibili e acquisiscono intelligenza grazie al fatto di poter comunicare dati su se stessi e accedere a informazioni aggregate da parte di altri. Queste innovazioni presentano nuove sfide nell'ambito della sicurezza. Questa trasformazione di Internet da rete utilizzata a scopi ludici o per attività di ricerca a substrato unificante e universale per il trasferimento di informazioni di ogni tipo (testi, immagini, film, videotelefonia mobile, dati sensibili bancari e amministrativi), rende cruciale l'aspetto della sicurezza, definita come l'insieme delle misure atte a garantire disponibilità, integrità e riservatezza delle informazioni gestite. Si tratta di misure sia di tipo tecnologico che organizzativo, le quali devono assicurare a ciascun utente autorizzato (e a nessun altro) l'accesso a tutti e soli i servizi previsti per quell'utente, nei tempi e nelle modalità previste. Tutto ciò rende inoltre sempre più impellente, per un più efficace contrasto delle attività criminali, avere a disposizione strumenti integrati di monitoraggio e tracciamento legale delle comunicazioni e transazioni su protocolli di tipo IP.

Tra i punti solitamente indicati, vi sono:

I autenticazioni mutue utente/rete, utente/utente, machine-to-machine e autorizzazione alla fruizione dei servizi;
II disponibilità controllata delle informazioni (quindi con la garanzia di prestazione, robustezza, tolleranza ai guasti e recupero controllato dai guasti);
III integrità delle informazioni;
IV riservatezza delle informazioni;
V strumenti di monitoraggio legale delle comunicazioni e transazioni e non ripudiabilità delle stesse.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La crescente mole di dati e informazioni, anche bancarie/finanziare, che ogni giorno viaggiano sulla rete fa sì che un attento lavoro di ricerca sui vari aspetti che compongono la sicurezza non sia rimandabile. È importante sottolineare che in questo caso non si deve procedere con singole soluzioni ma piuttosto con un approccio olistico al problema, dato che la solidità di una catena è rappresentato dalla resistenza dell'anello più debole, non importa quanto robusti siano i restanti.
I numerosi casi di violazione di ciascuno di questi punti, ripetutisi di recente sempre più di frequente, hanno mostrato la vulnerabilità delle reti basate su Internet e le falle sia nelle infrastrutture tecnologiche che nelle procedure di sicurezza applicate in molte aziende ed organizzazioni. La comunicazione via IP attraversa diversi "strati", gestiti con apparati, tecnologie e metodi diversi; questo complica di molto il problema di rendere sicura a priori l'infrastruttura di rete, formata da decine di nodi diversi tra loro, appartenenti a domini eterogenei e gestiti da operatori diversi. Va considerato inoltre il fatto che a parte i casi più eclatanti (furti di database di carte di credito in alcuni sistemi di e-commerce, ad esempio) molte delle violazioni di sicurezza vengono taciute, o ignorate come poco importanti e quindi a priori non corrette. L'esigenza di ottenere garanzia di requisiti stringenti di sicurezza è quindi resa sempre più impellente, da un lato dall'aumento esponenziale di minacce quali email spamming, phishing, virus, malware, trojan horse, spyware, ransomware ecc., dall'altro da un utilizzo in costante espansione delle reti di comunicazione a scopo di transazioni economiche e finanziarie, e-commerce, e-banking, scambio di dati sensibili e riservati, interazione con enti governativi. Analogamente all'edizione precedente risulta quindi importante continuare ad investire nella ricerca e nell'innovazione in questo settore, con particolare riferimento a:

I. *Accesso a reti wireless*, soprattutto a tecniche di autenticazione di tipo lightweight, la presenza sempre più capillare di tecniche di accesso radio diversificate renderà sempre più necessaria l'analisi e la proposta di tecniche di autenticazione indipendenti dalla particolare tecnologia di accesso e sufficientemente "leggere" da essere compatibili con la tecnologia dalle prestazioni meno elevate. Per quanto riguarda in particolare le reti di nuova generazione si deve considerare lo scambio dinamico di informazioni di sicurezza con domini di terze parti e l'utilizzo della rete di telecomunicazione come autorità di certificazione per enti terzi. Questo al fine di creare una infrastruttura globale unica di autenticazione e protezione che consenta interazioni certificate tra domini diversi.

II. *Protezione end-to-end della segnalazione in scenari multi-dominio;* la presenza di domini di rete diversificati, sia multi-operatore che relativi a service o content providers di terze parti che appartenenti alla Internet pubblica, rende necessario fornire una infrastruttura unificata e coerente di protezione da un lato della segnalazione di sessione, dall'altra dello scambio di informazioni sensibili di autenticazione, autorizzazione e tariffazione verso nodi server che implementano funzionalità data base utente. L'esempio più importante è rappresentato dal Cloud e dalla tendenza attualmente in atto di spostare i contenuti da una memorizzazione locale ad una distribuita. Inoltre particolare cura dovrà essere posta per la protezione e privacy per i dati utente e per i profili di utilizzo e impedisca accessi abusivi ai servizi.

III. *Protezione indipendente dalla tecnologia dei dati multimediali real-time e non* in reti 4G con particolare riferimento a tecniche crittografiche di tipo selettivo e compatibili con transcodificatori video di nuova generazione; la diversificazione e sovrapposizione di domini di rete tra loro eterogenei (sia nei domini di accesso che in quelli di Core Network) crea la necessità di fornire sistemi di protezione (che garantiscano riservatezza e integrità) dei dati multimediali indipendenti dalla particolare tecnologia radio utilizzata e compatibili con le esigenze di transcodifica dell'informazione audio-video derivanti dalla crescente interconnessione di reti disomogenee.

IV. *Architetture di sicurezza integrate* con la gestione della mobilità in reti 4G e sistemi di autenticazione dinamica per mobilità di sessione; i concetti di totale supporto per una mobilità verticale (inter-tecnologica) costante e dinamica, e micromobilità orizzontale (geografica) senza alcuna discontinuità nelle sessioni multimediali proprie della 4a generazione, congiuntamente all'esigenza di costante ri-autenticazione degli utenti mobili e di protezione contro accessi malevoli.

V. *Modelli avanzati di profili utente, pseudo-anonimità e identità virtuali*, che consentano il pieno sfruttamento delle potenzialità che la rete multimediale integrata metterà a disposizione: comunità virtuali, interazioni pseudo-anonime, servizi di presence relativi a utenti fisici, gruppi di utenti, dispositivi o entità astratte, condivisione di contenuti, servizi personalizzati etc.

VI. *Tecniche e tecnologie per lo studio e la resistenza agli attacchi* di tipo side-channel, dove la computazione dei dispositivi durante applicazioni crittografiche viene monitorata e/o influenzata da avversari con o senza accesso fisico al device, in modo da ottenere l'accesso a tutte le informazioni segrete su cui si basa la sicurezza dell'intero sistema.

VII. *Sistemi di autenticazione biometrica*: si nota un crescente uso di tecniche biometriche, ad esempio finger print negli smartphone (Apple e Samsung nei loro top di gamma). È possibile che nei prossimi anni vedremo un crescente uso di queste tecniche affiancate da tecniche basate sull'analisi delle immagini e riconoscimento facciale.

Aree su cui è necessario mantenere un elevato impegno di ricerca sono:

A. Le tecnologie di cifratura e identificazione semplici e adottabili a costo ridotto da parte

di privati e aziende. Tali infrastrutture sono necessarie per l'identificazione sicura dell'utente e combinano sia una password che una chiave fornita all'utente dopo una verifica esatta della sua identità: la chiave può essere costituita da una PKI, da una smart card, da un dispositivo biometrico, ecc; sono quindi ideali sia per l'erogazione di servizi critici al cittadino (ad esempio nelle piattaforme di e-government) sia per garantire la validità delle transazioni nei sistemi di e-commerce.

B. Lo studio di procedure comuni e facilmente adottabili per semplificare l'introduzione di politiche di sicurezza adeguate alle varie realtà: un punto importante da ricordare è che la sicurezza è in primo luogo un problema di interazione tra la macchina e l'utente. In molti casi l'eccesso di complessità nelle procedure di sicurezza costringe gli utenti a cercare scappatoie e alternative che rendono i sistemi vulnerabili.
C. La valutazione delle tecnologie basate su software "open source". Infatti gran parte delle tecnologie adottate in rete sono basate su sistemi a codice aperto e modificabile. Il vantaggio di tale approccio è stato sottolineato nel corso degli scorsi anni dai maggiori esperti di sicurezza e cifratura, e hanno mostrato come la disponibilità di tutte le informazioni sul codice possa essere un fondamentale aiuto nella realizzazione di sistemi più sicuri.
D. Lo studio della sicurezza dei sistemi Cloud, attualmente al centro dello scenario IT mondiale nel mondo della ricerca scientifica.
E. Riguardo alla gestione dei diritti di accesso a contenuti protetti è necessario approfondire gli studi relativi alle tecniche di DRM (Digital Right Management) che consentono di stabilire un sistema completo di trasmissione delle informazioni dal produttore di contenuti al consumatore finale in grado di garantire la protezione degli stessi.
G. I recenti sviluppi normativi sia in sede nazionale che europea stanno determinando la necessità per gli operatori di telecomunicazioni di dotarsi di strumenti in grado di garantire la memorizzazione e ritenzione legale a lungo termine di grosse quantità di dati grezzi provenienti da fonti eterogenee per scopi diversi che vanno dalla lotta anti-crimine, all'accesso legale ai dati di rete. Questa richiesta si traduce nel requisito di tenere traccia di alcune informazioni riguardanti le attività degli utenti in una rete. In questo contesto sono di particolare interesse i cosiddetti metadati, che consistono in informazioni riguardanti le connessioni, quali l'ora, la durata, la sorgente e il destinatario, piuttosto che ai dati effettivamente scambiati. Per l'immagazzinamento di questi metadati, servono infrastrutture basate su architetture di database di grandi dimensioni che consentano la memorizzazione di grosse moli di dati, relativi a eventi di sessioni TLC sia tipo fisso che mobile, sia di tipo legacy a commutazione di circuito (PSTN, ISDN, GSM/UMTS) che di nuova generazione a commutazione di pacchetto basate su IP (DSL, IMS, P2P, Web 1.0 e 2.0, IP-TV, etc.), e la loro ricerca ed estrazione in maniera efficiente, assicurando al tempo stesso un'elevatissima protezione dei dati stessi per evitarne l'accesso, la manipolazione, la cancellazione e qualsiasi altra operazione se non in accordo a stringenti criteri di autorizzazione, in modo da tutelare al massimo i diritti di riservatezza degli utenti.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Grossi passi avanti sono stati fatti nella definizione di un'infrastruttura sicura per reti mobili di nuova generazione basate su IP. Il 3GPP ha affrontato e proposto tecniche di mutua autenticazione utente/rete basate sull'algoritmo AKA e di protezione della segnalazione mediante IPsec. Inoltre l'adozione del protocollo IETF Diameter e l'introduzione del nodo HSS (Home Subscriber Server) hanno consentito di rendere particolarmente flessibile l'autenticazione utente e la gestione dei profili.

Molto resta ancora da fare riguardo a tecniche di autenticazione adattate ad accessi eterogenei (WiFi, WiMax, Powerline communication (HomePlug, Prime-PLC, G3, ecc.), ZigBee Smart Energy Profile 2.0, Bluetooth Low Energy), alla protezione efficiente dei dati multimediali real-time, transcodifica nel dominio criptato, integrazione di procedure di autenticazione dinamica con meccanismi di mobilità verticale e micromobilità, definizione di una infrastruttura integrata e inter-dominio di AAA (Authentication, Authorisation, Accounting).

La ricerca di adeguate risposte al problema della sicurezza per reti "untrusted" è in continua evoluzione.

L'individuazione di metodi per stabilire l'identità dell'utente, o di un device completamente autonomo, che si collega ad una rete, rappresentano argomenti affrontati da molti gruppi di lavoro. Ciò implica la necessità per le attuali piattaforme, sia PC che embedded, di gestire in maniera univoca le problematiche connesse alla generazione e salvataggio di chiavi per la cifratura e all'esecuzione protetta di algoritmi di sicurezza. Una tecnologia in questo campo è rappresentata dalla Trusted Platform Module (TPM), basata sulle specifiche del Trusted Computing Group (TCG). Il TPM prevede l'adozione di un microcontrollore sicuro con capacità crittografiche e di un componente software per interfacciare lo stesso alle applicazioni realizzate per la sicurezza. Un'altra emergente tecnologia in questo campo è il Trusted Execution Enviroment (TEE), sviluppata da GlobalPlatform e dal TCG, che ha come obiettivo la creazione di un ambiente isolato e protetto sullo stesso processore principale utilizzato anche per il sistema operativo e le applicazioni utente, senza la richiesta di un processore esterno come il TPM.

Riguardo al mondo dell'Internet pubblica, l'adozione di protocolli di rete sicuri, anche se continuamente incoraggiato dall'IETF (Internet Engineering Task Force), responsabile della promulgazione dei protocolli utilizzati per la realizzazione sia dei client di rete che delle infrastrutture intermedie e di trasmissione), non ha ancora portato all'introduzione di innovazioni significative al TLS (Transport Layer Security) per la cifratura su web (i "siti sicuri" tipici dell'e-commerce su internet), e ai protocolli per l'interoperabilità delle Public Key Infrastructures. In particolare il protocollo TLS ha mostrato negli ultimi anni diverse vulnerabilità: per questo si è reso necessario iniziare la specificazione, da parte dell'IETF, di una nuova versione, 1.3, che dovrebbe eliminare tutte le vulnerabilità note e renderlo più robusto contro nuovi attacchi.

La diffusione di collegamenti always-on ha favorito la diffusione di sistemi di protezione come i personal firewall o le VPN (Virtual Private Network, reti private virtuali). La presenza di apparati sempre più sofisticati e di semplice installazione si accompagna però, in molti casi, con la mancanza della necessaria esperienza (in particolare nelle PMI) per un'adeguata configurazione degli strumenti di protezione e il risultato di un grado di sicurezza spesso solo apparente.

Per quanto riguarda i terminali, molteplici tipi di connettività si stanno sviluppando e adottano misure di sicurezza emergenti.
Bluetooth ha introdotto una versione a bassissimo consumo (Bluetooth Low Energy o Bluetooth Smart) introducendo nell'ultima versione 4.2 importanti feature di sicurezza per il pairing tra dispositivi. Inoltre sempre Bluetooth svilupperà un supporto per le reti di tipo Mesh, che avrà diverse applicazioni in ambito di Home Automation, e non potrà trascurarne la sicurezza delle connessioni.
Questi diversi tipi di connessione si basano su un insieme di primitive crittografiche di base che si stanno stabilizzando: AES, SHA-2, ECC ed RSA. Ma si sta altresì lavorando su nuovi standard che sono ora in discussione, come per esempio SHA-3, che in futuro sostituirà l'attuale SHA-2.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 8

TECNOLOGIE PER L'INFOMOBILITÀ

DESCRIZIONE

Le tecnologie telematiche per l'autoveicolo vedranno nei prossimi anni un'evoluzione destinata ad influire pesantemente sui servizi che potranno essere resi disponibili all'utente (sicurezza, pagamenti, intrattenimento, ℇ) e quindi sulle modalità di fruizione del trasporto su gomma. Gli impatti sono già evidenti nel caso del trasporto pubblico e nella gestione delle flotte per il trasporto delle merci. Lo scenario prevede una diffusione di sistemi di bordo in grado di consentire connettività sia tra veicolo e veicolo, sia tra veicolo ed infrastruttura, con un'architettura in grado di avvantaggiarsi delle differenti informazioni già disponibili nel veicolo (provenienti dai diversi dispositivi di bordo) ed aprire l'opportunità per implementare nuovi servizi.

La diffusione sarà possibile grazie ad un costo ridotto ed a contenuti sempre più appetibili. Un ruolo molto importante verrà giocato dalla normativa (nazionale ed europea) nell'ambito della mobilità e della sicurezza stradale.

Sta avendo poi grande risonanza l'attività relativa ai veicoli a guida autonoma.

A fianco dei servizi di tipo convenzionale (già in esercizio o tecnicamente disponibili), ne esistono, a livello sperimentale, molti altri a rappresentare un'estensione del concetto di telematica. Nell'ambito dei servizi di tipo convenzionale si debbono distinguere i servizi personali e veicolari.

I servizi personali più importanti e diffusi sono la possibilità di chiamare con sistema vivavoce utilizzando il proprio telefono Bluetooth, le varie forme di intrattenimento (musica, navigazione Internet, video per i passeggeri o, da fermo, per il guidatore, ecc), la navigazione e i servizi informativi, basati su dati messi a disposizione da service provider. Questi servizi hanno avuto, negli ultimi tre anni, uno sviluppo e una diffusione notevole in virtù delle normative del codice della strada che vietano l'uso del telefono cellulare in vettura senza viva voce e, contemporaneamente, grazie alla disponibilità sul mercato di nuovi dispositivi telematici a bordo veicolo ad alte prestazioni e basso costo, capaci di interfacciarsi con la maggioranza di dispositivi portatili per l'intrattenimento (es: iPod), la comunicazione (telefoni cellulari, palmari) o la navigazione (navigatori portatili), in grado di consentirne l'utilizzo anche durante la guida attraverso interfacce vocali evolute e con comandi essenziali di facile utilizzo. Primo fra tutti il sistema Blue&Me sviluppato dal Gruppo Fiat intorno al sistema operativo Windows Mobile della Microsoft e commercializzato sui propri modelli, seguito da versioni funzionalmente similari integrati alle autoradio o comunque in grado di interfacciarsi ad essa. La disponibilità e la diffusione sul veicolo di questi nuovi dispositivi ha consentito il rapido sviluppo dei servizi veicolari, che si sono trovati a beneficiare dalla disponibilità di una piattaforma telematica general purpose già predisposta ad ospitare i relativi software.

Tra i servizi veicolari possiamo citare: il monitoraggio remoto del veicolo (durante il viaggio o a scopo antifurto), la gestione delle flotte, il tracciamento delle merci, la chiamata di assistenza, la diagnosi remota dei guasti.
In particolare, facendo riferimento a quest'ultima funzione, sono in fase avanzata di sperimentazione tecniche basate su supporto telematico in grado di consentire ad un centro di assistenza di intervenire in modo remoto su di un veicolo, in modo analogo a quanto viene già fatto nel campo dei personal computer o dei server aziendali. Nel caso in cui il centro tecnico non fosse in grado di ripristinare la funzionalità, quest'ultimo potrà offrire al cliente di recarsi presso l'assistenza tecnica avendo già provveduto ad ordinare i ricambi o, nel caso il guasto determinasse il fermo veicolo, inviare un carro attrezzi, riducendo così il disagio e i costi conseguenti all'indisponibilità del mezzo al minimo possibile.
Tra i servizi sperimentali basati sulla disponibilità di sistemi di connettività inter-veicolare e tra veicoli ed infrastruttura possiamo pensare a sistemi integrati in grado di indirizzare la sicurezza stradale (per abbassare il rischio di collisioni in tutte le condizioni in cui c'è diretta visibilità), la gestione degli accessi a pagamento (pedaggi autostradali e parcheggi), forme di intrattenimento avanzate che prevedano il collegamento ad Internet o forme di gestione intelligente del traffico.
La popolazioni di autovetture (oggi circa 1 mld nel mondo) è prevista crescere ulteriorente (previste 4 mld di autovetture nel 2050) con forte concentrazione nei centri urbani. La popolazione urbana ha di recente superato nel mondo la popolazione rurale e tale tendenza si accentuerà nei prossimi anni, creando forti problemi di mobilità sostenibile con rischio di paralisi per passeggeri e merci in particolare nelle grandi metropoli.

I sistemi di infomobilità diventeranno pertanto discriminanti per la qualità della vita nelle città e non potrà che venire da soluzioni condivise tra industries delle TLC e del trasporto, per arrivare a soluzioni standard pienamente interoperabili tra i diversi costruttori sia di veicoli che di terminali a bordo e abbassare i costi industriali.
I sistemi di infomobilità presenti sul mercato sono ancora di tipo verticali e chiusi su standards proprietari, fatti salvi i sistemi legati alla sicurezza (es. tecnologia eCall promossa in ambito europeo).
Infine occorre ricordare che stanno per apparire i primi concetti di self driving vehicles che in futuro impatteranno in modo significativo il mondo dei trasporti.

Servizi per la mobilità

Lo scenario tecnologico, così come le opportunità delle funzioni e dei servizi offerti, cambia notevolmente nel momento in cui si consideri la presenza della telematica su veicolo.
La co-operazione del veicolo con l'infrastruttura e con i Centri di Coordinamento del Traffico aumenta la precisione delle informazioni sui dati di traffico e garantisce informazioni puntuali e personalizzate ai guidatori, rendendo possibili nuovi paradigmi per la gestione della mobilità come:

- possibilità di indirizzare i flussi di traffico in zone diverse per raggiungere una medesima destinazione, riducendo i tempi di percorrenza, l'inquinamento ed i consumi;
- possibilità di promuovere un trasporto multimodale (uso combinato del mezzo pubblico e privato);

- miglioramento del trasporto pubblico locale (maggiore qualità e flessibilità);
- automazione flussi accessi nelle zone a traffico limitato.

Lo sviluppo e la disponibilità di applicazioni affidabili e sicure (criptate) che utilizzino la connettività tra veicolo ed infrastruttura per la gestione dei pagamenti, infine, può portare sia a forme più efficienti ed efficaci di esazione di pedaggio che a politiche di tassazione delle auto, non su basi fisse, ma su basi di utilizzo delle strade. La possibilità, già attuata in città come Londra, Oslo, ma anche Milano, è quella di richiedere il pagamento per l'accesso al centro o a determinate aree congestionate. In prospettiva molte città potranno adottare la stessa politica ed i pedaggi potrebbero essere estesi anche a strade extraurbane.
Non va trascurata inoltre un'altra ampia fascia di servizi che potrebbero essere abilitati dalla presenza di tecniche telematiche veicolari ed in particolare quelle tecniche che prevedono l'integrazione del veicolo nella rete, quali la possibilità di scaricare mappe stradali aggiornate, informazioni commerciali o contenuti di tipo multimediale.

Nuove funzionalità grazie alla cooperazione fra sensori

Combinando i segnali provenienti da più sensori di tipo diverso (GPS, radar, pneumatici, telecamere, ultrasuoni, ...) sarà possibile ottenere delle informazioni più affidabili sullo scenario circostante anche in condizioni avverse o in caso di malfunzionamenti e quindi elaborare strategie per la discriminazione di ostacoli presenti sullo scenario, valutando la probabilità di collisione ed attuando le contromisure opportune.
La telematica rappresenta un elemento chiave per la cooperazione tra veicoli e tra veicolo e strada. Attraverso le tecnologie di comunicazione wireless si possono rendere disponibili tre tipi di collegamenti:

1. Comunicazione veicolo-infrastruttura

- Cooperazione con i sensori a bordo per facilitare la discriminazione degli oggetti che fanno parte delle infrastrutture (es: ponti, pannelli di segnalazione,€) rispetto ad oggetti presenti sulla sede stradale (es: veicoli fermi, carichi persi,€). Le strutture fisse dotate di trasmettitori possono inviare codici per permettere al sistema di bordo di identificare correttamente la stessa infrastruttura.
- Segnalazione dinamica e puntuale di dati di traffico o incidenti: le infrastrutture possono segnalare in modo tempestivo e dinamico la presenza di pericoli (curva pericolosa, incrocio, limiti di velocità, ..) direttamente sul sistema di bordo.
- Supporto per il controllo degli accessi a strutture (es. tunnel, viadotti) dove esistono dei vincoli di traffico.
- Utilizzo dei veicoli come sensori mobili, in grado di trasmettere all'infrastruttura le condizioni di visibilità (nebbia, pioggia), le condizioni di aderenza (pioggia, ghiaccio, neve), la presenza di veicoli in panne o di blocchi stradali.

2. Comunicazione veicolo-veicolo

- Possibilità di conoscere posizione, direzione e velocità dei veicoli che si trovano nell'area cir-

costante con impatto sulla sicurezza (nel caso di veicoli che si approcciano ad un incrocio cieco, ℰ), sul comfort e sui consumi.
- Supporto ai sensori di bordo per anticipare l'adeguata configurazione dei dispositivi di sicurezza (airbag, cinture, chiusura vetri e tettuccio) rispetto ad un impatto imminente.
- Segnalazione tempestiva di incidenti o potenziali pericoli prodotti dai veicoli circostanti, specie se non compresi nella fascia di visibilità.

Servizi per la sicurezza stradale e per la sicurezza preventiva

Tutti i servizi legati alla sicurezza attiva avranno un grande sviluppo in quanto gli incidenti stradali hanno coinvolto nel 2013 un totale di circa 50 milioni di persone di cui 1.24 milioni in maniera fatale, generando inoltre costi che variano generalmente tra 2-3% del PIL delle nazioni (fonte: WHO 2013). Per questa ragione e grazie all'avanzamento tecnologico nel campo dell'attuazione, della sensoristica e nella potenza di calcolo disponibile parimenti ad una riduzione dei costi, ha fortemente incentivato lo sviluppo di sistemi di sicurezza attiva bordo-veicolo che prendono il nome di ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). Tali sistemi comportano una sempre maggiore automazione dei veicoli moderni che può essere sinteticamente inquadrata attraverso la classificazione NHTSA, che suggerisce l'esistenza di vari livelli di automazione crescente disponibili:

- Livello 0 – nessuna automazione: il controllo del veicolo è esclusivamente affidato al pilota per tutto il tempo. A questa categoria appartengono per esempio i sistemi di avviso di pericolo: lane departure warning, forward collision warning, blind spot monitoring.
- Livello 1 – singola funzionalità: è controllata una specifica funzione del mezzo. Il pilota sceglie di cedere limitatamente il controllo di una singola funzionalità primaria. Esempi tipici sono l'Adaptive Cruise Control e il Lane Keeping Assist.
- Livello 2 – automazione combinata: automazione di almeno due funzioni primarie combinate. Il pilota è responsabile del monitoraggio continuo e deve poter assumere il controllo con limitato preavviso. Un esempio è il sistema Super Cruise Technology annunciato da Cadillac (l'unione di ACC e Lane Keeping Assistant), così come alcuni prototipi di Honda e Toyota che offrono guida autonoma in autostrada sotto la surpervisione vigile del pilota.
- Livello 3 – guida autonoma limitata: il pilota può cedere il completo controllo del veicolo sotto certe condizioni. Al pilota è richiesto di assumere il controllo occasionalmente e con preavviso adeguato.
- Livello 4 – guida autonoma avanzata: il veicolo richiede l'intervento del pilota solo in specifiche condizioni.
- Livello 5 – guida autonoma completa: il veicolo è progettato per poter funzionare autonomamente durante tutto il percorso e in ogni situazione.

I sistemi ADAS sono il complemento di sistemi più tradizionali quali quelli a livello di sicurezza attiva (ABS, ESP) e passiva (strutture ad assorbimento d'urto, airbag,...); ulteriori passi fondamentali sono rappresentati dalla sicurezza preventiva e dalla gestione efficiente delle emergenze.
La disponibilità di nuove piattaforme sensoriali sui veicoli (sensori di aderenza dell'asfalto inseriti nei pneumatici, radar, laser, telecamere, giroscopi, accelerometri, sensori GPS, ...), uniti alla capa-

cità del veicolo di comunicare in modo autonomo con l'esterno grazie alla disponibilità della telematica su vettura, consentono la realizzazione di nuovi servizi a basso costo e alto valore per la sicurezza preventiva, come ad esempio la riconfigurazione in tempo reale della segnaletica stradale e della cartellonistica, la ritrasmissione dell'informazione di pericolo ai veicoli che precedono, ecc. Si può affermare che i veicoli saranno sempre più intrinsecamente predisposti a fungere da sensori stradali "dinamici": non appena il numero e la qualità dei sensori sarà tale da garantire il livello di sicurezza necessario dell'informazione acquisita e le infrastrutture saranno predisposte a riceverla si assisterà ad un salto generazionale di miglioramento della sicurezza stradale con drastiche riduzioni degli incidenti e dei conseguenti costi per tutta la comunità.

Chiamata di emergenza

L'unificazione dei sistemi e la creazione di procedure per la gestione delle emergenze sono oggetto di grande attenzione a livello europeo e si prevede l'obbligatorietà in tempi brevi di un dispositivo di bordo in grado di effettuare automaticamente la chiamata in caso di incidente, indicando anche la posizione del veicolo.
Nella gestione delle emergenze è possibile migliorare l'efficacia dell'intervento fornendo dati sugli occupanti (numero di persone, patologie particolari preesistenti e parametri medici,€), immagini della scena dell'incidente ed altre informazioni utili per il soccorso.

Veicoli a guida autonoma (self driving vehicles)

Necessitano di una particolare attenzione i recenti sviluppi legati ai Veicoli a guida autonoma (self driving vehicles). Quando si parla di "veicolo autonomo" è utile introdurre una ben precisa definizione del termine per meglio inquadrare il problema nella sua interezza dei diversi aspetti che lo compongono come: tipologia interazione uomo-veicolo, funzionalità richieste, campo funzionamento, ecc..
A questa necessità risponde adeguatamente la classificazione dei livelli di automazione in campo automotive proposta da NHTSA e SAE nel report: "Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems", dove per veicolo autonomo propriamente detto ci si riferisce ai livelli 4 e 5.
In dettaglio il livello 4, come detto, prevede sistemi di controllo capaci di rimpiazzare completamente l'intervento del pilota solo in condizioni di funzionamento molto specifiche e limitate nel tempo: per esempio una condizione di guida autonoma in autostrada con condizioni di visibilità e traffico ben definite.
Con il livello 5 si intende un veicolo completamente autonomo e capace di gestire qualsiasi condizione e per l'intera durata del viaggio. In particolare tale possibilità apre scenari nuovi di servizi taxi automatizzati, un forte incentivo all'uso di veicoli in condivisione e il trasporto di merci e beni. Si prevede un impatto rivoluzionario eliminando i tempi morti durante la guida e disaccoppiando il luogo di parcheggio dei mezzi con i luoghi di salita / discesa dei viaggiatori con prevedibili conseguenze sul traffico urbano.
Attualmente diversi problemi di natura tecnologica devono ancora essere risolti e sono quindi necessari ulteriori investimenti in termini di tempo e investimenti nella ricerca.

Allo stato attuale della ricerca esistono due approcci contrapposti allo sviluppo di veicoli autonomi:

- Everything Somewhere (Google): automazione di livello avanzato (4+) in zone geografiche fortemente limitate e selezionate per via della necessità di una mole di informazioni molto alta e aggiornata attraverso mappe elettroniche molto precise e la necessità di limitare l'interazione con altri veicoli potenzialmente pericolosi;
- Something Everywhere (produttori automotive): classico approccio incrementale nelle funzionalità consentite dove però il veicolo non è in grado di gestire tutte le situazioni.

Nell'ultimo periodo si sta però sviluppando (da alcuni produttori veicoli quali Volvo e Ford) un ulteriore approccio "something eventually everywhere" dove certe funzionalità vengono abilitate solo là dove le informazioni necessarie al loro funzionamento sono fornite adeguatamente.
Le tecnologie più diffuse per l'evoluzione dei veicoli autonomi saranno:
1. sensoristica nello pneumatico per rilevare in tempo reale l'attrito del veicolo;
2. telecamere mono e tri dimensionali, laser, radar per l'identificazione degli ostacoli;
3. mappe ad altissimi contenuti e sempre più sofisticate (Google's car).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La telematica su vettura sta beneficiando dell'enorme sviluppo degli ultimi anni della telefonia mobile e dei dispositivi portatili, quali palmari, navigatori portatili, mp3, ecc. Infatti, la ricerca di nuovi sbocchi di mercato per queste tecnologie ha fatto sì che affacciassero alla telematica di bordo veicolo grosse aziende del mondo del consumer quali Microsoft, Linux, Nokia, STM, influenzando e trainando fortemente l'industria dei circuiti integrati, che ha reso e continua a rendere disponibili piattaforme hardware adeguate alle specifiche automotive a costi paragonabili a quelli del consumer, con conseguente riduzione dei prezzi per il cliente finale.

La sensoristica su vettura ha avuto recentemente un forte sviluppo rivolto prevalente-mente ai sistemi di ausilio alla guida. Nuove tecnologie MEMS e nanotecnologie potranno consentire di realizzare sensori sempre più sofisticati a costi competitivi: gli ambiti più promettenti sono senz'altro quello del pneumatico, che possiede un'enorme potenziale informativo, essendo l'elemento attraverso il quale il veicolo interagisce con la strada in modo fisico e diretto, come anche quello della visione notturna o nella nebbia e dell'identificazione degli ostacoli.
Le infrastrutture primarie, come i sistemi di comunicazione wireless e i sistemi di localizzazione del veicolo con il GPS, sono potenzialmente già disponibili anche se dovranno essere adeguate ai nuovi bisogni di banda passante, prevedendo un'esplosione di traffico dati.
Le autostrade, le strade extraurbane e urbane sono disseminate di telecamere che potrebbero potenzialmente essere già utilizzate per fornire agli utenti informazioni del traffico in tempo reale, se fosse resa disponibile la loro informazione in modo trasparente e diretto, come già succede per alcune attraverso Internet.
Internet infatti è una fonte già disponibile di informazioni sul traffico, che andrebbe però resa fruibile a basso costo e in modo semplice e intuitivo, in modo tale che il guidatore possa accedervi senza rischio di distrazione. Lo sviluppo di reti 4G (LTE) risulterà di forte stimolo per lo sviluppo di servizi video (anche HD) in mobilità a supporto di servizi di infomobilità e infotainment di bordo.

Inoltre le piattaforme di apps permettono di realizzare servizi innovativi per terminali di bordo a bassi costi industriali.

Altre applicazioni

Guardando gli sviluppi da un punto di vista meno legato alle tecnologie – ma da esse supportato – si possono ipotizzare alcuni servizi per i quali è già oggi possibile verificare una grande attenzione e un forte sviluppo. Eccone un breve elenco.

Uso delle informazioni bottom-up

Si sta diffondendo, e aumenterà certamente, la pratica di integrare le informazioni "ufficiali", provenienti da polizia e polizia urbana, società di gestione della rete stradale, Ministero, ecc. con informazioni dal basso fornite (consapevolmente o meno) attraverso il tracciamento dei veicoli in movimento. Sistemi come Waze (https://www.waze.com/it/) e Octo Telematics (https://www.octotelematics.it/traffico.html) consentono di avere in tempo reale lo stato di congestione delle strade ma anche il posizionamento dei sensori di velocità (e delle pattuglie).

Logistica last mile

La questione dei sistemi di approvvigionamento e delle reti di distribuzione delle merci si sta imponendo come una delle priorità nelle aree urbane. L'uso di sistemi sostenibili per la distribuzione locale (e-bike, cargo-bike, furgoni elettrici) consentirà un notevole beneficio in termini di inquinamento, soprattutto se sarà accompagnato da modalità che favoriscano il coordinamento tra gli operatori: ciò consentirà lo sviluppo (già in atto) di piattaforme e di flotte dedicate.

Sistemi di raccomandazione

In caso di emergenza, per guasti sulle linee o per eventi naturali indesiderati, sarà possibile indirizzare l'utenza in maniera "personalizzata", che risponde cioè alle esigenze e alle preferenze dichiarate dall'utente stesso: ciò permetterà di evitare la congestione di aree verso cui si riverserebbe in massa l'utenza, ma anche di tener conto delle caratteristiche che ciascuno ha indicato (orari abituali, eventuali difficoltà motorie, ecc.). Naturalmente tali opportunità, spesso indicate come "sistemi di raccomandazione, sono disponibili anche in situazioni di normalità e usano al meglio le indicazioni dell'utente.

Open data

La grande quantità di dati già attualmente disponibile è destinata a crescere in modo marcato. Ciò pone due questioni: da un lato la necessità di analizzare/interpretare i dati in funzione delle proprie esigenze, dall'altro la possibilità di utilizzare dati in modalità open al fine di sviluppare (attraverso la creazione di sempre nuove app) servizi e applicazioni legate alla mobilità: il fenomeno Uber è un facile esempio del primo tipo, le molte app legate al turismo locale lo sono del secondo.

Gestione delle merci pericolose Un capitolo specifico nell'ambito della sicurezza è quello dedicato alle merci pericolose. Esse devono essere: (i) indirizzate su percorsi "adeguati", (ii) monitorate lungo tali percorsi. Ciò potrà essere fatto dotando obbligatoriamente ogni mezzo che trasporta

merci pericolose di una OBU (On Board Unit) in grado di tracciare in tempo reale il viaggio e di verificarne la coerenza con il percorso e l'orario assegnato.

Sostegno alla mobilità dolce
La presenza diffusa di tecnologia (sensori) si integrerà sempre più con l'esigenza di favorire sistemi di mobilità che, soprattutto nelle aree urbane, privilegino mezzi non inquinanti (bici e veicoli elettrici), di piccola dimensione e leggeri, tali cioè da consentire risparmi in termini energetici e di consumo del suolo.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

I servizi telematici attualmente in esercizio sono essenzialmente di tipo informativo. I servizi di tipo cooperativo sono oggetto di ricerche e sperimentazioni a livello tecnologico e sistemistico sia in ambito nazionale sia europeo. Proprio in quest'ultimo campo la partecipazione delle aziende ed enti italiani ai progetti è significativa per numerosità e qualità.
L'Italia detiene una leadership tecnologica e di mercato per quanto riguarda i sistemi di pagamento pedaggio in Europa. Unitamente al supporto delle iniziative in corso per una standardizzazione dei sistemi di pedaggio a livello europeo, occorre supportare la ricerca per modalità di riscossione del pedaggio con impatti minimi o nulli sulle infrastrutture stradali.
L'applicazione del sistema di pedaggio si sta muovendo dall'ambito autostradale a quello delle aree urbane, per il controllo dell'accesso alle zone a traffico limitato.

Accanto ai sistemi basati su collegamenti radio a corto raggio che implicano l'uso di portali, si prevede la diffusione di sistemi basati sulla localizzazione satellitare e la comunicazione a lungo raggio. Un sistema di questo tipo è già in uso in Germania e, a livello europeo, è in corso un'iniziativa per un'unificazione a partire dai prossimi anni.

È necessario incrementare lo sforzo

a) per lo sviluppo dei sensori su vettura e sul territorio,
b) per l'adeguamento delle infrastrutture di comunicazione all'incremento di traffico dati wireless,
c) per lo sviluppo di software opportuni in grado di sintetizzare la mole di dati proveniente dai sensori, per trasferirla all'utilizzatore finale nel più breve tempo possibile,
d) per valutare correttamente i ritorni per la comunità e quindi gli incentivi che potrebbero essere stanziati dai governi al fine di accelerare il processo di diffusione di tali tecnologie.

Parallelamente allo sviluppo tecnologico, a livello mondiale ci si sta attivando per rimuovere il più grande ostacolo alla diffusione della telematica nei veicoli: la mancanza di uno standard di comunicazione che permetta alle società di servizi per la mobilità di investire su una soluzione universalmente riconosciuta ed accettata.
Ad oggi, i maggiori sforzi per raggiungere una standardizzare internazionale per la comunicazione tra veicoli e tra veicoli ed infrastruttura si stanno concentrando nella formalizzazione di uno standard IEEE (derivato dalla famiglia WiFi) che è rappresentato dalla sigla 802.11p o WAVE (Wireless Access in the Vehicular Environment).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 9

TECNOLOGIE PER "ONLINE CONTENTS"

DESCRIZIONE

Parallelamente alla progressiva penetrazione delle tecnologie di accesso alla rete (PC, TV digitale interattiva, smartphone e device mobili) e a una sempre maggiore diffusione dei social media, si evidenzia la progressiva tendenza delle piattaforme a coinvolgere gli utenti nella generazione e fruizione di contenuti multimediali (user generated contents) che si affiancano ai contenuti multimediali offerti dai tradizionali content provider. Tra i principali driver di questa tendenza troviamo:

- la progressiva digitalizzazione e migrazione online di contenuti fisici che influenza il settore della musica, giochi, quotidiani, case editrici ma anche contenuti personali (si pensi alla diffusione della fotografia digitale, alla possibilità di uploadare video);
- la convergenza su IP di contenuti multimedia real time e live (IPTV);
- la proliferazione di contenuti digitali e l'interoperabilità dei dispositivi elettronici IP-enabled che consentono ai consumatori nuovi modi per trasmettere in modo efficiente tra dispositivi contenuti video ad alta definizione (HD);
- la crescente penetrazione dei social media e la loro convergenza con altri media (es. social TV o mobile location based social network);
- la condivisione dei contenuti digitali tra dispositivi elettronici, smartphone, set-top box (STB) e personal computer (PC) che offre nuove opportunità di integrazione e condivisione (anche attraverso il sistema cloud computing) tra dispositivi collegati all'interno della casa.

La banda larga e le tecnologie mobili di quarta generazione rendono inoltre possibile la fruizione di contenuti multimediali a qualità sempre piu' elevata, creando nuove opportunità di scambio anche online di contenuti multimediali. A queste si aggiunge l'emergere dei servizi NFC. Attualmente tutti i dispositivi prevedono la funzionalità NFC che consentirà una veloce penetrazione di nuovi servizi legati al trasporto, retailing, pagamenti, couponing.

A questo scenario, inoltre, si accompagna in Italia e in Europa il processo di diffusione e sviluppo della televisione digitale interattiva (connected TV e social TV) dotata di connessioni ethernet/ADSL/wireless home networks. Questo settore potrà stimolare ulteriori evoluzioni del mondo della produzione e diffusione dei contenuti interattivi nonché una più efficiente gestione degli spazi pubblicitari volti a raggiungere specifici target e a raccogliere dati dagli utenti anche attraverso l'utilizzo dei social media combinati al programma in onda.

In questa sezione, le tecnologie e applicazioni per i contenuti online vengono classificate distinguendo le modalità di utilizzo da parte dell'utente finale.

Tecnologie abilitanti la creazione di contenuti online: blogs, user generated contents e podcast

Nuove tecnologie e servizi consentono agli utenti la creazione di contenuti multimediali online personali (testuali, foto, audio e video) in modo semplice. Questi comprendono i "blog" siti web aggiornati costantemente dagli autori che trattano gli argomenti più vari dall'attualità alla cultura, e che assumono caratteristiche di multimedialità con l'evoluzione di audio blog e video blog. Altri siti consentono di pubblicare video (es. YouTube) o creare podcast e distribuirli come file video e audio (Apple's iTunes).

Tecnologie abilitanti la connettività tra individui: social network e mondi virtuali

I social network hanno raggiunto una notevole penetrazione del mass market. In Italia la piattaforma largamente più usata rimane Facebook (1.36 miliardi di utenti attivi)[1], ma è interessante osservare come continui il trend di crescita dei servizi di instant messaging (WhatsApp ha superato i 600 milioni di utenti, contro i 400 milioni di 12 mesi fa, e Facebook Messenger è usato oggi da più di 500 milioni di persone; WeChat ha quasi raddoppiato la sua user-base, raggiungendo oggi i 468 milioni di utilizzatori).

I social network si rivolgono sempre più a specifiche audience: LinkedIn si rivolge a un target di professionisti mentre MySpace, Facebook, Google + si rivolgono a tutti gli utenti offrendo la possibilità di creare profili personali e rimanere in contatto. Occorre anche evidenziare il grande sviluppo dei location based social network. Foursquare è un social network basato sulla geolocalizzazione. Mediante un'applicazione mobile e web gli utenti registrati possono condividere la propria posizione con i loro contatti. Il check in nei luoghi permette di ottenere punti e badge, che costituiscono la parte ludica del network.

Il 60% degli italiani accede regolarmente a Internet, e gli account attivi sui canali social sono oggi 28 milioni (22 milioni accedono da dispositivi mobile): quest'ultimo (accesso a canali social da mobile) è il dato che ha visto il maggior incremento negli ultimi 12 mesi (+11%), a dimostrazione di una sempre maggior propensione di interagire in mobilità e in maniera attiva con i contenuti a cui è possibile accedere online.

Tecnologie abilitanti la collaborazione: wiki e open source

In questi siti molteplici contributori condividono la responsabilità nella creazione e mantenimento dei contenuti tipicamente basati su testi e immagini. Il più conosciuto è Wikipedia, l'enciclopedia non profit people-generated con oltre 2 milioni di articoli. La stessa logica di cooperazione è alla base di altre forme di collaborazione online che includono prodotti software open source come Linux (una versione del sistema operativo Unix) Apache (Server Web) e Firefox (Web browser). In open source, tecnicamente gli sviluppatori combinano i loro sforzi per costruire, testare e migliorare i prodotti software utilizzando un codice è aperto a tutti.

1 Fonte: Digital Social and Mobile 2015" Kemp, 2015
http://www.slideshare.net/wearesocialsg/digital-social-mobile-in-2015

Tecnologie abilitanti la possibilità di interazione: forum, rating e review

Oltre ai forum che consentono lo scambio di opinioni su tematiche attraverso post degli utenti altre tecnologie offrono la possibilità di attribuire una valutazione (rating) o effettuare una review e sono utilizzati come strumenti di interazione con i clienti da parte dei retailer ma anche come applicazioni a valore aggiunto nel caso di programmi televisivi da parte dei broadcaster.

Tecnologie per l'organizzazione dei contenuti: tags

Queste tecnologie consentono la classificazione e organizzazione dei contenuti facilitandone l'accesso. Siti come Del.icio.us, Digg, Flickr sono esempi di siti che offrono questa possibilità.

Tecnologie per accelerare la fruizione: rss e widgets

Le tecnologie RSS (Really Simple Syndacation) offrono agli utenti la possibilità di ricevere aggiornamenti RSS su argomenti di interesse. Widget sono invece mini applicazioni per la connessione a Internet e hanno specifiche funzioni e sono utilizzati anche per accedere alle diverse applicazione attraverso la connected Tv.

Tecnologie abilitanti l'interazione con contenuti televisivi

Oltre a Internet Tv (possibilità di accedere a contenuti televisivi da web), Tv interattiva (possibilità di interagire con il contenuto televisivo direttamente dalla TV) e mobile Tv (accesso a contenuti Tv da smartphone) appare rilevante segnalare lo sviluppo della social Tv che consente di fruire di contenuti televisivi unitamente alla possibilità di interagire e commentare attraverso l'utilizzo di social network. Questa nuova modalità di fruizione, già sviluppata in US e Asia e nella fase di lancio in Europa, consente di modificare la fruizione televisiva e il livello di "engagement" da parte dell'utente con effetti sul social commerce e la possibilità di una migliore profilazione dei clienti nelle diverse forme di advertisement integrato con i programmi.

La distribuzione televisiva, inoltre, assume caratteristiche multilivello: da Internet verso il terminale TV/STB principale della casa, e da quest'ultimo ad altri client fissi o mobili disseminati nella casa (place shifting).

Una serie di fattori molto differenti alimentano lo sviluppo dell'IPTV:

- fattori commerciali, quali la diffusione dei servizi broadband e la necessità degli operatori di intercettare la "seconda ondata" di utenti broadband dopo quella degli utenti Internet.
- fattori tecnici, quali la convergenza su protocolli IP delle architetture di rete, con costi decrescenti e possibilità di trasporto e commutazione di traffico in forte crescita, le nuove tecnologie di compressione del video, l'evoluzione delle tecnologie hardware relativamente alla costruzione dei terminali o delle memorie di massa.

Si possono classificare inoltre tre principali categorie di servizi televisivi:

- Servizi di "Broadcast TV", che garantiscono la fruizione contemporanea da parte degli utenti di un "canale" televisivo tradizionale, Free-to-air o Pay TV, in maniera del tutto simile a quanto avviene sulla TV tradizionale. Nel caso di servizio Pay Per View, l'utente paga per vedere una trasmissione a un orario prestabilito. I servizi di Broadcast TV sfruttano tipicamente le

funzionalità di Multicast presenti su una rete IP.

- Servizi di "Video On Demand" (VOD), che offrono la visione su richiesta di contenuti multimediali messi a disposizione dal Service Provider. L'utente interagisce direttamente con il Service Provider per navigare, richiedere, ricevere e visualizzare il contenuto in tempo reale (streaming), avendo a disposizione le funzioni tipiche di un DVD (play, pause, rewind, fast-forward), i contenuti audiovisivi di proprio gradimento.
- Servizi di WebTV, dove videoclip sono visti all'interno di un browser internet, senza necessità di scaricare client o player SW, nè di disporre di un box dedicato alla visione.
- Particolare rilevanza assume inoltre la televisione ad Alta Definizione (HDTV) grazie allo sviluppo su reti broadband IP.

La varietà di terminali e la flessibilità di utilizzo imporranno di ridefinire i metodi di interazione con l'utente, si prevede infatti un graduale abbandono del tradizionale telecomando a favore di metodi interazione basati su funzionalità aggiuntive quali controlli inerziali via MEMS (a-la Wii), o direttamente attraverso il riconoscimento di gesti via telecamere (gesture recognition)
Un ulteriore filone di sviluppo è quello relativo alla televisione stereoscopica (3DTV) e/o free-viewpoint, dove l'utente può dinamicamente selezionare il punto di visuale.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

In linea con i contenuti dell'Agenda Digitale (progetto Europa 2020) della Commissione Europea appare rilevante individuare alcune motivazioni per lo sviluppo delle tecnologie di accesso ai contenuti online:

1. Migliore interoperabilità tra prodotti e servizi TLC attraverso maggiore sinergia fra dispositivi, applicazioni, banche dati, servizi e reti. Anche attraverso alcune norme adeguate sulla proprietà intellettuale si potrà raggiungere un interoperabilità di successo;
2. Stimolare la sicurezza online;
3. Offerta di un accesso a Internet molto veloce e a prezzi competitivi.

Relativamente alle attività di ricerca, in queste aree si possono individuare i seguenti temi di business e tecnologia:

- Lo sviluppo delle tecnologie NFC (Near Field Communications) impongono la ridefinizione dei modelli di business mobili e servizi forniti basati su nuove modalità di m-payment;
- L'interoperabilità tra piattaforme di accesso e lo sviluppo della connected Tv aprono a nuove applicazioni e servizi con conseguente impatto sul mercato dei content e service provider;
- Necessità di ridefinire i nuovi ecosistemi di valore in cui operatori con competenze specifiche lungo la catena del valore collaborano per creare un nuovo modello di valore per il cliente finale;
- Sistemi di codifica audio avanzati per musica online: codifiche evolute sia lossy che lossless sono alla base della rivoluzione della musica online;
- Sistemi di codifica video di nuova generazione per compressione e qualità: in particolare lo standard Mpeg4 AVC/H264 è un vero e proprio abilitatore, per i risparmi di banda che permette, per l'evoluzione dei servizi e della qualità dei contenti(quest'ultima resa necessaria per

l'evoluzione dei servizi tipo IPTV verso il mondo della TV ad alta definizione (720p e 1080p). Per l'evoluzione a più lungo termine (2k, 4k), dovranno essere sviluppati nuovi codificatori;

- Sistemi di produzione e trasmissione in rete con modalità peer-to-peer di contenuti su piattaforme quali i STB multimediali. In questo caso, ogni terminale potrà assumere il ruolo di sorgente di contenuti per tutti gli altri "peer" collegati o di fruitore di contenuti ottenuti dagli altri peer. La distribuzione Peer to Peer potrebbe inoltre essere utilizzata per la diffusione di TV da parte dei broadcasters classici (EBU) o per servizi di VoD;
- Sistemi di protezione dei contenuti (Digital Rights Management, watermarking), per rendere possibili nuovi modelli di business: è opinione largamente condivisa che senza una efficace protezione dei contenuti digitali la introduzione in rete di contenuti di qualità da parte dei grandi editori sarà a forte rischio;
- Sistemi di classificazione e ricerca dei contenuti attraverso l'analisi statistica del testo poiché questi algoritmi potranno essere utilizzati anche per profilare l'utente e personalizzare il contenuto pubblicitario da inviargli.

Tutte queste tecnologie sono in stato di forte evoluzione e spesso si trovano nella fase ancora precedente alla standardizzazione. Vi sono importanti necessità di lavorare o in direzione di una standardizzazione efficace o della produzione di sistemi industriali conformi agli standard consolidati.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Con riferimento alla piattaforma Tv i principali operatori per lo sviluppo del mercato sono: Piattaforme Tv (cavo satellite, terrestre, fibra ottica) /Telco(IPTV providers)/Smart TV manufacturer che esapandono le proprie aree di servizio (fig. 13).

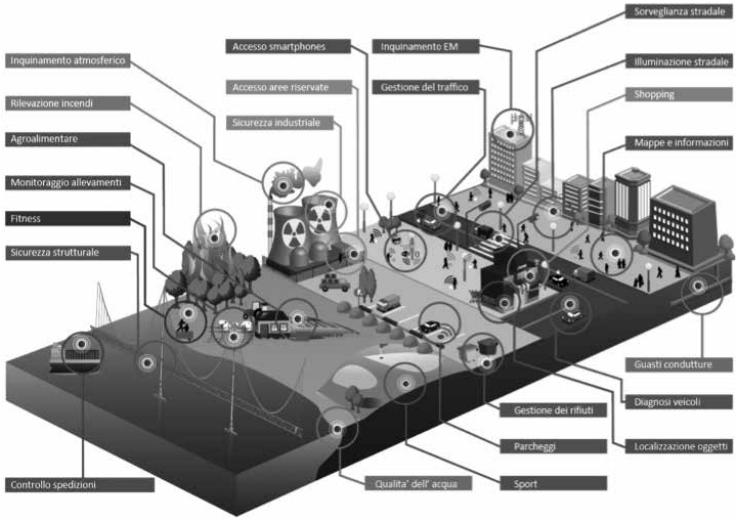


FIG. 13 – PRINCIPALI OPERATORI PER LO SVILUPPO DEL MERCATO PIATTAFORMA TV, 2015

Si assiste in Italia e in Europa a una rilevante crescita della penetrazione broadband e dello sviluppo della televisione digitale interattiva. Nella fase di lancio in Italia è la connected Tv mentre ancora poco sviluppata rispetto alle esperienze estere appare la social Tv.
Di particolare rilievo in Italia e all'estero è la penetrazione dei social media che aprono nuove opportunità di business per le aziende (brand page in location based social network) e servizi (social TV). Ancora poco sviluppato in Italia appare a riguardo lo sviluppo dei servizi avanzati da parte delle aziende che si avvalgono di questi network sociali con opportunità di geolocalizzazione (es. Foursquare).

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore 1 – Informatica e Telecomunicazioni

PIRELLI	Lucio Pinto (Coordinatore)
CEFRIEL	Alfonso Fuggetta (Coordinatore)
ERICSSON	Paola Iovanna
SINCROTRONE TRIESTE	Roberto Pugliese
ST MICROELECTRONICS	Andrea Pagni
PIRELLI&C spa	Marco Sabatini
INSTM	Roberto Pilot
ENEA	Andrea Quintiliani

con la collaborazione di:

CEFRIEL	Alfonso Fuggetta
TELECOM ITALIA	Raffaele De Peppe
UNIVERSITÀ COMMERCIALE BOCCONI	Margherita Pagani
POLITECNICO DI MILANO	Federico Cheli
	Alberto Colorni

SETTORE 2

>MICROELETTRONICA E SEMICONDUTTORI<

PROFILO DEL SETTORE

Il silicio è il secondo elemento più abbondante sulla crosta terrestre dopo l'ossigeno, essendo presente, oltre che nella sabbia, in una grande varietà di sali che si trovano nel terreno e nelle rocce. La sua facile reperibilità, associata alla sua economicità, ha consentito lo sviluppo, da circa settanta anni a questa parte, di una delle più avanzate industrie tecnologiche della storia: quella dei semiconduttori, il cui inizio si può collocare nel 1947 con la nascita del primo transistor a semiconduttore.

Da quel semplice transistor con dimensioni di centimetri, il mercato dei semiconduttori ha conosciuto incredibili sviluppi e differenziazioni di tipologia di prodotti, che spaziano dalle memorie, ai microprocessori, dispositivi di potenza, merging ottica e silicio, MEMS, che a loro volta hanno consentito la nascita di nuovi mercati come la sensoristica distribuita, o Internet of Things, ed infine soluzioni miniaturizzate in ambiti biomedicali. La tecnologia delle memorie, caratterizzata da litografie molto spinte, vede nuove soluzioni integrate non volatili come le Phase Change Memory, le cui prestazioni sono misurate in base alla velocità di scrittura e lettura, latenza, scalabilità, alta resistenza, e ultimo, ma non meno importante, il costo di produzione. In generale, il mercato delle memorie è caratterizzato da bassi costi e bassissimi margini, consentendo l'accesso a questo mercato solo da parte di quelle aziende in grado di sfruttare l'economia di scala propria di elevati volumi produttivi, quali: Samsung (Corea del Sud), SK Hynix (Corea del Sud), Micron (US), Elpida (Giappone), Toshiba (Giappone), Powerchip (Taiwan), Winbond (Taiwan), Fujitsu (Giappone), Nanya (Taiwan), Rambus (US), Everspin Technology (USA), IDT Incorporated (US), HP (US).

Altro macro blocco fondamentale è rappresentato dai microprocessori, le unità centrali di elaborazione dati, che contengono la logica di base per eseguire le funzioni necessarie al funzionamento di qualsiasi sistema applicativo. Nel mer-

cato dei computer, Intel Corporation (USA) detiene da diversi anni il dominio assoluto del segmento e, presumibilmente continuerà a mantenerlo anche nei prossimi anni, anche se importanti competitor avanzano come AMD, Inc. (US), ARM Holdings plc. (US), NVIDIA Corporation (USA), Qualcomm, Inc. (USA), e Samsung Electronics Co. Ltd. (Corea).

La grande varietà di funzioni richieste e diversità di applicazioni ha fatto sì che i microprocessori abbiano avuto nel tempo differenti specializzazioni e segmentazioni. Lo stato dell'arte, in termini di densità è costituito da piattaforme CMOS su silicio, oggi industrializzate con geometrie minime tipicamente di 14nm, realizzate per lo più su fette da 300 mm di diametro. L'elevata velocità di elaborazione dati dei microprocessori, associata a un parallelo aumento del contenuto informativo e contenuto di memoria, ha richiesto lo sviluppo di altrettanto veloci sistemi di trasferimento dati, aprendo così la strada a nuove soluzioni tecnologiche, come la Silicon Photonics, cioè il merging tra il silicio e la fotonica. Se i microprocessori sono dispositivi fondamentali per la gestione e generazione delle informazioni necessarie al funzionamento di qualsiasi applicazione, fondamentali sono i anche prodotti che interpretano i comandi del microprocessore e li trasformano in segnali dotati dei necessari requisiti di tensione e correnti atti a pilotare il carico finale a essi associato. Tecnologie che ben rispondono a queste esigenze sono le piattaforme miste BCD (Bipolare-CMOS-DMOS), che integrano nello stesso chip funzioni analogiche realizzate con dispositivi Bipolari, funzioni di elaborazioni logiche e di memoria con dispositivi CMOS, e potenza e tensione con dispositivi power DMOS.

Lo stato dell'arte dei BCD oggi riguarda piattaforme con geometrie minime di 110 nm su wafer a 300 mm in via di maturazione per l'industrializzazione, mentre sono già iniziate le prime fasi dello sviluppo di piattaforma da 90 nm. Sia le piattaforme CMOS, che BCD sono state caratterizzate fin dalla loro nascita da una costante e continua spinta per la riduzione costi, associata ad un contemporaneo aumento delle prestazioni. Lo sviluppo negli anni delle piattaforme CMOS ha trovato nella legge di Moore una regola aurea che dal 1965, anno della sua ideazione a oggi, ha trovato conferma, cioè: "*Le prestazioni dei processori, e il numero di transistor a esso relativo, raddoppiano ogni 18 mesi*".

Ma, con le tecnologie e materiali ora disponibili, questo trend non potrà essere valido all'infinito: prima o poi, si raggiungerà un limite fisico oltre il quale non si potrà ridurre ulteriormente la litografia della tecnologia. Già da un decennio è diventato difficile proseguire su questa strada; infatti, l'elevata concentrazione dei transistor crea problemi di dissipazione di calore, difficili da risolvere. Questo limite fisico è oggi ipotizzato essere di 7 nanometri; cosa che dovrebbe avvenire poco dopo il 2020. Perché la roadmap tecnologica rappresentata dalla legge di Moore continui occorrerà trovare materiali alternativi al silicio. Parallelamente ai CMOS, le piattaforme miste hanno seguito un percor-

so alternativo, focalizzato a una maggiore diversificazione delle funzioni da integrare, e non necessariamente incentrate sulla sola logica di riduzione dell'area occupata. Questa doppia necessità di miniaturizzazione (More Moore) e diversificazione (More than Moore) è stata ben evidenziata da "International Technology Roadmap for Semiconductors" nel diagramma in figura 14.

Va da sé che una miniaturizzazione spinta, associata a un aumento delle funzioni, porta automaticamente a una maggiore complessità tecnologica e di conseguenza aumento dei costi, creando così la necessità e lo spazio per una soluzione intermedia rappresentata da nuove soluzioni di packaging, che vedono l'incapsulamento di diversi ASICs e passivi in un singolo package. In pratica, invece di spingere al limite l'integrazione di alcune funzioni, si sfrutta la possibilità di incapsulare in uno stesso package diversi elementi in strutture stacked. Altro tipo di evoluzione tecnologica è rappresentato dai prodotti MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) utilizzati in moltissimi oggetti di uso quotidiano, come in auto negli airbag, nei PC, telefono cellulare, nei video giochi, applicazioni bio-mediche etc.

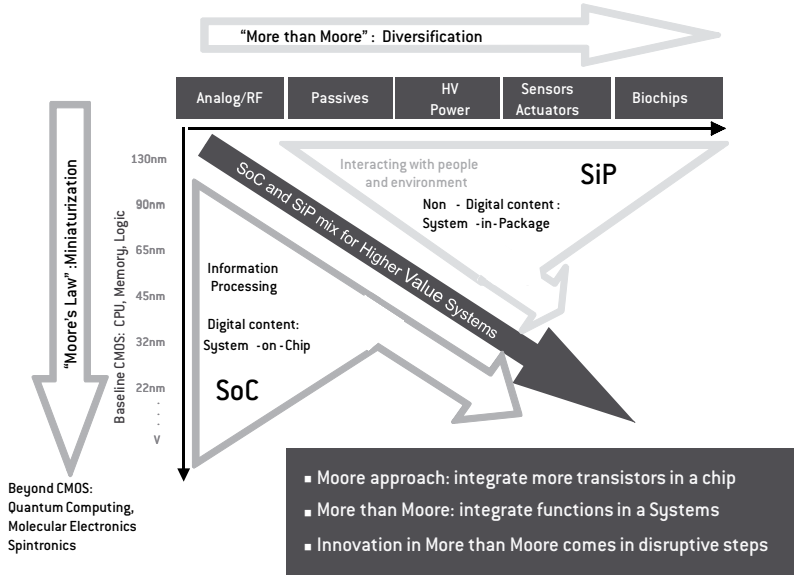


FIG. 14 MOORE'S LAW AND MORE THAN MOORE

I MEMS integrano su uno stesso substrato di materiale semiconduttore dispositivi di diversa natura: meccanici, elettrici ed elettronici. La parte meccanica è mobile, e ha la funzione di trasduttore del parametro fisico che si vuole monitorare, mentre la parte fissa è composta da uno o più circuiti integrati, che interpretano il segnale generato dal trasduttore, e generano un segnale com-

patibile con i carichi a valle. Questa capacità di alterazione della propria configurazione di riposo è resa possibile dallo spessore micrometrico e flessibilità di membrane di silicio sospese ancorata al substrato tramite molle di silicio. Associata alla variazione spazio-temporale della membrana corrisponde una sua variazione di alcuni parametri elettrici, come ad esempio la capacità, che opportunamente interpretata da circuiti associati rende possibile la trasduzione del parametro fisico esterno in un segnale elettrico. Ecco quindi che si ha la possibilità di avere una grande varietà di parametri misurabili, come ad esempio pressioni meccaniche (atmosferica, sonora, fluidica), inerziali (accelerazione 1 asse 2 asse 3 assi, giroscopio), termica, ottica e magnetica. Dato non trascurabile è il basso costo di produzione, reso possibile dall'economia di scala tipica delle produzioni delle industrie semiconduttori e, grazie al quale è stato possibile diffonderli in diversi mercati applicativi.

Nel complesso, l'industria MEMS nel periodo 2013-2019, ha un tasso di crescita annuo composto del 12,3 per cento con una dimensione di mercato da 11,7 miliardi dollari nel 2013 a previso di 24 miliardi dollari nel 2019 (Figura 15).

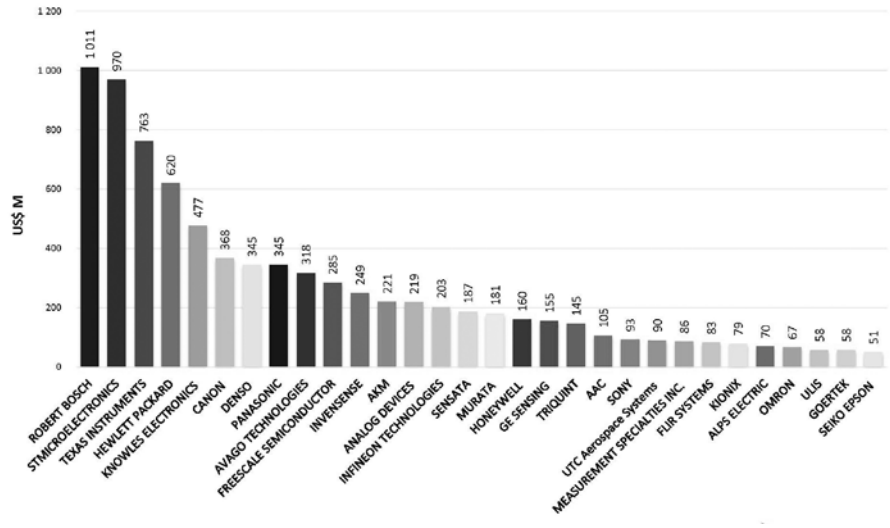


FIG. 15 – TOP 30 MEMS PLAYERS 2013, YOLE

Un altro campo applicativo che contribuirà all'incremento del mercato dei MEMS sarà Internet of Things, che richiede l'impiego di diversi tipi di sensori. Quest'applicazione vedrà diversi oggetti di uso quotidiano equipaggiati con sensori, in grado di rilevare le proprie condizioni di funzionamento e comunicarle a una rete circostante di analoghi oggetti, a noi o a un'unità centrale. Il risultato sarà di avere un sistema interattivo nell'ambiente in cui questi oggetti si

trovano. Alcuni esempi applicativi sono stati già realizzati, come ad esempio il controllo della pressione di pneumatici, che avvisa quando questa scende sotto un valore minimo, oppure scarpe da ginnastica che trasmettono la velocità di corsa dell'atleta e il suo stato di affaticamento, flaconi delle medicine che ci segnalano quando ci si dimentica di prendere un farmaco, etc.

Nel panorama delle innovazioni tecnologiche, recentemente è apparso un materiale dalle caratteristiche eccezionali, che molto probabilmente sarà protagonista in un prossimo futuro di nuovi mercati e applicazioni: il grafene. Infatti, nonostante abbia uno spessore "*atomico*", ha caratteristiche di robustezza superiori di un paio di ordini di grandezza all'acciaio, la mobilità degli elettroni è cento volte maggiore che nel silicio, è stabile a temperatura ambiente, flessibile, trasparente, non solo alla luce visibile, ma anche all'infrarosso e all'ultravioletto, ha densità di corrente e conducibilità termica superiore ai migliori conduttori. Il merito di questa scoperta va a due scienziati russi (A. Geim, Novoselov) dell'Università di Manchester, che hanno scoperto il grafene in modo quasi casuale.

Come per tutte le scoperte, anche nel caso del grafene si sono creati i partiti dei promotori e detrattori e, il dubbio del suo impiego in modo vantaggioso e il suo effettivo utilizzo su scala industriale è stato rivolto anche al suo inventore A. Geim, il quale ha risposto: *"A cosa serve il Grafene? "Non lo so. È come presentare un pezzo di plastica a un uomo di un secolo fa e chiedergli cosa ci si può fare. Un po' di tutto, penso"*.

Nonostante ciò, alcuni utilizzi di nanocomposti in grafene sono già stati realizzati, mentre tempi più lunghi sono previsti per il suo utilizzo nel campo della microelettronica.

Comunque sia, ingenti investimenti in R&S sono stati intrapresi in USA alla Texas Instruments per studi su piattaforme micrometriche, al MIT di Boston, dove è stato creato un gruppo centro di ricerca dedicato, e in Corea dove Samsung lavora alla deposizione di grandi dimensioni di grafene tramite la tecnica roll-to-roll per mercati dei TV LCD, mentre recentemente in Europa è partito il programma europeo Flagship, la più grande iniziativa di ricerca mai realizzata dall'UE, che con un budget di 1 miliardo di €, rappresenta una nuova forma di ricerca congiunta su una scala senza precedenti, che riunisce ricercatori accademici e industriali europei con l'obiettivo di trasportare, nel giro di 10 anni, il grafene dall'ambiente universitario, al mercato per applicazioni di uso comune.

MERCATO

Secondo World Semiconductor Trade Statistics (WSTS) il mercato dei semiconduttori mostra una solida crescita nel 2014 che superando abbondantemente i 300 miliardi di dollari ha garantito una percentuale di crescita di ~ 9% rispetto all'anno precedente. I più alti tassi di crescita sono si sono avuti nel mer-

cato delle memorie (17,3%), seguita dai discreti (12,3%) e analogici (10,3%). Anche per il 2015 WSTS prevede una buona crescita, anche se più modesta, arrivando a 345 miliardi di dollari US nel 2015, mentre per il 2016 il mercato è previsto, essere 355 miliardi di dollari con una crescita del 3,1%. Automotive e Communications sono previsti crescere con un tasso superiore a quello del mercato totale, mentre consumer e computer si assume rimarranno quasi piatti. La regione Asia-Pacific continuerà a correre a una velocità superiore alle altre regioni, raggiungendo nel 2015 una share del 60% del mercato totale.

FIG. 16 – MERCATO DEI SEMICONDUTTORI, 2014, WSTS

AUTUMN 2014	AMOUNTS IN US$M				YEAR ON YEAR GROWTH IN %			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
Americas	61,496	65,763	69,274	71,432	13.1	6.9	5.3	3.1
Europe	34,883	37,923	38,491	39,732	5.2	8.7	1.5	3.2
Japan	34,795	35,239	35,133	35,452	15.2	1.3	-0.3	0.9
Asia Pacific	174,410	194,226	201,648	208,656	7.0	11.4	3.8	3.5
Total World – $M	305,584	333,151	344,547	355,272	4.8	9.0	3.4	3.1
Discrete Semiconductors	18,201	20,441	21,347	21,980	-4.9	12.3	4.4	3.0
Optoelectronics	27,571	29,498	30,958	31,983	5.3	7.0	4.9	3.3
Sensors	8,036	8,627	9,151	9,624	0.3	7.4	6.1	5.2
Integrated Circuits	251,776	274,586	283,090	291,685	5.7	9.1	3.1	3.0
Analog	40,117	44,217	47,429	49,175	2.1	10.2	7.3	3.7
Micro	58,688	62,211	63,144	64,240	-2.6	6.0	1.5	1.7
Logic	85,928	89,547	91,488	93,927	5.2	4.2	2.2	2.7
Memory	67,043	78,611	81,029	84,343	17.6	17.3	3.1	4.1
Total Products – $M	305,584	333,151	344,547	355,272	4.8	9.0	3.4	3.1

http://www.wsts.org/PRESS/Recent-News-Release

OCCUPAZIONE

Nel mondo dell'alta tecnologia l'industria dei semiconduttori è una delle principali fonti di occupazione qualificata di tipo diretto e indiretto, in grado di garantire competitività rispetto ai mercati di minor valore aggiunto. A livello mondiale l'occupazione diretta supera il milione e mezzo di addetti mentre quella indiretta, più difficile da misurare, riguarda l'indotto (fornitori di materiali, apparecchiature e impianti per la fabbricazione, servizi, etc.). L'impatto più forte sull'occupazione è naturalmente dato dall'apertura di settori nuovi (si pensi ad esempio ai MEMS o a prodotti come gli smartphone o i tablet), o dallo sviluppo di aree intensamente popolate (Cina, India, America Latina…) dove la domanda di "modernità" diventa urgente e massiccia (si pensi ad esempio alla telefonia cellulare, a Internet e ai servizi a essi associati, resi possibili dalla disponibilità di circuiti integrati di complessità sempre crescente e a prezzi sempre più competitivi).

Vale poi la pena di evidenziare che la sensoristica dedicata ad applicazioni mirate a mercati di nicchia offre possibilità d'ingresso a PMI che possono occupare spazi lasciati scoperti dai giganti internazionali. Negli ultimi anni sono stati costruiti in Europa vari nuovi impianti per la produzione di circuiti integrati di nuova generazione. Altri già esistenti sono stati ristrutturati per applicazioni di massa o specialistiche. Accanto alle attività produttive e di progettazione delle grandi industrie di semiconduttori si sono sviluppate eccellenti capacità progettuali di circuiti integrati in ambito d'industrie produttrici di sistemi elettronici, un compito questo facilitato dalla presenza in Europa d'industrie avanzate nel campo dei semiconduttori. In Italia le attività produttive e di ricerca si sono espanse al Nord come al Sud con un rilevante coinvolgimento di laboratori pubblici e Università. Le maggiori industrie nazionali del settore dei semiconduttori hanno accresciuto la loro presenza in Italia a oltre 15.000 persone, aumentando il numero di ricercatori a circa 5.000, anche grazie al potenziamento dei centri di ricerca nell'Italia meridionale. Sono inoltre presenti numerosi laboratori di ricerca congiunti con Università ed enti pubblici di ricerca.

RICERCA E SVILUPPO

Le tecnologie microelettroniche e dei semiconduttori saranno oggetto nei prossimi anni di grandi sforzi di ricerca in Europa e nel mondo sotto la spinta di una concorrenza a livello mondiale sulle nuove frontiere dell'ICT.

Gli sforzi maggiori di ricerca continueranno a concentrarsi sulla microelettronica del silicio ovvero sull'integrazione di sistemi elettronici complessi su *chip* o in *package*: nuove tecniche di fabbricazione sia 2D che 3D, nuovi materiali, nuove architetture di dispositivi, nuove architetture di sistema, nuovi concetti, metodologie, strumenti di progettazione e verifica, software embedded e packages.

I costi di ricerca in continua crescita e la necessità di continua riduzione del "time to market" imporranno alle aziende accordi strategici con concorrenti e utilizzatori nonché la partecipazione a grandi programmi di ricerca cooperativa.

Per fare fronte alla crescente pressione competitiva le maggiori industrie e centri di ricerca europei attivi nel campo della microelettronica partecipano a programmi EUREKA a finanziamento multinazionale come CATRENE (Cluster for Application and Technology Research in Europe on NanoElectronics), e ai programmi FRAMEWORK, finanziati dalla EU, di cui oggi è attiva la settima edizione, e a programmi a finanziamento misto EU-governi nazionali ECSEL (Electronic Components and Systems for European Leadership). Sono tutte piattaforme nate allo scopo di coordinare le attività di ricerca in vari settori, realizzando la migliore utilizzazione delle risorse disponibili.

Tipicamente nelle industrie avanzate europee gli investimenti annui si aggi-

rano sul 20-25% dei ricavi con costi di ricerca che oscillano attorno al 15-20% del fatturato, valore eguagliato solo dall'industria farmaceutica.

Se però ci si confronta con l'analoga situazione negli USA e in Giappone, si scopre che nel panorama "hi-tech" le spese di R&S risultano mediamente di un terzo superiori.

L'Europa gioca e può giocare un ruolo di primo piano nel mondo globale in settori dove le tecnologie micro-elettroniche abilitanti sono quelle proprie del More-than-Moore (MtM): settori quali l'automotive, industrial & medical, security, ecc…

Da un punto di vista della fornitura di circuiti microelettronici, nel tempo il modello di *business* è cambiato e oggi, rispetto al passato in cui un'azienda faceva tutto in casa, dalla progettazione circuitale allo sviluppo su silicio e successiva vendita al cliente, si è passati ad un contesto per il quale esistono tre differenti modelli di *business*:

- l'azienda IDM (*Integrated Device Manufacturing*) che fa ancora tutto in casa;
- l'azienda *fabless*, che disegna i circuiti e vende i prodotti, ma si affida al altri per il loro sviluppo su silicio e produzione;
- l'azienda *foundry*, che, essendo proprietaria di linea produttiva, sviluppa su silicio e produce i wafers per terzi, eventualmente mettendo a disposizione anche proprie tecnologie.

Questo modello è trasversale al segmento di *business*, nel senso che esistono aziende dei tre tipi operanti sia nel segmento del MtM, che nel segmento del More-Moore. Eventualmente una singola azienda può anche operare nei due diversi segmenti – nel caso delle *foundry*, l'esempio tipico è la taiwanese *TSMC* o anche l'americana *Globalfoundries*.

Poichè in Europa esistono molte aziende operanti in mercati sopra citati il cui modello di *business* è quello di *fabless*, l'esistenza di *foundry* (europee con *fab* presenti in Europa) che operino nei *range* tecnologici di interesse per lo sviluppo dei prodotti di tale aziende, con la possibilità di spingersi al *leading edge* del segmento MtM per la tipologia di applicazione di interesse, rappresenta in prospettiva un vantaggio per non avere dipendenza tecnologica da aree geografiche extra-europee.

In questo contesto l'Italia può giocare un proprio ruolo, sfruttando quanto già esistente con le potenzialità di sviluppo. In particolare, parlando di *silicon* foundry, la presenza di LFoundry che opera su linea di silicio da 8" sia su *customer technology* – ovvero importando sulla propria linea di silicio una tecnologia già sviluppata dal cliente, che come *open foundry* – ovvero mettendo a disposizione tecnologie proprietarie sulla base delle quali il cliente, sia esso una società, un centro di ricerca o una Università, può sviluppare un prototipo a costi ragionevoli che, successivamente, potrà industrializzare e mettere in produzione.

La possibilità di accesso a MPW (Multi Project Wafer) e MLM (Multi Layer Mask) dà la possibilità a fabless, centri di ricerca e università di testare i loro design su silicio a costi notevolmente inferiori rispetto all'utilizzo del Full Mask Set completo.

L'accesso al nodo tecnologico, attraverso il PDK – Process Design Kit, è fornito dalla foundry con il modello di business denominato "open foundry".

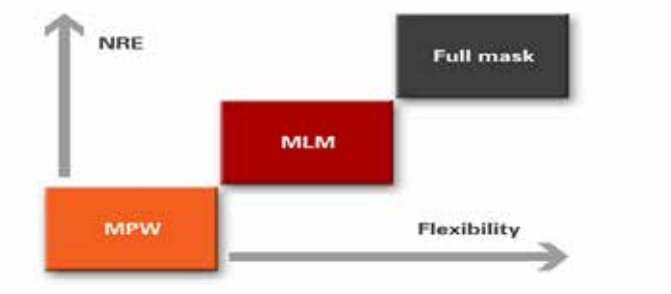


FIG. 17 – MODELLO "OPEN FOUNDRY"

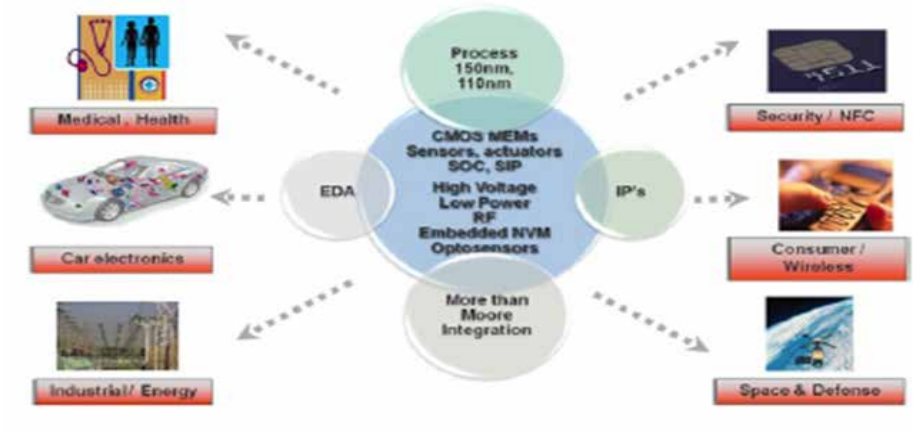


FIG. 18 – PROCESSI E TECNOLOGIE PER I SETTORI DI SVILUPPO IN EUROPA

Lo sviluppo di tecnologie *leading edge* per stabilimenti a 8" fornisce solide piattaforme abilitanti per indirizzare le potenzialità dei settori in cui l'Europa può giocare un ruolo di primo piano (vedi Fig. 18): da un punto di vista di nodo tecnologico, significa consolidare l'offerta tecnologica sui nodi fino a 130 nm e sviluppare l'offerta su nodi inferiori (110 nm e 90 nm), in modo da ottenere sistemi su *chip* (*system on chip*) più complessi, con funzionalità addizionali, combinando componenti di tipo analogico, digitale e MEMS in processi CMOS compatibili.

La dotazione, inoltre, di soluzioni tecnologiche non standard per il segmento MtM su 8", quali l'utilizzo del rame nelle piste metalliche, il Back Side Illumination nei sensori ottici e lo stitching nei processi fotolitografici fornisce ulteriore margini di competitività.

Infine l'ampliamento del servizio in termini di supply chain da parte della foundry, con servizi relativi al testing e back-end, può portare in Italia parti di processo, oggi forniti da soggetti terzi, dando la possibilità di generare nuove posizioni lavorative.

SINTONIA CON LE LINE EUROPEE

Per mantenere la leadership europea, sia nei mercati esistenti sia in quelli emergenti, ECSEL (Electronic Components and Systems for European Leadership) ha individuato nelle "Key Applications" e "Essential Capabilities" i pilastri che consentiranno di creare nuovo valore e ricchezza per i cittadini europei. Entrambi questi pilastri sono strettamente collegati alle sfide individuate nell'ambito di Horizon 2020, che possono essere classificati in una forma più generale come "Smart Everything Everywhere", che troverà nuovi mercati e opportunità nello sviluppo di nuovi mercati applicativi come Internet of Things, Nanoelettronica, Microelettronica, Fotonica, trasporti, Telecomunicazioni. Le imprese che partecipano alla IX edizione AIRI per il settore "Microelettronica e Semiconduttori" si trovano allineate con le direttive europee specificate in ECSEL. Questo è di particolare importanza poichè in Europa, il mercato dei semiconduttori, componenti e sistemi integrati impiega oltre 9 milioni di persone, di cui oltre 1 milione di posti di lavoro diretti nel settore dei semiconduttori, che nel complesso consentono all'Europa di affrontare un mercato globale di oltre 2.600 miliardi di dollari, contribuendo al 10% del PIL nel mondo.

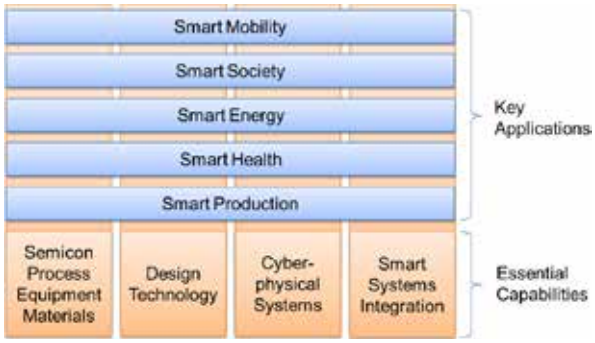


FIG. 19 – "KEY APPLICATIONS" E "ESSENTIAL CAPABILITIES" EUROPEE, ECSEL

Smart Mobility

Il settore della mobilità deve affrontare sfide ad elevato impatto sociale, come la riduzione delle emissioni di CO_2, miglioramento complessivo della qualità dell'aria, gestione intelligente del traffico col fine di eliminare o almeno ridurre la congestione, raggiungere una mobilità priva di incidenti; tutto questo in un contesto generale di invecchiamento medio della popolazione. Questi obiettivi saranno resi possibili dotando automobili, fuoristrada, aerei, navi, treni, etc. di componenti elettronici integrati, sistemi integrati o distribuiti, dotati di intelligenza on-board.

Smart society

L'Europa rappresenta un'area in continua evoluzione, dove sempre più persone vivono in ambienti urbani, e dove costantemente nascono nuove necessità ed esigenze, quali ad esempio: mobilità individuale, consumo di energia efficiente, distribuzione sicura di informazioni private, smart home, pagamenti on-line, mobile computing, smart administration, etc; tutto questo garantendo sempre il massimo della privacy. In questo settore, le opportunità di business per l'Europa saranno supportate da un'integrazione globale di nuove tecnologie in grado di gestire e analizzare elevate moli di dati, con sistemi autonomi e con una capillare diffusione dell'utilizzo di reti di sensori interconnessi e distribuiti.

La presenza italiana di aziende produttrici di componenti integrati, hardware o software, sensori, attuatori, reti di sensori, gateway, server, sottosistemi idonei per la costruzione di applicazioni intelligenti, oltre a garantire la dovuta sicurezza e privacy rappresenta un punto di forza per garantire l'indipendenza dai competitori extra-europei. Inoltre, la gestione di un'enorme mole di dati sensibili richiede un know-how specifico per la protezione contro attacchi di spionaggio, la copia e più in generale sicurezza, che trovano nell'autenticazione e crittografia nuovi campi di sviluppo. Infine, una standardizzazione che regolamenti tutti questi aspetti tecnico-giuridici garantirà un quadro complessivo di sicurezza di tutela i cittadini.

Smart energy

Obiettivo fondamentale della Smart Energy è una rilevante riduzione del consumo di energia primaria, oltre che una riduzione delle emissioni di anidride carbonica. I componenti e sistemi elettronici sono ancora elementi base determinanti per raggiungere una maggiore efficienza e uso intelligente dell'energia lungo tutta la catena, dalla produzione alla distribuzione e al consumo. Migliorare l'efficienza nella generazione, riducendo i consumi energetici ed

emissioni di anidride carbonica sono le forze trainanti per la ricerca in nanoelettronica, embedded e sistemi integrati, affinché in tutte le applicazioni di energia esista un giusto equilibrio tra sostenibilità, efficienza dei costi e sicurezza dell'approvvigionamento.

Smart health

L'invecchiamento della popolazione è una dimostrazione del miglioramento della qualità della vita, ma parallelamente comporta un aumento dei costi sanitari. Per coprire e gestire quest'aumento dei costi, Smart Health si propone come obiettivo di spostare l'assistenza sanitaria da ospedaliera a livello locale e distribuito. Sarà quindi l'innovazione tecnologica di prodotti e sistemi che consentirà di modificare radicalmente l'assistenza sanitaria in tutte le sue fasi, ad esempio

FIG. 20 – VERSO L'ASSISTENZA SANITARIA DISTRIBUITA

		GOAL	ACTION	RESULT	
HEALTHCARE INNOVATION		TECHNICAL INNOVATION	ECONOMIC IMPACT	SOCIETAL IMPACT	
1	Prevention	Enhanced healthy lifestyle support: food & nutrition, activity levels, mental health	Unobtrusive monitoring; coaching with new interaction mechanisms	New markets for preventative products (>1 B€)	Longer,healthy lifespan. Reduced healthcare cost
2	Diagnosis	Simple, fast, low-cost, routine early diagnosis	Cheaper, faster, safer and easier-to- use diagnostic equipment; data mining based decision support systems	Minimum interruption of working life; access to emerging markets	Cheap screening of large populations, covering a broader scope of threats; better treatment due to early diagnosis
3	Treatment Therapy	Fast enabling of minimally-invasive, image-guided intervention; personalized medicine	More advanced imaging and treatment workflows; advanced, smart implants and prosthesis	Strengthened position of EU in therapeutic equipment	Reduced treatment and hospitalization; increased patient independence
4	Aftercare	Assisted rehabilitation support; prompt detection of complications or relapse	Integrated monitoring and support environments though dedicated smart devices	New markets for aftercare products (>> 1 B€)	Increased recovery rates, reduced periods of hospitalization
5	Food Quality Control	Improved monitoring and control of quality in the food chain	Disposable biosensors, sensor nodes, quality algorithms	New markets for food quality products (>> 1 B€)	Improved food quality and reduced food waste

Smart production

La Smart Production copre ogni tipo di produzione industriale dove i componenti e sistemi elettronici avanzati avranno un ruolo determinante per migliorare e rendere più efficiente ed intelligente il processo di produzione e automazione.

La produzione industriale deve affrontare una forte concorrenza da parte del resto del mondo, e un ulteriore sviluppo della leadership europea in automazione è la chiave per aumentare la competitività europea nella Smart Production area. I sistemi elettronici avanzati e il loro embedded software rappresentano elementi fondamentali per la competitività in Italia ed in Europa. I campi su cui fare leva per ottenere una produzione sostenibile e flessibile sono la disponibilità, la flessibilità e la controllabilità dei sistemi integrati, produzione sicura.

La Smart production sostenibile e integrata si concentrerà sulla capacità di automazione e integrazione intelligente del sistema di produzione nei settori della tecnologia, strumenti e metodologie per l'integrazione del sistema, funzionalità del dispositivo intelligente come il rilevamento, la comunicazione, la gestione della informazioni, il controllo, l'azionamento, con conseguente manutenzione intelligente ed esecuzione di una produzione intelligente.

Tecnologie Essenziali

A livello europeo sono stati identificati come tecnologie essenziali quelle che consentiranno di mantenere una leadership nel settore sia dei prodotti digitali, che basano la loro roadmap su di una continua riduzione della litografia (More Moore), sia su di una differenziazione delle funzioni (More Than Moore), e non ultimo nuove soluzione di embedding di circuiti integrati e componenti come il "System in Package" (SiP). Lo sviluppo di queste tecnologie sarà la base per alimentare e sostenere lo sviluppo rappresentato nei precedenti capitoli come Smart Everything Everywhere.

La progettazione di nuove tecnologie e prodotti rappresenta la via maestra ed unica per trasformare le idee e le esigenze in prodotti innovativi, che a loro volta devono rispettare requisiti di costi, prestazione, qualità, affidabilità ed efficienza energetica, utilizzando o sviluppando nuovi design kit tecnologici, soluzioni architetturali, librerie generando anche nuove Ips.

L'ingresso nel mercato dei semiconduttori di nuovi tipi di mercato ed applicazioni come ad esempio Internet of Things, apre l'orizzonte applicativo verso sistemi intelligenti, interconnessi, interdipendenti, decentralizzati e autonomi, che forniscono autonomia di calcolo, comunicazione e monitoraggio di diversi componenti fisici per varie applicazioni. La potenza di questa nuova tipologia di

prodotti risiede nella loro scalabilità connessa alla possibilità di interazione con gli esseri umani, l'ambiente e le macchine.

La sfida tecnologica di questa nuova tipologia di prodotti risiede nella capacità di progettare e produrre soluzioni economiche, dimensionalmente piccole, estremamente sensibili alle variazione dei parametri sotto misura, equipaggiati di una loro logica di memorizzazione e calcolo, oltre alla possibilità di trasmettere ad una unità centrale di raccolta dati le misure effettuate, tutti questi requisiti resi possibili dalle micro/nanotecnologie proprie delle industrie semiconduttori.

TECNOLOGIE PRIORITARIE

Le tecnologie riportate riguardano un'amplissima gamma di componenti microelettronici, sottosistemi e sistemi e sono già in gran parte riportate nella precedente edizione, giacché il cammino della microelettronica appare indirizzato in un quadro evolutivo che, accanto al filone definito "more Moore", darà sempre più spazio a quello definito "more than Moore".

Le Tecnologie Prioritarie sono dunque:

1. Integrazione di sistemi elettronici su silicio
2. Integrazione di sistema 3D su fetta
3. Integrazione embedded-Non-Volatile-Memory su silicio
4. Tecnologie per componenti optoelettronici e fotonici
5. Tecnologie dei materiali a base di Grafene
6. Tecnologie per la sensoristica chimica
7. Tecnologia dei nodi multisensoriali
8. La chimica avanzata del boro nell'impiantazione ionica – trimix in sistema uptime
9. Sistemi per componenti optoelettronici e fotonici

RISORSE ECONOMICHE TOTALI

Circa 600 milioni di euro.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 1

INTEGRAZIONE DI SISTEMI ELETTRONICI SU SILICIO

DESCRIZIONE

Piattaforme BCD (Bipolare-CMOS-DMOS)

Sviluppo di tecnologie multifunzionali per l'integrazione su silicio di sistemi elettronici complessi comprendenti blocchi analogici, logici, componenti di potenza e Memorie Non Volatili.
Le piattaforme BCD permettono di integrare nello stesso chip componenti bipolari, adatti per realizzare funzioni analogiche precise, dispositivi CMOS ottimali per realizzare blocchi logici, strutture DMOS scelta migliore come componenti di potenza capaci di sostenere alta tensione, memorie non volatili (NVM).

Le tecnologie BCD entrano in un'ampia gamma di applicazioni che richiedono un intervallo esteso di tensioni di alimentazione. Perciò lo sviluppo delle piattaforme BCD ha visto la diversificazione in varie famiglie per poter soddisfare le richieste di utilizzo nei vari campi di applicazione. Le architetture di processo utilizzano sia substrati di silicio "bulk" sia substrati "SOI" (Silicon On Insulator).

Le famiglie BCD possono essere segmentate in (vedi figura 21):

- BCD Alta Tensione (800V – isolamento galvanico fino a 6kV) tipicamente utilizzate in applicazioni industriali, illuminazione e Auto Elettrica.
- BCD su substrato SOI (20V – 200V) per soddisfare i requisiti di applicazioni particolari quali ad esempio l'ecografia ad ultrasuoni, pico-proiettori.
- BCD Avanzati (8V – 100V) usati in una grande varieta' di applicazioni nel campo Automotive e Consumer.
- High Voltage CMOS (<40V) per realizzare interfacce sensori e prodotti analogici avanzati.

La tecnologia BCD può essere classificata appartenente alla categoria cosiddetta "More than Moore" dove il progresso non dipende esclusivamente dall'evoluzione del nodo tecnologico come nel caso delle tecnologie digitali "More Moore", ma dipende maggiormente dalla concezione e dall'offerta dei dispositivi integrati per soddisfare le richieste applicative. Comunque come in tutti i campi della tecnologia dei semiconduttori, la corsa verso la riduzione delle dimensioni litografiche ha svolto un ruolo importante nel determinare anche l'evoluzione delle famiglie BCD, procedendo però più lentamente rispetto all'evoluzione presente nelle piattaforme CMOS. Allo stato attuale, per i processi su silicio bulk è in produzione la generazione BCD da 0,18/0,16µm, è in avanzato stato di sviluppo quella da 0,11µm, e deve partire la valutazione di fattibilità per quella da 0,09µm (90nm).

Per i processi su substrati SOI, dopo la produzione della generazione da 0,35µm è in avvio di produzione quella da 0,16µm mentre il prossimo passo sarà lo sviluppo della generazione da 0,11µm.

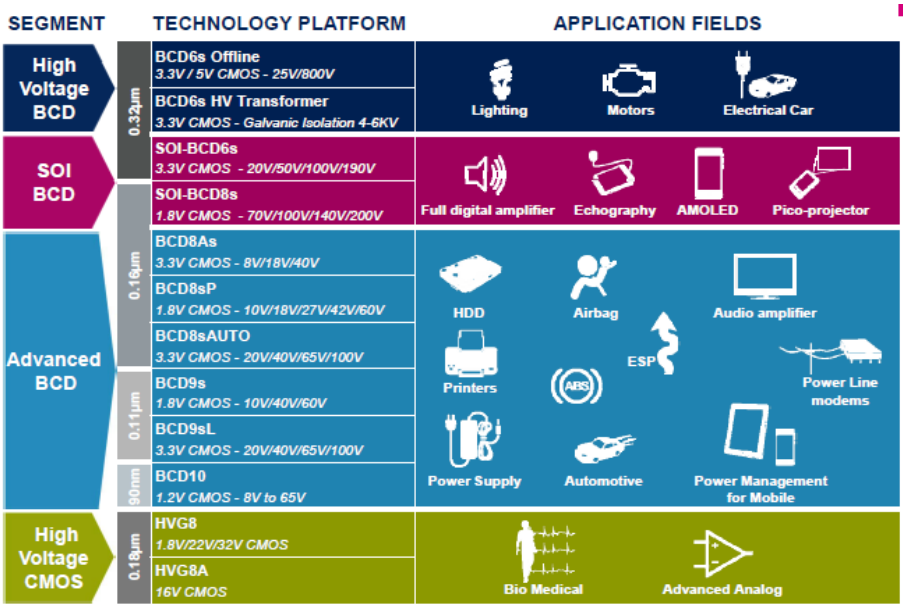


FIG. 21 – FAMIGLIE BCD

Per l'integrazione su silicio di sistemi elettronici complessi sempre più performanti comprendenti blocchi analogici, logici, componenti di potenza e Memorie Non Volatili (Smart Power ICs), l'evoluzione verso nodi tecnologici avanzati si traduce in grande beneficio riguardo all'ottenimento di alta densità e velocità della logica CMOS integrabile ma le sfide principali si concentrano su:

- Differenziazione o ottimizzazione delle architetture d'integrazione e isolamenti quali "a giunzione con diffusioni", "a giunzione con trincee profonde", "a dielettrico" con substrati SOI e trincee riempite di ossido di silicio.
- Differenziazione dell'offerta dei dispositivi integrabili quali ad esempio strutture NVM con tecnologia "phase change" o PCM, nuovi materiali per integrare sensori magnetici, alti spessori di materiali dielettrici per ottenere funzioni d'isolamento galvanico pari a molti KV.
- Nuovi schemi di metallizzazione (Cu-damascene, Cu-RDL, NiPd) per interconnessioni elettriche per poter gestire alte correnti e permettere la saldatura dei fili di connessione su piazzuole poste sopra aree attive di silicio.
- Strutture innovative per realizzare i dispositivi di alta tensione e potenza poiché per questi ultimi i vantaggi derivanti dalla diminuzione delle dimensioni litografiche si stanno riducendo.

Le ricerche necessarie per sviluppare i nuovi processi, come sempre, riguarderanno attrezzature manifatturiere, processi di fabbricazione, metodologie di progetto, architetture dei dispositivi, nonché le metodologie di collaudo e i *package*. Le difficoltà tecnologiche principali sono legate alla diminuzione delle dimensioni fisiche e alla scalabilità degli elementi integrati, all'integrazione degli elementi ad alta tensione, alla riduzione della potenza dissipata, all'aumento di complessità di strutture e circuiti, al controllo delle difettosità di lavorazione e alle fluttuazioni del processo produttivo. Questa evoluzione introdurrà dei vincoli tecnologici molto severi che richiederanno un'intensa attività di ricerca sui nuovi materiali da associare al silicio (integrazione eterogenea), nuovi processi (interconnessioni di rame, strutture SOI, dielettrici ad alta e bassa costante dielettrica), nuove architetture di componenti, nuove soluzioni circuitali, fette di silicio di maggior diametro, tecniche litografiche ottiche e post-ottiche. In generale sarà necessario integrare sullo stesso silicio diverse tipologie di transistori, ottimizzati per alte velocità, per basse dissipazioni, per alte tensioni e per funzionalità analogiche, per far fronte alle molteplicità di richieste delle applicazioni.

Nel campo della progettazione avrà valenza strategica lo sviluppo degli strumenti necessari per gestire la progettazione di circuiti di grande complessità quali compilatori, e librerie di blocchi circuitali riutilizzabili. Un ruolo sempre più importante sarà rappresentato dalla fase di verifica del progetto, per il quale saranno necessari strumenti di verifica della funzionalità sia ad alto livello (simulazione logica), sia a livello di layout (simulazione elettrica) su circuiti sempre più complessi, emulatori, e infine specifiche attrezzature di collaudo, che consentano di validare circuiti comprendenti non solo una grande quantità di porte logiche, ma anche funzioni analogiche e di potenza. Dal punto di vista tecnologico la capacità di integrare tecnologie differenti in sistemi complessi e sul medesimo *chip* rappresenterà in molti casi un obiettivo di maggior valore dell'ottimizzazione di una singola tecnologia per quanto importante possa essere.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'integrazione di componenti di tensione/potenza assieme a consistenti capacità digitali di elaborazione risponde alle richieste, diffuse ormai in quasi tutti i settori, di "potenza intelligente".

Storicamente il settore automotive ne rappresenta il campo applicativo più consistente, si pensi ad esempio alle tematiche di gestione motore ed ai sistemi di sicurezza attiva, seguito dal settore industriale e delle periferiche per computer, ma questo tipo di architettura è ormai diffuso ovunque, dalla gestione batterie per veicoli elettrici e dispositivi portatili, al pilotaggio LED per illuminazione interna ed esterna, alle interfacce per sensori e attuatori MEMS e così via.

Anche il settore medicale si è già affacciato e certamente prenderà quota nel medio futuro. Per mantenere il primato che l'Italia detiene nel settore dell'integrazione di potenza verso gli altri concorrenti, principalmente Texas Instrument e Freescale (US), Infineon e NXP (EU), Renesas e Toshiba (Giappone), TSMC (Taiwan), è essenziale riuscire ad avanzare costantemente nella tecnologia e nei prodotti per consolidare l'attuale posizione e soddisfare nuove richieste di mercato.

Un esempio di importante step in avanti è rappresentato dallo sviluppo della piattaforma BCD da 90nm (BCD10) idonea per essere prodotta su fette di silicio del diametro di 300mm e comprendente nuovi tipi di memorie non volatili (NVM). Per arrivare a ciò sarà importante un'attività

preparatoria da farsi sull'attuale piattaforma BCD da 110nm (BCD9) portando la tecnologia PCM (memorie a cambiamento di fase).
La disponibilità di questo tipo di memorie su una piattaforma BCD consentirà di realizzare sistemi smart power su chip ad alta complessità comprendenti microcontrollori con abbinata memorizzazione di s/w e dati. Ciò permetterà di espandere la presenza sul mercato di prodotti BCD in applicazioni richiedenti codici di pilotaggio complessi e riconfigurabili assieme ad attuatori di potenza integrati in un singolo package.
Queste applicazioni entrano nel campo dell'Automotive (sia "power train" che "car body"), dei controllori dell'energia e "smart-meters" attraverso la "smart-grid", pilotaggi per lampade LED per spazi pubblici e domestici, sensori intelligenti, ecc.
Come sempre nella storia dello sviluppo delle piattaforme BCD da questo nuovo nodo tecnologico verranno derivate altre versioni con integrazione di componenti elettronici, nuovi materiali, capacità in reggere alte tensioni, personalizzate per soddisfare specifiche richieste di applicazioni standard e nuove.
Le motivazioni per lo sviluppo di questi concetti, che rappresentano l'asse portante dei semiconduttori, sono di tipo economico e allo stesso tempo di tipo strutturale per l'industria dei semiconduttori e dei sistemi elettronici.
In genere le motivazioni di tipo economico sono rappresentate da un mercato che, seppure oggetto a ciclicità, è caratterizzato da una crescita continua e dall'introduzione pressoché ininterrotta di nuove applicazioni rese possibili dall'elevato livello di complessità fisica e funzionale raggiungibile con i circuiti SoC.

In particolare tutte le previste applicazioni d'interesse pubblico (salute, assistenza agli anziani, servizi informatici distribuiti, accesso aperto ai servizi) sono basate sulla disponibilità di terminali di accesso mobili (smart phone, tablet PC, netbook) a bassissimo consumo e a basso costo. Le motivazioni di tipo strutturale sono in relazione al forte contenuto di sistema presente negli SoC che aumenta il valore aggiunto dei prodotti e crea l'opportunità per la nascita di nuovi centri di progettazione e società *fabless* (senza capacità produttiva).

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Il nome e la tecnologia BCD furono introdotti da ST a metà degli anni '80 in anticipo di qualche anno sulla concorrenza. Ciò ha permesso di realizzare e consolidare un primato nel campo tuttora presente con la generazione di molte piattaforme evolutesi in litografia, capacità di sostenere tensione e varietà di componenti integrati e con la costruzione di un solido know-how nel campo della progettazione specialmente nei campi di applicazione audio, automotive e industriale.
Inoltre da oltre trenta anni esistono in Italia attività di ricerca e produzione di circuiti integrati basati sulla tecnologia del silicio e di memorie Non Volatili a semiconduttore sia per memorizzazione di massa sia per applicazioni embedded.
In Italia esiste una solida attività di sviluppo di nuove tecnologie, e in particolare si sono create competenze di avanguardia nel campo delle memorie a cambiamento di fase (*PCM: Phase Change Memories*), per le quali è stato prodotto in Italia il primo dispositivo di memoria disponibile commercialmente.

Sono inoltre disponibili solide competenze di progettazione dei sistemi di memoria dedicati, con particolare riguardo alle applicazioni nei sistemi elettronici mobili e nell'automotive. Come già detto i principali concorrenti sono:

- Texas Instruments presente nei segmenti di mercato computer peripherals, power management, audio consumer, industrial e automotive con tecnologie fino a 0,18µm.
- Freescale presente in campo automotive oggi propaganda una tecnologia 0.13µm su SOI.
- Infineon concorrente in campo automotive e industrial con tecnolgie rispettivamente da 0.13µm e alta tensione.
- NXP concorrente in campo automotive, audio car-radio e consumer oggi propone una tecnologia 0.13µm su SOI.
- Renesas presente come NXP con tecnologia 0.18µm.
- Toshiba concorrente in applicazioni industriali e audio car-radio presenta una tecnologia da 0.13µm.
- Maxim, Linear Technology, Dialog concorrenti in power management per portatili.
- Foundries (TSMC, Dongbu, Tower-Jazz, ecc).

Nell'ambito del 7° Programma Quadro si sono recentemente conclusi parecchi progetti su concetti avanzati di memoria, anche con il supporto della competenze, sia tecnologiche sia di progettazione di Università che di Centri di Ricerca nazionali.
Nell'ambito del programma ENIAC sono stati attivati progetti di ricerca sia tecnologici (LENS, IMPROVE, SILVER), sia di progettazione (MODERN e END) sia applicativi (SMART e TOISE, dedicati ad applicazioni sicure e IDEAS per applicazioni automotive).
Nel settore BCD si stanno concludendo due importanti progetti di sviluppo tecnologia in ambito ENIAC: SmartPM su piattaforme BCD-SOI di alta tensione in ambito medicale, E3CAR su piattaforme BCD di altissima tensione e su sensori magnetici in architettura di vettura elettrica.
All'estero i principali produttori di semiconduttori compiono grossi investimenti nell'area della progettazione/produzione di memorie, supportati, soprattutto in Asia da una politica mirata di sostegno pubblico. Le ricerche in corso in Italia sono qualitativamente in linea con quelle delle aziende più avanzate a livello mondiale e dispongono di strutture che utilizzano fette di silicio da 200 mm.
Con riferimento alle applicazioni SoC, l'America ha come punti di forza Internet e informatica, mentre l'Europa eccelle nelle comunicazioni mobili, nell'elettronica dell'automobile e nelle carte elettroniche intelligenti.
L'UE ha assunto la leadership globale nella lotta al cambiamento climatico, attraverso la sottoscrizione del Protocollo di Kyoto e la cosiddetta "Strategia 20-20-20", dove l'Europa si è dichiarata disposta a tagliare entro il 2020 le emissioni di gas serra del 20% rispetto ai valori del 1990 e ad incrementare l'utilizzo di energie rinnovabili del 20**%** sul consumo finale lordo di energia.
Data l'importanza che il tema ha assunto, si sono sviluppate molteplici iniziative in tutto il mondo da un lato per standardizzare i sistemi di misura dell'efficienza energetica delle piattaforme di telecomunicazioni di nuova generazione, quali ETSI EE, ITU SG5, ATIS EE, CoC, ecc. e dall'altro per sviluppare meccanismi e tecniche opportune su cui far leva per ottimizzare il consumo di energia sia statico che dinamico. I meccanismi di ottimizzazione dovranno essere realizzati senza intro-

durre limitazioni di funzionalità e/o cambiamenti sostanziali delle capacità operative sia degli apparati coinvolti, che della rete nel suo complesso.
Ciò sarà realizzato mediante l'introduzione, negli apparati e nelle interfacce, di capacità avanzate di standby e power dynamic scaling, estendendo convenientemente i protocolli di linea e di rete per supportare tali funzionalità e aggiungendo nel contempo, ai piani di controllo e di gestione, le funzionalità necessarie a realizzare opportunamente l'ottimizzazione del consumo. Sarà possibile raggiungere questi obiettivi sfruttando, in particolare, le nuove capacità degli apparati di entrare in stati di standby e di modificare la propria potenza elaborativa in funzione del consumo desiderato (power dynamic scaling).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 2
INTEGRAZIONE DI SISTEMA 3D SU FETTA

DESCRIZIONE

L'integrazione 3D a livello fetta comporta la realizzazione di strutture particolarmente complesse per ottenere sistemi o sottosistemi multifunzionali che integrano elementi e materiali basati su differenti tecnologie.

Esempi di strutture 3D sono le micro-pompe in silicio con attuazione piezoelettrica esterna o integrata.

In ambito medico, molte terapie per diverse patologie umane richiedono un'iniezione sub cutanea multipla, spesso giornaliera, di fluidi, medicine, nutrienti oppure ormoni.

Per queste applicazioni, in particolare per applicazioni quali il diabete di tipo 1 e di tipo 2, si sta sviluppando una micro-pompa in silicio per rispondere a esigenze di miniaturizzazione, sicurezza e confort.

Attualmente i microinfusori più diffusi sono quelli per diabete, sia in Italia ma soprattutto all'estero. La tecnologia di microinfusori per diabete evolve sempre di più e sta andando nella direzione della realizzazione di dispositivi sempre più piccoli e più confortevoli con l'obiettivo di migliorare la qualità di vita del paziente diabetico.

Il mercato globale dei diabetici è attualmente di circa 382 Milioni di persone in tutto il mondo (International Diabetes Federation, 2013), di cui il 46% non è diagnosticato. Si prevede che il numero di diabetici nel mondo incrementerà notevolmente e raggiungerà i 500 Milioni entro il 2035.

Sono diverse le micro-pompe disponibili sul mercato, suddivise in 'durable pump' e 'patch pump'. Nel primo caso si tratta di dispositivi di grosse dimensioni, comportano l'uso di lunghi tubi esterni, hanno qualche sistema di sicurezza e sono largamente in uso in Italia e all'estero. I leader di mercato sono aziende americane quali Medtronic (Minimed Paradigm), J&J (One Touch System Animas), Roche (AccuCheck) e altre come Dana Diabetes. Ognuno di questi sistemi possiede delle caratteristiche definite che rispondo alla maggior parte delle richieste o necessità dei pazienti.

L'evoluzione di questi sistemi è rappresentata dalle 'patch pump', sistemi miniaturizzati e che si possono indossare facilmente dal paziente, non comportano l'uso di tubi ma hanno un piccolo sistema di infusione come parte del sistema. Il sistema patch più diffuso è rappresentato da Insulet–Omnipod, che si sta divulgando gradualmente.

Al momento non ci sono ancora sul mercato dei dispositivi basati sulla tecnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), tuttavia i MEMS avrebbero il vantaggio di utilizzare tecnologie note dell'industria dei semiconduttori, sfruttando in aggiunta le proprietà meccaniche del silicio, e questo permette di realizzare strutture meccaniche tridimensionali micrometriche.

Un sistema MEMS integrato offre numerosi vantaggi in una terapia complessa come quella del

diabete. Grazie al MEMS, è possibile sviluppare sistemi patch di piccolissime dimensioni per ridurre la percezione di indossare un dispositivo medico ingombrante e leggero che può essere facilmente nascosto sotto i vestiti.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

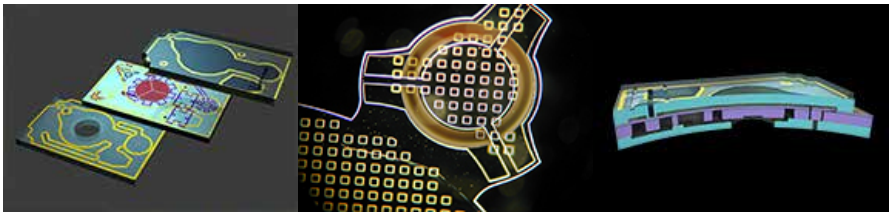
L'obiettivo di una micro-pompa in silicio è quella di sviluppare un chip fatto di 3 fette di silicio bondate per realizzare il cuore di una nuova patch pump, piccola e confortevole, un sistema basato su valvole e membrana di pompaggio in grado di rilasciare dosi estremamente accurate di insulina a dosi molto basse e indipendentemente dalle condizioni esterne in cui si trova il paziente. Questo sistema deve inoltre possedere dei sensori di pressione integrati che agiscono come sensori di flusso per garantire la precisione ed il funzionamento del pompaggio atto a garantirne la sicurezza durante il suo uso e che dia anche in generale una sensazione di confort per il paziente che la indossa.

Il MEMS non è composto solo dal chip con i sensori integrati ma anche di un package complesso per assicurare la mutua connessione elettrica ma anche la robustezza meccanica compatibile con l'attuazione meccanica esterna e gli altri subcomponent del sistema fluidico (cartuccia d'insulina, connessione elettrica del remote control, ecc...).

Il MEMS chip è pertanto assemblato con un attuatore piezoelettrico che muove la membrana in un movimento di compressione e decompressione del fluido all'interno della camera di pompaggio.

Grazie alle loro caratteristiche d'integrazione multifunzionale, i bassi costi in produzioni ad alti volumi ma al tempo stesso un'alta precisione, le tecnologie MEMS potrebbero essere utilizzata nel diabete ma anche altre terapie che richiedono un rilascio molto preciso, sia in continuo oppure su richiesta.

In questo scenario s'inquadra questo sviluppo che rappresenta una delle sfide tecnologiche più complesse per i MEMS in ambito medico e che, specificamente per la Insulin Pump, si concluderà se l'intero sistema riuscirà a rispondere a tutte le esigenze di design, di tecnologie, di sicurezza d'uso, di applicazione per il suo uso da parte di pazienti ma anche di migliorare la terapie diabetica. La figura 22 mostra alcuni aspetti di questo sviluppo in ST.



SISTEMA 3D DELLA ST MEMS PUMP | STRUTTURE INTEGRATE DI VALVOLE E DETECTORS PER GARANTIRE IL FUNZIONAMENTO DEL MICROINFUSORE | MEMS CHIP E' ASSEMBLATO CON UN ATTUATORE PIEZOELETTRICO

FIG. 22 – ST MEMS PUMP IS THE CORE OF DEBIOTECH'S JEWEL PUMP 1 & 2

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Nel campo dei microinfusori in ambito medico sono attive svariate aziende americane ma anche europee, e diversi sono gli sviluppi in corso in ambito accademico ed industriale.
Sebbene il diabete sia forse uno degli ambiti medici più innovativi e tecnologici rispetto a molte altre applicazioni mediche, tuttavia le innovazioni sono poche e richiedono lunghi tempi di sviluppo anche legati agli aspetti regolatori dei vari paesi.
Tuttavia, la tendenza alla miniaturizzazione, precisione, integrazione di altre funzioni/componenti, la riduzione dei costi, l'aumento del comfort del paziente non a scapito della sicurezza, potrebbe continuare a favorire la realizzazione di microsistemi integrati sullo stesso chip che contiene parte meccanica ed elettronica. Questo, congiuntamente ad un sistema in grado di rivelare la concentrazione di glucosio e scambiare i dati in tempo reale con il personale medico, potrebbe rappresentare un ulteriore passo tecnologico per questo settore. Microinfusori basati su MEMS come quello sopra descritto, non sono ancora presenti in Italia e all'estero, pertanto questi sviluppi offrono l'importante vantaggio di costruire un know-how specifico in Italia che sarebbe visibile anche a livello europeo ed internazionale. Gli sviluppi di complessi sistemi 3D come quello descritto è un altro esempio di come STMicroelectronics continui a realizzare piattaforme tecnologiche quanto più ad ampio spettro e flessibili atte ad indirizzare nuove opportunità in mercati sempre più vasti e diversi.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 3

INTEGRAZIONE EMBEDDED-NON-VOLATILE-MEMORY SU SILICIO

DESCRIZIONE

Negli ultimi anni le memorie non volatili (NVM) hanno acquisito un ruolo sempre più importante, confermando di essere un settore molto dinamico e soggetto a continua innovazione nel panorama dei dispositivi a semiconduttore.

La caratteristica fondamentale delle NVM è la capacità di mantenere dati in maniera permanente, anche in assenza di alimentazione. Come si vede dallo schema seguente (Fig. 23), sono state proposte varie soluzioni che, utilizzando diversi fenomeni fisici, soddisfano questo obiettivo.

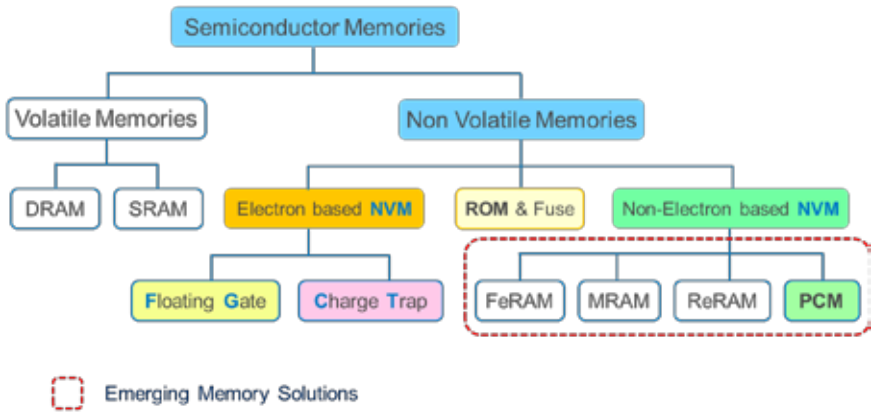


FIG. 23 – MEMORIE NON VOLATILI

Le architetture più consolidate, dimostrate su vari nodi tecnologici con produzione su larga scala, si basano sul confinamento di carica su un elettrodo isolato (Floating Gate memory) o all'interno di un dielettrico (Charge Trap memory) in modo da modulare le caratteristiche elettriche di un transistore MOS e quindi codificare gli stati logici "0" e "1".

Se la memoria viene integrata insieme con altre funzioni (logica CMOS, circuiti analogici, periferiche) su un medesimo chip realizzato con un flusso di processo modulare, si parla di memoria non volatile "embedded" (e-NVM).

Le più svariate applicazioni che utilizziamo nella nostra vita quotidiana oggi sono realizzate con microcontrollori (MCU) e altri circuiti integrati che contengono memorie non volatili.

Sempre più applicazioni richiedono la possibilità di aggiornare il codice durante la vita operativa del prodotto, oppure memorizzare parametri che sono utilizzati per ottimizzare le prestazioni del sistema.
Le memorie e-NVM sono particolarmente adatte a rispondere a queste esigenze poiché permettono di realizzare interi sistemi su un singolo circuito integrato, soluzione obbligata nel caso di requisiti stringenti per velocità, riduzione della potenza dissipata e immunità al rumore.
Nel tempo sono state proposte diversi tipi di celle di memoria per venire incontro ad una estrema frammentazione delle dimensioni dell'array (da pochi kbit a molti Mbit) e dei profili d'uso dei dispositivi. Ad esempio, un piccolo taglio di memoria e-NVM (<1kB) può essere utilizzato per memorizzare codici di sicurezza-identificazione, attivare la ridondanza in banchi di memoria volatile (SRAM), regolare le prestazioni analogiche del dispositivo. In questo caso si tratta di memorie soggette a un numero limitato di programmazioni per byte (OTP/FTP), dove il requisito più importante è ridurre al minimo il costo dell'integrazione della NVM. Spesso le soluzioni implementate (laser fuse, anti-fuse, Single Poly EEPROM) si realizzano senza introdurre nuovi moduli di processo e senza livelli addizionali di mascheratura.
L'altro estremo è costituito dai prodotti ad alte prestazioni, guidato dalle applicazioni "automotive" che richiedono funzionalità nell'intervallo da -40°C a 175°C e in grado di soddisfare requisiti di "zero difetti" in affidabilità, con tagli di memoria da 2MB a 16MB.
In questo caso il concetto di riferimento è la cella Flash NOR, sviluppata all'inizio degli anni '90, che permette di superare i limiti di scalabilità dell'architettura EEPROM a due transistori. È stata prodotta su larga scala per memorie di massa e rappresenta l'architettura più studiata per quanto riguarda i meccanismi di fallimento.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Nonostante i punti di forza che abbiamo descritto, sono evidenti alcune limitazioni dell'architettura Flash NOR: l'organizzazione dell'array espone le celle non selezionate a disturbi elettrici durante le operazioni di programmazione e lettura, il consumo in programmazione è relativamente elevato, così come l'area addizionale dei circuiti che generano e gestiscono l'alta tensione necessaria per modificare il contenuto della memoria.
Per superare queste difficoltà sono state proposte molte strutture alternative per la cella di memoria, sempre basate su uno schema NOR che semplifica l'integrazione con il processo CMOS. Alcuni esempi per il nodo tecnologico a 90nm sono riportati nella figura 24, dove sono evidenziate anche le principali caratteristiche delle varie soluzioni.
Tutte queste opzioni si possono ricondurre al concetto di "split-gate", dove viene introdotto un transistore di selezione condiviso da una coppia di celle che permette di attivare un meccanismo di programmazione "source side injection" (SSI), in alternativa a "channel hot electron" (CHE) utilizzato nella Flash convenzionale.
Grazie a questa architettura la programmazione è più efficiente, i consumi vengono ridotti ed anche l'operazione di lettura richiede una tensione più bassa. Di conseguenza si può ridurre l'area della decodifica e dei circuiti per la programmazione della memoria, compensando in questo modo l'area della cella relativamente più grande.

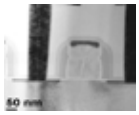
90NM NODE	1T NRO	1T ESF3	1.5T SG MONOS	1.5T HS3P	1.5T SG TFS
DEVICE STRUCUTRE					
PROG/ERASE	CHE/FN	SSI/FN	SSI/HHI	SSI/FN	SSI/FN
PRO'S	High density	Power, LV read path	Power	Power	Power, LV read path
CON'S	Power	Process complexity	Reliability	Process comlexity	Concept Maturity
COMPANY					

FIG. 24 – SOLUZIONI E-NVM PER IL NODO TECNOLOGICO 90NM.

Comunque tutte le memorie "floating gate" presentano alcune limitazioni strutturali che non possono essere superate: sono integrate nella parte iniziale del processo di fabbricazione e quindi hanno un impatto sulla logica CMOS, richiedono lo sviluppo di transistori dedicati in grado di generare le tensioni relativamente elevate richieste per il funzionamento della memoria che non scalano con l'evoluzione dei nodi tecnologici.
In sintesi, l'architettura "floating gate" è difficile da integrare in maniera efficace per quanto riguarda complessità e costi di processo, in particolare nel caso di CMOS avanzato (28nm ed oltre) dove non esiste alcuna sinergia con i moduli di processo (ossidi ad elevata permettività e gates metalliche) dedicati alla realizzazione dei transistori della piattaforma digitale.
Quindi è evidente la forte motivazione del mondo accademico e dell'industria microelettronica nel ricercare possibili alternative sia per l'architettura della cella di memoria che per nuovi schemi di integrazione di processo.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Memorie Resistive

Nell'ultimo decennio uno sforzo notevole a livello mondiale si è concentrato sullo studio di soluzioni alternative alle attuali memorie non volatili basate sull'immagazzinamento di carica elettrica. Industria, centri universitari e di ricerca hanno proposto approcci innovativi per garantire la continua miniaturizzazione delle memorie, sia per applicazioni di massa che di tipo "embedded". Nel primo caso il principale fattore trainante per gli sviluppi è il costo, nella secondo la compatibilità con la piattaforma CMOS in cui la memoria non volatile viene integrata. La classe delle memorie resistive contiene tutti i dispositivi programmabili il cui stato logico "0" o "1" corrisponde a diversi valori di resistenza o, più in generale, di impedenza. Un'idea dell'impegno delle maggiori industrie del settore sui vari filoni può essere fornita dalla figura 25.

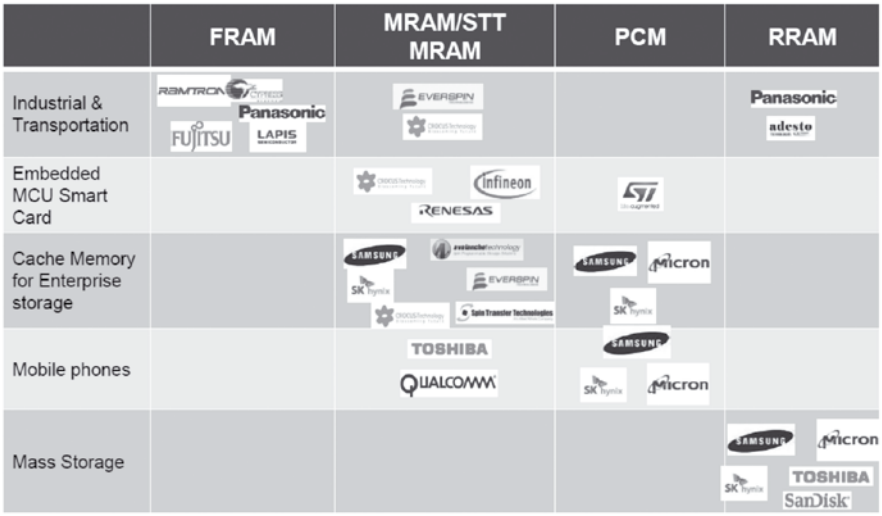


FIG. 25 – IMPEGNO INDUSTRIALE NEL SETTORE DELLE MEMORIE RESISTIVE (FONTE: YOLE)

Un resistore programmabile non volatile si può realizzare in microelettronica grazie all'introduzione di nuovi materiali, come nel caso delle memorie a cambiamento di fase PCM (Phase Change Memory), oppure mediante strati più o meno complessi di materiali già disponibili in una linea di produzione, come nel caso delle memorie resistive RRAM (Resistive RAM) o nel caso delle memorie a ponte conduttivo CBRAM (Conductive Bridge RAM). Le memorie a cambiamento di fase verranno discusse in maggior dettaglio nel paragrafo seguente.

Le memorie di tipo resistivo offrono come sicuro vantaggio rispetto alle soluzioni attuali la possibilità di essere realizzate nella parte finale del processo di fabbricazione, ossia a livello delle metallizzazioni. Questo permette di minimizzare l'impatto della memoria sulla piattaforma CMOS, caratteristica particolarmente importante nel caso di applicazioni embedded, e di realizzare matrici molto dense, grazie all'intrinseca natura 3D della struttura. Il costo di processo è estremamente favorevole, grazie ai pochi livelli (dell'ordine di 2-3) di mascheratura litografica necessari per la definizione della memoria.

Per quanto riguarda le RRAM o CBRAM, il principio di funzionamento si basa sulla formazione e dissoluzione reversibile di un filamento conduttivo all'interno di un dielettrico in seguito all'applicazione di un campo elettrico di polarità opportuna.

Lo stato logico di un bit può essere alterato con bassi livelli di corrente e in tempi molto rapidi (dell'ordine delle centinaia di ns). Si tratta di soluzioni molto innovative, con un modesto livello di maturità (ossia lontane da una reale applicazione industriale), in quanto spesso basate su studi e caratterizzazioni a livello di singola cella di memoria.

L'affidabilità delle RRAM è ancora oggetto di ampie discussioni, in quanto un'accurata descrizione dei principi chimico-fisici che ne regolano il funzionamento dipende strettamente dalla sequenza di strati/materiali utilizzati. In molti casi, infatti, per ovviare a problemi di scarsa ritenzione del da-

to ad alta temperatura, si interviene sui materiali utilizzati per migliorarne le prestazioni. La previsione del comportamento in ritenzione per tempi lunghi è ancora un punto piuttosto debole delle RRAM.

La Soluzione PCM

Il principio di funzionamento delle memorie a cambiamento di fase (PCM) si basa sulle proprietà specifiche di alcuni composti ternari noti come calcogenuri che derivano dalla presenza di elementi appartenenti al 16° gruppo della tavola periodica, come il tellurio (Te). Tali materiali sono noti da diversi decenni in ambiente industriale per applicazioni come la xerografia o la riproduzione audio/video su dischi ottici. Sono caratterizzati da uno stato cristallino stabile a elevata conducibilità e riflettività e uno amorfo metastabile caratterizzato da bassa conducibilità e riflettività. Le applicazioni dei calcogenuri nel campo delle memorie non volatili sfruttano la diversa resistività degli stati amorfo e cristallino, facendo corrispondere allo stato logico "1" la fase cristallina altamente conduttiva.

Il materiale più largamente studiato e utilizzato nel campo delle memorie è il Ge-Sb-Te nella composizione stechiometrica 2-2-5. Negli ultimi 15 anni diverse architetture di cella sono state proposte per la realizzazione di matrici di memoria di varia densità e con ampia casistica di applicazioni. Tra i vantaggi specifici di questo tipo di soluzione possiamo evidenziare la sua semplicità, dato che un solo materiale dedicato è da gestire a livello di integrazione. In comune con le altre memorie di tipo resistivo garantisce la velocità di scrittura (dell'ordine delle centinaia di ns), l'integrazione nella parte finale del processo e il basso costo (poche maschere aggiuntive). Inoltre lo stato logico della cella dipende dalla fase in cui si trova un volume di materiale, mentre le RRAM si basano sulla formazione/dissoluzione di un filamento, modalità che rende il funzionamento intrinsecamente più soggetto a fluttuazioni stocastiche. I calcogenuri sono composti ternari; è stato ampiamente dimostrato che una semplice variazione della composizione stechiometrica può modificare le proprietà elettriche della memoria.

Le PCM sono considerate come la soluzione più matura tra tutte le memorie emergenti: sono state utilizzate per la realizzazione di prodotti con dimensione del Gbit nel nodo tecnologico a 45nm. Questo dato ne dimostra il livello di maturità e il processo di consolidamento dell'architettura, già avvenuto a livello industriale. Il cambiamento di fase del materiale avviene in seguito a riscaldamento locale dovuto al passaggio di un intenso impulso di corrente. Lo stato amorfo è metastabile, nel senso che per tempi estremamente lunghi o temperature molto elevate il materiale tende a tornare allo stato cristallino. È stato solidamente dimostrato che il fenomeno segue la legge di Arrhenius in termini di cinetica e dipendenza dalla temperatura. È quindi possibile prevedere la stabilità del dato immagazzinato durante la vita del dispositivo (vale a dire la sua affidabilità).

Infine le PCM sono le uniche memorie emergenti in grado di garantire la ritenzione del dato immagazzinato anche dopo esposizione al processo di saldatura del circuito integrato su scheda, che prevede un picco di temperatura di circa 260°C per alcuni minuti.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 4

TECNOLOGIE PER COMPONENTI OPTOELETTRONICI E FOTONICI

DESCRIZIONE

Le aree di ricerca e sviluppo prioritarie riguardano:

- La realizzazione di circuiti ottici planari in silicio, ossido di silicio ed ossinitruro di silicio su substrato di silicio.
- L'accoppiamento ibrido tra componenti attivi III-V e circuiti ottici planari e relative tecnologie di packaging.
- L'integrazione 3D di componenti elettronici e componenti fotonici sul medesimo substrato.

Le tecnologie prioritarie sono relative alla costruzione di dispositivi fotonici per la rete ottica di nuova generazione come ad esempio:

- Guide con salto d'indice di rifrazione ottimizzato per l'applicazione.
- Multiplatori e demultiplatori ottici fissi e sintonizzabili.
- Accoppiatori ottici.
- Amplificatori ottici integrati in guida d'onda.
- Risonatori ad anello.
- Filtri fissi e sintonizzabili.
- Specchi.
- Adattatori di modo.
- Compensatori di dispersione.
- Controllori di polarizzazione.
- Circuiti di monitoring e tuning termico di dispositivi selettivi in lunghezza d'onda.

I dispositivi fotonici servono per la realizzazione dei nodi (Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer, OADM, Optical Cross Connect, ...) e delle terminazioni ottiche per le reti di trasporto, distribuzione ed accesso e soprattutto per Data Center e i link a brevi distanze. Le principali tecnologie da sviluppare sono:

- Tecnologie di deposizione (CVD, Sputtering, forni per la crescita degli ossidi, ...).
- Tecnologie di definizione delle geometrie (fotolitografia) e di attacco (attacco wet e dry , ion beam ε).
- Tecnologie di microposizionamento e di fissaggio automatiche.
- Post processing con polimeri e compatibilità di processo.
- Tecnologie di packaging.
- Tecnologia per l'automazione dei processi produttivi e dei metodi di test.

Di rilevanza generale sono le nanotecnologie necessarie per aggiungere nuove funzionalità, ridurre la potenza dissipata e aumentare la densità dei dispositivi per unità di area su fetta (per esempio modulatori in cavità integrati).
Di grande interesse la possibilità di aumentare la densità dei componenti fotonici integrabili su di un singolo dispositivo per la riduzione della complessità degli accoppiamenti esterni ed il contenimento dei costi. A tal fine gli sviluppi delle guide ad alto salto di indice di rifrazione e degli adattatori di modo sono di rilevanza primaria. La maggiore densità di funzionalità e componenti integrati su di un singolo substrato rende particolarmente critico il package e l'accoppiamento con le fibre ottiche, che hanno una struttura guidante a basso salto di indice di rifrazione. Tecniche nuove di packaging a basso profilo si renderanno necessarie per aumentare la densità di moduli Tx/Rx su piastra, oltre alla ricerca di nuovi substrati ceramici, termicamente conduttivi, che permettano di migliorare prestazioni dei componenti, come il flusso luminoso dei diodi LED.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

È indubbio che la componentistica optoelettronica sia ormai una delle più strategiche per le applicazioni in diversi settori commerciali, e già oggi costituisca, soprattutto grazie ai componenti dedicati alle brevi distanze e alle applicazioni in Data Center, dai 10 fino ai 400Gb/s, un mercato che passa dai 3 mdi di dollari del 2013 ai 10 mdi di dollari nel 2020.
Allo stesso tempo restano ampie possibilità di sviluppo nell'area metropolitana, dell'accesso e della rete in generale, dove ancora poco è stato sfruttato il fatto che le tecnologie fotoniche integrate su silicio consentono di integrare molte funzionalità elettroniche che consentono la programmabilità remota della rete. In questo ambito è necessario uno sforzo non indifferente di sviluppo tecnologico finalizzato a componenti ottici producibili in grandi volumi e a costi ridotti in grado di competere in termini di rapporto prestazioni/costi con le soluzioni attuali. Un vantaggio cruciale offerto dalle nuove tecnologie di integrazione per ridurre i costi della gestione di rete potrà essere ottenuto aumentando "l'intelligenza" a bordo del componente, le cui prestazioni potranno quindi essere controllate da remoto, riducendo la complessità di gestione della rete.
Lo sforzo per lo sviluppo della componentistica in tutti questi settori, associato ad una generale riduzione dei costi consentita dalle tecnologie qui proposte, consentirà di accelerare l'attuale fase di recupero del mercato e di instaurare un'importante nuova fase di diffusa espansione.
Le motivazioni per lo sviluppo di queste tecnologie possono, quindi, sintetizzarsi nell'opportunità di investire in un settore con un potenziale forte tasso di crescita nel mercato mondiale, e in particolare negli aspetti legati al packaging dei dispositivi, settore ancora del tutto immaturo a livello mondiale, con considerevoli possibilità di ritorno economico anche per l'industria italiana.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Da una parte il quadro delle aziende italiane operanti nelle aree della componentistica ottica si è andato riducendo in questi ultimissimi anni per decisioni strategiche prese all'estero, dall'altra qualche nostra grande industria si configura come leader mondiale sulla via della integrazione a livello industriale tra mondo elettronico e fotonico.
A fronte di una congiuntura internazionale sfavorevole verso le nostre aziende esistono oggi po-

sitivi segni di reazione in qualche regione italiana che vanno ampiamente supportati. Esiste una consolidata esperienza di livello internazionale nello sviluppo di circuiti ottici integrati su silicio e sono state recentemente recuperate dall'estero competenze sulla fotonica integrata su substrati di silicio, tecnologie ottiche e di packaging.

Il processo di packaging, in particolare, è oggi oggetto di accurato studio ed esistono nel paese competenze d'avanguardia per la realizzazione di dispositivi ottici realizzabili attraverso tecniche automatiche adatte alla produzione di massa. Le esperienze citate rappresentano un requisito indispensabile per affrontare con successo lo sviluppo della componentistica necessaria per Data Center e l'accesso diffuso alle reti a larga banda.

Lo stato dell'arte mondiale e nazionale in questo settore, e soprattutto nel packaging, è tuttora inadeguato a soddisfare le esigenze applicative. L'industria nazionale, ha quindi una grande opportunità per imporsi a livello mondiale sfruttando le capacità di innovazione, l'efficienza manifatturiera e la solida base tecnologica di partenza della quale può disporre.

Lo sviluppo di link a breve distanza a basso consumo e di ridotte dimensioni progredirà per gradi con obiettivi di medio e di lungo periodo. Le piattaforme tecnologiche in via di sviluppo consentiranno, se adeguatamente finanziate, di cogliere sia la finestra temporale sia di innovare il mercato con soluzioni all'avanguardia di livello mondiale. Ciò contribuirà in maniera importante a trattenere a livello nazionale una rilevante parte della catena del valore consentendo di procedere in prima linea verso sempre nuovi traguardi in grado di favorire l'occupazione e le produzioni nazionali.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 5

TECNOLOGIE DEI MATERIALI A BASE DI GRAFENE

DESCRIZIONE

Nel panorama delle recenti innovazioni, una posizione di rilievo è certamente occupata dal Grafene. Tale materiale ha caratteristiche di robustezza superiori di un paio di ordini di grandezza all'acciaio, la mobilità degli elettroni è cento volte maggiore che nel silicio, è stabile a temperatura ambiente, flessibile, trasparente, non solo alla luce visibile, ma anche all'infrarosso e all'ultravioletto, ha densità di corrente e conducibilità termica superiore ai migliori conduttori.

Ovviamente uno dei punti nodali è lo sviluppo di tecnologie di realizzazione del materiale che siano riproducibili, scalabili e a basso costo. Directa Plus, è un'azienda tecnologica che ha per obiettivo lo sviluppo, la commercializzazione e l'utilizzo di processi innovativi per la generazione di nanomateriali da impiegare in mercati globali esistenti. In relazione al Grafene ha sviluppato la cosiddetta Tecnologia G+.

Tale tecnologia è un processo di produzione continuo, semplice, scalabile e a basso costo per la generazione di materiali a base di fogli di grafene altamente puro. L'intercalazione chimica della grafite naturale, seguita da una fase di espansione termica al plasma, rappresenta la base del processo produttivo.

La tecnologia G+ usa la grafite naturale intercalata come materia prima largamente disponibile, sostenibile e di uso comune.

Attraverso il processo brevettato di super-espansione termica (Plasma Super-Expansion), si ottiene un incremento della distanza dei fogli di grafene che compongono la grafite fino al limite estremo e forma dei fiocchi di grafite super-espansa.

Un secondo step di trattamento ad aria compressa (Air-shock Treatment) è disegnato per ottenere una polvere di grafite super-espansa altamente maneggevole.

L'esfoliazione fine in liquido (Fine Exfoliation) è una parte del processo G+ molto importante, disegnata per ottenere graphene nanoplatelets con una morfologia ingegnerizzata secondo specifiche proprietà fisiche richieste dai vari campi d'applicazione (dimensioni laterali e numero di fogli di grafene nei singoli pacchetti).

Nell'ultima fase di essicazione (Drying System) le dispersioni vengono trasformate in una polvere anidra di graphene nanoplatelets allo scopo di soddisfare qualsiasi tipologia di processo produttivo che richiede l'impiego di additive privi di acqua.

Il processo produttivo G+ è completamente ecosostenibile: prevede un basso consumo energetico e l'assenza di scarti.

Tale Tecnologia può essere utilizzata per produrre 6 famiglie di materiali a base di grafene:

- Basic G+: grafiti super-espansa, con struttura a fisarmonica con applicazioni nel settore del trattamento acqua, aria e suolo contaminato.

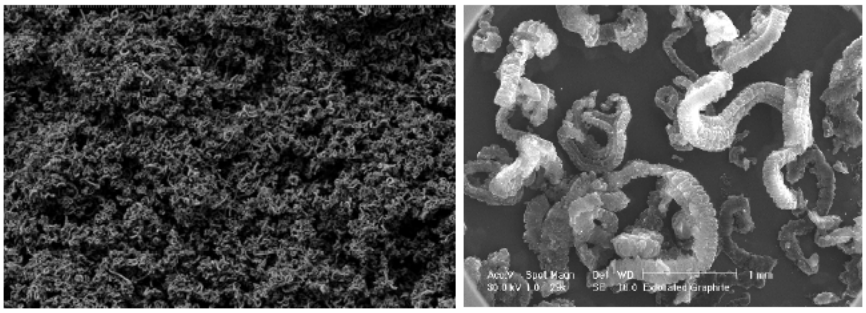


FIG. 26 BASIC E ULTRA G+

- Ultra G+: polveri estremamente fini di grafite super-espansa, che trovano applicazione in diverse matrici polimeriche come agenti termicamente ed elettricamente conduttivi.
- Liquid G+: dispersioni acquose a base di *graphene nanoplatelets* altamente pure, direttamente utilizzabile come inchiostro conduttivo.



FIG. 27 LIQUID G+

- Paste G+: paste a base acquosa altamente concentrate di *graphene nanoplatelets* ad elevato grado di purezza, che trovano applicazione soprattutto nelle formulazioni a base acqua.



FIG. 28 – PASTE G+

- Pure G+: nanopolveri di *graphene nanoplatelets* che trovano applicazione per esempio nel settore degli elastomeri e dei polimeri funzionali (incrementano le proprietà meccaniche della matrice, oltre a quelle termiche, elettriche e di effetto barriera).
- Zapp G+: masterbatch di *graphene nanoplatelets* ad elevato grado di purezza, realizzato al fine di facilitare l'incorporazione di G+ in composti polimerici all'interno di processi industriali.

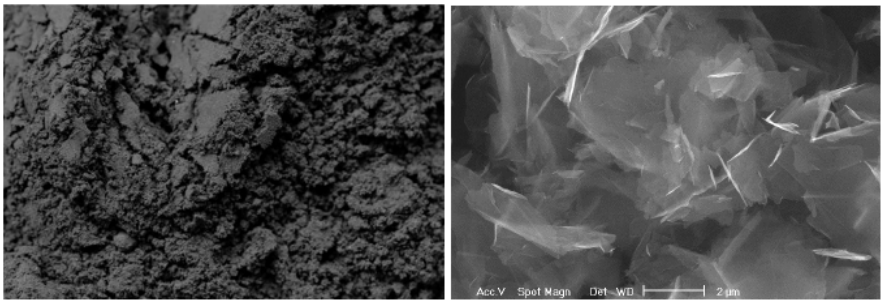


FIG. 29 – PURE E ZAPP G+

Ciascuna famiglia di prodotti G+ ha un mercato in diversi campi applicativi. Le *graphene nanoplatelets* altamente pure, prodotte da Directa Plus nel nuovo centro industriale che si caratterizza per essere il più grande impianto europeo per la generazione di tali materiali, sono caratterizzate da una limitata presenza di difetti a livello di struttura cristallina e dall'assenza di gruppi funzionali. Le dimensioni laterali cadono nel range dei micrometri (generalmente inferiore a 10 µm) mentre lo spessore è inferiore ai 3-5 nanometri. L'elevata cristallinità e rapporto di forma garantiscono l'impiego di questi materiali nella produzione di compositi ad elevate performance.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il grafene e più in generale le varie famiglie morfologiche a base di grafene – come le nanoplatelets – condensano una molteplicità di importanti proprietà a livello tecnologico, dal rinforzo meccanico, alla conducibilità termica ed elettrica, fino alle proprietà barriera, il tutto associato ad un'area superficiale specifica piuttosto elevata che permette di trasferire queste proprietà alla matrice che lo ospita utilizzando quantità estremamente ridotte. La multifunzionalità, insieme alle basse concentrazioni in gioco, rendono potenzialmente questa classe di materiali realmente rivoluzionaria, ossia in grado di fornire soluzioni tecnologiche assolutamente nuove e senza alternative possibili.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Attualmente il mondo del grafene si compone di due classi di materiali distinti, ossia il grafene monolayer puro – il quale viene prodotto principalmente con tecniche bottom-up (i.e. partendo da precursori gassosi contenenti carbonio) e viene utilizzato come materiale "attivo" in settori ad

altissimo valore aggiunto come la nanoelettronica, l'optoelettronica e la spintronica – e le graphene nanoplatelets, prodotte principalmente con tecniche top-down (i.e. partendo da grafite), ossia sottili pacchetti di grafene con diverse dimensioni laterali da utilizzare come additivi speciali all'interno di una serie di matrici, soprattutto polimeriche. Ad oggi la prima tecnica è intrinsecamente costosa, a bassa resa ed a bassa capacità produttiva, mentre la seconda è meno costosa ed a resa e capacità produttiva già oggigiorno industriale, quindi si tratta di "mondi", materiali e settori di applicazione non sovrapposti. Molte sono le realtà produttive di entrambe le tecniche che vanno attivandosi sia in Italia che all'estero, seppur la grande maggioranza lavora su scala laboratorio e su attività di tipo proof-of-concept e non su scala applicativo-commerciale. Il consolidamento e l'affermazione delle traiettorie tecnologiche più efficienti è oggi in atto, insieme al lento processo di standardizzazione della qualità di queste nuove classi di materiali bidimensionali a base di carbonio e delle loro killer-applications, e questo vale per entrambe le classi descritte.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 6
TECNOLOGIE PER LA SENSORISTICA CHIMICA

DESCRIZIONE

La sensoristica chimica (relativamente ai sensori di gas a stato solido e biosensori) ha avuto negli ultimi anni un grande sviluppo scientifico e tecnologico. Le loro applicazioni di larga portata e l'utilizzo in un mercato globale fa sì che queste tipologie di sensori ricevano una particolare attenzione, soprattutto nei settori del:

- monitoraggio ambientale, qualità dell'aria;
- monitoraggio emissioni industriali, discariche, depuratori, etc.;
- monitoraggio qualità dell'aria (IAQ) in sistemi HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) per settori automotive, industriale, domestico;
- monitoraggio di sostanze volatili per il controllo dei fenomeni di combustione
- monitoraggio e analisi biomedicale.

Sensori di gas a stato solido

Attualmente la tecnologia relativamente ai sensori di gas a stato solido sta andando nella direzione della realizzazione e diffusione a costi sempre più bassi di questi dispositivi di piccole dimensioni. Soprattutto, nei due-tre anni a venire si investirà in R&S su dispositivi basati sulla tecnologia MEMS (Micro- Electro-Mechanical Systems). I MEMS hanno il vantaggio di utilizzare per la loro fabbricazione tecnologie note dell'industria dei semiconduttori, sfruttando in aggiunta le proprietà meccaniche del silicio, infatti si possono implementare tecniche di lavorazione del silicio che consentono la realizzazione di strutture meccaniche tridimensionali micrometriche.

Inoltre, il supporto tecnologico dato dalle attuali tecnologie ICT in grado di rendere i sensori "smart" e l'impiego di tecnologie wireless, sta indirizzando questi dispositivi verso scenari imprevedibili solo alcuni anni addietro. Diversi sono i vantaggi derivanti dall'utilizzo della tecnologia wireless in questo settore. L'assenza, innanzitutto, di connessioni cablate consente di installare i sensori in luoghi altrimenti non accessibili; i costi di installazione e manutenzione sono significativamente ridotti. La connessione in rete consente di creare strutture in grado di configurarsi o ripararsi autonomamente garantendo maggiore affidabilità. La possibilità, inoltre, di avere una connessione costante con il sensore remoto consente di accedere in tempo reale ai dati senza dover attendere l'intervento di un operatore di campo che li prelevi dalla memoria interna del dispositivo, come invece accade nelle applicazioni più tradizionali. Nel caso di applicazioni di monitoraggio ambientale o di siti, o nei sistemi di sicurezza e sorveglianza, questo consente di definire una strategia di allarmi e notifiche in tempo reale. I dati possono inoltre essere resi disponibili a più utenti contemporaneamente per l'elaborazione e l'analisi.

A fronte dei numerosi vantaggi, tuttavia, la loro realizzazione pone dei problemi di natura tecno-

logica che vanno dalla ricerca sui nuovi materiali da associare al silicio, alla miniaturizzazione dell'elettronica, alla definizione di robusti protocolli di comunicazione, alla protezione dei dati in applicazioni sensibili e, non ultimo, alla definizione di strategie di gestione della potenza che assicurino quel risparmio energetico necessario a garantire elevata autonomia.
Stante le enormi possibilità offerte dalle moderne nanotecnologie, l'attività di ricerca riguarderà anche lo sviluppo di nuovi materiali sensibili, per assicurare ai nuovi dispositivi maggiore sensibilità, selettività e stabilità nel lungo periodo in condizioni di esercizio reali.

Biosensori

Per quanto riguarda i biosensori, negli ultimi anni si è assistito ad una enorme sforzo orientato principalmente verso lo sviluppo di tecniche di diagnostica che possano integrare (e in parte sostituire) le procedure di analisi biochimica di laboratorio che sono ancora oggi lo standard ospedaliero. Il concetto di base è quello di sviluppare sistemi integrati miniaturizzati, detti comunemente lab-on-chip, in grado di svolgere sia le eventuali operazioni di separazione dei fluidi sia l'analitica richiesta in modo automatico. L'idea è quella di affrontare le patologie alla fonte, eliminando quello che le determina, più che i sintomi ad esse connesse.
Attualmente, i biosensori vengono principalmente utilizzati nei test al point-of-care per monitorare valori indicativi dello stato di salute quali i livelli di glucosio, colesterolo, etc. ma hanno un enorme potenziale in altre aree di applicazione, come nell'analisi delle acque, nel settore farmaceutico e nell'agrifood (protezione alimentare, sicurezza microbica degli alimenti, test per gli OGM, screening per residui di pesticidi).
L'attività di R&S futura nelle tecnologie biosensoristiche sarà particolarmente pressante dovuta principalmente alla aumentata domanda di dispositivi a basso costo in grado di fornire una diagnosi accurata in tempo reale. Il nuovo rapporto di Global Industry Analysts indica infatti che il mercato globale dei biosensori nella diagnostica medica incrementerà notevolmente e raggiungerà i 16,5 miliardi entro il 2017.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Grazie alle loro caratteristiche di compattezza e bassi costi, le tecnologie sensoristiche chimiche si stanno imponendo e lo saranno ancora di più nell'immediato futuro. La previsione è quella che troveremo questi dispositivi, integrati nello stesso package, come accessori fondamentali nell'elettronica di consumo portatile (smart phone, tablet PC, netbook).
In questo scenario si inquadrano anche le sfide tecnologiche, appena cominciate, volte ad inserire le tecnologie sensoristiche chimiche in analizzatori indossabili, rendendoli a tutti gli effetti degli smartwatch.



FIG. 30 ESEMPIO DI SMARTWATCH

Il segnale del sensore viene convertito in un segnale elettrico e trasmesso all'elettronica e il dato viene o mostrato su un display oppure trasmesso ad un centro di raccolta, al medico curante o all'ospedale responsabile della terapia per l'archiviazione o per sollecitare un intervento sul paziente. Tali dispositivi, consentirebbero quindi di spostare dal laboratorio al letto del paziente (ed eventualmente al suo domicilio, per talune classi di patologie) buona parte della fase di diagnosi. Questo, al di là dei vantaggi in termini di costo assistenziale, permetterebbe di condurre analisi anche complesse con maggiore frequenza anche in assenza di operatori qualificati, consentendo una più efficace azione di prevenzione nei soggetti a rischio e un monitoraggio più continuo e sistematico del decorso della malattia.

Il campo degli smartwatch sta diventando una vera e propria realtà, infatti sono molte le case produttrici che hanno immesso sul mercato i propri dispositivi da polso, prime tra tutte Sony e Samsung. Anche Apple pensa all'implementazione di vari sensori medici applicabili su smartwatch, tra i quali lo sviluppo di un sensore da applicare facilmente alla pelle in grado di misurare accuratamente alcuni parametri fisici nel sangue come il livello di glucosio, potassio ed elettroliti.

L'Italia è un paese all'avanguardia nel mondo nell'utilizzo di tecnologie sanitarie innovative, soprattutto per quanto riguarda i dispositivi medici. A fronte di ciò, non si è però ancora data una strategia a livello di sistema-Paese finalizzata ad assicurare un vantaggio competitivo rispetto ad altri paesi nell'attrarre investimenti legati allo sviluppo e alla validazione di tali tecnologie. Lavorare a questo obiettivo deve diventare una delle prossime priorità di intervento della ricerca, delle politica sanitaria e dello sviluppo economico.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Nel campo dei sensori di gas a stato solido in generale sono attivi rilevanti soggetti industriali in Europa, negli USA e in Giappone (Honeywell in USA, Figaro in Giappone). La maggior parte dei dispositivi oggi presenti sul mercato sono prodotti discreti sviluppati decine di anni addietro. Comunque, la spinta verso la miniaturizzazione dei sistemi attuali con la realizzazione di microsistemi di nuova concezione integrati sullo stesso chip che contiene il sistema elettronico per

il data processing o data transfer modificherà radicalmente questo settore. Ad esempio, Bosch Sensortec ha ampliato i propri dispositivi esistenti con una soluzione MEMS combinata con sensori ambientali integrati per la misurazione della pressione, umidità, temperatura e rivelazione di composti organici volatili (VOCs), finalizzata per i dispositivi portatili e mobili e da utilizzare come stazione meteo personalizzate per il monitoraggio della qualità dell'aria.

È da rilevare che tra i più avanzati centri di ricerca, sviluppo e produzione di MEMS in Europa, si ritrovano in Italia due importanti centri (il polo tecnologico del gruppo Olivetti Tecnost e la più grande fabbrica europea ed una delle maggiori al mondo per la produzione di MEMS, ovvero quella di STMicroelectronics). In vista di un previsto ingresso delle tecnologie sensoristiche basate sui MEMS, questo si potrebbe tradurre in un importante vantaggio considerato il know-how di base posseduto, a patto che si cominci fin da subito a investire anche in questa direzione.

Nell'area della biosensoristica, la competizione a livello mondiale è alquanto serrata e per questo si compiono grossi investimenti. Tra le principali aziende che sviluppano biosensori troviamo Abbott Point Of Care Inc., Siemens Healthcare Diagnostics Inc., LifeScan Inc., Hoffman La Roche. In tutto questo, c'è da dire che in Italia le attività di R&S sono qualitativamente in linea con quelle delle aziende più avanzate a livello mondiale. Tuttavia, sul mercato italiano si ritrovano soltanto piccole aziende, molte di queste nate come spin-off universitari o aziende di start-up, con limitati capitali e personale e che sviluppano/commercializzano prodotti, sia pur tecnologicamente avanzati, ma che riguardano soltanto applicazioni di nicchia.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 7

TECNOLOGIA DEI NODI MULTISENSORIALI

DESCRIZIONE

Già nella VIII edizione del volume AIRI sulle Tecnologie Prioritarie, veniva sottolineato come, nell'ambito del settore della microelettronica e semiconduttori, le tecnologie per i sensori stessero assumendo un ruolo sempre più rilevante in ragione del loro crescente impatto sulla vita di ciascuno di noi. E, in effetti, proprio in quel contesto si prefiguravano piattaforme integrate di sensori, dotate di una propria "intelligenza di microsistema" e di un opportuno sistema di trasferimento dei dati rilevati.

Negli ultimi due anni questo scenario ha subito una brusca accelerazione. La sempre più evidente sovrapposizione tra tecnologie della comunicazione, tecnologie di gestione e trasmissione della informazione ed Internet ha infatti prodotto la necessità di avere a disposizione sistemi e piattaforme multisensoriali intelligenti, nodi, in grado di percepire il sistema nel quale vengono collocati e trasferire i dati rilevati ad unità centrali adibite alla gestione ed al controllo. I settori interessati sono i più diversi: l'ambiente, l'edilizia, la produzione e trasmissione dell'energia, i trasporti, l'agroalimentare, la salute, aeronautica (Healt Monitoring di strutture, componenti ed infrastrutture di bordo ed engine component monitoring e prognostica di motori di bordo), l'industria manifatturiera etc., con un paradigma applicativo che è però il medesimo in tutti i casi (Fig. 31).

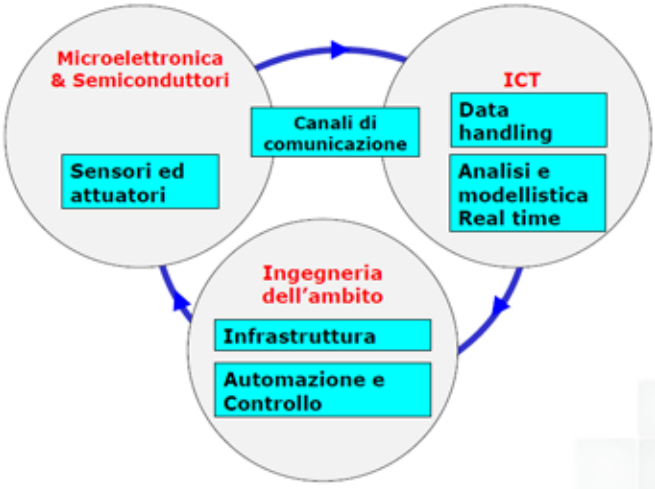


FIG. 31 – IL PARADIGMA APPLICATIVO

Alla base di questo paradigma ci sono i nodi multisensoriali che attraverso opportuni sistemi di comunicazione (generalmente, ma non sempre, wireless) trasferiscono le informazioni relative al contesto operativo ad una unità centrale di sintesi ed elaborazione. Questa, a sua volta, può operare ancora sul contesto operativo in un processo di feedback che consente la migliore gestione del sistema stesso.
Ed è proprio per la ampiezza dei contesti applicativi in cui questo paradigma può trovare applicazione che la ricerca sullo sviluppo di nodi a basso costo e dal consumo energetico limitato, è particolarmente intensa. Sono così stati prodotti e realizzati dispositivi sensori per grandezze fisiche e chimiche sempre più miniaturizzati e, al contempo, sono state rese disponibili piattaforme elettroniche in grado di ospitare sensori di natura diversa, garantendo un primo livello di elaborazione del dato in locale, oltre a tutte le funzioni di trasmissione del dato stesso. Per l'ottenimento di piattaforme multisensoriali integrate complesse ricopre notevole importanza anche lo sviluppo di tecnologie di packaging adeguate per soluzioni metallo-ceramico (per l'integrazione di dispositivi attivi e passivi ad alta densità di potenze) e packaging LCP (substrato plastico flessibile multilayer).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Da quanto sopra esposto appare evidente che la tecnologia dei nodi multisensoriali assomiglia molto ad un sistema ad integrazione che opera su tre diversi livelli, ciascuno caratterizzato da un contenuto tecnologico assai elevato.
Il primo livello è quello della piattaforma elettronica. In questo ambito gli sviluppi sono stati e continuano ad essere i più rapidi e diverse piattaforme elettroniche sono oggi disponibili. Tra le più diffuse possiamo citare le piattaforme Crossbow, Arduino e le schede Nucleo-Stmicroelectronics.
La piattaforma TelosB (Crossbow) è dotata di un sistema operativo TinyOs e si programma NesC. Sono sistemi real-time wireless data acquisition, sempre attivi per la ricezione e l'acquisizione dei dati mediante l'utilizzo del protocollo di comunicazione 802.15.4. Nascono già dotate di sensori di temperatura, umidità e luminosità. Arduino è, invece, una piattaforma hardware/software che comprende processori Atmel (ATmega328) ed un IDE per scrivere i programmi e caricarli sulla scheda. Si programma in C ed una serie di schede di espansione gli garantiscono una notevole flessibilità sia per quanto riguarda le interfacce radio (WiFi, GPRS, Bluetooth e ZigBee) che per la libreria di sensori immediatamente integrabili. La piattaforma della famiglia Nucleo, per le sue caratteristiche di flessibilità, consente di creare prototipi utilizzabili con tutte le board sviluppate intorno al microcontrollore STM32, scegliendo tra varie combinazioni di prestazioni, consumo di energia e funzionalità. Tutte le schede sono compatibili con gli shield Arduino e hanno il sistema ST Morpho, che ne aumenta la flessibilità. Oltre a ciò la compatibilità con la piattaforma MBED ne garantisce la compatibilità con altri hardware che utilizzano chip ARM. Come sistema operativo si può usare sia la piattaforma MBED di ARM che Chibios oppure FreeRtos. In tutti casi, il linguaggio di programmazione è il C/C++. Data la compatibilità con FreeRtos la scheda viene sempre più spesso impiegata anche per usi industriali.

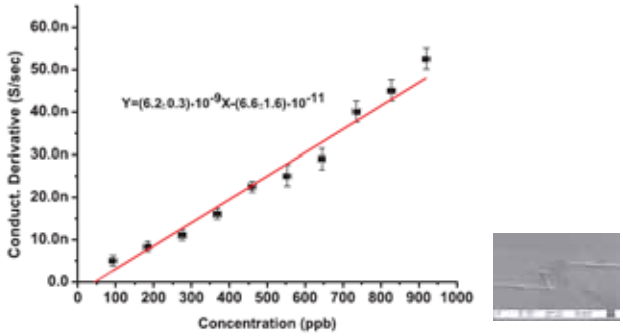


FIG. 32 – CURVA DI CALIBRAZIONE DI UN SENSORE PER NO2

Per quanto riguarda il livello relativo ai dispositivi sensori (i veri "produttori del dato") si può far riferimento in generale a quanto riportato nel Volume VIII AIRI. Dunque abbiamo già a disposizione una vasta gamma di dispositivi sensibili ad ambienti diversi, anche se vale la pena sottolineare che le richieste di utilizzo in applicazioni caratterizzate da limitatissimi consumi energetici, tali da assicurare una elevata affidabilità del nodo nel suo complesso anche in termini di ridotta manutenzione, ha portato la ricerca a porre una particolare attenzione allo sviluppo di dispositivi in cui il consumo di energia fosse uno dei concern principali. In Fig. 32 viene ad esempio mostrata la curva di calibrazione di un sensore per NO2, uno dei principali inquinanti cittadini, recentemente realizzato utilizzando il grafene come materiale sensibile ed in grado di operare in continuo con un assorbimento inferiore ai 0.5 mW, particolarmente adatto dunque per operare in un sistema multisensoriale.

Infine l'ultimo livello da considerare è quello del package del nodo stesso. I nodi multisensoriali devono essere considerati come una particolare classe di dispositivi elettronici la cui abilità operativa è legata all'interazione con l'ambiente nel quale sono collocati. In questo senso il package assume un ruolo centrale nel funzionamento del nodo poiché deve, allo stesso tempo, non interferire con le capacità di sensing dei dispositivi sensori, assicurando però la necessaria protezione di tutta l'elettronica. Siamo in questo campo, ancora all'inizio: non sappiamo ancora infatti come disegnare il package in funzione delle caratteristiche del nodo e del contesto applicativo. È qui che bisognerà concentrare molti degli sforzi nell'immediato futuro. In Fig. 33 è riportato un esempio di nodo multisensoriale.

Si tratta del nodo "Monica" progettato per consentire il monitoraggio qualitativo in mobilità dell'aria e della esposizione personale agli inquinanti. La piattaforma utilizzata in questo caso è Arduino ed i sensori sono tutti sensori chimici basati su ossidi metallici oppure, per i VOC, su dispositivi elettrochimici. Appare evidente dalla figura il diverso livello di avanzamento tecnologico del package rispetto al resto del nodo.



FIG. 33 CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE DEL PROTOTIPO DI NODO SENSORIALE MONICA (ENEA):
LINK PAN = BLUETOOTH.
LINK WAN = GPRS, 3G, LTE (SI BASA SU CARATTERISTICHE DELLO SMARTPHONE/TABLET).
TECNOLOGIA SENSORI: LOW COST MOX (NO2,CO,O3, VOC). BATTERIA UTILIZZATA: 4.8 V – 3600 MA/H.
FSAMPLING = 1SEC (CON POSSIBILITÀ DI ELABORAZIONE LOCALE DEL DATO PER OTTENERE CALIBRAZIONI NON STANDARD E FILTRAGGIO). DURATA BATTERIA: >48HRS (MISURATA 60HRS) IN MISURA.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Spinto dalla moltiplicazione dei contesti applicativi, il settore è in crescita rapida in tutto il mondo. Nell'anno appena trascorso il mercato relativo è stato valutato in circa 1 miliardo di dollari e si prevede che esso si moltiplichi di un fattore 10 nei prossimi 5 anni. Le ragioni di questa crescita risiedono però anche nella natura di alta integrabilità dei nodi stessi che ha consentito la nascita in tutto il mondo di piccole e piccolissime realtà imprenditoriali che hanno sviluppato prodotti per applicazioni specifiche e su quelli hanno poi trovato un mercato per crescere e rafforzarsi. Si parla infatti, per questo settore, di una sorta di nuovo artigianato, seppure caratterizzato da un livello di conoscenza intrinseca assai elevato. L'Italia sta giocando, in questo conteso, un ruolo rilevante. Intanto la prima piattaforma elettronica nata per lo sviluppo di queste applicazioni, Arduino, è un prodotto nato a Torino anche se è oggi uno dei sistemi più diffusi al mondo. Ma è ancora basata in Italia un altro grande player del settore, STMicroelectronics, che ha un ruolo importante non solo nello sviluppo dei sensori ma, oggi, anche nello sviluppo di una piattaforma elettronica di grande affidabilità (Nucleo) che apre scenari applicativi anche in contesti, come quello del manifatturiero industriale, che richiedono grande affidabilità.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 8

LA CHIMICA AVANZATA DEL BORO NELL'IMPIANTAZIONE IONICA – TRIMIX IN SISTEMA UPTIME

DESCRIZIONE

UpTime costituisce un sistema avanzato per la somministrazione sub-atmosferica di gas droganti all'interno del processo di impiantazione ionica, già ampiamente utilizzato nell'industria dei semiconduttori. Il sistema di erogazione è costituito da: una bombola omologata DOT contenente i gas in pressione; una valvola di non ritorno interna alla bombola ed attuata mediante vuoto per consentire l'erogazione sub-atmosferica di gas droganti in essa contenuti; una valvola a membrana ad alta tenuta, collegata alla valvola di non ritorno interna, posizionata esternamente alla bombola e che permette all'utente di collegare il sistema di erogazione UpTime al manifold di processo. I gas dopanti disponibili in Uptime – puri e/o miscelati all'interno dello stesso contenitore – sono i seguenti: 11BF3, SiF4, 72GeF4, AsH3, PH3, CO, mix Xe / H2, mix B2H6 / H2, 11BF3 / B2H6 / mix H2, mix CO / CF4, SiF4 / Si2H6 e Ar mix / F2.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'impiantazione di Boro è stata ampiamente impiegata nel settore dei semiconduttori per modificare le proprietà elettriche della regione sottoposta a drogaggio. Tipicamente il numero di step di impiantazione di boro può comprendere fino al 50% del totale dei processi di impiantazione effettuati durante la fabbricazione di circuiti integrati avanzati. In aggiunta, con l'avvento dell' architettura Fin-FET e dei lower nodes device l'impiantazione di Boro ha trovato impieghi aggiuntivi nelle applicazioni di material modification finalizzate ad adattare le proprietà fisiche della regione sottoposta a drogaggio. La maggioranza di tali applicazioni richiedono un'alta concentrazione di impurezze impiantate all'interno della regione drogata. Conseguentemente nei sistemi di impiantazione si è consolidata la tendenza crescente verso il dosaggio elevato (ff 1x1015 – 1x1016 atomi / cm2) in condizioni di processo a energia (<1keV). Tradizionalmente il 11BF3 è stato utilizzato come precursore drogante comune per l'impiantazione del Boro. Tuttavia, la presenza di fluoro nel 11BF3 è responsabile del classico halogen cycle durante la ionizzazione del 11BF3 all'interno della camera. Gli ioni e radicali fluoro prodotti dalla ionizzazione del 11BF3 provocano una rapida incisione pareti della camera di tungsteno con successiva deposizione di W sul catodo, sui repeller e sulle altre regioni calde della sorgente di ioni. Questo fenomeno provoca frequenti compromissioni della sorgente di ioni impattando negativamente sulla produttività dell'impiantatore. In aggiunta la sempre maggiore diffusione di ricette ad alto dosaggio ha messo ulteriore pressione sull'industria per aumentare la corrente del fascio di boro al fine di soddisfare i propri obiettivi in termini di throughput e di produttività. Vi è pertanto una crescente e sentita necessità da parte dell'ingegneria di processo di sviluppare soluzioni tecnologiche che consentano di estendere la vita della sorgente e simultaneamente di aumentare la corrente del fascio di Boro.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le possibili soluzioni tecniche per migliorare le prestazioni della sorgente di ioni si sono concentrate sia sulle modifiche sull'hardware degli impiantatori sia sull'adozione di precursori gassosi innovativi. Sul fronte dei gas dopanti, la soluzione migliore fino ad oggi raggiunta è stata quella di aggiungere H2 miscelato con un gas raro (ad esempio Xe) al 11BF3 all'interno della camera di ionizzazione per mitigare l'attacco di fluoro. L'H2 funge da scavenger di fluoro interrompendo il ciclo degli alogeni, mentre lo Xe provoca un effetto sputtering riducendo la formazione di depositi e mantenendo l'uniformità del fascio ionico durante il processo. A tale riguardo una miscela di Xe/H2 mediante il sistema UpTime è stata ampiamente adottata nel settore dei semiconduttori come una soluzione vincente negli ultimi anni. Sebbene il co-utilizzo della miscela Xe/H2 con 11BF3 abbia avuto molto successo nel prolungare la durata della sorgente di ioni, si osserva tuttavia che esso provoca anche un effetto di diluizione durante il processo di ionizzazione riducendo la corrente B+ del fascio rispetto quello ottenuto utilizzando 11BF3 da solo. In definitiva la ridotta corrente del fascio limita la velocità dell'impiantatore e quindi il co-utilizzo della miscela Xe/H2 con 11BF3non è in grado di soddisfare i requisiti di throughput richiesti dalle crescenti ricette a dosaggio elevato.

È stata recentemente formulata da Praxair una ricetta drogante innovativa in cui si trovano abbinati B2H6, H2 e 11BF3 all'interno della stessa miscela con cui poter soddisfare entrambe le esigenze di elevata resa ed elevata produttività nel processo di impiantazione di Boro. L'aggiunta di B2H6 porta alla formazione di un composto legato di boro-idrogeno che serve come precursore di atomi di H e di B all'interno della sorgente di ioni. Inoltre il B2H6 migliora la ionizzazione del 11BF3 che aumenta la produzione di ioni B + all'interno della sorgente di ioni. La combinazione di questi effetti consente alla Trimix (B2H6 / H2 / 11BF3) di garantire valori best in class in termini di corrente del fascio ed estensione della vita della sorgente di ioni nell'impiantazione di Boro. La composizione proprietaria della Trimix permette infatti di raggiungere valori di corrente del fascio e vita della sorgente superiori di oltre il 20% rispetto alla miscela BF3 / Xe / H2 che costituisce lo stato dell'arte.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 9

SISTEMI PER COMPONENTI OPTOELETTRONICI E FOTONICI

DESCRIZIONE

Tecnologie per la realizzazione di sottosistemi optoelettronici e fotonici per trasmissione ed interconnessione (Silicon Photonics)

L'andamento esponenziale della richiesta di traffico già in atto e la sua esplosione prevista per il futuro sta portando ad un cambiamento significativo nella progettazione e sviluppo delle piattaforme HW di apparati telecom e datacom di prossima generazione: le piattaforme future dovranno essere molto più efficienti delle attuali in termini di consumo di energia, occupazione di spazio e costo e dovranno essere architetturalmente più semplici per evitare ridondanze, processamenti e trasmissioni di segnali non strettamente necessarie.

Sono identificabili differenti settori in cui la fotonica integrata è divenuta una tecnologia chiave e dove avanzamenti tecnologici urgenti sono richiesti nel breve e medio termine.

La prima riguarda uno degli aspetti più fondamentali dell'HW come le tecnologie di interconnessione chip-to chip, board to board e rack to rack in applicazioni nei grossi commutatori Ethernet, Router IP, nelle interconnessioni tra servers nei data center, nelle comunicazioni tra unità radio e unità di processamento in banda-base e nel processamento dei segnali di antenna nel radiomobile.

Gli ASIC elettronici continueranno migliorare le prestazioni, di consumi e capacità di processamento secondo la legge di Moore per i semiconduttori attraverso l'utilizzo di nodi tecnologici a risoluzione crescente (45 nm, 22 nm). Per rendere questo realizzabile le velocità dei segnali di input e output degli ASIC deve necessariamente aumentare e portarsi dagli attuali 10 Gbps a 25 Gbps nel breve termine e a 50 Gbps nel medio termine. A tali velocità di segnale le tradizionali tecniche di interconnessione elettriche diventano impraticabili a causa delle perdite dipendenti dalla frequenza di cifra e dalla lunghezza del collegamento e della crescente complessità circuitale necessaria a compensarle (tecniche di equalizzazione e pre-enfasi). Questo impatta negativamente sul consumo e il costo dei materiali da usare per implementare le PCB (printed citcuit board) nella comunicazione intra board e i cavi elettrici per le comunicazioni inter board e inter rack.

Le interconnessioni fotoniche diventano quindi tecnologie chiave per le caratteristiche di larghezza di banda, perdite quasi indipendenti dalla frequenza di cifra e dalla lunghezza delle tratte di connessione, ridotti consumi di energia.

È importante però notare che per questo tipo di applicazioni non è possibile usare i tradizionali dispositivi ottici a componenti discreti poiché essi, essendo stati sviluppati per le reti di trasporto ottico a lunga distanza e solo più recentemente per a reti metropolitane. Quindi hanno prestazio-

ni trasmissive più elevate e conseguentemente hanno costi e consumi più alti di quelli richiesti insieme ad ingombri troppo larghi da essere integrati con elettronica ad alta densità di banda. Le nuove interfacce di interconnessione ottica dovranno necessariamente essere basate su fotonica integrata con densità di banda dell'ordine del Tb/s/cm2, consumi dell'ordine del pJ/bit e costi inferiori a 1$/Gbps. Inoltre dovranno essere producibili in volumi dell'ordine dei milioni di pezzi per anno. Questo pone dei requisiti al processo di fabbricazione finora basato, per i componenti ottici discreti, su tecnologia di wafer epitassiali su substrati di InP. La fotonica in silicio (silicon photonics) è la tecnologia che meglio risponde ai requisiti indicati sopra per le nuove applicazioni, grazie all'uso della infrastruttura di fabbricazione CMOS, alle potenziali alte rese produttive, al basso costo e alla elevata miniaturizzazione ottenibile dai microcircuiti ottici in silicio dovuta all' alto salto d'indice di rifrazione tra core e cladding nelle guide d'onda.
Mentre nel breve termine è previsto l'uso di interconnessioni ottiche parallele integrate in un 'optical engine' o in un modulo estraibile in fotonica in silicio, nel medio termine per le interconnessioni chip to chip e board to board saranno sviluppati moduli ottici multi-chip (OMCM) basati su integrazione in 3D di 'silicon fotonics interposers' che includono tutti i circuiti fotonici di ricetrasmissione e sono facilmente integrabili con i die degli ASIC elettronici in un unico 'optical multi-chip-module' (OMCM). Lo sviluppo degli OMCM permetteranno di sfruttare al massimo i benefici della integrazione fotonica in silicio.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Per sfruttare appieno le potenzialità della fotonica integrata e per introdurre significativi vantaggi in termini di consumi, costi e ingombro dei dispositivi, nuovi avanzamenti tecnologici sono necessari e per ottenerli tre tipi di problemi cruciali dovranno essere risolti:

1) Integrazione a basso costo di sorgenti ottiche con il chip di silicio. Attualmente la integrazione del laser con package col metodo flip-chip è il fattore che incide maggiormente sul costo del ricetrasmettitore e sulle prestazioni. In alternativa sviluppo di tecniche efficaci di alimentazione del chip con sorgenti ottiche esterne.
2) Sviluppo di efficienti tecniche di accoppiamento del chip in silicio con fibre ottiche.
3) Integrazione tra fotonica ed elettronica ad alta densità di banda.

Relativamente al primo aspetto attualmente i dispositivi realizzati su chip di Silicio sono integrati con la sorgente laser utilizzando tecniche di 'flip-chip' in cui un laser DFB completo di micro-ricettacolo viene allineato attivamente con il chip e incollata. Questo pone dei limiti alla producibilità in grossi volumi e pone dei limiti all'abbattimento dei costi di produzione in cui la sorgente rappresenta uno dei fattori dominanti. Sono necessari avanzamenti tecnologici che permettano di utilizzare nuove tecniche di integrazione delle sorgenti con i chip fotonici in silicio senza richiedere allineamenti attivi e che siano realizzabili in fase di produzione dei wafer di silicio.
Per quanto riguarda le tecniche di accoppiamento fibre-chip, la soluzione oggi impiegata è quella di allineare attivamente ed incollare un blocco di vetro (V-block) contenente le estremità di un array di fibre ottiche con in chip di silicio. In tal modo il pigtail di fibre risulta permanentemente connesso al chip generando una serie di problemi di produzione connessi alla saldatura di moduli

ottici contenenti sia ASIC sia circuiti fotonici. Anche in questo caso sono necessari avanzamenti tecnologici che permettano di realizzare accoppiamenti di ribbon di fibre singolo modo a nanoguide in silicio senza richiedere allineamenti attivi e che permettano di rimuovere il cavo di fibre ottiche.

Infine relativamente all'ultimo aspetto l'integrazione tra chip elettronici e fotonici costituisce un altro aspetto chiave per ridurre i consumi di energia preservando la integrità dei segnali di interconnessione. Le interconnessioni tra chip elettronici e fotonici dovranno essere quindi ad alta densità, per fruttare al massimo la miniaturizzazione dei circuiti fotonici e la loro caratteristica di elevata densità di banda, e a bassa capacità e induttanza parassite. Le tecniche dei copper pillar e delle TSV sono le più promettenti per ottenere le prestazioni richieste.

Le principali aree applicative nelle quali l'introduzione delle tecnologie di fotonica integrate si rivela critica per superare le attuali limitazioni prestazionali e funzionali sono fondamentalmente tre: le interconnessioni ottiche chip to chip e board to board, la trasmissione di segnali client ad elevata capacità e la commutazione fotonica.

Della prima applicazione si è discusso in precedenza. Riguardo alla seconda applicazione, quella dell'impiego nelle interfacce client per i grandi router equipaggiati con ethernet switch per i Data Centers, essa costituisce un campo d'evoluzione di grande interesse per i dispositivi fotonici integrati in silicio per quanto riguarda gli aspetti trasmissivi. Infatti in tali apparecchiature con capacità sempre più alta è necessario aumentare la densità di banda delle interfacce di collegamento dei router/switch con i banchi di server.

La velocità di trasmissione delle interfacce dovrà salire a 100Gbps nel breve termine e successivamente a 400 Gbps e il loro ricettacolo dovrà essere sempre più compatto utilizzando i nuovi formati standardizzati CFP2 e CFP4 con consumi massimi rispettivamente di 15 W e 8 W. Per realizzare tali interfacce sarà necessario sviluppare circuiti fotonici integrati in silicio che grazie alla loro miniaturizzazione e alla possibilità di integrazione spinta con la elettronica permetteranno di raggiungere le prestazioni richieste.

L'altra area applicativa dove la fotonica in silicio sarà determinante è quella della commutazione.

Nelle prossime generazioni dei sistemi sia di trasporto sia in area di accesso (in particolare radiomobile) sarà richiesta un alto grado di flessibilità e riconfigurabilità per ottenere un efficiente uso delle risorse hardware disponibili. La commutazione fotonica è in grado di instradare flussi ad elevata capacità e bassa latenza, ma per soddisfare i requisiti di costo e miniaturizzazione sempre crescenti è necessario utilizzare nuovi tipi di commutatori integrati in fotonica al silicio basati su matrici o array di micro-ring resonators che hanno la caratteristica di essere estremamente compatti con dimensioni di pochi um e consumi di pochi mW.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

L'evoluzione delle reti TLC necessaria per supportare la sempre maggiore capacità di traffico, costituisce un fattore strategico per operatori di telecomunicazione, ed impone a costruttori di sistemi e produttori di componenti ottici di dedicare ingenti risorse per la definizione e sviluppo di nuove generazione di componenti e dispositivi ottici.

In tale contesto le aree tecnologiche su cui si stanno concentrando gli sforzi e l'impegno di ricer-

ca e sviluppo delle industrie manifatturiere del settore riguardano in particolare, per quanto riguarda gli aspetti trasmissivi:

- I ricetrasmettitori per interconnessioni in ottica parallela: sono diventati di recente disponibili soluzioni a 4x10 Gbps e presto saranno disponibili interfacce 4x 25 Gbps in package QSFP;
- Interfacce client per router: sono appena divenuti disponibili commercialmente interfacce 100G in formato CFP2, mentre si prevede nel giro di un paio di anni la commercializzazione di interfacce CFP4;
- Moduli ottici multi-chip: sono in corso di investigazione da parte di molti laboratori e centri di ricerca, ma ancora non disponibili per manifesta immaturità di alcune tecnologie chiave.

E per quanto riguarda gli aspetti di commutazione:

- i dispositivi di commutazione fotonici: ad oggi le tecnologie tradizionali di commutazione fotonica sono basate su dispositivi wavelength selective switch (WSS) che sono componenti a discreti in 'free space optics' costosi e abbastanza ingombranti, sebbene di elevate prestazioni e non adatti ad usi per applicazioni in area accesso; nuove aree di ricerca sono attive per ridurre l'ingombro e il consumo di potenza di tali dispositivi; in tale ambito le nuove tecnologie per la commutazione fotonica basate su fotonica in silicio ed elementi di commutazione a risuonatori micro-ring sono molto promettenti e switch ottici integrati di questo tipo sono attualmente in fase di sviluppo prototipale per confermarne la fattibilità commerciale.

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore 2 – Microelettronica e Semiconduttori

STMicroelectronics	Mario Scurati (coordinatore)
	Marco Morelli
	Claudio Contiero
	Oriana Dimarco
	Roberto Annunziata
	Guido Chiaretti
INSTM – Università di Messina	Giovanni Neri
ENEA	Girolamo Di Francia
Lfoundry	Fabrizio Famà
	Sergio D'Alberto
Praxair	Pierangelo Scoero
Ericsson	Gino Menchi
Assing	Giulio Lamedica

con la collaborazione di:

Directa Plus	Laura Rizzi

SETTORE 3

>ENERGIA<

PROFILO DI SETTORE

L'obiettivo primario del settore energetico è garantire forniture energetiche affidabili, economiche, sicure e ambientalmente sostenibili su scala globale.

Lo sviluppo di questo settore in continua evoluzione è condizionato da molti fattori, tra cui la geopolitica, il progresso tecnologico e le normative ambientali.

La situazione politica del Medio Oriente è sempre stata legata a doppio filo con l'andamento del prezzo del petrolio. A partire dalla primavera araba, i timori legati alla forte instabilità geopolitica di questa area hanno sempre sostenuto verso l'alto le quotazioni del greggio e ancora oggi continuano a giocare un ruolo fondamentale per l'equilibrio del mercato petrolifero, anche se in direzione opposta. Elevata è l'incertezza sulle dinamiche future di questo mercato in un contesto di abbondanza di offerta e di domanda che stenta a decollare.

Breakthrough tecnologici e una favorevole situazione di mercato stanno permettendo di sfruttare risorse considerate non recuperabili fino a pochi anni fa. Un esempio tangibile è la recente rivoluzione nelle produzioni di shale oil e gas: l'ampio potenziale di risorse di shale gas e lo sviluppo delle produzioni hanno consentito agli USA di invertire il declino delle risorse *conventional* e diventare il primo produttore al mondo di gas naturale già nel 2012, insidiando il primato di Arabia Saudita e Russia per la produzione di petrolio. Così, se solo fino a pochi anni fa il paese prevedeva un deficit energetico con importazioni di gas e di petrolio in continua crescita, oggi il quadro è completamente cambiato e gli USA saranno sempre più autosufficienti. Molte sono le incertezze sulla sostenibilità dello sviluppo di tight oil e shale gas. Ingenti investimenti in sviluppo per mantenere le produzioni attuali, l'incertezza sui prezzi, l'innovazione tecnologica necessaria per aumentare l'efficienza e mitigare l'impatto ambientale, l'ac-

cettabilità sociale e i potenziali rischi sull'ambiente sono i principali fattori che potrebbero rallentarne lo sviluppo.

Un altro elemento di incertezza è legato all'evoluzione della normativa ambientale e delle politiche energetiche. La sempre maggiore attenzione ai temi ambientali, intrecciati con quelli dello sviluppo economico e dell'utilizzo delle fonti di energia, ha favorito l'implementazione di una maggiore efficienza energetica e lo sviluppo di fonti alternative. La crescita della sensibilità verso il contenimento delle emissioni nocive è evidente anche alla luce dei progressi recentemente registrati negli accordi tra USA e Cina in vista della conferenza sul clima di Parigi 2015. Una maggiore attenzione verso queste tematiche significherà, oltre che preservare il nostro clima, anche sviluppare nuove tecnologie per rendere maggiormente efficiente il sistema di produzione e consumo di energia.

MERCATO

Per garantire la disponibilità dell'energia saranno necessari ingenti investimenti. Stime effettuate dall'International Energy Agency – IEA indicano investimenti pari a oltre 51.000 miliardi di dollari nel periodo 2014-40 per mantenere e ampliare l'offerta energetica. Tali investimenti riguarderanno l'intera filiera: esplorazione e produzione, trasporto, conversione/trasformazione e distribuzione di energia. Il settore in cui saranno maggiormente concentrati è il settore elettrico (41% del totale, per lo più per lo sviluppo delle reti di distribuzione e per le rinnovabili); il 33% degli investimenti riguarderà l'ampliamento della capacità di produzione, raffinazione e trasporto di greggio mentre il 22% lo sviluppo della produzione e distribuzione di gas naturale.

Nel 2012 i consumi energetici mondiali sono stati pari a 13,4 Gtep e la IEA stima una crescita di oltre il 12% al 2020, con un tasso medio annuo dell'1,4%, guidata principalmente da due driver: crescita della popolazione e sviluppo economico.

Da qui al 2020 si stima che la popolazione mondiale crescerà da 7 a oltre 7,6 miliardi di persone. Il maggior incremento sarà in Asia, in particolare in Cina e India. Anche in termini di GDP la crescita sarà concentrata nei paesi non-OCSE con tassi più che doppi rispetto a quelli OCSE (5,3% vs 2,2% nel periodo 2012-2020). Di qui il progressivo spostamento dell'asse dei consumi verso i paesi non-OCSE, non soltanto Cina e India. Sono proprio queste le aree che presentano le prospettive di mercato più dinamiche, per recupero dell'elevato gap del consumo di energia pro capite rispetto ai paesi sviluppati e per crescita economica più elevata. Si stima infatti che nel periodo compreso tra il 2012 e il 2020 l'Asia rappresenterà oltre il 60% della crescita della domanda di energia mondiale.

La sola Cina rappresenterà oltre il 23% della domanda totale di energia nel 2020 e oltre il 37% dell'incremento della domanda mondiale di energia tra il 2012 ed il 2020; dopo il 2025 l'India subentrerà alla Cina, la cui crescita rallenterà notevolmente.

Le fonti fossili rimangono i pilastri per soddisfare il fabbisogno mondiale di energia. I combustibili fossili – carbone, greggio e gas naturale – anche nel 2020 continueranno a soddisfare circa l'80% della domanda mondiale di energia.

Nel 2020 **il petrolio** continuerà a pesare per circa il 30% nel mix energetico. Il previsto incremento della domanda di petrolio (+6 mln b/g per raggiungere i 96 mln b/g nel 2020) sarà per lo più legato al settore trasporti e alla petrolchimica, settori in cui sarà concentrato oltre il 69% della domanda di petrolio. Nel settore dei trasporti si prevede un aumento del 26% dei veicoli in circolazione tra il 2013 ed il 2020, ma l'adozione di motori con migliori standard di efficienza mitigherà l'impatto sulla domanda di carburanti, che crescerà con una media dell'1,2% l'anno. Il consumo di petrolio aumenterà nonostante in Europa e USA si registrino significativi aumenti di efficienza nelle tecnologie per i veicoli: per ogni barile di petrolio che verrà eliminato dalla domanda OCSE, due barili addizionali di petrolio verranno consumati nei paesi in via di sviluppo.

Il **gas naturale** sarà la fonte energetica che registrerà la maggior crescita al 2020. Questo vettore energetico è conveniente, disponibile, estremamente versatile ed emette fino al 60% in meno di CO_2 rispetto al carbone nella generazione elettrica. Grazie alla costante crescita delle risorse scoperte e ai continui progressi della tecnologia, il gas naturale è destinato a diventare sempre più importante nel mix energetico globale, puntando a soddisfare oltre il 21% del fabbisogno energetico mondiale entro il 2020.

Il **carbone** è attualmente il combustibile più economico per la produzione di energia elettrica e guadagna il secondo posto nella classifica dei combustibili più utilizzati nel mix energetico; da evidenziare che la metà della sua produzione mondiale viene consumata dalla sola Cina. Anche se la crescita del suo utilizzo sarà meno impetuosa che nel passato (+1% per anno nel periodo 2012-2020 vs +2,5% nei passati 30 anni), si prevede comunque che nel 2020 il carbone manterrà il secondo posto del mix energetico. L'uso massiccio del carbone sarà incompatibile con gli obiettivi climatici di riduzione delle emissioni di CO_2.

L'**energia nucleare** vedrà una solida crescita anche grazie ai continui miglioramenti tecnologici, che ne aumenteranno la sicurezza, e alla sua capacità di contribuire all'abbattimento delle emissioni di CO_2. La crescita sarà guidata dall'area non-OCSE, dove si prevede che il nucleare passi dai 78 GW di capacità installata nel 2013 ai 137 GW nel 2020, con un aumento di circa il 76%. La quota dell'energia nucleare sul totale della domanda di energia nel mix energetico passerà dal 4,8% del 2012 al 5,6% nel 2020; in questo periodo la domanda di energia nucleare passerà da 642 a 845 Mtep registrando un incremento del 32%.

Aumenta l'utilizzo delle **rinnovabili**: la loro quota nel mix energetico è vista difatti crescere dal 13,5% del 2012 a circa il 15% del 2020. Gran parte della crescita sarà dovuta allo sviluppo dell'energia eolica, che nel 2020 raggiungerà una quota di circa il 12% nel mix usato per produrre energia elettrica nella Unione Europea.

Interdipendenza energetica

L'industria energetica si trova a fronteggiare simultaneamente la sfida della crescita dei fabbisogni energetici e le principali tematiche ad essa correlate: l'interdipendenza energetica, la sicurezza delle forniture e l'impatto ambientale. Nel lungo termine la dipendenza dalle importazioni energetiche di alcuni paesi risulterà ancora più rilevante, a causa delle produzioni energetiche nazionali in calo e dei consumi interni in crescita. In particolare, il commercio internazionale di petrolio crescerà di circa il 19% tra il 2013 e il 2040. L'incremento sarà concentrato principalmente nell'area dell'Asia-Pacifico, che già oggi importa 18 milioni di barili/giorno, equivalenti a circa la metà del greggio commercializzato nel mondo; nel 2040 questa quantità raggiungerà i 29 milioni di barili/giorno su 44 milioni di barili/giorno totali. Significativo il dato sulla Cina, che al 2040 potrebbe diventare il primo paese per importazioni di petrolio, superando gli Stati Uniti. In controtendenza i dati sulle importazioni di petrolio in Europa e Nord-America dove una domanda in declino e, nel caso dell'America, l'incremento delle produzioni domestiche ridurranno le quantità di greggio importato.

Diverso lo scenario per il commercio internazionale di gas naturale, i cui volumi (via gasdotto e via Gas Naturale Liquefatto, GNL) nel 2040 potrebbero quasi raddoppiare rispetto ai livelli del 2012, tra l'altro grazie anche al previsto incremento del GNL per utilizzo su navi e su corridoi attrezzati per il rifornimento di autocarri a GNL attraverso l'Europa (Blue Corridors). L'Unione Europea conferma la sua dipendenza dalle importazioni di gas naturale, che si attestano ad oltre l'80% dei consumi al 2040, mentre gli Stati Uniti manterranno la loro sostanziale indipendenza grazie al contributo dell'incremento delle produzioni domestiche. La Cina importerà nel 2040 il 39% dei suoi fabbisogni di gas vs il 27% del 2012: ciò sarà dovuto alle politiche di diversificazione che porteranno a un'espansione del consumo di gas naturale attraverso l'aumento della produzione domestica, delle importazioni di GNL e di gas naturale tramite gasdotti che attraverseranno l'Eurasia.

Sicurezza energetica

In tale contesto la diversificazione delle aree di produzione e delle fonti di energia rappresenta un passo necessario per fronteggiare i rischi connessi a tale

dipendenza e per aumentare la sicurezza delle forniture. L'aumento e la diversificazione del *supply* energetico non è un problema di scarsità delle risorse, bensì di limitata accessibilità, complessità tecnica e costi elevati.

Per quanto concerne il petrolio, le riserve certe sono sufficienti a soddisfare gli attuali livelli di consumo per i prossimi 52 anni. Il potenziale minerario sarebbe ancora maggiore considerando anche le risorse recuperabili convenzionali e non convenzionali, tali da soddisfare per oltre 170 anni gli attuali consumi. I progressi nelle tecnologie utilizzate per l'individuazione di nuovi reservoir e per il completamento di nuovi pozzi permetteranno di aggiungere nuove riserve di petrolio e gas naturale per soddisfare la crescente domanda in tutto il mondo. Le compagnie petrolifere internazionali hanno limitato accesso alle risorse più economiche e abbondanti, localizzate per circa il 70% in poche aree – Medio Oriente, Russia, Asia Centrale e Africa. Le opportunità di incrementare le produzioni di idrocarburi per le compagnie petrolifere internazionali sono spesso localizzate in aree di frontiera – quali acque ultra profonde, zone artiche, bacini non convenzionali – costose e tecnicamente complesse da sfruttare. I progressi tecnologici permetteranno di trovare sistemi più economici per la loro messa in produzione oltre che alla scoperta di nuove risorse in queste aree oggi difficilmente accessibili.

Le fonti rinnovabili forniscono attualmente ancora un limitato contributo al soddisfacimento della domanda primaria di energia (circa il 13,5% nel 2012, costituito da idroelettrico per il 2,4%, da biomasse per circa il 10% e altre rinnovabili per l'1,1%) a causa dei ridotti volumi prodotti e degli elevati costi di produzione. I biocarburanti contribuiscono solo per il 2% dei consumi mondiali nel settore trasporti; piccole produzioni richiedono l'utilizzo di ampie aree di terra, entrando spesso in competizione con il settore alimentare, e il costo di produzione è elevato: difatti il costo dell'etanolo non è competitivo con quello della benzina su scala globale.

Un ulteriore tema correlato alla valorizzazione e allo sfruttamento delle fonti energetiche è quello del loro impatto ambientale. Secondo molti esperti, il riscaldamento globale è attribuibile all'emissione dei gas serra quali il metano, l'ossido di azoto e l'anidride carbonica, il più abbondante di questi, ed il 66% dei gas serra è prodotto dal settore energetico.

Nel 2012 le emissioni globali di CO_2 sono state di 31,6 miliardi di tonnellate: la combustione del carbone da sola ha contribuito per oltre il 44% delle emissioni globali.

L'innovazione tecnologica può svolgere un ruolo chiave per rispondere a molti dei temi energetici sopra esposti, sia sul fronte dell'abbattimento dei costi adottando nuove tecnologie, sia sui temi della produzione di energia, dei consumi e dell'abbattimento delle emissioni nocive.

La situazione italiana

Il Bilancio Energetico Nazionale indica nel 2013 consumi energetici primari pari a 171 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio), in calo del 3% rispetto al 2012.

Il petrolio continua a rappresentare la prima fonte di energia primaria[1] (34,5% del totale), sostenuto in particolare dal settore dei trasporti.

Relativamente alla diversificazione delle fonti di approvvigionamento, complessivamente petrolio e gas naturale coprono il 68% dei fabbisogni primari italiani. La parte restante è costituita da carbone per l'8,5%, fonti rinnovabili per il 18% e importazioni di energia elettrica per oltre il 5%.

La dipendenza del sistema energetico nazionale dall'estero nel 2013 si è attestata al 91%, in sensibile calo rispetto all'anno precedente (2012 = 96%). Il trend di lungo periodo mostra come stia crescendo la dipendenza dalle importazioni di gas naturale, pur considerando la ripresa della produzione nazionale di idrocarburi, in particolare di petrolio, osservata a partire dal 2008.

Per quanto riguarda lo scenario di lungo termine si fa riferimento al rapporto *Previsioni di domanda energetica e petrolifera italiana* elaborato dall'Unione Petrolifera a marzo 2013 che tiene conto delle criticità economiche attuali che non riflettono un ciclo economico simile a quelli verificatisi nel passato, ma una fase storica del tutto eccezionale.

Tra le ipotesi principali vi erano:

- recupero delle attività produttive ed industriali ai livelli del 2007 solo all'inizio del prossimo decennio;
- evoluzione della popolazione residente, in linea con le proiezioni più recenti elaborate dall'ISTAT: 60,6 milioni di abitanti nel 2013 e 61,9 milioni nel 2025;
- Lo scenario prevede una crescita del fabbisogno di energia primaria al 2025 a un tasso medio annuo dello 0,7%. Questa evoluzione dei consumi implica una significativa e costante riduzione dell'intensità energetica[2] primaria, in linea con l'evoluzione dell'intensità energetica prevista per gli altri Paesi europei.

1 Una fonte di energia è definita primaria quando non deriva dalla trasformazione di nessuna altra forma di energia. Rientrano in questa classificazione le fonti fossili (petrolio grezzo, gas naturale, carbone), l'energia nucleare e le fonti rinnovabili (quali ad esempio l'energia solare, eolica, idroelettrica, le biomasse, etc.). Si differenziano dalle fonti secondarie in quanto queste ultime possono essere utilizzate solo a valle di una trasformazione di energia (come ad esempio la benzina, l'energia elettrica, l'idrogeno).

2 L'intensità energetica è il rapporto tra il consumo di energia e il prodotto interno lordo di uno Stato (o di un'area geografica). Tale indicatore macroeconomico è una misura, seppur aggregata, dell'efficienza energetica del sistema economico di un Paese.

Per tutto l'orizzonte temporale il fabbisogno energetico continuerà ad essere soddisfatto in larga misura dai combustibili fossili (circa il 78% dell'energia primaria al 2025) con una rilevante crescita del ruolo del gas (nel 2025 il peso percentuale del gas sulla domanda energetica nazionale sarà pari al 37% vs il 32,4% del petrolio). Quanto alle fonti rinnovabili, il loro peso sui consumi energetici primari crescerà fino a raggiungere il 17,4% al 2020 ed il 18,6% al 2025, centrando l'obiettivo della politica 20-20-20 della Commissione Europea (17% per l'Italia nel 2020).

OCCUPAZIONE

Secondo i dati di contabilità nazionale (ISTAT), gli occupati diretti nel settore energetico nel 2013 erano 148.100, lo stesso numero del 2012. Di questi 31.100 erano occupati nell'industria estrattiva, 24.000 nella fabbricazione del coke e dei prodotti derivanti dalla raffinazione del petrolio, 93.000 nella fornitura di energia elettrica, gas, vapore e aria condizionata.

In media gli occupati in Italia nel 2013 erano 22.430.000; pertanto quelli nel settore dell'energia rappresentavano poco meno dello 0,7% del totale.

L'industria estrattiva ha perso in media 600 unità nel 2013, confermando una tendenza alla riduzione dei livelli di occupazione ininterrotta dal 2005 (da allora sono stati persi 6.700 posti di lavoro nel settore). Gli altri due settori hanno leggermente incrementato l'occupazione. In particolare, le imprese attive nella fornitura di energia elettrica e del gas negli ultimi cinque anni hanno registrato una modesta ripresa del numero di addetti, dopo un decennio durante il quale era diminuito di 25.000 unità.

RICERCA E SVILUPPO

La ricerca, lo sviluppo e l'innovazione tecnologica sono elementi chiave per rendere possibile l'accesso a nuove riserve di **olio e gas**, migliorarne il recupero dal sottosuolo e l'efficienza di utilizzo, riducendo allo stesso tempo l'impatto sull'ambiente. L'impegno nell'upstream punta a sviluppare tecnologie sostenibili ed efficienti per il recupero di idrocarburi racchiusi nel sottosuolo: in particolare si sviluppa il recupero assistito, il cosiddetto *Enhanced Oil Recovery-EOR*, iniettando in pozzo fluidi o anidride carbonica che vanno a spiazzare il petrolio, favorendone la produzione. Parallelamente, l'attività di R&S è indirizzata anche verso soluzioni tecnologiche che contribuiscano a una crescita sostenibile del business energetico, favorendo l'impiego delle **fonti energetiche rinnovabili**, in particolare energia solare (solare termodinamico a concentrazione e fotovoltaico) e biomasse (conversione termica, biologica e catalitica di biomasse a vettori energetici di seconda e terza generazione). Ulteriore obiettivo è lo sviluppo di

processi di produzione di biocarburanti sostenibili dal punto di vista sia economico sia ambientale, in coerenza con le direttive europee, utilizzando come materia prima rifiuti organici e biomasse la cui coltivazione non interferisca con le produzioni alimentari.

La capacità di immagazzinare l'energia prodotta da fonti rinnovabili si sta dimostrando uno dei fronti più significativi nell'evoluzione in chiave *smart* della rete di distribuzione. L'aleatorietà e la discontinuità di fonti energetiche rinnovabili come l'eolico e il solare, e la loro estrema frammentazione in impianti di piccola potenza, sono fattori che complicano la gestione delle energie rinnovabili. Per assorbire e immettere in rete l'energia generata da questi numerosi impianti, consentendone l'ulteriore sviluppo, occorre sia potenziare la rete, sia modificarla concettualmente e rinnovarla tecnologicamente secondo la logica delle *Smart Grids*. Per valorizzare pienamente la generazione rinnovabile, intrinsecamente non programmabile, è necessario prevedere anche un'adeguata capacità di immagazzinamento: è noto infatti che non è possibile produrre elettricità e conservarla, ma in ogni istante deve esserci equilibrio tra consumo e produzione di energia. In quest'ottica, il tema dello **stoccaggio dell'energia** riveste quindi un'importanza cruciale nell'ottica della sostenibilità energetica e ancor più lo rivestirà in futuro: dall'efficacia dei sistemi di immagazzinamento dipende infatti la capacità di aumentare la flessibilità del sistema elettrico. Inoltre, lo stoccaggio dell'energia può giocare un ruolo essenziale anche per ridurre costosi interventi di altro tipo sulle reti, che altrimenti sarebbero necessari per adeguare il sistema ai livelli crescenti della produzione rinnovabile. Tecnologie innovative giocano un ruolo anche nel migliorare gli impianti termoelettrici, favorendone la flessibilità e aumentandone la vita utile.

Gli impegni in R&S nella filiera energetica comprendono infine tecnologie per l'**efficienza energetica** (con innovazioni sul fronte dell'isolamento termico avanzato) e la cattura, il confinamento e il riutilizzo di anidride carbonica (fatalmente prodotta dall'impiego di fonti fossili), allo scopo di mitigare gli effetti negativi sul clima dovuti alla sua immissione in atmosfera. L'obiettivo finale della ricerca nel settore energetico è pertanto lo sviluppo di soluzioni e tecnologie che consentano di **produrre energia in modo efficiente e sostenibile, per poterla usare quando serve**. Purtroppo il *time-to-market* delle tecnologie energetiche è decisamente più ampio rispetto ad altri settori: pertanto è fondamentale avviare per tempo progetti di R&S e iniziative applicative di tecnologie avanzate/innovative.

TEMI STRATEGICI A MEDIO-LUNGO TERMINE

In un orizzonte di medio-lungo periodo, le tematiche ritenute strategiche nell'offrire soluzioni tecnologiche innovative e rilevanti contributi in termini di offerta, consumi e sostenibilità energetica sono:

- **Nanotecnologie.** Grazie ad esse, si prospettano miglioramenti di efficienza e riduzione di costi in diversi ambiti, dal fotovoltaico avanzato alla produzione e stoccaggio di idrogeno ma anche nel settore upstream oil & gas attraverso l'applicazione di nano-materiali strutturali ad alta resistenza, nano-rivestimenti, applicazioni nel campo della filtrazione e separazione di gas, nano-catalizzatori, nano-spugne da utilizzare in caso di versamenti di olio in acqua. Controllare le proprietà della materia intervenendo direttamente su singole molecole e persino su pochi atomi sarà cruciale anche per ottenere batterie ad elevata densità di potenza/energia e catalizzatori avanzati.
- **Materiali avanzati**. Materiali organici avanzati rappresentano tecnologie promettenti per la valorizzazione dell'energia solare e per i nuovi isolanti termici. Importanti sono anche gli aerogel, materiali altamente porosi con una trama tridimensionale nanostrutturata, che promettono molto nel campo della catalisi, dell'isolamento termico e dell'accumulo di energia in virtù dell'enorme area superficiale e dell'eccezionale leggerezza. L'aumento di efficienza e la flessibilizzazione delle tecnologie di *power generation*, nella prospettiva di una crescente integrazione con la generazione elettrica da fonti rinnovabili – intrinsecamente discontinue, in particolare solare, eolico e parte delle risorse idriche – impongono l'impiego di materiali avanzati (ceramici, acciai, superleghe, rivestimenti, etc.) in grado di resistere a temperature sempre più elevate, frequenti cicli di avviamento/spegnimento e rapide variazioni di carico.
- **Information & Communication Technology.** Nel monitoraggio e controllo di processi industriali e dell'ambiente, l'evoluzione delle tecnologie informatiche contribuirà al passaggio dalla logica della retroazione a quella predittiva grazie all'impiego di sistemi in grado di gestire sensori e attuatori dotati di capacità di calcolo e di autodiagnosi. L'ICT gioca un suo ruolo anche per quanto riguarda la flessibilità di carico delle reti elettriche, il miglioramento dell'efficienza del parco di generazione nonché la stabilizzazione del sistema elettrico nazionale, tutti temi di importanza crescente come conseguenza della penetrazione della generazione elettrica da fonti rinnovabili, intrinsecamente discontinua. I progressi nelle ICT in termini di potenza di calcolo ad alte prestazioni e velocità di comunicazione, le tecnologie intelligenti dei sensori per la gestione e analisi di un gran numero di dati (Big Data), le tecnologie avanzate di visualizzazione stanno portando ad una nuova generazione di metodi e strumenti di modellazione, simulazione, previsione e supporto alle decisioni nel complesso settore energetico.
- Anche se con peso diverso, **approcci bio** possono ormai essere considerati pervasivi lungo tutta la filiera energetica, dal miglioramento del fattore di recupero delle fonti fossili alle tecnologie per la conversione di biomasse a vettori energetici.

SINTONIA CON LE LINEE EUROPEE

Tra le grandi sfide sociali identificate da Horizon 2020[3], quella più direttamente impattate da soluzioni tecnologiche innovative provenienti dal settore energetico riguarda l'energia sicura, pulita ed efficiente (*Societal Challenge "Secure, Clean and Efficient Energy"*). L'intento è riuscire a traguardare un sistema energetico affidabile, sostenibile e competitivo, in tempi di crescente scarsità delle risorse, di incremento del fabbisogno di energia nonché di cambiamenti climatici. Obiettivi specifici di tale sfida sono: riduzione del consumo di energia e di emissioni di CO_2 tramite una gestione sostenibile delle risorse naturali (ecosistemi compresi) ed un uso energetico intelligente; fornitura di elettricità a basso costo e a basso impatto inquinante; impiego di carburanti alternativi sia per la *power generation* sia per i trasporti; creazione di una rete europea unica per l'elettricità; nuove tecnologie che consentano di accelerare un'attuazione efficiente in termini di costi delle politiche energetiche europee.

L'Europa intende affrontare le grandi sfide del clima e dell'energia attraverso un grande programma di innovazione, il SET Plan – Strategic Energy Technology Plan, iniziativa specifica per lo sviluppo di *low-carbon technologies*. Per realizzare questa nuova rivoluzione industriale, di fronte alla concorrenza di alcuni paesi industrializzati e delle economie emergenti, i paesi dell'Unione Europea dovranno mettere in comune le risorse e condividere i rischi connessi allo sviluppo di nuove tecnologie, trovando il giusto equilibrio fra cooperazione e competizione. I principali obiettivi, indicati dall'EU Energy Roadmap 2050, che la politica energetica europea si prefigge di raggiungere sono la sostenibilità e la competitività del settore energetico, la sicurezza dell'approvvigionamento.

Il sistema energetico in Europa è già in un processo di profonda trasformazione. La quota crescente di generazione rinnovabile e decentralizzata, il progressivo aumento dell'efficienza energetica, il crescente bisogno di flessibilità nel sistema e la comparsa di nuovi utenti della rete sono i principali cambiamenti che interessano il modo in cui interagiscono produttori di energia, operatori, legislatori e consumatori, in un mercato sempre più complesso.

Anche nel settore energetico, le *Key Enabling Technologies* (KETs) contribuiscono all'innovazione nei processi, nei beni prodotti e nei servizi offerti: sono multidisciplinari, interessano tecnologie di diversi settori e tendono a convergere e ad integrarsi, rivestendo quindi una rilevanza sistemica.

La **micro e la nanoelettronica** giocano un ruolo chiave nel settore energetico

3 Horizon 2020 è il programma europeo del sistema di finanziamento integrato destinato alle attività di ricerca, compito che spettava al VII Programma Quadro, al Programma Quadro per la Competitività e l'Innovazione (CIP) e all'Istituto Europeo per l'Innovazione e la Tecnologia (EIT). Dal 1° gennaio 2014 fino al 31 dicembre 2020, Horizon2020 supporta l'UE nelle sfide globali, fornendo a ricercatori ed innovatori gli strumenti necessari alla realizzazione dei propri progetti e delle proprie idee.

laddove si richiede un controllo intelligente e una maggiore efficienza per la produzione, lo stoccaggio, il trasporto e i consumi energetici, in particolare a seguito del crescente ruolo delle fonti rinnovabili (eolico e solare), intrinsecamente discontinue e che quindi necessitano di sistemi di distribuzione intelligenti. Migliori prestazioni, migliore efficienza, nuove funzionalità, dimensioni ridotte saranno obiettivi raggiungibili grazie alle **nanotecnologie**, anche se attualmente la maturità tecnologica è molto diversa a seconda dell'ambito considerato.

L'utilizzo di materie prime rinnovabili mediante le **biotecnologie** costituisce uno degli approcci più innovativi e promettenti per ridurre le emissioni di gas serra e per migliorare efficienza e sostenibilità dei processi industriali. Biotecnologie sono applicabili con successo anche a settori ritenuti maturi: ad esempio, l'iniezione di microorganismi in un giacimento petrolifero o di biotensioattivi hanno dimostrato grande potenzialità nel aumentare il fattore di recupero del petrolio.

La **fotonica** – ambito multidisciplinare riguardante la luce, la sua generazione, la sua rilevazione e la sua gestione – fornisce tra l'altro la base tecnologica per la conversione economica della luce solare in energia elettrica, importante per la produzione di energia rinnovabile. I **materiali avanzati** possono aiutare a generare prodotti con nuove e migliorate proprietà e funzionalità e permettere la sostituzione di materiali in uso con nuovi materiali più performanti, efficienti ed a minore impatto ambientale.

Nella strategia europea, **le KETs sono chiamate a favorire e accelerare i processi di trasferimento tecnologico e di valorizzazione della proprietà intellettuale** per contribuire a rafforzare la capacità industriale e di innovazione in Europa. Horizon 2020 prevede meccanismi specifici di finanziamento alla ricerca cooperativa nelle KETs, per favorire il superamento della cosiddetta *valley of death* tra ricerca & sviluppo, la proprietà intellettuale da essa generata e la trasformazione di tali conoscenze in prodotti o processi di sicura commercializzazione. Inoltre, a livello europeo è stato elaborato il concetto di *Smart Specialisation Strategy* per migliorare l'efficacia dei sistemi nazionali e regionali responsabili dell'attuazione delle politiche di ricerca.

TECNOLOGIE PRIORITARIE

Nel seguito, l'elenco delle tecnologie selezionate per questa edizione, evidenziando **in grassetto le numerose novità rispetto alla precedente edizione 2012**.

1 Tecnologie sostenibili ed efficienti per il recupero di idrocarburi
1.1 Iniezione di acqua a bassa salinità
1.2 Iniezione di CO_2
1.3 Metodi microbici (MEOR)

2 Tecnologie di trasporto e accumulo dell'energia
2.1 Nuovi utilizzi del gas naturale liquefatto (GNL)
2.2 Liquid Air Energy Storage – LAES
2.3 Batterie avanzate per impieghi stazionari
3 Tecnologie e materiali avanzati per la produzione di energia elettrica
3.1 Materiali avanzati per impianti termoelettrici flessibili e a maggiore vita utile
3.2 Flessibilizzazione e ottimizzazione operativa di impianti termoelettrici
4 Tecnologie pro vettori energetici
4.1 Power-to-Gas
4.2 Bio-feedstock di seconda e terza generazione
4.3 Tecnologie catalitiche per la produzione di biofuels
4.4 Waste-to-Fuel
5 Tecnologie per la valorizzazione dell'energia solare
5.1 Fotovoltaico avanzato
5.2 Solare termodinamico a concentrazione
6 Tecnologie per l'efficienza energetica e la sostenibilità ambientale
6.1 Isolanti termici avanzati
6.2 Separazione, confinamento geologico e riutilizzo della CO_2

RISORSE ECONOMICHE TOTALI

Per le tecnologie prioritarie individuate si prevedono, nell'arco dei prossimi tre anni, investimenti complessivi nell'ordine dei 2,2 miliardi di euro.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 1

TECNOLOGIE SOSTENIBILI ED EFFICIENTI PER IL RECUPERO DI IDROCARBURI

Si prevede che la domanda globale di energia da idrocarburi aumenterà di circa un terzo entro il 2035. Per soddisfare tale richiesta, le attività estrattive verranno concentrate in contesti sempre più complessi, come le acque profonde, l'artico e i giacimenti non convenzionali. Una altra soluzione che potrà colmare il gap produttivo è l'applicazione di tecnologie di recupero avanzato in campi maturi (Enhanced Oil Recovery – EOR). Il fattore di recupero (Recovery Factor – RF) medio per giacimenti già in produzione si attesta a circa il 35% su base mondiale; ciò significa che circa due terzi delle risorse già scoperte non vengono prodotte. Un aumento del fattore di recupero dal 35 al 45% immetterebbe pertanto nel sistema energetico mondiale un volume pari ad un miliardo di barili (si consideri che le riserve provate di olio al 31/12/2013 ammontano a oltre 1600 miliardi di barili).

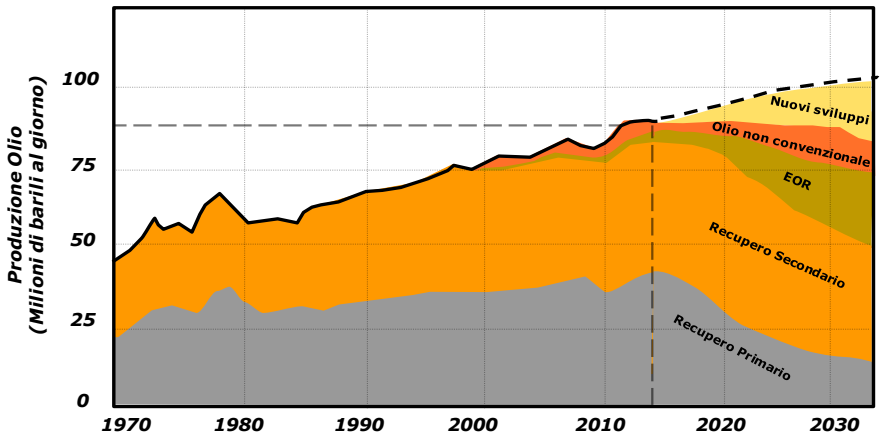


FIG. 34 – PREVISIONE DI PRODUZIONE DI OLIO (FONTE IEA)

Il ciclo di vita di un giacimento è caratterizzato da tre diverse fasi: recupero primario, secondario e terziario. Il recupero primario rappresenta la più elementare tecnica di produzione degli idrocarburi, in quanto sfrutta solo l'energia propria del giacimento, come ad esempio l'espansione del fluido e lo spiazzamento operato dall'acquifero o dal gas cap.

Tramite il recupero primario si possono raggiungere RF pari al 10-30%. Il recupero secondario consiste invece nell'iniezione di acqua o di gas immiscibile con l'olio per fornire energia supplementare, allo scopo di evitare la riduzione della pressione del giacimento e contrastare il declino di

produzione. Questo recupero assicura un ulteriore 10-20% di riserve.
Il recupero terziario o EOR altera le caratteristiche chimico-fisiche del sistema fluido-roccia, permettendo di raggiungere un fattore di recupero che può in alcuni casi superare il 60%.
Le tecnologie EOR possono essere divise in 3 principali famiglie**: iniezione di gas miscibile** e acqua alternata a gas (water-alternate-gas, WAG), **metodi termici** e **processi chimici**. Esistono poi processi che non ricadono in questi gruppi, quali l'**EOR Microbico** (Microbial EOR – MEOR) e l'**iniezione di acqua a bassa salinità** (Low Salinity EOR), quest'ultima talvolta inclusa tra i processi chimici.
L'**iniezione di gas miscibile** riduce la viscosità dell'olio e la tensione interfacciale, favorendo il fenomeno di rigonfiamento dell'olio e mantenendo la pressione del giacimento. Il gas iniettato può essere di diversa natura: gas naturale, anidride carbonica e azoto.
I **metodi termici,** tra i più utilizzati, impiegano principalmente l'iniezione di vapore o processi basati sulla combustione in giacimento per migliorare la mobilità dell'olio, riducendone la viscosità attraverso lo scambio termico. Per questo motivo sono particolarmente adatti agli oli pesanti, caratterizzati da elevata viscosità, come ad esempio i bitumi.
I **metodi chimici** infine impiegano additivi che vengono aggiunti all'acqua di iniezione per aumentarne la viscosità, con lo scopo di migliorare l'efficienza di spiazzamento verticale ed areale, come nel caso dei polimeri, oppure per ridurre la tensione interfacciale acqua-olio, favorendo la fuoriuscita dell'olio dai pori della roccia, come nel caso dei tensioattivi.



FIG. 35 – COSTI DI UN PROGETTO EOR

La scelta della tecnologia EOR ottimale per un dato giacimento dipende da molteplici parametri quali: viscosità dell'olio, temperatura e profondità del giacimento, porosità e permeabilità della roccia. Una tecnologia EOR richiede inoltre diversi studi specialistici e progetti pilota prima di un'eventuale applicazione estesa a tutto il giacimento. Solitamente, dopo una prima fase di screening

per selezionare la tecnologia ottimale, si procede a una serie di prove di laboratorio e simulazioni 3D del processo chimico-fisico per comprendere e quantificare i benefici dell'applicazione. In seguito, si può effettuare un test a livello di pozzo per investigare l'efficienza in una zona confinata del giacimento (di solito un Log-Inject-Log o un Single Well Chemical Tracer Test), usualmente con raggio di 2-3 m; successivamente si progetta un pilota tra un pozzo iniettore e uno o più produttori per analizzare aree più estese. Lo scopo di questi step intermedi è di valutare in maniera più approfondita l'efficienza e l'economicità dell'intero processo EOR. In caso di esito positivo, si può proseguire con uno sviluppo su una parte o sull'intero giacimento.
I costi di un progetto EOR sono estremamente variabili e dipendono dalla tecnologia applicata, dalle caratteristiche del giacimento e dalla sua estensione.
Negli ultimi anni si è osservato un aumento dell'impiego di tecnologie EOR, specialmente in USA e Canada, ma anche in Cina, Malesia, Norvegia e Regno Unito. I metodi chimici, l'iniezione di CO_2 e dell'acqua a bassa salinità rappresentano alcune delle tecnologie sulle quali si è concentrato un crescente interesse da parte delle compagnie O&G e del mondo accademico.

1.1) INIEZIONE DI ACQUA A BASSA SALINITÀ

DESCRIZIONE

L'iniezione di acqua a bassa salinità (Low Salinity EOR o semplicemente Low Salinity) è stata oggetto negli ultimi 10 anni di moltissimi studi e ricerche da parte sia di compagnie petrolifere che di centri di ricerca universitari. Un grande contributo al suo sviluppo è stato inizialmente apportato da BP; altre società attive sul tema sono Shell, Statoil, Total e Eni.

È provato che questa tecnologia agisce su scala microscopica, alterando la bagnabilità della roccia e riducendo la saturazione in olio residuo; i suoi benefici sono stati attestati sia per giacimenti clastici che carbonatici. I meccanismi di funzionamento non sono però ancora chiari: la discussione su quali siano i principali processi chimico-fisici alla base è tuttora aperta ed è molto accesa in ambito accademico.

L'iniezione altera l'equilibrio chimico tra olio, acqua di formazione e roccia, modificando la bagnabilità della roccia stessa, che è uno dei principali fattori di controllo del flusso e della distribuzione dei fluidi all'interno del mezzo poroso. In particolare si passa a un sistema più bagnabile all'acqua, di solito migliorando il recupero degli idrocarburi. Diversi meccanismi sono stati proposti per spiegare l'alterazione della bagnabilità, ma nessun singolo modello teorico è risultato finora adeguato a descrivere in dettaglio i tutti i processi chimico-fisici coinvolti. Tang e Morrow (1999) hanno suggerito un meccanismo basato sulla migrazione dei fini; secondo la loro teoria, a contatto con l'acqua a bassa salinità i minerali argillosi si distaccano dal mezzo poroso, favorendo l'aumento della mobilità dell'olio. La teoria proposta da McGuire (2005) prevede invece un meccanismo simile a quello di un'iniezione chimica di alcali, che riduce la tensione interfacciale per mezzo di un aumento del pH. Lager e Lee (2006 – 2010) sostengono un meccanismo basato sulla teoria dei colloidi ed il processo di Multiple Ion Exchange – MIE: i cationi multivalenti, contenuti nel film di acqua di formazione sulla superficie dei minerali argillosi, sono legati ai composti polari della fase olio in uno stato iniziale caratterizzato da bagnabilità tendente all'olio. La Low Salinity EOR promuove uno scambio ionico tra l'acqua iniettata, i cationi multivalenti dell'acqua di formazione e i composti polari dell'olio, modificando il sistema verso una bagnabilità tendente all'acqua. Pu (2010) ha proposto una teoria basata sulla dissoluzione di alcuni minerali della roccia. Austad (2010) ha suggerito un meccanismo basato sulla variazione di pH, osservando che all'iniezione di acqua a bassa salinità alcuni protoni dell'acqua vengono adsorbiti sulla superficie dei minerali argillosi contenuti nel mezzo poroso, causando un aumento locale del pH; questo causa a sua volta il desorbimento di materiale organico dalla superficie dei minerali argillosi, migliorando la bagnabilità del sistema. Più recentemente Emadi e Sohrabi (2013) hanno introdotto una teoria basata sulla formazione di una micro-dispersione dell'acqua a bassa salinità nella fase olio. Come già sottolineato precedentemente, nessuno dei meccanismi menzionati riesce tuttavia a descri-

vere tutti i processi chimico-fisici della tecnologia. È comunque riconosciuto che l'iniezione di acqua a bassa salinità promuove delle reazioni chimiche all'interfaccia fluido-roccia, alterando la bagnabilità verso un sistema più bagnabile all'acqua.
L'interesse scientifico per la Low Salinity EOR in formazioni carbonatiche è più recente ed è stato stimolato dalle osservazioni di Austad (2005), che hanno messo in relazione l'alterazione della bagnabilità con i *potential determining ions* (PDI), in particolare ioni solfato (SO_4^{2-}), calcio (Ca^{2+}) e magnesio (Mg^{2+}). È stato osservato che i benefici aumentano con una riduzione della salinità totale e l'aumento di alcuni PDI, come ad esempio i solfati. Queste tecniche di modifica dei PDI vengono alcune volte indicate con i termini di *Smart, Engineered* o *Designed Water*. La maggior parte degli studi su applicazioni in carbonati è concentrata sui campi del mare del Nord, come ad esempio Ekofisk operato da Conoco, e su quelli del Medio Oriente, in cui recentemente hanno dimostrato interesse per la tecnologia alcune compagnie petrolifere nazionali come Saudi Aramco, ADNOC, KOC e PDO.
Per l'implementazione della tecnologia è necessario soddisfare i seguenti requisiti minimi:

- la formazione deve mostrare una bagnabilità iniziale tendente all'olio o neutra;
- il mezzo poroso deve contenere minerali argillosi;
- l'olio di formazione deve contenere dei componenti polari;
- l'acqua iniettata deve essere caratterizzata da salinità totale fra 1000 e 2000 ppm e comunque non superiore ai 6000 ppm (anche se sono stati riscontrati degli effetti benefici con salinità più elevate, specie in formazioni carbonatiche).

In definitiva, la Low Salinity migliora l'efficienza di spiazzamento a scala microscopica riducendo la saturazione in olio immobile. L'aumento di fattore di recupero è stimabile in 2-4%. Alcuni piloti di pozzo eseguiti tramite Single Well Chemical Tracer Test (SWCTT) hanno indicato la possibilità di ottenere recuperi maggiori, fino al 10%.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La Low Salinity EOR è una tecnologia emergente, a basso costo e molto promettente sia per formazioni clastiche che carbonatiche. Nell'ultimo decennio gli studi su questa tecnologia sono aumentati in maniera esponenziale a livello globale. Seppure meno efficace di un tensioattivo, ha lo stesso effetto di diminuire la saturazione di olio immobile a costi notevolmente inferiori e con minor impatto ambientale. Uno dei vantaggi è la facile implementazione in giacimenti già in produzione per mezzo di iniezione di acqua (di solito acqua di mare, da acquiferi salati o di produzione). I costi operativi sono bassi, inferiori a 0,3 USD per barile di acqua iniettato.
Per quanto riguarda l'approvvigionamento di acqua a bassa salinità, è sconsigliato l'utilizzo di fonti di acqua dolce, quali acquiferi superficiali, laghi o fiumi, per ovvi motivi di sostenibilità e competizione con gli usi per scopo potabile e/o agricolo. Una soluzione è offerta dagli impianti di desalinizzazione ad osmosi inversa, i cui costi sono notevolmente diminuiti negli ultimi anni. Una soluzione alternativa può essere invece l'impiego di acque reflue civili opportunamente trattate per abbattere il contenuto organico.
Tra gli altri vantaggi, la Low Salinity presenta migliore iniettività e minori problemi di: corrosione,

tendenza alla formazione di depositi di sale (*scales*) e proliferazione di batteri solfato-riduttori (*reservoir souring*) rispetto all'acqua di mare. Può inoltre essere accoppiata sinergicamente ad altri metodi EOR, come l'iniezione di polimero, migliorando l'efficienza di spiazzamento e diminuendo la concentrazione stessa del polimero necessaria ad ottenere la viscosità target.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La maggior parte delle esperienze di campo con iniezione di acqua a bassa salinità è relativa a formazioni clastiche. Il pilota più completo risale al 2008-09 nel campo di Endicott (Alaska) operato da BP (Fig. 36).

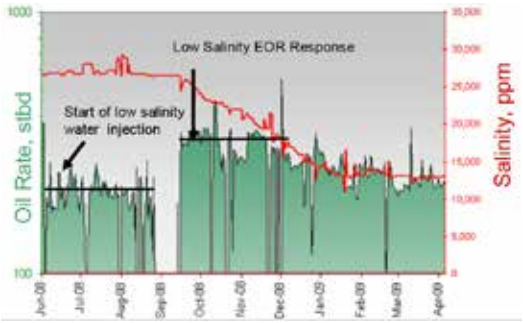


FIG. 36 EFFETTO DELLA LOW SALINITY EOR SULLA PRODUZIONE DI OLIO PER IL PILOTA DI ENDICOTT IN ALASKA (FONTE: BP)

La fase preliminare aveva previsto una serie di flussaggi in laboratorio su carote rappresentative del giacimento e 4 SWCTT. Sulla base dei primi risultati è stato poi effettuato un pilota in una area più estesa del campo. La riduzione di olio immobile si è attestata a 13% e il recupero incrementale da pilota a circa 10%. I benefici della tecnologia sono evidenti nel plot qui riportato, in cui è evidenziato l'aumento di portata d'olio pre e durante il pilota.

Il campo di Clair nell'offshore del Regno Unito sarà sviluppato da BP con iniezione di acqua a bassa salinità a seguito di una serie di promettenti test di laboratorio e simulazioni 3D di giacimento. Il progetto prevede circa 145.000 barili di iniezione al giorno a partire dal 2016, utilizzando acqua di mare opportunamente desalinizzata. Si tratta del primo progetto Low Salinity per giacimenti offshore. L'impianto di trattamento ad osmosi inversa è stato concepito per avere il minimo ingombro, date le restrizioni di spazio presenti sulla piattaforma. BP ha intenzione di implementare la Low Salinity anche nel campo di El Morgan in Egitto.

Shell ha testato con successo la tecnologia nei campi di Omar e Sijan in Siria (Vledder, 2010; Mahani, 2011) ed è molto attiva anche sul fronte della ricerca.

Statoil ha effettuato test di pozzo per i campi di Snorre e Heidrun (Norvegia) con scarso successo.

Saudi Aramco ha recentemente testato con successo la tecnologia in due pozzi in Arabia Saudita.

Eni ha portato avanti due SWCTT in Congo ed Egitto, che hanno mostrato effetti positivi della Low Salinity, nel 2013-2014. Al momento, non esistono esperienze documentate in giacimenti italiani.

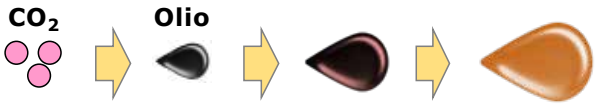
1.2) INIEZIONE DI CO_2

DESCRIZIONE

L'anidride carbonica può essere utilizzata per il recupero assistito di idrocarburi ed è compresa nelle tecniche di iniezione di gas. La CO_2 viene iniettata in giacimento a pressioni elevate, tali da raggiungere lo stato supercritico, in cui l'anidride carbonica ha una densità simile a quella dell'olio, motivo per il quale riesce a spiazzare con efficacia l'olio stesso dal mezzo poroso. L'iniezione di CO_2 o *CO_2 flooding* è una tecnologia EOR matura, applicata con successo sin dagli anni '70 e dagli indiscussi benefici. Un corretto *CO_2 flooding* può contribuire ad un aumento del 5-20% del fattore di recupero finale dell'olio. Non è raro che alcuni giacimenti texani, oggetto per molteplici anni di iniezione di acqua come recupero secondario e successivamente sottoposti a iniezione di CO_2, abbiano raggiunto fattori di recupero superiori al 50% e in alcuni casi vicini al 70%.

I principali meccanismi di EOR con CO_2 sono riassunti di seguito:

- fenomeno di rigonfiamento o swelling dell'olio al contatto con la CO_2;
- riduzione della viscosità e della densità dell'olio;
- riduzione della tensione interfacciale gas-olio;
- miscibilità con olio (solo a determinate pressioni). La pressione di minima miscibilità (MMP) viene misurata in laboratorio con appositi test e rappresenta un parametro fondamentale per un corretto design di un progetto CO_2.



FENOMENO DELLO SWELLING
FIG. 37 – MECCANISMO DI PRODUZIONE DELL'OLIO PER MEZZO DI INIEZIONE DI CO_2

L'iniezione di CO_2 può avvenire nelle seguenti modalità:

- **iniezione continua** attraverso un pozzo iniettore dedicato;
- **iniezione ciclica**: la CO_2 viene iniettata per un breve periodo, dalle ore ai giorni, in un pozzo produttore, il quale viene rimesso in produzione terminata la fase di iniezione;
- per ottenere un fronte di spiazzamento più omogeneo possibile, negli ultimi anni è stata utilizzata l'iniezione di CO_2 alternata ad acqua o CO_2-WAG, che prevede l'iniezione alternata di acqua e CO_2 con cicli solitamente di 6 mesi. Attualmente, questo è il più utilizzato fra tutti gli schemi di iniezione di anidride carbonica e rappresenta una delle tecnologie EOR di maggiore successo.

Un'ulteriore evoluzione della CO_2-WAG è la tecnica del Foam Assisted WAG o FAWAG: una schiuma viene aggiunta alla fase acqua per ostruire i pori dei livelli ad alta permeabilità e minimizzare quindi i fenomeni di fingering della CO_2 (convogliamento della CO_2 iniettata nei soli livelli ad alta permeabilità con conseguente diminuzione dell'efficienza dello schema EOR). Questa tecnica è più avanzata, ma essendo più complessa vanta poche applicazioni in campo.
Solitamente sono necessarie circa 0,3 t di CO_2 per recuperare un barile addizionale di olio.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'iniezione di CO_2 è una tecnologia matura, i cui benefici sono stati dimostrati da molteplici applicazioni in diversi giacimenti e con differenti caratteristiche. La tecnologia è stata infatti implementata con successo in reservoir clastici, carbonatici ed anche fratturati. L'aumento del fattore di recupero è in molti casi maggiore che per altre tipologie di EOR e può raggiungere il 60% di Recovery Factor nel caso di CO_2-WAG.
Il dipartimento dell'energia statunitense (DoE) ha stimato che l'utilizzo estensivo della CO_2 per EOR potrebbe generare nei soli Stati Uniti circa 240 miliardi di barili di riserve di olio. L'iniezione di CO_2 per EOR favorisce inoltre la diminuzione delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera, rappresentando quindi un'ottima opportunità per la riduzione dei gas ad effetto serra.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Il primo brevetto per l'utilizzo della CO_2 per EOR risale al 1954, mentre il primo pilota di campo al 1964, quando la tecnica fu impiegata con successo nel giacimento Mead Strawn in Texas. La prima applicazione commerciale nel campo di SACROC è datata 1972. Le fonti di CO_2 per questa applicazione sono state inizialmente di natura antropogenica (Val Verde Gas Plant, Texas) e successivamente naturale (Bravo Dome, Colorado; McElmo Dome, New Mexico). Attualmente il giacimento produce circa 30.000 barili al giorno e si stima che il fattore di recupero addizionale sia ad oggi superiore al 10%. In seguito al successo di SACROC, diversi giacimenti in USA, soprattutto nelle aree del Permiano, Rocky Mountains e Gulf Coast, sono stati oggetto di iniezione di CO_2. Attualmente negli Stati Uniti ci sono oltre 130 progetti attivi di CO_2 EOR, che contribuiscono a una produzione addizionale di olio di circa 300.000 barili/giorno. Il totale annuo di CO_2 iniettata è pari a 62 milioni di tonnellate, di cui circa il 20% proviene da fonti industriali, mentre il rimanente da giacimenti naturali. Il trasporto di CO_2 si avvale di un robusto network di distribuzione.
Il successo della tecnologia CO_2 EOR negli Stati Uniti, soprattutto nel bacino del Permiano in Texas, è dovuto ai seguenti fattori:

- disponibilità di CO_2 a basso costo;
- caratteristiche dei giacimenti e degli oli ottimali per l'iniezione di CO_2;
- consistenti volumi di riserve di olio ancora da recuperare;
- costante miglioramento tecnologico;
- contesto favorevole all'iniezione di CO_2;
- incentivi governativi per l'utilizzo di CO_2 da fonti antropogeniche.

Al di fuori degli Stati Uniti la CO_2 è stata utilizzata con successo soprattutto in Canada, ad esempio nel giacimento di Weyburn. Altre applicazioni e piloti hanno avuto luogo in Cina, Norvegia, Brasile

e Medio Oriente, in misura comunque estremamente inferiore rispetto alle esperienze documentate per gli Stati Uniti.

In Italia, l'unica applicazione è quella relativa al pilota Eni di Ponte Dirillo in Sicilia, datata 1985-1987. Il pilota è consistito in due test di iniezione crestale e periferica di CO_2 immiscibile nei carbonati fratturati delle formazioni Taormina e Streppenosa mineralizzate ad olio pesante. Come fonte di CO_2 si era utilizzato il gas associato del giacimento di Gela, trasportato attraverso una tubazione di circa 8km. A valle dell'esperienza di Ponte Dirillo non ci sono state altre applicazioni di iniezione di CO_2 in Italia, nonostante una serie di studi ed esperienze di laboratorio per altri giacimenti, in particolare quelli siciliani.

1.3) METODI MICROBICI (MEOR)

DESCRIZIONE

L'EOR Microbico (Microbial EOR o MEOR) si avvale di diversi tipi di batteri anaerobici, tra i quali *Clostridium*, *Bacillus, Pseudomonas, Micrococcus, Peptococcus,* etc. che vengono iniettati in giacimento per migliorare il recupero dell'olio. Sebbene i primi studi sulla tecnologia risalgano al 1926 (Beckman), si tratta di un metodo poco sviluppato, ma con grande potenzialità di crescita soprattutto per giacimenti marginali e/o di piccole e medie dimensioni. Il MEOR può infatti contribuire a un aumento del fattore di recupero fino ad un massimo di circa 10%.

Le modalità di iniezione dei batteri possono essere distinte in:

- iniezione di microorganismi in giacimento capaci di generare biotensioattivi e conseguente moltiplicazione dei microorganismi in-situ;
- iniezione di una serie di nutrienti in giacimento con lo scopo di stimolare e favorire la crescita di batteri indigeni;
- produzione di biotensioattivi ex-situ e successiva iniezione nel giacimento.

I meccanismi di funzionamento possono invece essere riassunti in:

- riduzione della tensione interfacciale e modifica della bagnabilità del mezzo poroso per mezzo della produzione di tensioattivi naturali e dell'azione batterica;
- azione di ostruzione (plugging) dei pori nei livelli più permeabili di giacimenti eterogenei. Il fenomeno del plugging forza l'acqua di iniezione a trovare percorsi alternativi alle vie preferenziali ad alta permeabilità, permettendo lo spiazzamento di olio precedentemente by-passato;
- riduzione della viscosità dell'olio causato dalla generazione di gas batterico e/o degradazione degli idrocarburi saturi a catena lunga;
- produzione di acidi che dissolvono la roccia, specie in formazioni carbonatiche, migliorando quindi la permeabilità del mezzo poroso.

Per assicurare il successo di una applicazione MEOR è necessario che:

- l'olio abbia una densità superiore ai 20° API;
- la permeabilità del giacimento sia superiore a 50 mD;
- la temperatura del giacimento sia inferiore a 80°C;
- la salinità sia inferiore a 100'000 ppm;
- il pH sia circa neutro.

I vantaggi delle tecnologie MEOR sono riportati di seguito:

- i batteri e relativi nutrienti sono poco costosi, facili da produrre e facili da gestire in-situ;
- l'efficacia dei batteri è migliorata dalla loro crescita nel tempo, a differenza di altre tecniche in

cui l'effetto dell'agente EOR tende a diminuire nel tempo e con la distanza dall'iniettore;
- i processi MEOR possono essere applicati in formazioni carbonatiche in cui altri processi, come quelli chimici, potrebbero avere minore successo;
- le tecniche MEOR richiedono lievi modifiche agli impianti esistenti di trattamento ed iniezione acqua e quindi una spesa minima;
- i prodotti delle tecniche MEOR sono biodegradabili e rimangono nel giacimento per cui sono sostenibili dal punto di vista ambientale.

Tra gli effetti indesiderati del MEOR c'è la possibile attività secondaria dei batteri, come ad esempio i solfato-riduttori (SBR), che generano H_2S e sono un potenziale rischio per gli operatori e per gli impianti di produzione e trattamento. Come soluzione si possono aggiungere al supporto nutriente nitrati in basse concentrazioni, che inibiscono la presenza degli SBR. Un altro limite del MEOR è rappresentato dalla robustezza: la maggior parte dei batteri sono difatti intolleranti alle alte temperature (>80°C) e/o alle alte salinità proprie di molti giacimenti.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il MEOR è una tecnologia a basso costo e sostenibile dal punto di vista ambientale, pertanto rappresenta una valida alternativa ai metodi EOR tradizionali, soprattutto per giacimenti alla fine del ciclo produttivo. Le tecniche MEOR possono prolungare la vita di pozzi a bassa portata, posticipando così le tempistiche di abbandono del giacimento stesso.
Sebbene la metodologia sia molto promettente, sono tuttavia necessari ulteriori studi per migliorare la comprensione dei suoi meccanismi, in maniera tale da perfezionare il design delle applicazioni ed aumentarne le probabilità di successo. Un'area di sviluppo per aumentare l'utilizzo delle tecniche MEOR può essere quella legata all'ingegneria metabolica, ovvero l'identificazione del ciclo di reazioni sequenziali per mezzo delle quali un microorganismo converte la molecola organica con più velocità e specificità, evitando o riducendo, se l'obiettivo è la sola produzione di biotensioattivi, la generazione di prodotti secondari.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le tecnologie MEOR sono state utilizzate principalmente in USA, Canada, Cina, Russia e in alcuni paesi dell'Est Europa. La prima applicazione di campo risale al 1954 nel giacimento Lisbon (Arkansas). Successivamente, a cavallo fra gli anni '60 e '70, sono state effettuate una serie di interessanti esperienze, iniettando batteri anerobici capaci di generare elevate quantità di gas naturali, biotensioattivi, polimeri e biomasse, in alcuni paesi Europei, come la Repubblica Ceca, l'Ungheria e la Polonia. Negli anni '90 altre applicazioni hanno avuto luogo in Russia, Canada, Romania e Germania. Negli ultimi venti anni anche la Cina è stata molto attiva, sia con attività di laboratorio, che applicazioni in giacimento. Gli Stati Uniti vantano, nell'ultimo decennio, il numero maggiore di trattamenti MEOR, soprattutto grazie alla presenza di piccole compagnie di servizio specializzate, come la Glori Energy e la Titan Oil (più di 280 applicazioni documentate). Tra le multinazionali attive nella commercializzazione di prodotti per MEOR si possono annoverare Dupont e Basf. Al momento, non c'è evidenza di esperienze documentate di MEOR in Italia.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 2

TECNOLOGIE DI TRASPORTO E ACCUMULO DELL'ENERGIA

2.1) NUOVI UTILIZZI DEL GAS NATURALE LIQUEFATTO (GNL)

DESCRIZIONE

Attualmente il gas naturale copre in Italia circa il 38% dei consumi di energia primaria mentre la media europea è pari al 23%[4]. Nell'ultimo decennio, crisi economico-finanziaria e rinnovate incertezze negli scenari politici hanno fatto nascere nuovi timori sia sull'affidabilità delle forniture di gas in Europa, sia sull'andamento dei prezzi. A questi fattori si è aggiunto il calo della produzione endogena, che dopo il picco del 2004-2005 ha imboccato una fase continua ed irreversibile di contrazione[5]. Per reazione, il mercato del gas europeo ha cercato forme rapide di adattamento, implementando una maggior flessibilità nelle strutture contrattuali e cercando attivamente la diversificazione delle forniture. Considerate le ridotte possibilità di accedere a fonti consistenti, economiche e sicure tramite lo sviluppo di nuovi progetti via tubo, molte nazioni europee si sono quindi attrezzate per accogliere quantitativi di gas sotto forma di Gas Naturale Liquefatto – GNL[6].

Il GNL è la forma criogenica che assume il gas naturale: portato a -160°C, esso liquefa, riduce il proprio volume più di 600 volte, aumenta la densità energetica ed è stabilmente conservabile per lunghi periodi in serbatoi criogenici a pressione ambiente, consentendone quindi un trasporto assai efficiente via nave. Il contraltare a questi vantaggi è la necessità di realizzare impianti di liquefazione complessi e costosi sulle coste dei paesi fornitori, di dover disporre di ampie flotte di navi metaniere e di terminali di arrivo sulle coste dei paesi compratori, i cosiddetti "rigassificatori", per la riconversione del GNL in gas naturale. Pur a fronte di tale complessità realizzativa e gestionale, è evidente il vantaggio ottenibile in termini di flessibilità: l'approvvigionamento può avvenire anche da paesi remoti, dai quali sarebbe estremamente difficile, se non impossibile, approvvigionarsi via tubo.

Fra il 2000 e il 2013 la capacità di rigassificazione sulle coste europee (EU28) è passata da 40 a 188 miliardi di metri cubi[7]. Contratti di lungo termine sono stati affiancati da un crescente numero di forniture spot: è divenuto così possibile importare gas in forma di GNL sul mercato libero inter-

4 Eurostat 2014 – dati riferiti al 2013.

5 World O&G Review 2014, Eni. I dati sul calo della produzione italiana sono reperibili nel Rapporto annuale 2013 della Direzione generale per le risorse minerarie ed energetiche del Ministero dello Sviluppo Economico.

6 L'acronimo inglese di GNL è "LNG". Da non confondere con il GPL, Gas di Petrolio Liquefatto (in inglese LPG, Liquefied Petroleum Gas), con cui si indica una miscela di idrocarburi C_3 e C_4 ottenuti in raffineria, gassosi a temperatura e pressione ambiente ma liquefacibili, a temperatura ambiente, per moderata compressione.

7 World O&G Review 2014, Eni.

nazionale ai prezzi migliori del momento ed è accaduto, cosa impensabile fino a pochi anni prima, che carichi di GNL siano giunti in Europa dal Perù.
Sebbene negli ultimi anni gli scossoni indotti dalla crisi economica e le fluttuazioni nel prezzo del GNL abbiano provocato un'altalena nei quantitativi effettivamente importati in Europa (nel 2013 circa 51 miliardi di metri cubi contro i 400 miliardi di metri cubi importati via tubo[8], con un tasso di utilizzo dei rigassificatori inferiore al 30%), sopravvive oggi come dato di fatto un'accresciuta e distribuita capacità di importazione di GNL legata all'esistenza dei rigassificatori e di un'ampia flotta di metaniere. Al contempo la capacità di liquefazione mondiale, raddoppiata nell'ultimo decennio, è prevista in ulteriore forte crescita, garanzia quindi di abbondante e conveniente disponibilità di materia prima sul mercato. L'Italia ha seguito i medesimi trend di importazione di GNL sopra descritti, seppur costituendo un parco di rigassificazione anomalo, al 70% basato su soluzioni offshore non presenti altrove in Europa. Questo fatto, come vedremo a breve, non è privo di conseguenze.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Se è vero che l'uso primario del GNL è l'essere riconvertito in gas naturale, una sua maggior disponibilità sui mercati apre la porta alla possibilità di un suo uso diffuso e diretto in forma liquida, ovvero ad un allungamento della catena di trasporto del GNL stesso oltre la convenzionale rigassificazione, fino al consumatore finale. Risulta difatti possibile "spillare" dalla catena tradizionale Liquefattore-Trasporto via nave-Rigassificatore piccoli quantitativi di GNL per sfruttarne la flessibilità di trasporto in quelle aree dove l'operazione risultasse conveniente e utilizzarlo infine come vero e proprio carburante.
I destinatari finali di questa catena "allungata" di trasporto diventano quindi:

- stazioni di servizio automobilistiche dove il GNL viene riconvertito in gas naturale per rifornire autoveicoli a metano;
- stazioni di servizio automobilistiche dove il GNL viene venduto come carburante in sé, alla stregua di diesel o benzine, a veicoli speciali, per lo più autocarri o flotte dotati di serbatoi criogenici e vaporizzatori a bordo e con motori ottimizzati[9];
- piccoli impianti di stoccaggio e rigassificazione posizionati in siti industriali, dove il GNL, convertito in gas naturale, alimenta le attività produttive;
- utenze commerciali o civili, dotate di mini impianti di rigassificazione per la produzione locale di energia elettrica o calore;
- punti di rifornimento portuali per mezzi navali;
- altre applicazioni per ora considerabili di nicchia o potenziali, quali: attrezzature e mezzi dell'industria petrolifera e mineraria presenti nelle aree estrattive, ferrovie, trasporto fluviale, trasporto aereo e applicazioni spaziali.

8 BP Statistical Review of World Energy 2014.
9 Ad esempio, IVECO produce una versione specifica di automotrice "Stralis" alimentata a GNL.

Questo nuovo ambito di business è comunemente detto *Small Scale LNG*, ovvero GNL in piccola scala, e include un'altra nuova definizione di origine anglosassone, il cosiddetto *LNG as a fuel* che riporta direttamente al concetto di nuovo carburante.
I principali benefici ricavabili dalla creazione di un siffatto mercato possono essere così riassunti:

- benefici di tipo ambientale, in virtù della sostituzione di carburanti meno puliti, quali l'ATZ10, il diesel o il GPL con il GNL. Il GNL risulta essere ancor più puro del gas naturale trasportato via tubo in quanto depurato di alcuni composti, a es. lo zolfo. Si può affermare che il beneficio di tipo ambientale rappresenta uno dei principali elementi per l'attesa crescita dei consumi di GNL, in particolare per il settore navale;
- vantaggi economici legati ad una maggior convenienza rispetto a diesel e GPL; questo aspetto, emerso ultimamente negli USA e in Europa, deve comunque essere considerato in relazione alle oscillazioni del prezzo del petrolio, poiché la suddetta convenienza può sussistere o meno al variare dei livelli di prezzo dei carburanti convenzionali. Inoltre il GNL risulta ancora esposto, in gran parte dei paesi consumatori, al rischio tributario, non esistendo spesso regole chiare e definitive sul relativo trattamento fiscale;
- flessibilità delle fonti: il GNL può essere approvvigionato da un numero molto ampio di paesi, a differenza di quanto avviene con i prodotti petroliferi. Inoltre alcuni sono nazioni altamente stabili politicamente, come gli USA, l'Australia o la Norvegia;
- capillarizzazione del mercato: l'impiego del GNL consente di colmare alcuni lacune nella geografia della distribuzione del gas naturale. Una maggior capillarità di distribuzione consente recuperi di efficienza e fluidifica ulteriormente il mercato.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In Europa sono già diverse centinaia i piccoli impianti di rigassificazione di GNL, cosiddetti satellite, esistenti al fianco dei grandi terminali di importazione, principalmente nella penisola iberica (Spagna in primis) e nel nord Europa (soprattutto paesi scandinavi, Regno Unito, Polonia). Insieme costituiscono la base infrastrutturale del nascente mercato. Restano invece da sviluppare le infrastrutture per il mercato navale. L'industria del GNL sta vivendo il medesimo impulso anche in altre parti del mondo. In Cina vi è stato recentemente un vero e proprio boom del settore, con sviluppo di complete catene di GNL *small scale*, interamente incluse nel territorio nazionale. Fenomeno unico al mondo, in Cina dal 2008 sono stati realizzati centinaia di liquefattori di gas naturale (319 al novembre 2014, tra realizzati, in costruzione e pianificati[11]) a valle dei quali vi è un parco di rigassificatori ancor più ampio. Per le costruzioni più recenti è stata impiegata una nuova tecnologia di liquefazione di concezione totalmente cinese. Altre aree dove vi è stata un'importante crescita del numero degli impianti, quasi esclusivamente piccoli terminali di rigassificazione sono gli Stati Uniti, l'Australia e l'America latina.
In Italia si è avuta finora una crescita molto limitata del settore, ostacolata sia dalla crisi economica, che oltre ad aver posto un freno agli investimenti, ha di fatto bloccato le importazioni presso

10 Olio combustibile ad Alto Tenore di Zolfo.
11 www.chinagasmap.com

l'unico terminale di GNL presente lungo le coste nazionali (Panigaglia), sia dal fatto che gli altri due terminali (Rovigo e Livorno) sono stati collocati offshore, circostanza che non consente la distribuzione diretta del GNL sul territorio. Il GNL utilizzato in Italia dai primi impianti satellite, proviene pertanto dalla Spagna.

Le tecnologie impiegate nella filiera descritta sono state sviluppate negli scorsi decenni come *spin-off* delle tecnologie impiegate nell'industria del GNL convenzionale, adattamenti a situazioni di nicchia eseguiti principalmente da *technology provider* secondari del settore. È il caso ad esempio dei processi di liquefazione di dimensioni "mini" se non "micro"[12] sviluppati negli Stati Uniti fin dagli anni '60. Alternativamente, le nuove tecnologie sono originate da *know-how* sviluppato in origine nell'industria dei gas criogenici. Ad esempio, i piccoli serbatoi di GNL pressurizzati derivano dagli analoghi utilizzati per gas liquidi più caldi, come l'etano.

È solo a partire dal 2000 che le tecnologie per lo Small Scale LNG hanno iniziato ad essere sviluppate in modo specifico e indipendente. Ne sono esempi gli adattamenti sulle tecnologie motoristiche terrestri e navali che consentono di disporre oggi delle prime automotrici e dei primi mezzi navali compiutamente alimentabili a GNL. Se quindi si è già avviata la prima fase applicativa di sviluppo delle tecnologie di produzione, trasporto ed utilizzo del GNL in piccola scala, moltissimo resta ancora da fare.

Lo sviluppo di apposite norme e regolamenti è ancora sporadico a livello sia mondiale sia dell'Unione Europea. Ciò avrà ovvie ricadute sul parco di tecnologie attualmente impiegate: potrà comportarne la modifica o richiedere sviluppi alternativi. Anche la standardizzazione delle tecnologie è ancora un miraggio, spesso persino fra paesi confinanti. Tutti i componenti e i processi richiedono quindi ancora ampi sforzi di ottimizzazione e di aumento dell'efficienza, oltre che, in casi specifici, di innovazione vera e propria, poiché l'elemento costo è determinante per incrementare il potenziale di sostituzione del GNL rispetto ai carburanti tradizionali.

Con riferimento alla situazione europea, ad ottobre 2014 il Parlamento europeo ha approvato una direttiva sullo sviluppo di infrastrutture energetiche che, oltre a riconoscere al GNL lo status di combustibile alternativo, prevede:

- entro il 2025, la realizzazione di stazioni di rifornimento lungo la rete stradale europea TEN-T;
- la realizzazione di un numero sufficiente di punti di riferimento nei porti marittimi individuati dal TEN-T entro il 2025 e per porti fluviali entro il 2030;
- la definizione di standard tecnici per le stazioni di rifornimento, entro il 2015;
- entro il 2016 gli Stati Membri dovranno sottoporre il proprio quadro strategico nazionale per il GNL. La Commissione valuterà la coerenza dei quadri strategici nazionali a livello di Unione.

Questi obiettivi dovrebbero consentire uno sviluppo armonico del settore a livello europeo nel giro di pochi anni. Nello stesso periodo ci si può quindi aspettare che sarà compiuto uno sforzo decisivo di sviluppo e maturazione delle tecnologie collegate. Al di là dei settori tecnologici tradizionali della filiera GNL, l'apertura verso un impiego del GNL in piccola scala amplia molto il campo delle

12 Gli impianti "mini" hanno capacità produttive di GNL intorno a 100.000 tonnellate/anno, quelli "micro" attorno a 10.000 tonnellate/anno.

discipline interessate: controllistica, motoristica navale e terrestre, materiali per serbatoi ad usi criogenici sono solo alcune delle discipline toccate e in cui alcune eccellenze italiane stanno già emergendo. Di seguito si presenta una struttura descrivente gli elementi tecnologici in fase di sviluppo, o su cui esistono nuovi interessi, per applicazioni tradizionali e in piccola scala:

Tecnologie per la produzione e l'approvvigionamento

a. Tecnologie per lo stoccaggio efficiente e sicuro
    i. Stoccaggi pressurizzati
    ii. Stoccaggi galleggianti
b. Tecnologie per un trasferimento efficiente e sicuro del GNL
    iii. Sistemi di trasferimento a terra o sull'interfaccia terra-mare
    iv. Sistemi di trasferimento completamente offshore
c. Tecnologie per il trasporto di GNL
    v. Piccole metaniere e bettoline per il rifornimento di grandi navi
    vi. Chiatte per il trasporto fluviale di GNL
    vii. ISO container per il GNL
    viii. Carri ferroviari per il trasporto di GNL e sistemi di travaso
    ix. Autobotti per GNL
d. Processi innovativi di liquefazione del gas naturale in piccola scala

Tecnologie per gli usi finali

e. Tecnologie di rigassificazione del gas naturale in piccola scala
f. Tecnologie per impieghi diretti industriali
g. Tecnologie per il trasporto su terra
    x. Tecnologie per il settore autotrasporti
        1. Produzione di GNC13 per uso automobilistico
        2. Motori e serbatoi per autocarri (full range)
        3. Stazioni di rifornimento
h. Tecnologie per il trasporto su rotaia
    xi. Tecnologie per l'applicazione alle motrici ferroviarie
    xii. Tecnologie per carri cisterna ferroviari e relativi sistemi di travaso
i. Tecnologie per il trasporto marino
    xiii. Motori marini (tutto il range di potenze) e retrofit
    xiv. Serbatoi per mezzi navali
j. Tecnologie di impiego del GNL per applicazioni spaziali

Altre tecnologie e applicazioni ibride

k. Sistemi integrati GNL-rinnovabili
l. Sinergie dell'utilizzo del GNL con la produzione di biogas

13 GNC: Gas Naturale Compresso. Il medesimo acronimo in lingua inglese è "CNG".

m. Sistemi di misura della qualità e quantità del GNL
n. Sistemi per l'estrazione o l'uso sinergico delle frigorie

Come esempio di ambito di sviluppo, si può citare nello stoccaggio e trasporto di GNL il ruolo importante che svolgono le tecnologie di **isolamento termico**, le quali consentono di mantenere gli idrocarburi allo stato liquido con il minimo dispendio di energia. Queste soluzioni devono essere ottimizzate in funzione della specifica applicazione, ma è possibile individuare linee guida generali; in particolare, una buona coibentazione dovrà rispondere al meglio a criteri di efficienza (ottimale mantenimento della temperatura criogenica), economicità e leggerezza (soprattutto nel caso di container mobili). L'utilizzo del vuoto, da solo o in combinazione con materiali isolanti, permette di raggiungere i migliori risultati dal punto di vista dell'isolamento termico, in genere riducendo sia gli ingombri (utilizzando intercapedini più sottili) sia i pesi. Prestazioni ancor migliori sono idealmente ottenibili con materiali strutturali evacuati, come i poliuretani a celle aperte a pressioni intorno al *mbar*.
Sempre nell'ambito del trasporto e della conservazione del GNL, una delle problematiche tecniche che ancora richiede soluzioni semplici e sicure per un ampio spettro di situazioni è la gestione del cosiddetto ***boil-off***, ovvero del gas che si forma dalla fase liquida a causa del lento innalzamento di temperatura del liquido criogenico o di apporto di energia cinetica. Se gli utilizzi del GNL si diffonderanno sempre più sul territorio, occorrerà poter gestire correttamente tali eventuali perdite in una varietà di situazioni, sia sotto il profilo ambientale, sia di sicurezza. Attualmente le soluzioni adottate, che implicano vincoli o costi sostenuti, sono l'immediato utilizzo del gas prodotto o la sua ri-liquefazione.
Per quanto riguarda il settore del **trasporto terrestre** tutti i grandi costruttori di autocarri europei, fra cui IVECO, stanno offrendo motrici capaci di funzionare a GNL e sono pronti a forniture su ampia scala. Per l'alta concentrazione energetica consentita dallo stato liquido, il GNL offre un'autonomia di marcia ben superiore a quella del metano compresso a 200 bar (GNC), ma pur sempre inferiore a quella del gasolio, a parità di volume di serbatoio. In cambio, il GNL pesa 0,45 kg al litro, molto meno delle benzine e del gasolio. Oggi non esistono ancora standard di funzionamento dei motori, né per i serbatoi. Ad esempio, i costruttori di veicoli a GNL adottano diverse pressioni nei loro sistemi di bordo di alimentazione dei motori con GNL, il che implica diverse soluzioni per il serbatoio e il suo rifornimento: basti citare che Daimler adotta all'alimentazione del motore una pressione di 18 bar, mentre IVECO ha scelto 9 bar.
La UE ha varato alcuni progetti dimostrativi con lo scopo di realizzare rotte che consentano il rifornimento di autocarri a GNL (**LNG Blue Corridors**[14]). Eni partecipa a questo progetto e ha inaugurato nel 2014 la prima stazione di rifornimento per veicoli GNL a Piacenza. Il progetto è coordinato dalla NGVA Europe[15], di cui Eni è membro del consiglio direttivo. Eni sta partecipando anche ad altri bandi di finanziamento comunitari per lo sviluppo di iniziative pilota di *bunkering* a Livorno e stradali/di *bunkering*, a Venezia.

14 http://lngbc.eu/
15 Natural and bio Gas Vehicle Association Europe.

Ricavare **GNC da GNL** appare particolarmente attraente perché è possibile pressurizzare il GNL, che è in fase liquida, a 200 ÷ 250 bar con pompe criogeniche risparmiando circa il 90% dell'energia che sarebbe necessario impiegare se si dovesse portare il gas naturale alla medesima pressione.
Sul fronte delle **forniture**, la varietà delle fonti di approvvigionamento comporta delle differenze nelle caratteristiche del GNL, in particolare in termini di potere calorifico superiore. Prima dell'immissione nella rete di trasporto e a valle della rigassificazione, occorre perciò mantenere le specifiche di qualità richieste dalla rete di trasporto; è richiesta una particolare attenzione nel monitoraggio dell'indice di Wobbe, espressione del potere calorifico superiore e principale indice dell'interscambiabilità dei gas carburanti. Oltre determinati valori di tale indice, occorre procedere alla correzione del gas miscelandolo con azoto.

2.2) LIQUID AIR ENERGY STORAGE – LAES

DESCRIZIONE

I componenti e i sottosistemi per lo stoccaggio energetico mediante aria liquida (*Liquid Air Energy Storage* – LAES) sono tecnologie mature disponibili commercialmente mentre nuovo è il concetto di sistema applicato al settore della power generation, in particolare nel recupero di waste heat/cold. Ci si focalizzerà quindi su aspetti innovativi ritenuti prioritari.

Nell'ultimo decennio la progressiva penetrazione delle fonti rinnovabili non programmabili nel settore elettrico sta saturando sia le capacità di modulazione dei tradizionali impianti di generazione, sia della rete elettrica di trasferire i flussi di energia. Ciò ha comportato la drastica modifica dell'operatività delle unità di generazione termoelettrica, che sono passate da una modalità di funzionamento prevalentemente a base *load* a una caratterizzata da una forte modulazione del carico. I problemi conseguenti a questo nuovo scenario, tipicamente la riduzione dell'efficienza media di conversione, della vita utile e della redditività degli impianti, ma anche i sovraccarichi di alcuni rami della rete di trasmissione, possono essere in parte risolti mediante l'introduzione dello stoccaggio energetico.

L'accumulo elettrico ha un ruolo importante, e lo avrà ancora di più in futuro, nel bilanciare gli squilibri tra domanda e offerta di energia nella rete elettrica.

Le tecnologie di accumulo più note sono gli impianti di pompaggio idroelettrico, maturi e in uso, le batterie elettrochimiche e gli impianti ad aria compressa e liquefatta, CAES (*Compressed Air Energy Storage*) e LAES.

Il LAES è una tecnologia innovativa di accumulo energetico basata sullo stoccaggio dell'aria liquida. L'idea di base del processo è di:

- comprimere, liquefare e stoccare l'aria ambiente durante i periodi di basso prezzo dell'energia e/o di bassa richiesta da parte della rete (fase di accumulo);
- pompare l'aria stoccata ad alta pressione, evaporarla, scaldarla (utilizzando un combustibile ausiliario o il calore accumulato durante la fase di compressione) e infine espanderla in un impianto a turbogas per produrre elettricità durante le fasi di alto prezzo dell'energia e/o alta richiesta da parte della rete (fase di scarica).

Sebbene il principio di funzionamento (rappresentato in Fig. 38) sia molto simile a quello di CAES e molte delle tecniche studiate per quest'ultimo possano essere applicate anche a LAES, questa tecnologia ha il vantaggio di consentire la realizzazione dello stoccaggio a pressione atmosferica pressoché costante e di immagazzinare grandi quantità di energia in volumi ridotti grazie alla densità energetica (circa 0,1 MWh/m^3) mediamente superiore di 1 o 2 ordini di grandezza rispetto al CAES.

L'efficienza di ciclo *round-trip* di LAES è dell'ordine del 50%, con potenzialità di crescita teoriche fino ad oltre l'80% nei migliori casi di integrazione con altri impianti termici.

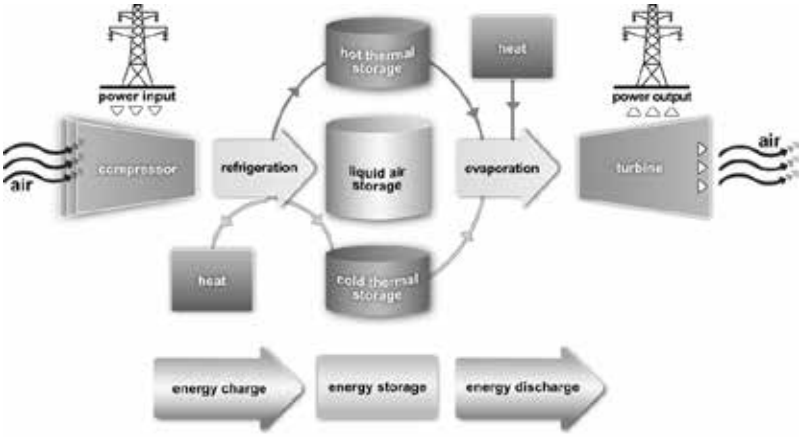


FIG. 38 – PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELLA TECNOLOGIA LAES

Dal punto di vista industriale, il LAES ha un potenziale elevato in considerazione dei tempi brevi stimati per la realizzazione (1-2 anni), della possibile integrazione con i processi di produzione di caldo e freddo e della possibilità di installare lo stoccaggio in aree industriali *green* o *brown field,* non necessitando un sito geologico.

Nel rapporto potenza/energia il LAES si inquadra come sistema di accumulo con prevalenza in energia piuttosto che in potenza. È quindi più adatto nella regimazione del carico elettrico da "picco a valle" (*time shifting*) ma anche per compensare localmente la variabilità della generazione da fonti rinnovabili non dispacciabili. In questo caso può sopperire anche a carenze locali della rete di trasporto, che potrebbero impedire un pieno sfruttamento delle risorse rinnovabili. Da considerare il *self-discharging* (per grandi serbatoi criogenici all'incirca 0,2 % al giorno) negli stoccaggi molto prolungati nel tempo.

La taglia risulta essere molto scalabile arrivando ad oltre il GWh.

La tecnologia LAES ha analogie con quella CAES, ma rispetto a questa consente di superare le problematiche relative ai siti geologici necessari per i grandi accumuli energetici. Attualmente sono in funzione solamente 2 impianti dimostrativi CAES (in Germania e USA), non replicati anche per le speciali caratteristiche richieste ai siti. Infatti le cavità sotterranee (serbatoi geologici) adatte per essere pressurizzate con aria sono in genere poco frequenti e, quando disponibili, si devono sposare con le necessità della rete elettrica, che spesso richiede un accumulo energetico molto localizzato in prossimità di punti critici di trasporto dell'energia o in prossimità di un parco di generazione a rinnovabili. È analoga la criticità caratteristica anche degli impianti di pompaggio idroelettrico, che possono essere localizzati dove esistono contemporaneamente un bacino di accumulo a monte ed uno a valle del salto idrico. Se però la localizzazione dell'impianto non cor-

risponde alle esigenze geografiche di accumulo del sistema elettrico si rischia un basso utilizzo, fenomeno che si sta in qualche caso verificando con gli impianti di pompaggio esistenti.
La necessità di installazione di soli serbatoi per fluidi criogenici permette di localizzare la LAES nei pressi di punti critici della rete elettrica e soprattutto di affiancarla a impianti industriali con grossi scarti di energia termica, ad esempio di generazione termoelettrica. Di interesse anche le potenziali sinergie con la generazione a fonti rinnovabili di tipo solare e geotermica e con sistemi necessitanti l'asportazione di calore anche a basse temperature. Riguardo alle sinergie, in una prima fase potrebbe essere sfruttato l'esubero di azoto liquido dovuto alla produzione dell'ossigeno. Potenzialmente potrebbero esserci vantaggi dalle sinergie con tecnologie che utilizzano ossigeno come ad esempio la combustione in ossigeno *oxycombustion*, una delle vie di cattura della CO_2.
Secondo quanto ipotizzato da Highview CryoEnergy System, il costo specifico per l'investimento di un impianto LAES commerciale nella taglia da 10 a 200 MW varia da 1900 a 900 $/kW.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Nonostante i sistemi LAES utilizzino componenti di impianto basati su tecnologie mature, come la produzione e lo stoccaggio di gas criogenici, con performance, costi e vita utile noti, ci sono ancora molteplici attività di ricerca da completare nell'ambito dei materiali e dei dispositivi per lo stoccaggio termico, per l'ottimizzazione di processo anche in termini di aumento dell'efficienza ed infine per l'integrazione e sinergia con altre tecnologie.

- Sistemi di liquefazione: Il processo di liquefazione, anche se ben conosciuto negli impianti di produzione gas, avrebbe necessità di un'ottimizzazione per le taglie necessarie per il LAES. Se per la produzione dei gas l'ordine di grandezza dei moduli di liquefazione dell'aria arriva a potenzialità di circa 20 – 30 t/h, con una richiesta specifica di circa 0,5 kWh/kg di aria liquida prodotta, nel LAES potrebbe essere necessario aumentare la potenzialità anche oltre un ordine di grandezza. Considerando infatti una densità di accumulo di circa 0,1 MWh/t, per un impianto da 30 MW di potenza sarebbe necessaria una capacità di liquefazione di circa 300 t/h. Si tratta quindi di valutare se percorrere l'opzione modulare, con l'utilizzo in batteria di impianti di piccola taglia, oppure procedere allo scale-up delle attuali tecnologie o all'adattamento dei sistemi impiegati nella produzione di GNL.
- Sistemi di evaporazione: la riutilizzazione del freddo che si libera durante la fase di evaporazione è una fase essenziale per il raggiungimento di efficienze di stoccaggio ragionevoli. L'efficienza scende al di sotto del 35% nel caso in cui il LAES non sia dotato di una fase di recupero. Diverse soluzioni sono state individuate (es. cold storage, cold to power) ma nessuna è stata verificata in scala semi-commerciale o dimostrativa. Si tratta quindi di valutare i diversi concept ed eventuali loro combinazioni su sistemi e componenti pilota.
- Isola di generazione: le problematiche sono analoghe a quelle del CAES. Si tratta di ottimizzare il recupero del calore dei gas caldi in uscita dalla turbomacchina in modo da ridurre al minimo il consumo del combustibile ausiliario. Anche i questo caso diverse varianti sono state studiate e si tratta di valutarne l'integrazione con il ciclo LAES complessivo.

Oltre a valutare i benefici nell'accoppiamento con altri impianti e nel riutilizzo di cascami termici, potrebbe essere opportuna la valutazione nell'integrazione potenziale con futuri impianti di cattura della CO_2, soprattutto a combustione in ossigeno. Il riutilizzo dell'azoto come criogenico per accumulo di energia potrebbe aumentare l'efficienza e convenienza del processo integrato.
Sono pertanto necessari studi e simulazioni a diverso livello riguardanti:

- modellazione del processo, volta a speculare su integrazioni teoricamente più convenienti;
- realizzazione di uno o più dimostrativi in grado di ottimizzare i processi, i materiali e i componenti utilizzati;
- valutazione delle caratteristiche di funzionamento ciclico tipiche dell'accumulo e differenti dal funzionamento continuo a produzione costante degli impianti di separazione ossigeno ed azoto.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

L'uso della liquefazione dell'aria per scopo energetico è stato oggetto di studio sin dagli anni '80. Alla fine degli anni '90 in Giappone la tecnologia è stata studiata in dettaglio dai technology provider ma lo sviluppo non è andato avanti perché non giustificato da esigenze di mercato.
In Italia non sono conosciute iniziative di attività LAES in scala pilota o dimostrative. L'unica attività sperimentale avviata, risalente ai primi anni '80, riguardò la tecnologia CAES presso la stazione sperimentale di Sesta nella zona geotermica di Larderello.
In Inghilterra dal 2011 la Highview Power Ltd ha avviato la sperimentazione su un impianto pilota LAES di potenza 350 kW e capacità di 2,5 MWh a Slough. Sempre in Inghilterra è in avvio la realizzazione di un primo impianto dimostrativo da 5 MW di potenza e 15 MWh di capacità di accumulo.

2.3) BATTERIE AVANZATE PER IMPIEGHI STAZIONARI

DESCRIZIONE

In linea di principio, il tema dell'accumulo dell'energia riguarda tutte le forme in cui essa si può manifestare (termica, meccanica, chimica, elettrica, ecc.), tuttavia l'ambito ritenuto oggi di maggior importanza e su cui più si concentrano gli sforzi di sviluppo è quello che attiene alle applicazioni in campo elettrico. Ciò viene fatto risalire – oltre che alla crescente diffusione di tecnologie informatiche e di telecomunicazione portatili – in particolare al continuo incremento delle connessioni alla rete elettrica di sistemi di generazione basati su fonti di energia rinnovabile intermittenti e non programmabili (eolico e solare in particolare), che impongono adeguate misure per ovviare agli impatti negativi che manifestano sul bilanciamento delle reti stesse. Una delle possibili soluzioni consiste infatti nel collegare ad esse in posizioni strategiche dei sistemi di accumulo che facilitino la gestione dei flussi energetici che le percorrono. Infatti i sistemi di storage possono fornire servizi a supporto del sistema elettrico, come tecnologie che erogano prestazioni "in energia" (elevate autonomie), tipiche delle applicazioni di *peak-shaving*, e tecnologie che erogano prestazioni "in potenza" (elevate potenze per tempi brevi), adatti ad applicazioni di *power quality*. Occorre pertanto selezionare la tecnologia più adatta a seconda del servizio di rete richiesto. Nel campo delle tecnologie per lo stoccaggio di elettricità, il panorama è stato finora monopolizzato dai sistemi di pompaggio idroelettrico (oggi attivi nel mondo per una potenza installata totale di circa 130 GW), peraltro fortemente limitati nelle possibilità di localizzazione dalla conformazione del territorio.

Tra le alternative disponibili o in sviluppo, si possono citare:

- tecnologie basate sull'accumulo di energia meccanica come i volani, adatti a erogare potenze medie per pochi secondi (gruppi di continuità), il CAES (Compressed Air Energy Storage) che si presta a elevate potenze ma è vincolato dalla disponibilità di volumi in cui immagazzinare l'aria compressa (in genere caverne naturali) e la variante LAES (Liquid Air Energy Storage) che prevede un cambiamento di stato del fluido di lavoro (aria), svincolandosi così dalla necessità di disporre di elevati volumi di stoccaggio;
- sistemi elettrostatici e magnetici, come supercapacitori e magneti superconduttivi, adatti soprattutto a sopperire a brevi interruzioni di alimentazione in applicazioni critiche;
- tecnologie elettrochimiche, cioè batterie, al cui sviluppo ha dato notevole impulso negli ultimi anni anche lo sforzo verso nuove tipologie di mobilità a minor impatto ambientale su scala locale (è peraltro da sottolineare che le soluzioni specifiche per la mobilità devono sottostare a richieste diverse da quelle degli impieghi stazionari presso utenze, generatori o nodi di reti di trasmissione o distribuzione).

La ricerca nel settore delle **batterie**, da sempre volta al conseguimento di consistenti riduzioni dei costi a fronte di altrettanto sensibili incrementi delle prestazioni, ha dato notevoli frutti negli ultimi anni, portando alla ribalta nuove tecnologie o rendendo approcci già noti più attraenti grazie all'impiego di materiali e tecniche costruttive innovativi.
Nel seguito si darà qualche informazione sugli ultimi sviluppi relativi alle tipologie di batterie di maggior interesse (con riferimento in particolare agli impieghi stazionari), classificate in generale in base alle sostanze coinvolte nelle reazioni elettrochimiche.

Batterie al piombo: sono le batterie più diffuse al mondo, relativamente poco costose e impiegate soprattutto nei trasporti per l'avviamento di motori a combustione interna. In generale sono caratterizzate da una densità di energia relativamente bassa e dalla necessità di contenere la velocità di scarica al fine di non pregiudicarne la vita utile, fatto che ne limita le potenzialità applicative. A tutto ciò si aggiungono le problematiche ambientali legate all'uso massiccio di piombo come materiale costruttivo. Per applicazioni di rete sono in via di sviluppo versioni avanzate di queste batterie, che incorporano ad esempio anodi in carbonio per aumentare sia densità di energia sia vita utile.

Batterie al nichel cadmio (NiCd*)*: hanno maggior densità di potenza e vita più lunga rispetto a quelle al piombo, ma impieghi limitati per questioni ambientali e il loro sviluppo è fermo da tempo. Da queste batterie si sono sviluppate quelle al nichel-metallidruri (NiMH), generalmente di piccola potenza e volte quindi più alle utenze mobili che ad applicazioni stazionarie.

Batterie al litio: nella versione a elettrolita liquido e chiamate comunemente litio-ione, sono diventate ormai il riferimento per l'elettronica portatile, molto efficienti e di elevata capacità specifica, ma costose e con qualche problema di sicurezza, almeno nelle prime versioni con catodo in $LiCoO_2$. Possono essere competitive con le batterie al piombo dove sono richiesti bassi tempi di risposta, elevate potenze e/o energie specifiche. La ricerca, molto attiva per gli ampi spazi di potenziale miglioramento, è focalizzata soprattutto sugli elettrodi (ad es. catodi in fosfato litiato di ferro, anodi in titanato di litio, geometrie non planari, ecc.).

Batterie metallo-aria: di notevole interesse per l'elevata densità di energia e la possibilità di impiegare materiali a basso costo (zinco), sono state finora limitate dalla difficoltà di ottenerne la ricaricabilità. Molto recentemente alcuni operatori sembrano aver superato quest'ostacolo e si propongono con produzioni prototipali di batterie potenzialmente in grado di garantire notevoli economie ed elevate prestazioni.

Batterie sodio-zolfo: si tratta di batterie ed elevata capacità specifica funzionanti a temperature elevate (300-350°C), il che ne limita l'applicabilità a taglie significative in contesti industriali. Di fatto sono da qualche tempo commercializzate solo per applicazioni di elevata potenza su reti elettriche di distribuzione, in particolare dove sia necessaria una elevata velocità di risposta. Con appropriata coibentazione e in corrispondenza a cicli di carica-scarica giornalieri è possibile ope-

rarle senza apporto di energia dall'esterno. Recentemente sono state proposte altre tipologie di batterie a sali fusi (magnesio-antimonio, litio-antimonio/piombo).

Batterie sodio-cloruro di nichel: simili alle batterie sodio-zolfo, funzionano anch'esse a temperatura elevata (circa 270°C), ma sono state adattate anche ad applicazioni nella mobilità grazie alle loro doti di maggior sicurezza. Per applicazioni stazionarie, la ricerca si concentra verso l'ottenimento di più elevate densità di energia.

Batterie a ioni sodio*:* messe recentemente a punto con l'obiettivo di conseguire bassi costi ed elevate prestazioni (in particolare in termini di vita utile ed efficienza), utilizzano gli stessi elettrodi delle batterie a ioni di litio, modificati per funzionare con sodio, molto meno costoso, sempre a temperatura ambiente. Ad oggi sono state effettuate ridotte produzioni in vista di una prossima commercializzazione su vasta scala.

Una classe di batterie a parte è rappresentata dalle **batterie a flusso**, costituite da una cella elettrochimica nei cui due settori, collegati a serbatoi, vengono fatte circolare soluzioni contenenti specie chimiche elettroattive che cambiano contenuto energetico nelle fasi di carica e scarica. Si tratta di batterie facilmente adattabili a seconda delle esigenze a rapporti potenza-capacità molto variabili, in quanto la prima è legata alle dimensioni degli elettrodi e alla portata dei reagenti, mentre la seconda dipende dalla quantità di questi ultimi e quindi dal volume dei serbatoi. Utilizzabili soprattutto in applicazioni di scala medio-grande e caratterizzate da una vita utile molto elevata, le batterie a flusso sono però attualmente poco diffuse (a livello mondiale risultano installate poche decine di MW) a causa in particolare dei livelli di efficienza e affidabilità ancora non soddisfacenti e per l'impatto ambientale non trascurabile (le più sviluppate utilizzano infatti nel fluido di lavoro composti del vanadio). Diverse società sono però già impegnate nella loro commercializzazione allo stato attuale di sviluppo e soprattutto si registra un'intensa attività di ricerca volta a migliorarne le caratteristiche contenendone le problematiche (ad esempio attraverso la sostituzione degli elettroliti a base metallica con elettroliti organici).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

In molti Paesi sviluppati, la tendenza del settore elettrico, basato da sempre sulla produzione centralizzata, a evolversi verso soluzioni che integrano sempre più numerosi generatori distribuiti di ridotta potenza non programmabili è già avviata, facendo intravedere nuove problematiche che richiedono interventi di ricerca e innovazione delle tecnologie.
Avendo spesso ormai sfruttato ampiamente le capacità di regolazione dei generatori esistenti, il bilanciamento tra generazione e carichi, sia a livello di rete che di singola utenza, e l'ottimizzazione dello sfruttamento delle reti esistenti possono ricevere beneficio, oltre che da una gestione attiva della domanda e da una più accurata previsione della produzione da fonti non programmabili, anche da un ampio ricorso a sistemi di accumulo di energia elettrica.
Questi ultimi, sia a livello di costo che di prestazioni, non garantiscono ad oggi la possibilità di interventi efficaci, da cui discende la necessità di azioni nel campo della ricerca e sviluppo come

anche della dimostrazione a livello pilota e dimostrativo.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In Italia esistono diverse realtà attive nel settore delle batterie, a livello sia di ricerca e sviluppo (come Università di Roma, Politecnico di Milano, Università di Padova, RSE, ENEA, CNR, Enel Ricerca), sia di produzione industriale (come FAAM, FIAMM, SIA, Vipiemme). Si segnalano inoltre diversi progetti dimostrativi di una certa dimensione promossi dall'operatore di rete TERNA e da ENEL.

Limitandosi alle tecnologie più innovative, all'estero si possono ricordare tre attori recentemente venuti alla ribalta: in ordine di posizione nella curva di sviluppo, si tratta di AQUION nelle batterie a ioni sodio, vicina alla produzione su grande scala, EOS nelle batterie zinco-aria, in fase di testing su prototipi, e AMBRI nelle batterie innovative a sali fusi, ancora a livello di ricerca.

Sono molte infine le società coinvolte nella prototipazione/commercializzazione di batterie a flusso (come Cell Cube, Prudent Energy, Primus Power, EnerVault, Imergy e l'italiana Proxhima), mentre nel campo della ricerca nello stesso ambito si segnalano in particolare l'università di Harvard e il MIT.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 3

TECNOLOGIE E MATERIALI AVANZATI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

3.1) MATERIALI AVANZATI PER IMPIANTI TERMOELETTRICI FLESSIBILI E A MAGGIORE VITA UTILE

DESCRIZIONE

Il settore della generazione di energia è in continua evoluzione, spinto dalla domanda di salvaguardia dell'ambiente e dalla crescita della competitività sui mercati globali. Diventa pertanto preminente l'impiego di tecnologie di crescente efficienza e decrescente impatto ambientale, che consentano un uso più razionale delle fonti fossili e un maggior ricorso a fonti rinnovabili e a "zero carbonio". In questo contesto, le politiche energetiche di tutti i paesi del mondo sviluppato si basano su tre cardini:

- rapido incremento delle fonti rinnovabili per ridurre l'utilizzo dei combustibili fossili;
- rapida diffusione dell'efficienza energetica in tutti i settori;
- ricorso alle fonti fossili investendo sempre più in tecnologie in grado di limitare le emissioni in atmosfera.

Tra gli interventi per incrementare l'efficienza, la strada più immediata verso la produzione di energia senza emissioni nocive consiste nel migliorare gli impianti termoelettrici, diminuendo la quantità di combustibile utilizzato (a parità di energia elettrica sviluppata) e quindi le emissioni specifiche di CO_2. Le tecnologie impiantistiche attuali, che hanno diversi gradi di maturità, hanno avuto nel recente passato una continua evoluzione verso prestazioni energetiche via via migliorate. L'esperienza dell'evoluzione nel tempo e i limiti tecnologici fanno prevedere che la tendenza ad una lenta ma continua evoluzione verso efficienze più elevate continuerà anche nel prossimo futuro.

L'aumento del rendimento dei cicli combinati a gas naturale è dovuto prevalentemente alle migliori prestazioni delle turbine a gas. In particolare il perfezionamento dei materiali e dei sistemi di raffreddamento, soprattutto quello delle palette dei primi stadi della turbina, ha consentito un costante incremento sia della temperatura di *firing* (tra 1400°C e 1500°C) sia della temperatura di ingresso dei gas in turbina (TIT – Turbine Inlet Temperature) fino a valori di oltre 1600°C, con un efficienza superiore al 60% e con l'obiettivo di traguardare i 1700°C.

Un'ultima importante considerazione va fatta in merito alle nuove condizioni di esercizio nate dalla forte diminuzione della richiesta di energia emersa a seguito della crisi economica degli ultimi anni: si è reso infatti necessario un funzionamento discontinuo degli impianti per evitare un surplus di produzione, con conseguente spegnimento frequente degli stessi. Ciò determina uno

scenario differente nell'utilizzo degli impianti cui si richiede una maggiore flessibilità. Circostanza che, a sua volta, incide sulle proprietà dei materiali (ad esempio superleghe), che dovranno pertanto essere progettati mirando a renderli maggiormente rispondenti sia a condizioni più stressanti di fatica termomeccanica (assimilando sempre di più il comportamento di una pala di motore elettrico a quello di un motore aeronautico, dove l'accensione e lo spegnimento sono molto frequenti) sia al *creep*[16].

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Per quanto riguarda i **materiali avanzati**, gli aspetti meritevoli di investigazione nei prossimi anni sono:

Efficienza del motore

è necessario investigare gli aspetti critici dell'efficienza del motore, in particolare del raffreddamento delle palette di turbina realizzate con anime ceramiche. Dal buon raffreddamento dipende buona parte della capacità di una paletta nel motore di dissipare la propria energia termica, a vantaggio delle prestazioni finali del motore. L'obiettivo da raggiungere è lo sviluppo di anime ceramiche più capaci, nel processo di fonderia, di resistere senza eccessive distorsioni e/o rotture alle sollecitazioni termiche e meccaniche del processo di colaggio, in modo da garantire i ristretti requisiti di progetto e alte rese di processo.

Sviluppo delle tecnologie di produzione e di modellazione:

per arrivare a rendere il processo di *investment casting* (microfusione a cera persa) più competitivo bisogna proporre una metodologia operativa che faccia passare da una logica *trial&error*, tipica delle fonderia, ad una logica moderna che miri allo *zero defect manufacturing*.
Ciò presuppone di investigare sui seguenti aspetti:

- numero e tipologia delle variabili da avere sotto controllo e controllo di processo più rigoroso per ridurre al minimo la difettosità intrinseche dei processi;
- maggior ricorso all'automazione per ridurre in alcuni processi l'incidenza di difettosità legata alla forte manualità ancora esistente nel processo di fabbricazione delle palette mediante investment casting;
- tecnologie di rapid manufacturing;
- sviluppo di tecnologie fusorie a maggiore efficienza metallurgica;
- efficienza delle tecnologie di fabbricazione, nell'ottica di un ridotto impatto ambientale (minore consumo di materia prima e/o energia) e di un continuo miglioramento delle condizioni di lavoro.

L'obiettivo è l'ottenimento di una tecnologia di processo di microfusione che ridefinisca l'utilizzo

16 Termine anglosassone con cui si indica lo scorrimento viscoso o scorrimento plastico permanente, ovvero la deformazione di un materiale sottoposto a sforzo costante che si verifica nei materiali mantenuti per lunghi periodi ad alta temperatura.

di ormai consolidate *best practice* alla luce degli standard tecnologici più moderni, dove l'informatizzazione, l'automazione e una più solida conoscenza teorica portino ad un livello di manifattura *zero defect*.
È necessario ricorrere alla simulazione del processo di colaggio e successiva solidificazione dei getti, specie nei casi in cui il costo dei materiali e principalmente della superlega non consente di procedere per sperimentazioni reiterate. Una buona simulazione consente vantaggi enormi in termini di ridotti costi operativi e ridotti tempi di sviluppo per nuovi prodotti.
Una simulazione diventa uno strumento potente nella misura in cui:

a) i dati di ingresso (*database* dei materiali, condizioni al contorno) sono quanto più possibile reali e sempre meno approssimati: ciò richiede un filone di ricerca specifico sulla corretta identificazione delle proprietà termofisiche di materiali ad elevate temperature (≈1500°C);
b) si ha una conoscenza approfondita del processo fisico (equazioni più aderenti al modello reale)

L'obiettivo da raggiungere è lo sviluppo e/o la messa a punto di potenti codici di calcolo, che vadano oltre le caratteristiche di quelli attualmente in commercio e siano in grado di dare una svolta significativa alla progettazione della colata metallica, cioè al processo da cui dipendono in buona parte le caratteristiche finali delle palette di turbina.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Con la tecnologia dell'**investment casting** si fabbricano attualmente i componenti in superlega per le parti più calde delle turbine dei grandi motori per la generazione elettrica.
L'aumento della temperatura dei gas di ingresso in turbina è il fattore dominante per l'efficienza termodinamica delle stesse, direttamente collegato alle prestazioni termomeccaniche dei componenti con cui è realizzata.
Negli ultimi decenni si è fatto ampio ricorso allo sviluppo di **superleghe** che garantissero migliori prestazioni, arrivando a innovazioni fondamentali con l'avvento delle superleghe direzionali e soprattutto monocristalline, che hanno aumentato le resistenze alla fatica termomeccanica e al *creep* durante le fasi di esercizio, grazie all'assenza di punti deboli quali i bordi di grano delle superleghe convenzionali (equiassiche) o direzionali (a grani colonnari).
In particolare, lo studio di superleghe con composizioni elementali sempre più raffinate ha portato allo sviluppo negli ultimi anni di leghe monocristalline sempre più resistenti al *creep* e all'ossidazione.
Per la tipologia di elementi introdotti, non sempre questi aspetti tendono ad andare nella medesima direzione. Lo sviluppo di leghe di quarta generazione è andato nella direzione di incrementare la presenza di metalli refrattari, con l'aggiunta, oltre che del renio (già presente fin dalla comparsa delle leghe di seconda generazione), anche del rutenio (da 2 a 4% in peso), adatti a migliorare la stabilità microstrutturale e il comportamento a *creep* ad alte temperature, ma con costi certamente più elevati rispetto alle leghe precedentemente sviluppate ed utilizzate. Ulteriori sviluppi verso leghe di quinta e sesta generazione hanno privilegiato e incrementato la presenza del rute-

nio (fino a oltre il 6%), puntando da un lato a controllare al meglio il *misfit* tra γ e γ'[17], in modo da inibire o quantomeno ridurre la propagazione di dislocazioni in condizioni di stress termo-meccanico; dall'altro a migliorare la resistenza all'ossidazione mediante un migliore bilanciamento tra i metalli refrattari. Il passo successivo è la dimostrazione della *castability* di queste leghe e la loro adozione nelle fonderie, che deve necessariamente tener conto di indubbi fattori economici.

In sintesi, lo sviluppo di turbine per motori più efficienti per il settore della *power generation* deve tenere conto di un efficace bilanciamento tra resistenza meccanica, stabilità di fase e processabilità dei materiali adottati; ciò implica ricerche molto complesse su nuovi o più performanti materiali, anche se aiutate da appositi programmi di progettazione (*alloy design*).

L'utilizzo di metodi e codici numerici di simulazione aiuta da diversi anni non solo chi progetta le leghe, ma anche chi le usa nel processo di *investment casting* e richiede una robusta conoscenza dei materiali e una corretta interpretazione della fenomenologia fisica del processo e degli elementi in esso coinvolti.

Un altro aspetto da segnalare è il processo produttivo, migliorato nel passato dalla introduzione della solidificazione direzionale con i forni Bridgman e più recentemente con l'introduzione della tecnica di raffreddamento in metallo liquido (*Liquid Metal Cooling*), consentendo così la produzione di pale monocristalline di dimensioni sempre maggiori e con difettosità sempre più ridotte. Altre caratteristiche fondamentali sono le geometrie interne dei canali di raffreddamento, diventate via via più complesse ed efficienti, fondamentali per la stabilità termo meccanica delle palette in esercizio nel motore.

Il miglioramento è proseguito raffinando e automatizzando i processi di manifattura in fonderia.

In conclusione, per il miglioramento delle prestazioni si punta a:

- sviluppare processi che preservino il più possibile i materiali, specie i più costosi, riducendone il consumo e abbassando così i costi di produzione;
- migliorare i profili geometrici esterni e interni per ottimizzare i flussi di raffreddamento e dunque l'efficienza delle palette in esercizio;
- concepire e sviluppare modellazioni numeriche sempre più aderenti alla realtà fisica dei processi in studio;

Restano tuttavia molti problemi aperti:

Materiali ed efficienza

- per i materiali ceramici: qualità e disponibilità della materia prima, tecniche di manifattura e di sinterizzazione, resistenza senza deformazioni o rotture ad elevate temperature;
- per le superleghe: raffinamento delle composizioni con aggiunta di alcuni elementi, per lo più rari, che conferiscono proprietà termomeccaniche e/o di stabilità microstrutturale superiori,

17 γ e γ' sono le fasi più importanti presenti nelle leghe a base Nichel. La prima (γ) è la matrice a struttura cristallina cubica a facce centrate del Ni (FCC). La γ' è una fase intermetallica Ni3(Al,Ti) di rafforzamento, ove i piani cristallini del precipitato sono ben allineati con la matrice γ e ciò, unitamente alla compatibilità chimica, permette di ottenere una buona resistenza e stabilità nel tempo. In molte leghe moderne la frazione di volume del precipitato γ' è di circa il 70%.

ma che richiedono per il loro utilizzo un aumento vertiginoso dei costi di utilizzo in fonderia;
- recupero dei materiali e/o re-immissione nel ciclo produttivo, quando possibile e in funzione degli aspetti di costo, salute, sicurezza, ambiente (HS&E);
- raffreddamento passivo con le anime ceramiche nel processo di microfusione, ove sono aspetti critici sia la manifattura delle anime sia il loro impiego in fonderia (rispetto delle forme e delle tolleranze geometriche, deformazioni e rotture nei processi ad alte temperature).

Sviluppo di tecnologie di processo e di modellazione

- processo di colaggio (grani a struttura equiassica, direzionale o monocristallina) da cui dipende la struttura metallurgica del componente per le turbine;
- maggior efficienza del processo utilizzando componenti fabbricati con tecniche additive di rapid prototyping per ridurre il time-to-market;
- necessità di assoluta certezza interpretativa, con utilizzo sempre più marcato di sistemi visivi e automatici per l'ispezione dei difetti e l'immagazzinamento dei dati;
- conoscenza approfondita dei materiali e delle loro proprietà termofluidodinamiche; capacità di gestire e integrare informazioni su più materiali nello stesso programma di calcolo; disponibilità di modelli previsionali completi.

In questo quadro complessivo l'Italia non vanta una tradizione nello sviluppo di superleghe: queste di fatto vengono studiate e sviluppate in pochi e attrezzati laboratori (USA, Russia, Inghilterra, Francia, Germania, Giappone), dove si continua a studiare e proporre nuove superleghe sempre più performanti.
Se l'Italia resta disallineata rispetto ad altri paesi avanzati sullo studio delle superleghe, si trova invece un maggiore equilibrio nelle linee di ricerca riguardanti lo sviluppo del processo di manifattura e in specifiche attività di ricerca sulla modellazione del processo fusorio per ottimizzare i processi produttivi e sviluppare metodologie di lavoro più sofisticate e processi più robusti, oltre a ridurre gli scarti.

3.2) FLESSIBILIZZAZIONE E OTTIMIZZAZIONE OPERATIVA DI IMPIANTI TERMOELETTRICI

DESCRIZIONE

I temi della flessibilità di carico e del miglioramento dell'efficienza del parco di generazione a carbone sono sempre più importanti in conseguenza della penetrazione della generazione elettrica da fonti rinnovabili non dispacciabili, ovvero non programmabili pur se prevedibili (tipicamente eolico, fotovoltaico e parte dell'idroelettrico).

Per garantire la qualità del servizio, la rete elettrica necessita di bilanciare continuamente la generazione di energia elettrica con il carico complessivo. Una parte ridotta degli sbilanciamenti sono assorbiti dai sistemi di accumulo energetico, in primis dall'inerzia del macchinario rotante; per il resto è necessaria la modulazione degli impianti di generazione convenzionale a gas, a carbone ed idroelettrica modulabile.

La generazione a carbone rappresenta una quota significativa dell'energia elettrica sia nel mondo (40% circa[18]) sia in Italia (22%[19]); nel medio termine, tale quota dovrebbe mantenersi pressoché dello stesso ordine, confermando il carbone al secondo posto nel mix energetico mondiale e nazionale.

Gli impianti a carbone, in passato deputati alla produzione di base con prevalente funzionamento a pieno carico, ora devono aumentare la flessibilità con prevalenza di funzionamento a carico parziale, con richieste di rapide dinamiche di variazioni di carico generato e frequenti fermate (settimanali o addirittura giornaliere). Per gli impianti esistenti, progettati per un funzionamento preminente a pieno carico con pochi avviamenti all'anno (solo per la fermata annuale di manutenzione programmata ed eventualmente per le fermate dovute alle avarie), queste nuove modalità possono risultare problematiche; in alcuni casi sono effettuabili solo a valle di adeguamenti impiantistici. Tale fenomeno è stato anticipato da qualche anno nel Centro–Nord Europa (ad es. Germania e Danimarca) dove le fonti rinnovabili (soprattutto eolico) sono in proporzione più presenti ed arrivate prima.

In questo nuovo scenario è da riconsiderare la modalità di generazione delle unità termoelettriche a vapore, anche alla luce del fatto che il basso tasso di rinnovo delle centrali a carbone esistenti impone di intervenire soprattutto adattando le unità funzionanti. Questa sfida, già ardua nella realizzazione delle nuove centrali, lo è ancora di più nell'adattare il parco di generazione esistente. Se negli ultimi anni sono state ricercate soluzioni per aumentare le prestazioni al massimo carico (es. materiali in grado di aumentare le temperature di produzione vapore fino a 700°C), ora c'è la necessità di soluzioni adatte a rendere gli impianti flessibili nella potenza

18 "World Energy Outlook 2014", IEA

19 "Dati statistici sull'energia elettrica in Italia – 2012", Terna

generata, con efficienze accettabili anche ai carichi ridotti. Anche le modalità di avviamento devono essere riviste, riducendo per quanto possibile i tempi necessari e rendendo accettabile il consumo di vita dei componenti impiantistici. Gli adeguamenti, seppur comuni in termini generali a tutti gli impianti a carbone, sono però specifici per ogni unità e richiedono quindi studi e modellazioni preliminari, per poi procedere alle modifiche impiantistiche e delle procedure di esercizio. I frequenti avviamenti, così come le rapide variazioni di carico, possono ripercuotersi su gran parte del macchinario di centrale: caldaia, turbina, alternatore, sistemi di trattamento delle emissioni, componenti ausiliari. È necessario sviluppare e utilizzare in linea modelli di invecchiamento del materiale che possano rendere possibile lo sviluppo di procedure ottimizzate di esercizio e manutenzione ai fini della vita utile dei componenti critici degli impianti. Alcune operazioni, come la procedura di avviamento, potranno essere automatizzate così da permettere una maggiore ripetibilità e determinismo nel seguire il programma di carico concordato con il gestore della rete. Anche il servizio di regolazione di frequenza primaria e secondaria può essere migliorato in termini di qualità delle rampe di carico e di efficienza mediante soluzioni che sfruttino l'accumulo di energia termica all'interno del ciclo acqua vapore, limitando nel contempo le perdite associate, ad esempio, alla laminazione del vapore di ammissione turbina.
In generale sarà necessario integrare e migliorare le misure primarie nonché gli algoritmi del sistema di Regolazione & Controllo (R&C) con la finalità di alimentare i modelli previsionali di invecchiamento e nel contempo garantire la stabilità del sistema di regolazione in condizioni di dinamica spinta.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il miglioramento della flessibilità degli impianti si basa principalmente sullo sviluppo di modelli, tecniche di diagnostica e di R&C avanzate.
La modellistica di invecchiamento dei materiali dovrà essere affrontata con le nuove metodologie in fase di sviluppo, basate su modelli fisici, superando gli approcci tradizionali correlativi empirici o semi-empirici non più predittivi nei nuovi scenari di esercizio.
Per quanto riguarda gli aspetti relativi alla diagnostica e alla R&C degli impianti, si farà leva su nuove tipologie di sensori intelligenti e su nuovi paradigmi basati su algoritmi esperti, reti neurali, *fuzzy-logic*, etc.
Le azioni di ricerca & innovazione tecnologica dovranno pertanto coinvolgere ai diversi livelli istituti scientifici, università, *technology providers* e end-users, con la promozione e il sostegno di programmi di finanziamento nazionali ed europei.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In Italia negli ultimi anni è stata avviata la flessibilizzazione del parco di generazione a cicli combinati con gas naturale, intervenendo principalmente sull'esistente mediante azioni di miglioramento marginale.
All'estero la situazione è stata parzialmente anticipata in qualche realtà dove la penetrazione delle rinnovabili è arrivata prima ed in maniera più intensa (Nord Europa).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 4

TECNOLOGIE PRO VETTORI ENERGETICI

4.1) POWER-TO-GAS

DESCRIZIONE

I sistemi più diffusi di *energy storage* sono gli accumulatori elettrochimici, noti anche come batterie, che permettono un accumulo a medio termine (<1 giorno), anche se il loro impiego è limitato dalla loro bassa energia e densità di potenza e durata. Altri sistemi includono le centrali di pompaggio e produzione idroelettrica. Per la conservazione a lungo termine e il bilanciamento stagionale delle fonti di energia rinnovabili, i sistemi di accumulo più idonei sono quelli chimici, che convertono l'energia elettrica in vettori energetici quali l'idrogeno o il metano, ovvero le tecnologie Power-to-Gas (P2G) (fig. 39).

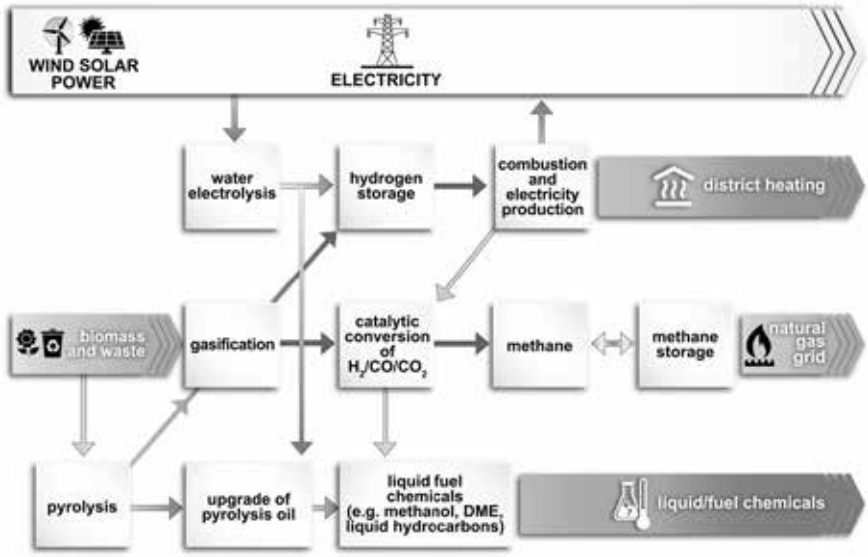


FIG. 39 – POWER-TO-GAS (P2G) E ENERGY STORAGE

Nella tecnologia P2G il surplus di energia elettrica viene convertito in idrogeno grazie a un elettrolizzatore. L'idrogeno può essere stoccato o utilizzato, qualora vi siano disponibili utenti e mezzi di trasformazione idonei, oppure può essere convertito in metano mediante la reazione di meta-

nazione. In particolare la conversione della CO_2 in metano attraverso il processo di metanazione consente la produzione di un gas sostitutivo di quello naturale (SNG – Synthetic Natural Gas) ma ad emissioni zero. Conseguentemente il vantaggio di questa tecnologia è la generazione di un prodotto standardizzato quale il metano, che può essere immesso in rete o stoccato per un utilizzo locale. Sia l'idrogeno che il metano possono quindi essere utilizzati per restituire energia elettrica alla rete (attraverso impianti turbo gas oppure pile a combustibile), coprire utenze termiche, essere immessi in rete o utilizzati come combustibili nel settore della mobilità. Un'ulteriore possibilità è la produzione di altri prodotti, quali il metanolo ed il dimetiletere (DME), a partire dall'idrogeno e dalla CO_2.

Il Power-to-Gas presenta il vantaggio di essere facilmente scalabile poiché modulare, arrivando ad immagazzinare sotto forma di gas grandi quantità di energia dell'ordine dei TWh. Tutto questo rende il Power-to-Gas una soluzione fortemente integrata all'interno dell'intero sistema energetico, consentendo un approccio multi sistemico a supporto del mercato dell'energia elettrica, contribuendo in modo sostenibile al raggiungimento degli obiettivi di riduzione della CO_2.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'Italia è sostanzialmente in linea con la strategia internazionale ed europea, come confermato dai vari accordi internazionali firmati dal nostro governo (USA, Cina, Regno Unito, etc.), da accordi fra organismi di ricerca e come è indicato nella Strategia Energetica Nazionale (SEN)[20].

Nell'ambito dell'attuale contesto macro economico incerto e difficile, il governo italiano ha definito la strategia energetica nazionale, esplicitando in maniera chiara gli obiettivi principali da perseguire nei prossimi anni in modo tale da migliorare la competitività italiana nel settore. Tra i quattro obiettivi principali si inseriscono la necessità di raggiungere e superare gli obiettivi ambientali e di decarbonizzazione definiti dal pacchetto europeo Clima-Energia 2020 e la necessità di migliorare la nostra sicurezza di approvvigionamento, soprattutto nel settore gas, per ridurre la dipendenza dall'estero. Attualmente la situazione del sistema elettrico italiano vede una serie di cambiamenti legati in parte alla crisi economica, in parte alla struttura stessa del sistema e ai meccanismi di incentivazione introdotti.

I tagli di potenza (*curtailments*) hanno limitato fortemente l'economia del settore industriale e l'industria ha sofferto i costi crescenti dell'energia. Vi è poi un taglio agli impianti tradizionali di generazione di potenza e una perdita dei profitti degli impianti di produzione di potenza. La crescita delle rinnovabili ha portato a prezzi di energia "negativi" con una rete di trasmissione dell'energia elettrica diventata un collo di bottiglia. Molteplici sono quindi gli aspetti e le sfide da affrontare per perseguire gli obiettivi prefissati dalla SEN.

In quest'ambito il Power-to-Gas contribuisce alla diversificazione delle fonti di approvvigionamento, sganciandosi seppur per una minima parte dal mercato del petrolio e del gas in un'ottica di sicurezza energetica per il Paese.

20 Strategia Energetica Nazionale: per un'energia più competitiva e sostenibile" Governo Italiano 2013
Approvato con decreto interministeriale del Ministero dello Sviluppo Economico e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del mare dell'8 marzo 2013.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Crescente è l'interesse per la filiera P2G da parte della ricerca e dell'industria (con la partecipazione di grandi aziende sia del settore elettrico che del gas, fornitori, produttori e operatori di rete), sia in Europa, sia a livello mondiale, con una nutrita serie di iniziative, progetti e realizzazione di impianti dimostrativi. I principali progetti pilota in corso vedono coinvolte società energetiche come E.ON e ENERTRAG in Germania oppure GDF Suez e Areva in Francia. Nella maggior parte dei casi, gli sviluppatori sono consorzi di partner, al fine di condividere le risorse tecniche e finanziarie.
Oltre all'intervento di capitale privato industriale, la filiera P2G è supportata da finanziamenti pubblici nazionali o europei: sia in Francia che in Germania infatti i progetti di ricerca possono beneficiare di finanziamenti pubblici che supportano l'iniziativa privata di un eventuale consorzio industriale. Generalmente fanno parte di questi consorzi i principali gestori del sistema di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica e del gas in Europa, i produttori e gli utilizzatori di idrogeno e i produttori di unità di elettrolisi e di metanazione.
Sono state fondate alcune piattaforme, come la *NorthSea Power-to-Gas Platform*[21] creata da DNV o la *Strategic Power-to-Gas Platform*[22] creata dall'Agenzia tedesca per l'energia – DENA, che lavorano individuando le priorità di ricerca e sviluppo per incoraggiare iniziative congiunte a livello di politiche nazionali ed europee a favore del Power-to-Gas (progetti pilota, studi, etc.). La prima, che vede la partecipazione di undici aziende (Edison, ITMPower, etc.), ha come finalità di definire la fattibilità del Power-to-Gas nei paesi che circondano l'area del Mare del Nord. L'obiettivo è di avere il più possibile un rapporto aperto con altri gruppi di competenza, per diffondere in modo bidirezionale le informazioni e contribuire allo stato dell'arte e di sviluppo della tecnologia. Con la *Strategic Power-to-Gas Platform*, l'Agenzia per l'energia tedesca e i suoi partner (Toyota, E.ON, etc.) intendono sostenere e sviluppare la tecnologia Power-to-Gas condividendo le competenze dei diversi attori coinvolti, dal settore industriale a quello della ricerca, a quello pubblico. L'obiettivo principale è pervenire a una tecnologia affidabile e conveniente su larga scala con una previsione di almeno 1.000 MWe di capacità installata in Germania entro il 2020. Ad oggi ci sono già 14 progetti pilota e dimostrativi in funzione in Germania e più di 17 impianti sono in costruzione.
In Europa sono presenti circa sette progetti applicativi della tecnologia Power-to-Gas con produzione di metano; tra questi due prototipi della società SolarFuel, uno da 25 kWe e il secondo da 250 kWe in esercizio dal 2012. Vi è poi il progetto di Audi e SolarFuel da 6,3 MWe, con la produzione di 360 Nm^3/h di CH_4 presso Werlte (Germania). E.ON prevede di mettere in esercizio un impianto di produzione di H_2 e CH_4 da 2 MWe nel 2015.
Relativamente alla produzione di idrogeno, i progetti sono ampiamente diffusi in molte nazioni: a livello europeo in Germania, Francia, Gran Bretagna, Danimarca e Norvegia; fuori dall'Europa in Argentina, Giappone e Stati Uniti. Per lo più la tipologia di elettrolizzatore utilizzata è quella alcalina, con taglie al di sotto dei 1000 kWe nella maggior parte dei casi. Il prodotto finale è idrogeno stoccato in serbatoi in pressione. La pressione di stoccaggio varia tra i 4 e i 400 bar a seconda

21 http://www.northseapowertogas.com/index
22 http://www.powertogas.info/plattform/information-in-english.html

dell'impiego finale. In tutti questi progetti, l'idrogeno viene utilizzato per lo più per generare energia elettrica tramite *fuel cell* di tipo PEM (*Proton Exchange Membrane*).

Molteplici sono gli attori che possono beneficiare dalla tecnologia P2G, dalle aziende di generazione di energia elettrica nel settore delle rinnovabili, fattispecie il settore eolico, alle società di trasporto e stoccaggio del gas o alle società del settore dell'idrogeno e di conversione in metano. In Italia, molti operatori hanno espresso forte interesse alle tecnologie P2G e avviato iniziative di studio di fattibilità e/o attività di ricerca e scouting tecnologico; tra queste le società di ingegneria Foster Wheeler e Saipem. Vi sono poi le aziende elettriche, soprattutto nel settore della produzione di energia elettrica da rinnovabili (solare ed eolico) e nel settore della distribuzione.
Attualmente in Italia è in corso di attuazione il progetto EU InGrid in Puglia, che vede come partner Enel Distribuzione, la Regione Puglia, RSE e società spagnole, francesi e belga. Il progetto prevede lo sviluppo di un prototipo in grado di immagazzinare 39 MWh di energia da fonti rinnovabili con una capacità di 1000 kg di H_2 stoccato. Anche ENEA è attivo con competenze distribuite su tutta la filiera, con la realizzazione di modelli d'analisi e prototipi operanti su piccola scala.

Sul piano degli **aspetti legali e normativi**, l'obiettivo della politica climatica dell'Unione Europea nel settore dei trasporti prevede di aumentare la quota dei biocarburanti del 10%, riducendo le emissioni di gas a effetto serra del 6%. Tale target non può essere raggiunto solo attraverso l'uso di biocarburanti convenzionali; è necessario integrare l'uso dei biocarburanti con combustibili rinnovabili avanzati, quali l'idrogeno e il metano sintetico prodotto con l'elettricità da fonti energetiche rinnovabili utilizzando tecnologie Power-to-Gas. Una pietra miliare in questo caso è la direttiva 2014/94/UE (*Deployment of an alternative fuels infrastructure*, del 22 ottobre 2014), che definisce il quadro strategico e gli obiettivi concreti per lo sviluppo del mercato dei carburanti alternativi e la realizzazione di adeguate infrastrutture negli stati UE.
Vi è poi il quadro normativo, comprensivo dei meccanismi di incentivazione (decreto del Ministero dello sviluppo economico d'intesa con il Ministro dell'ambiente del 5 dicembre 2013) che a livello italiano regolamenta il biometano, tuttora in fase di definizione e nel quale potrebbe inserirsi il metano prodotto dalle rinnovabili.
Nell'ambito della ricerca vi sono gli indirizzi di Horizon 2020, che nella call *LCE 9 – 2015- Large scale energy storage* finanzierà con un budget complessivo di 189 milioni di euro anche progetti che prevedono lo stoccaggio di energia elettrica attraverso la produzione di gas sintetico (metano verde) da immettere nella rete gas.
Il P2G è commercialmente disponibile, tuttavia una volta sviluppati i gap tecnologici intrinseci a una nuova tecnologia è necessario l'attuazione dei primi progetti dimostrativi al fine di valutarne la competitività e fattibilità economica.
Uno degli aspetti peculiari dello sviluppo della tecnologia Power-to-Gas consiste nel combinare le tecnologie per l'utilizzo dell'idrogeno e/o del metano con le tecnologie ICT adattive di gestione, monitoraggio, controllo e bilanciamento in tempo reale della produzione e della richiesta di energia nelle reti elettriche intelligenti e con le tecnologie di gestione, monitoraggio, controllo della rete gas.

Anche se il mercato per l'idrogeno ed il metano sintetico (SNG – Synthetic Natural Gas) dal P2G si sta ancora sviluppando, questi prodotti saranno presto disponibili ed il loro sviluppo e commercializzazione dipende in gran parte dalla creazione di un quadro giuridico, comprensivo anche di incentivi normativi, in sede di Unione Europea e conseguentemente in sede dei singoli paesi membri. Va indicato che la fase di transizione del sistema energetico europeo dovrà sicuramente considerare l'incremento della quota delle rinnovabili e la creazione di un sistema energetico fortemente integrato ed interconnesso in cui il Power-to-Gas gioca un ruolo chiave.

Quali fuel cells?

Tra le tecnologie più innovative integrabili in assetti P2G ci sono le pile a combustibile (*Fuel Cells*, FC); tra le diverse filiere di FC, quelle che sembrano offrire le maggiori potenzialità per la generazione stazionaria di energia – con impianti scalabili da qualche kW (domestici) a centinaia di kW (per usi commerciali e industriali) – sono principalmente due: celle ad elettrolita polimerico a membrana, note anche come celle a scambio protonico a membrana (*Polymer-Electrolyte* o *Proton-Exchange – Membrane Fuel Cells*, PEMFC) e celle ad ossido solido (*Solid Oxide Fuel Cells*, SOFC).

Le **PEMFC** operano a temperature relativamente basse (70-85°C) e possono avviarsi e raggiungere metà della loro potenza quasi immediatamente, con piena potenza di erogazione in circa 3 minuti. Inoltre offrono una densità di potenza maggiore rispetto agli altri tipi di FC e rispondono rapidamente ai cambiamenti di carico elettrico. Dal punto di vista del funzionamento, le PEMFC sfruttano come elettrolita una membrana polimerica – la più comune è costituita dal polimero fluorurato Nafion di Dupont – in grado di condurre gli elettroni dall'anodo al catodo. Uno dei principali svantaggi delle PEMFC è il costo elevato del platino che per questi dispositivi è necessario in quantità relativamente elevate (qualche mg per kW di potenza, che possono scendere a valori vicini all'unità di mg/kW per dispositivi ben ottimizzati). Un'altra criticità delle PEMFC è la relativa sensibilità alla presenza di monossido di carbonio e allo zolfo, che avvelenano il catalizzatore.

Le **SOFC** funzionano a temperature tra i 700 e i 1.200°C. L'alta temperatura operativa permette alle SOFC di funzionare con catalizzatori poco costosi e di essere relativamente resistenti all'avvelenamento catalitico dovuto a ossido di carbonio, con conseguente flessibilità nel tipo di combustibile utilizzato, che può essere metano, propano, butano, gas di fermentazione, gas di biomassa. Purtroppo non sono altrettanto robuste rispetto alla presenza di zolfo, che deve essere completamente eliminato dai combustibili.

A causa dell'alta temperatura di operazione, i coefficienti di dilatazione termica dei materiali costituenti le celle possono causare stress termo-meccanici con possibili rotture meccaniche dei dispositivi. Per evitare questi problemi, una SOFC è avviata con un lento riscaldamento, con tempi fino a otto ore o più per dispositivi ordinari, che possono scendere fino ad alcuni minuti per dispositivi con geometrie micro tubulari (le SOFC, a differenza di altri tipi di FC, possono avere geometrie diverse da quella planare). Le SOFC sono caratterizzate dall'utilizzo di un elettrolita a ossido solido (in genere zirconia, ZrO_2, drogata con ossido d'ittrio, oppure di cerio), che permette lo scambio di ioni ossigeno senza lasciare permeare il gas, ed ha alta resistenza elettrica per favorire il percorso degli elettroni sul circuito esterno. Per ridurre il degrado dei dispositivi, le attività di

R&S puntano a individuare elettroliti solidi che consentano alle SOFC di operare anche temperature tra 600 e 800°C.

Nonostante le previsioni e le opportunità offerte dalle FC, rimangono alcuni ostacoli da superare per raggiungere una significativa diffusione di impianti basati su questa tecnologia. In primo luogo occorre incrementare le efficienze e ridurre al contempo i costi, in particolare per le PEMFC diminuendo le quantità di platino impiegate, o individuando valide alternative al metallo. La riduzione dei costi e l'aumento dell'efficienza dei dispositivi richiedono un forte impegno in ricerca e sviluppo, facendo anche leva sulle competenze presenti in Italia nel settore dell'elettrochimica e delle nanotecnologie.

Tra le principali criticità tecniche che attualmente limitano lo sviluppo del mercato delle FC:

- Incremento delle prestazioni del catalizzatore, ottenute attraverso nano-strutture o deposizione su supporti nano strutturati, a es. nano-tubi di carbonio, nano-fibre di carbonio, grafene, ecc. Occorre investigare tali nano-strutture sotto molteplici punti di vista: morfologia, processi di trasferimento elettronici, variazioni dell'attività del catalizzatore alle differenti temperature, concentrazioni dei gas, ecc. Questo tipo di fenomeni può essere studiato, date le dimensioni nanometriche delle strutture considerate, solo con l'ausilio di strumentazioni e facilities di ricerca estremamente sofisticate, come per esempio spettroscopie di fotoemissione alimentate da luce di sincrotrone, che permettono di analizzare il comportamento catalitico di singole nanoparticelle (fino a poche decine di nm di diametro) con il variare delle condizioni operative (da temperatura ambiente fino a 1200°C, per diverse pressioni e composizioni dei gas).
- Analisi e minimizzazione dei fenomeni di avvelenamento e degradazione del catalizzatore: l'impiego delle FC richiede una vita d'esercizio del catalizzatore, dell'elettrodo e dell'intera cella per lunghi periodi, per poter contenere le manutenzioni richieste all'impianto a una all'anno o meno, ovvero la stessa richiesta agli impianti domestici tradizionali. Inoltre il catalizzatore deve garantire l'operabilità con combustibili differenti per qualità e quantità di contaminanti, tipicamente zolfo, e conservare le proprie prestazioni in un ampio campo di temperature comprese tra quella di avviamento del sistema (che può raggiungere i -30°C in climi particolarmente freddi) e quella di funzionamento a regime – dipendente dalla natura della FC – con le conseguenti problematiche di mantenimento della struttura catalitica, assenza di cricche dovute a stress termici, ecc. Tra gli strumenti più idonei a tali indagini vi sono sistemi di fotoemissione in grado di analizzare la composizione di singole nanoparticelle in presenza sia del combustibile sia degli avvelenanti, e di monitorare i cambiamenti che avvengono in queste nanoparticelle in tempo reale.
- Per PEMFC, individuazione di catalizzatori alternativi al platino o che ne contengano una minima quantità, permettendo di raggiungere gli obiettivi di costo richiesti per la diffusione su larga scale.
- Per SOFC, ottimizzazione del materiale del catodo e dell'elettrolita per temperature intermedie (500-700°C). La conducibilità ionica dell'elettrolita e le performance degli elettrodi, in particolare il catodo, devono essere migliorate assieme alla loro resistenza alle contaminazione da zolfo per permettere un loro utilizzo con gli idrocarburi attualmente utilizzati

nella rete di distribuzione. Ossidi di perovskite basati su lantanio stronzio e ferrite cobalto (LSCF) sono il materiale per catodo più studiato per SOFC operanti a temperature intermedie. Recentemente un ulteriore miglioramento delle prestazioni del catodo basato su LSCF è stata ottenuta con l'aggiunta di piccole quantità di nanoparticelle di metalli nobili. Ricerche per limitare la quantità richiesta o sostituirle con metalli di transizione meno costosi, quali Ni, Cu, Zn, sono in corso.

Il processo di produzione di gas da surplus di rete elettrica richiede ancora innovazioni e sviluppi sia in campo tecnico che in quello economico. Il miglioramento delle efficienze energetiche e il reperimento della CO_2 sono due sfide cruciali di forte attualità per il mondo della ricerca e dell'industria. L'obiettivo dichiarato è quello di migliorare la competitività economica rispetto ai naturali competitors (gas naturale) e ridurre l'utilizzo di materie prime, acqua, chemicals ed energia. Nel contesto italiano, in una prospettiva di più lungo periodo, la realizzazione anche di un solo impianto, darebbe un contributo significativo allo sviluppo del settore dell'impiantistica industriale, diversificando il paniere delle fonti di approvvigionamento energetico nazionale.

4.2) BIO-FEEDSTOCK DI SECONDA E TERZA GENERAZIONE

DESCRIZIONE

Negli ultimi anni gli sforzi intrapresi dai comparti accademici e industriali nella ricerca sui processi per la produzione di biocarburanti avanzati (denominati anche di seconda o di terza generazione) stanno finalmente portando all'avvio delle prime iniziative su larga scala.

A livello europeo, l'Italia è sicuramente uno dei paesi guida in questa evoluzione grazie alla realizzazione del primo impianto *full scale* per etanolo di seconda generazione da parte del gruppo Mossi & Ghisolfi e alla riconversione di raffinerie tradizionali in bioraffienerie da parte di Eni.

L'innovazione si è in particolare focalizzata sulla sostituzione dei feedstock, di prima generazione (colture oleaginose, cerealicole, amidacee e zuccherine) con quelli di seconda e terza generazione (biomasse di scarto quali i residui agricoli e forestali, colture lignocellulosiche dedicate all'uso energetico, frazione organica dei rifiuti urbani), garantendo così significative riduzioni dell'emissione di gas a effetto serra, limitando il cambiamento indiretto della destinazione dei terreni e evitando la competizione con i settori dell'alimentazione umana o animale.

L'impulso dato dall'UE alla produzione su larga scala di biocarburanti si inserisce nel quadro della politica energetica ed ambientale comunitaria e risponde a molteplici fini favorendo anche l'autonomia energetica e la diversificazione delle fonti di approvvigionamento.

Grazie a questo stimolo, il settore dei biocarburanti presenta un trend di crescita positivo (+3,9% annuo a livello europeo per il periodo 2011-2035), controcorrente rispetto a quello dei carburanti di origine fossile, per quali, nello stesso periodo, è prevista una flessione pari all'1,4% annuo[23].

Nello scenario europeo, contrariamente a quanto avviene nel resto del mondo, la domanda si concentrerà in particolare sui biocarburanti da immettere nel pool diesel rispetto a quello delle benzine. Le tecnologie sulle quali si stanno focalizzando le attività di ricerca e sviluppo, si possono dividere in processi biochimici, basati sulla fermentazione di zuccheri cellulosici, e processi termochimici, in grado di trasformare l'intera biomassa.

Nel prossimo futuro, il miglioramento delle tecnologie di fermentazione, supportato dalle attività di ingegnerizzazione di nuovi *pathway* metabolici permetterà l'accesso a classi di prodotti con proprietà chimico fisiche ottimali per il *blending* con carburanti tipo diesel, jet-fuel o benzina (*drop-in biofuel*).

Un interesse particolare viene dedicato ai processi basati sulla coltivazione di biomasse acquatiche, quali le microalghe, per produrre oli analoghi a quelli di origine vegetale, evitando così la competizione per l'utilizzo del suolo sia oltre che quella con il settore dell'alimentazione.

23 "World Energy Outlook 2013", IEA

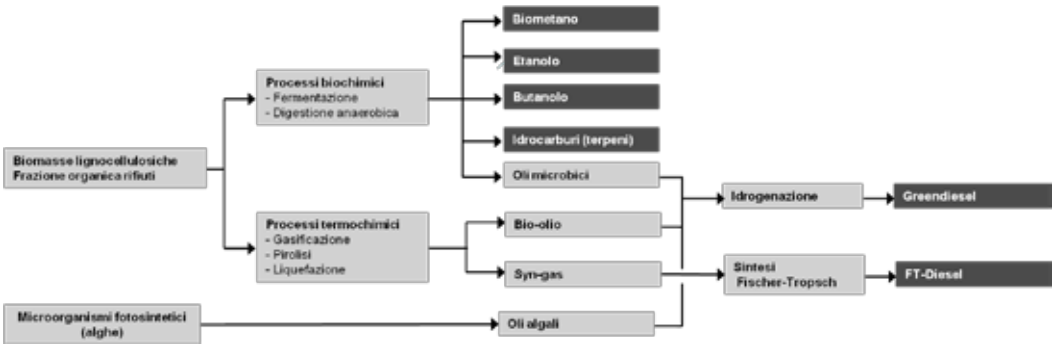


FIG. 40 – SCHEMA DELLE TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DI BIOCARBURANTI AVANZATI

La richiesta di ridurre l'impatto ambientale legato all'uso dei biocarburanti, specialmente quelli di prima generazione, si inserisce in un contesto politico–economico articolato le cui linee guida sono tracciate dai seguenti documenti di riferimento:

- direttiva europea sulle energie rinnovabili (Renewable Energy Directive, RED) facente parte del Pacchetto clima-energia[24]; in data 3 Giugno 2014 è stata pubblicata la posizione adottata dal Consiglio europeo per la revisione della precedente direttiva RED che conferma l'obiettivo di una quota pari al 10% di energia rinnovabile nel settore dei trasporti per il 2020 e stabilisce un limite del massimo del 7% alla quota di biocarburanti di prima generazione. La proposta definisce anche le tipologie di feedstock che danno origine a biocarburanti avanzati che usufruiscono di un premio di double counting in termini energetici. La quota minima di biocarburanti avanzati da immettere sul mercato entro il 2020 è fissata allo 0,5% lasciando ai singoli paesi membri la facoltà di aumentarla e stabilire un proprio target nazionale. L'Italia è stato il primo stato europeo a recepire la direttiva e fissare i propri obiettivi per i biocarburanti avanzati che arrivano fino al 2% nel 2022.
- direttiva sulla qualità dei carburanti (Fuel Quality Directive – FQD; 6% di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra tra il 2010 e il 2020);
- European Industrial Bioenergy Initiative (EIBI)25 del SET Plan (Strategic Energy Technology Plan) il cui scopo è di introdurre sul mercato nuove tecnologie sostenibili principalmente legate alla produzione di biocombustibili di seconda generazione a partire da biomasse lignocellulosiche (come nel caso del bioetanolo), alla produzione combinata di calore ed elettricità e di prodotti intermedi a partire da biomasse;
- White Paper Roadmap che annovera la creazione di una Single European Transport Area per fornire una rete di trasporti integrata e maggiormente competitiva con quella attuale. In questo contesto, il documento medesimo include per la prima volta l'obiettivo di portare al 40%

24 *Pacchetto Clima 20-20-20* – Regolamento CE n. 443/2009; Direttiva 2009/28/CE, Direttiva 2009/29/CE, Direttiva 2009/30/CE, Direttiva 2009/31/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio Decisione n. 406/2009/CE (GUUE L140 del 5 giugno 2009).

25 http://www.biofuelstp.eu/eibi.html

l'uso di combustibili sostenibili nell'aviazione entro il 2050;

- Comunicazione della Commissione Europea di gennaio 2014, "A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030" che indica obiettivi di riduzione ulteriori delle emissioni entro il 2030 (-40%) e di aumento della quota di rinnovabili nello stesso periodo (27%).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La sperimentazione di nuove soluzioni *bio-tech* nell'ambito dei processi di seconda generazione darà un valore aggiunto all'utilizzo di biomassa lignocellulosica. La domanda di biocarburanti è in continua crescita ed il contesto legislativo sopra riportato, a fronte dei traguardi prefissati, potrà avere influenze positive sulla realizzazione di un nuovo mercato nel settore delle energie rinnovabili.

Il consolidamento di tecnologie che si trovano attualmente nello stadio di sviluppo o dimostrazione offrirà delle opportunità per il recupero e la riconversione di siti industriali, quali le raffinerie convenzionali, che, a causa dello scenario macroeconomico, non risultano più sostenibili e in mancanza di alternative sarebbero destinati alla chiusura o al ridimensionamento con un forte impatto a livello sociale.

Per supportare lo sviluppo delle nuove piattaforme biotecnologiche conformi agli obiettivi stabiliti delle normative vigenti è inoltre necessario:

- facilitare lo sviluppo degli standard per advanced biofuels in particolare di tipo drop-in e la loro certificazione per l'utilizzo nell'autotrazione, e nel tasporti aerei e marittimi;
- migliorare e implementare la supply chain per sviluppare ulteriormente certificazioni di sostenibilità accettate a livello mondiale;
- potenziare il nuovo concetto di bioraffineria, sviluppato in Italia nell'ambito delle tecnologie di seconda generazione, in uno scenario internazionale più ampio;
- integrare il concetto innovativo di process integration che caratterizza la tecnologia di seconda generazione allo scopo di generare un sistema di bioraffineria energeticamente autosostenibile;
- definire strutture di finanziamento in grado di facilitare la realizzazione di progetti inerenti biocarburanti di seconda generazione;
- attivare iniziative di comunicazione per evidenziare i vantaggi dei biocarburanti prodotti da risorse rinnovabili sostenibili rispetto a quelli derivanti da materie prime in competizione con il settore alimentare.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Processi biochimici

Le biotecnologie, corredate da un'opportuna scelta di soluzioni ingegneristiche, rappresentano la chiave grazie alla quale si è riuscito a sviluppare processi efficienti e sostenibili su scala industriale per la produzione di biocarburanti avanzati da biomasse non alimentari, come ad esempio il bioetanolo cellulosico ottenuto da colture dedicate, quali la canna comune (*arundo donax*), o

da residui agricoli, quali la paglia di cereali. Sempre più diffuse infatti sono le soluzioni ingegneristiche e biotecnologiche in grado di trasformare le cellulose e le emicellulose della biomassa lignocellulosica, dapprima in zuccheri semplici e quindi in etanolo. Grazie a questa accelerazione nello sviluppo del bioetanolo cellulosico, in Italia è stato realizzato –primi al mondo- un impianto in grado di produrre bioetanolo cellulosico su una scala di oltre 40mila t/anno.

La possibilità di utilizzare biomasse del tipo indicato consente molteplici vantaggi: da un lato, la possibilità di (ri)utilizzare residui che altrimenti diventerebbero scarti da smaltire, dall'altro quella di utilizzare terreni abbandonati o marginali per la coltivazione delle colture dedicate, con conseguente creazione di reddito integrativo per il mondo agricolo. Inoltre, diversi studi hanno dimostrato come la coltivazione di specifiche essenze possa aiutare a bonificare suoli parzialmente inquinati (*soil remediation*) e a catturare la CO_2 atmosferica aumentando la concentrazione di carbonio nel suolo stesso.

È da sottolineare come le rese per ettaro di biomasse lignocellulosiche risultino estremamente elevate nell'area mediterranea (fino a 40 t di biomassa secca per ettaro contro, ad esempio, le 8-9 t per ettaro per la granella di mais nei casi migliori); ciò si traduce in una resa per ettaro di circa 8 t di bioetanolo cellulosico contro le scarse 3 t per ettaro del bioetanolo da mais: in definitiva, un utilizzo estremamente efficiente del suolo. Il tutto contribuendo a produrre un biocarburante in grado di garantire una riduzione delle emissioni di gas clima-alteranti di oltre l'80% rispetto ai tradizionali carburanti fossili, ad un prezzo assolutamente competitivo con la cosiddetta prima generazione di biocarburanti.

Inoltre, grazie alla valorizzazione dei coprodotti del processo di produzione del bioetanolo, quali ad esempio la lignina, è possibile produrre energia per rendere l'impianto energeticamente autosufficiente, ma anche altri biocarburanti, ad esempio bio-jet fuel, e altri prodotti chimici, ad esempio oli fenolici dai quali estrarre interessantissimi intermedi chimici. Il tutto in una logica di bioraffineria integrata in grado di utilizzare le biomasse non alimentari in maniera del tutto speculare a quanto succede nelle tradizionali raffinerie, che partendo da greggio ottengono sia prodotti chimici sia vettori energetici.

Il bioetanolo è adatto per il blending con carburanti di tipo benzina, mentre per soddisfare la domanda di biodiesel avanzato, è possibile utilizzare un processo, sempre basato sulla fermentazione di zuccheri ottenuti da biomasse ligninocellulosiche, ma che impiega *lieviti oleaginosi*, in grado di produrre lipidi (trigliceridi) con una composizione del tutto analoga a quella degli oli vegetali. Questa tecnologia è stata fino ad ora sviluppata a livello pilota ed è prossima alla fase dimostrativa. Gli oli microbici ottenuti sono utilizzabili come feedstock alternativi agli oli vegetali per la produzione di greendiesel con il processo Ecofining™ (sviluppato da Eni e UOP), per il quale è già stata portata a termine una realizzazione commerciale presso la Raffineria di Venezia.

Processi termochimici

L'utilizzo di biomasse lignocellulosiche per l'ottenimento di biocarburanti avanzati attraverso processi termochimici costituisce un'opportunità di indubbio interesse e in stato di sviluppo avanzato. La tecnologia ha il vantaggio di utilizzare l'intera biomassa prodotta e di evitare processi di separazione delle frazioni e pretrattamenti di idrolisi. Inoltre è possibile alimentare miscele com-

plesse di biomassa agro forestale e di residui agroindustriali.
Pirolisi: fra i processi termochimici per la produzione di biofuel avanzati vanno citati i processi di pirolisi finalizzati alla produzione di vettori liquidi (bio-oli) che può arrivare a rese del 70% producendo al contempo un gas combustibile e del char. Chiave del processo è la velocità di riscaldamento della biomassa fino a 500°C, per cui accanto a reattori a letto fluido, sono stati sviluppati reattori a cono rotante e sono in fase di sperimentazione altre tipologie di reattori (*twin screw reactor*, pirolisi ablativa). L'utilizzazione della frazione liquida necessità tuttavia un processo di idrotrattamento per ridurre il contenuto di ossigeno e le insaturazioni prima di essere utilizzata come fuel. Tale trattamento richiede ancora lo sviluppo di un processo selettivo che eviti processi di cracking e un troppo elevato consumo di idrogeno. La pirolisi può essere utilizzata anche su frazioni specifiche come la lignina che porta all'ottenimento di una frazione liquida meno complessa e con minore quantità di ossigeno.

Liquefazione: è un trattamento termico condotto a temperature inferiori rispetto alla pirolisi (300-350°C), utilizzando biomasse umide, senza necessità di essiccamento. Il prodotto è anche in questo caso un bio-olio. È particolarmente adatta per la trasformazione di feedstock con elevato contenuto di acqua, quali le microalghe, i fanghi da impianti di trattamento acque e i rifiuti organici. Questa tecnologia è stata fino ad ora sviluppata a livello pilota ed è prossima alla fase dimostrativa.

Gassificazione: i processi di gassificazione permettono di concentrare oltre l'80% del potere calorifico nel legame chimico della frazione gassosa, tuttavia in virtù del basso potere calorifico delle biomasse si ottengono temperature insufficienti per raggiungere l'equilibrio e nella miscela gassosa sono presenti oltre a gas di sintesi CO_2 e H_2O metano, idrocarburi leggeri e tar. Per utilizzare la miscela gassosa per fuel, le soluzioni sono di diversi tipi:

- un pretrattamento, generalmente un processo di pirolisi a bassa temperatura o di torrefazione, che permetta la densificazione energetica e quindi temperature di reazione maggiori durante il processo che permettono la riduzione dei tar (Bioliq Pilot Plant at Karlsrhue, CEA / Air Liquide – SYNDIÈSE-BtS project, Bure-Saudron). L'aumento di temperature può essere ottenuto anche con tecnologie differenti come la gassificazione al plasma (British Airways, Greensky project) o attraverso la co-gassificazione di biomasse e feedstock di natura fossile (Uhde, BioTfueL);
- trattamento catalitico di tipo reforming o ossidazione parziale generalmente post gassificazione che converta gli idrocarburi in gas di sintesi, attualmente sviluppato in impianti pilota (Unique, ENEA, Chrisgas). Quest'opzione quando fa uso di processi catalitici permette di abbassare la temperatura di trasformazione e permette di ottenere rese superiori, tuttavia richiede lo sviluppo di sistemi di purificazione a caldo (filtri ad alta temperatura, Varnamo, Unique) e necessita, in particolare per le biomasse erbacee, lo sviluppo di processi catalitici resistenti allo zolfo;
- abbattimento dei tar, che contengono fino al 10% del contenuto energetico (Güssing Renewable Energy).

La produzione di gas di sintesi ottenuta in particolare nei primi due casi può essere trasformata in fuel attraverso il processo di Fischer Tropsch, che permette di ottenere diesel e jet fuel di elevata qualità, in alcuni casi è stata ipotizzata anche la produzione di DME come combustibile alternativo, alcoli o bio-metano (Bio-SNG) attraverso metanazione del CO.
La quasi totalità dei processi di gassificazione avviene in impianti che operano a pressione atmosferica mentre la conversione a fuel richiede pressioni elevate, pertanto nello sviluppo di processi ad alta efficienza sarà necessario colmare questa differenza sviluppando impianti di gassificazione a pressione maggiori (10-30 atm).
La gassificazione è considerata uno dei sistemi cardini per la produzione di biofuel di seconda generazione, in quanto permette di utilizzare residui forestali, agricoli e rifiuti urbani e industriali; tuttavia i processi che utilizzano ossigeno richiedono spesso economia di scala che porta ad impianti di grandi dimensioni (≥ 200 MW) con un problema di reperimento di risorse in molte zone europee. Per uno sviluppo sostenibile e per un utilizzo diffuso della tecnologia occorre sviluppare processi efficienti di media taglia (10-100 MW) sia per i processi di gassificazione che per il processo di trasformazione di Fischer Tropsch.
Gli assi di sviluppo delle tecnologie di gassificazione sono quindi:

- processi di densificazione energetica efficienti
- processi con upgrading catalitico per aumentare la resa in gas di sintesi
- processi di gassificazione ad alta pressione
- sviluppo di processi di gassificazione e produzione di fuel di media taglia.

Microalghe

La coltivazione delle microalghe in installazioni aperte (*open ponds*) o fotobiorettori è un'alternativa all'uso di feedstock tradizionali di origine agricola e forestale. I principali vantaggi consistono nella cattura diretta, per via fotosintetica, della CO_2 per esempio prodotta da impianti per la generazione di energia elettrica, che viene trasformata in prodotti a elevato contenuto energetico quali gli oli algali, chimicamente analoghi agli oli di origine vegetale. La produttività delle biomasse algali è proporzionale all'insolazione che incide sulla zona di coltivazione, di conseguenza, a livello europeo, l'area ottimale è localizzata attorno al bacino Mediterraneo. La produzione, in termini di olio per ettaro di coltivazione, può raggiungere valori oltre dieci volte superiori a quelli delle più efficienti colture oleaginose, quali la palma coltivata nelle aree equatoriali.
I vincoli che hanno fino ad ora impedito lo sviluppo su larga scala di queste coltivazioni sono essenzialmente legati agli elevati costi di investimento e di produzione. Considerando le elevate potenzialità, si tratta di un settore dove sarebbe necessario concentrare e promuovere un intensivo sforzo di ricerca per superare i limiti dell'attuale tecnologia.

4.3) TECNOLOGIE CATALITICHE PER LA PRODUZIONE DI BIOFUELS

DESCRIZIONE

Da un punto di vista generale, la tecnologia per la conversione catalitica di grassi e oli a combustibili per il trasporto deriva in larga misura dai processi utilizzati nell'industria della raffinazione.
Le risorse rinnovabili che possono essere utilizzate per la produzione di combustibili sono biomassa ligninocellulosica, grassi animali, oli vegetali, oli da alghe e ultimamente zuccheri e amidi. Le biomasse ligninocellulosiche e oli di origine algale hanno il pregio di non competere con la catena alimentare e per tale motivo il loro uso è incentivato attraverso un meccanismo in cui il contenuto energetico dei combustibili prodotti a partire da tali cariche viene conteggiato doppio.
Tra i diversi processi di conversione delle biomasse a combustibili finora proposti, la idro-conversione degli oli vegetali in presenza di metalli di transizione sulfidati è disponibile ormai da parecchi anni a livello commerciale e rappresenta una valida alternativa alla produzione di esteri metilici di acidi grassi (FAME). Gli oli/grassi di origine naturale sono cariche particolarmente adatte per la produzione di gasolio e/o kerosene a causa della struttura chimica degli acidi grassi che hanno una lunghezza di catena simile a quella degli idrocarburi del taglio gasolio. Sebbene la conversione degli oli via transesterificazione con metanolo sia al momento il processo più diffuso, gli esteri metilici così prodotti hanno delle caratteristiche che pongono delle limitazioni significative per il blending con gasoli di origine minerale. Un modo per ovviare a tali limitazioni consiste nell'idroconversione completa degli oli vegetali o grassi per produrre tagli gasolio e/o kerosene esenti completamente da composti ossigenati e con proprietà a freddo che possono essere opportunamente modulate a seconda delle necessità.
Nei processi di idroconversione la carica è convertita nei prodotti finali attraverso uno o due stadi catalitici in presenza di idrogeno su un opportuno catalizzatore per produrre una miscela di normal e isoparaffine con taglio di distillazione compatibile con il gasolio. Sebbene questo tipo di approccio richieda costi di investimento significativamente superiori a processi alternativi quali il co-feeding e la transesterificazione, esso consente una notevole flessibilità sulle cariche e il controllo delle proprietà del prodotto finale.

Processo Ecofining™

In figura 41 è schematizzato il processo Eni/UOP Ecofining™ di idroconversione degli oli vegetali a green diesel. La conversione dei trigliceridi avviene in due stadi; nel primo i trigliceridi sono convertiti, in presenza di idrogeno sotto pressione, ad una miscela di normal-paraffine più H_2O, CO_2 e propano. La distribuzione delle normal paraffine riflette in larga misura la distribuzione degli acidi grassi che costituiscono il trigliceride in carica. La differenza più significativa riguarda la presenza di *n*-paraffine con numero di atomi di carbonio dispari, che derivano dalla conversione

del trigliceride via decarbonilazione/decarbossilazione che portano alla formazione di *n*-paraffine con un atomo di carbonio in meno rispetto alla lunghezza di catena dell'acido grasso di partenza. La reazione è condotta a temperature superiori a 300°C in presenza di catalizzatori bimetallici di transizione sulfidati e depositati su allumina.

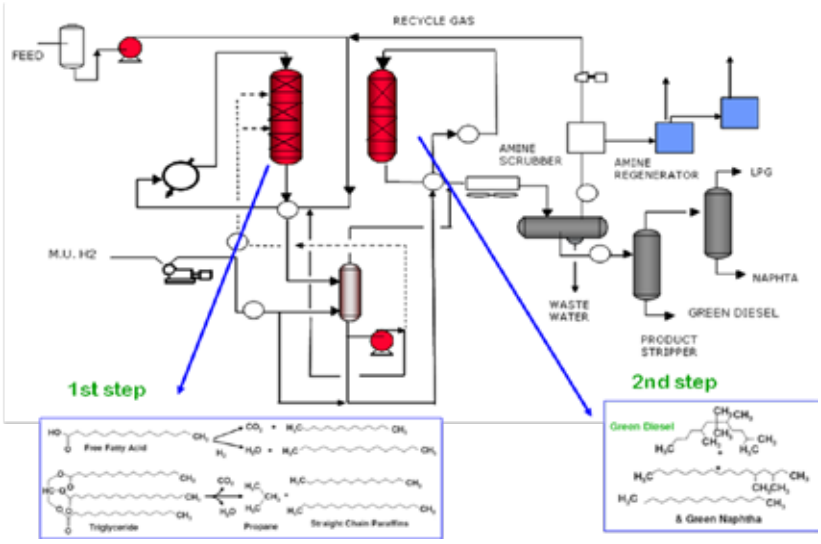


FIG. 41 – SCHEMA SEMPLIFICATO DEL PROCESSO ECOFININGTM

La tonalità termica della reazione è funzione della composizione della carica trattata è può variare, a seconda del contenuto di doppi legami, da 10 a 50 Kcal/kg, rispettivamente per l'olio di palma e di girasole. I prodotti in uscita dal primo reattore sono inviati ad un separatore per la rimozione di H_2O, CO_2 e idrocarburi a basso peso molecolare, costituiti quasi esclusivamente da propano. Successivamente la miscela è mescolata con idrogeno e inviata al reattore di isomerizzazione dove le *n*-paraffine sono convertite a isoparaffine. Nel caso della produzione di green diesel (GD) le condizioni operative del secondo stadio sono opportunamente scelte per massimizzare la resa e nel contempo ottenere un prodotto con le proprietà a freddo richieste. La reazione di isomerizzazione non implica un consumo di idrogeno. Nel secondo stadio il consumo di idrogeno è molto basso ed è associato esclusivamente al cracking, che in misura diversa, a seconda delle caratteristiche del catalizzatore e delle condizioni operative, è sempre presente nelle reazioni di isomerizzazione. I prodotti in uscita dal secondo reattore sono inviati ad un separatore dove l'idrogeno e gli idrocarburi a basso peso molecolare sono separati dal resto della miscela. Dopo purificazione l'idrogeno è inviato ai reattori, mentre la frazione liquida è inviata alla sezione di frazionamento.

Caratteristiche del prodotto e specifiche del combustibile

Dal punto di vista della qualità dei prodotti la conversione degli oli vegetali tramite un processo

di hydrotreating offre diversi vantaggi, rispetto al processo di transesterificazione, elencati nella seguente tabella:

FIG. 42 – CARATTERISTICHE DI GASOLIO CONVENZIONALE, BIODIESEL E GREEN DIESEL

	ULTRA LOW SULPHUR DIESEL	BIODIESEL FAME	GREEN DIESEL™ ECOFINING
Contenuto Bio %	0	100	100
Contenuto di ossigeno %	0	11	0
Peso specifico kg/l	0.84	0.88	0.78
Contenuto di zolfo, ppm	<10	<1	<1
Potere calorifico MJ/kg	43	38	44
Cloud Point, °C	-5	-5 to +15	-20 to +10
Intervallo Peb, °C	200 to 350	340 to 355	200 to 320
Poliaromatici, %w	11	0	0
Emissione NOx	Baseline	+ 10%	-10%
Numero di Cetano	51	50-65	70-90
Stabilità all'ossidazione	Baseline	Scarsa	Eccellente

- il GD presenta un numero di cetano elevato, di gran lunga superiore alle specifiche attuali. Nel blending con gasoli di origine convenzionale la componente Green Diesel può fungere da booster cetanico;
- il potere calorifico del GD è maggiore del 15% rispetto a quello del FAME. Poiché il calcolo della quantità di combustibili da fonti rinnovabili è eseguito su base energetica, la quantità di GD necessaria è inferiore rispetto al FAME;
- poiché il GD è composto esclusivamente da una miscela di normal e isoparaffine, il suo impiego porta ad una riduzione delle emissioni di NOx e PAH (PolyAromatic Hydrocarbons);
- le proprietà a freddo del FAME dipendono esclusivamente dalla carica di partenza. Nel caso del GD è possibile, modificando opportunamente le condizioni di reazione, variare le proprietà a freddo in un ampio intervallo;
- la presenza di doppi legami nel FAME rende il prodotto suscettibile all'ossidazione. Diversamente il GD essendo composto da strutture sature presenta una eccellente stabilità verso l'ossidazione.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le tematiche di tipo ambientale sono state nel corso degli ultimi due decenni un incentivo significativo per il miglioramento dei processi di raffinazione e per lo sviluppo di nuovi processi per la produzione di combustibili caratterizzati da un minore impatto ambientale e rispondenti nel contempo a criteri di sostenibilità. In tale ambito la conversione della biomassa in biocombustibili è una delle sfide più importanti. Il settore dei trasporti contribuisce in misura maggioritaria all'aumento delle emissioni di CO_2, quindi è fondamentale sviluppare processi che riducano sia il consumo di combustibili fossili sia l'emissione di gas ad effetto serra (GHG), quali la CO_2. Nel corso dell'ultimo decennio la UE ha emesso una serie di direttive per l'impiego di combustibili da fonti rinnovabili. Le direttive europee RED (Renewable Energy Directive 2009/28/EC) e FQD (Fuel

Quality Directive 2009/30/EC) stabiliscono le linee guida per incentivare e regolamentare la produzione di energia a partire da fonti rinnovabili, e introdurre un meccanismo di controllo e riduzione delle emissioni di gas serra dovute ai combustibili per trasporti.
La normativa prevedeva per il 2010 che il 5,75% su base energetica dei combustibili da autotrazione doveva provenire da fonti rinnovabili; la percentuale salirà al 10% per il 2020. Per quanto riguarda invece la riduzione di emissioni di CO_2 dalla produzione di biocarburanti, le fasi previste dalla normativa sono: -35% al 2010[26], -50% al 2017 e -60% a partire dal il 2018.
L'adozione di norme progressivamente più restrittive e di meccanismi compensativi tendono a incoraggiare una transizione verso l'impiego di cariche di seconda generazione che non siano in competizione con la produzione destinata all' alimentazione umana e che evitino effetti indesiderati quali la deforestazione.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Il primo esempio di processo industriale in questo campo si deve alla Neste Oil con il processo NExBTL[27] (la sigla BTL, Biomass to Liquid, indica processi in cui si trasforma la biomassa in combustibile liquido). Dal 2007 è in funzione a Porvoo (Finlandia) un impianto con capacità di 190 kt/a, seguito nel 2009 da una seconda unità della stessa capacità, sempre nello stesso sito. Nel 2010 è entrato in produzione a Singapore un impianto basato sulla tecnologia NExBTL con capacità di 800 kt/a; un altro impianto della stessa capacità è entrato in funzione nel 2011 a Rotterdam (Olanda). Il processo NExBTL produce GD da oli vegetali e grassi animali che consentono, secondo Neste Oil, una riduzione delle emissioni di CO_2 del 40-80% a seconda della carica utilizzata.
UOP Honeywell ed Eni hanno sviluppato il processo Ecofining™ [28] per la conversione di oli e grassi animali a biocombustibili quali gasolio e/o kerosene. Il processo Eni/UOP Ecofining™ si basa su un primo stadio di idrotrattamento dei trigliceridi che porta alla completa rimozione delle funzionalità ossigenate[29], seguito da un secondo stadio di idroisomerizzazione per migliorare le proprietà a freddo del gasolio. Utilizzando questo processo, dal 2013 è in funzione a Norco (USA), presso la raffineria St Charles della Valero, un impianto con capacità di 300 kt/a per la produzione di GD[30]; è previsto l'impiego di cariche di seconda generazione quali grassi animali e oli di scarto non destinati alla alimentazione umana. Dal 2014 è funzionante presso la raffineria di Venezia un impianto di conversione di oli vegetali a GD tramite il processo Ecofining™ con capacità di 300 kt/a. L'impianto, che utilizza come carica oli vegetali, è stato realizzato riconver-

26 Tale riduzione di CO_2 si riferisce alla Certificazione della Sostenibilità rilasciata secondo un sistema riconosciuto, in accompagnamento ad ogni partita di biocarburanti. Ad esempio, la riduzione di almeno il 35% al 2010 si riferisce ad una "carbon intensity" (carbonio emesso per unità di energia consumata) di 54.47 contro gli 83.8 gCO_2eq/MJ dei combustibili fossili per autotrazione.
27 http://www.nesteoil.com/default.asp?path=1,41,535,547,20759
28 http://www.uop.com/processing-solutions/biofuels/green-diesel/
29 T.N. Kalnes, M.M. McCall, D.R. Shonnard Renewable Diesel and Jet-Fuel Production from Fats and Oils, pag. 468, in: Thermochemical Conversion of Biomass to Liquid Fuels and Chemicals, Editor M. Crocker, RCS Publishing 2010.
30 http://online.wsj.com/article/HUG1712240.djm.html ; http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2013/07/01/largest-green-diesel-plant-completed-in-us-diamond-green-diesel-can-it-make-money/

tendo due unità esistenti di HDS presso la raffineria[31]. UOP ha inoltre stretto una serie di accordi di collaborazione in Cina, India ed Emirati Arabi per lo sviluppo di progetti che utilizzeranno il processo Ecofining™ e Honeywell green jet fuel™ [32].

Haldor Topsøe a partire dal 2004 ha sviluppato una tecnologia denominata HydroFlex per la produzione di biocombustibili a partire da diverse cariche quali *tall*[33]*oil*, grassi naturali, oli vegetali, oli di pirolisi. Tratto distintivo della tecnologia sembra essere la flessibilità verso il tipo di carica utilizzabile[34]. HT ha annunciato recentemente lo sviluppo di una nuova tecnologia di hydrotreating per la produzione di GD e green kerosene da *tall oil*.

In ultimo segnaliamo che anche IFPEN ha sviluppato il processo Vegan™ per la idroconversione degli oli vegetali/grassi animali, che utilizza uno schema simile alle tecnologie Neste e Eni/UOP.

31 A. Amoroso, G. Rispoli, C. Prati Hydrocarbon Processing 92, 2013, 95

32 http://www.uop.com/processing-solutions/biofuels/green-jet-fuel/

33 Liquido viscoso di colore variabile dal giallo al bruno-nero ottenuto come sottoprodotto del processo Kraft di lavorazione della polpa del legno delle conifere.

34 http://www.topsoe.com/business_areas/refining/Renewable_fuels.aspx

4.4) WASTE-TO-FUEL

DESCRIZIONE

I rifiuti rappresentano un'enorme opportunità di crescita sostenibile in termini di riduzione del consumo di risorse naturali e di sviluppo ed implementazione di tecnologie per il riciclo di materia e il recupero di energia. In particolare, la valorizzazione della frazione organica dei rifiuti solidi urbani è una delle nuove frontiere della ricerca nel settore dei biocarburanti: queste tecnologie si definiscono Waste-to-Fuel (Fig. 43).

La produzione di rifiuti solidi urbani a livello di Unione Europea è stata nel 2011 pari a 252 milioni di tonnellate, di cui circa il 37% (valore medio UE27) smaltiti in discarica. Nei paesi più virtuosi, come la Germania, l'uso della discarica è limitato a meno del 5%, mentre Bulgaria e Romania raggiungono quote superiori al 90%. L'Italia si pone nella media, con un conferimento in discarica stimato attorno al 40%[35]. Grazie alla raccolta differenziata sono attualmente disponibili in Italia circa 14 milioni di tonnellate di rifiuti organici suddivisi fra Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani (FORSU), scarti di potatura urbani, residui dell'industria agroalimentare e fanghi da impianti di depurazione acque civili. Questa materia prima, assimilabile in composizione a una biomassa, può essere potenzialmente utilizzata per usi energetici.

La conversione della biomassa in biocombustibili di seconda generazione può seguire due strade principali:

- termochimica – liquefazione e pirolisi che portano alla formazione di un bio-olio (da sottoporre eventualmente a upgrading); gassificazione a syngas destinato a trattamenti diversi in funzione del prodotto finale (idrogeno, metanolo, etanolo, bio-diesel, jet-fuel, benzina);
- biochimica – digestione anaerobica per la produzione di biogas, compostaggio e trasformazione enzimatica della cellulosa e dell'emicellulosa in zuccheri semplici seguita da fermentazione per ottenere bioetanolo.

Tecnologie termochimiche

La **pirolisi** è una trasformazione condotta a temperature medio alte (500°C) e pressione atmosferica, con tempi di reazione molto brevi (1 secondo). La biomassa viene trasformata in vapore, quindi rapidamente condensata a formare un bio-olio con composizione simile a quello della biomassa di partenza. L'elevato contenuto di eteroatomi (ossigeno e azoto, nel caso dei rifiuti organici) nel bio-olio da pirolisi rende necessario uno stadio di idrogenazione per stabilizzare il prodotto. Nel caso particolare della valorizzazione dei rifiuti, la pirolisi è adatta per il trattamento di feedstock ricchi in materiali plastiche.

35 Rapporto Rifiuti Urbani – ISPRA, Edizione 2013

La tecnologia di **liquefazione** prevede trattamenti a basse temperature (250–350°C) e alta pressione (50–200 atm), effettuati direttamente sulla biomassa umida (con un contenuto medio di acqua pari a 70-80%, tipico della frazione organica dei rifiuti urbani). Anche in questo caso si ottiene un bio-olio, oltre a una fase acquosa e una fase gassosa che permettono una parziale rimozione dell'ossigeno in forma di acqua e anidride carbonica. L'olio da liquefazione ha maggior potere calorifico, minor contenuto di ossigeno e miglior stabilità rispetto all'olio da pirolisi. Anch'esso necessita di uno stadio di *upgrading* per raggiungere le specifiche richieste per l'utilizzo nei motori convenzionali.

La **gassificazione** è un processo termochimico che consiste nella combustione parziale della biomassa ad elevate temperature (800-1200°C) in presenza di aria e vapore. Il prodotto è un gas di sintesi composto da idrogeno e ossido di carbonio in rapporto molare compreso fra 1/1 e 2/1 a seconda della tecnologia utilizzata. Recentemente sono stati sviluppati processi di gassificazione al plasma, condotti a temperature superiori a 3000°C, in grado di trasformare anche rifiuti non differenziati contenenti materie plastiche, gomme, metalli e vetro. Il prodotto è anche in questo caso un gas di sintesi mentre la frazione inorganica viene inertizzata per vetrificazione. Tra i vantaggi della gassificazione vi sono la grande flessibilità al *feedstock* e la produzione di biocombustibili privi di zolfo e di composti aromatici. Il gas di sintesi, dopo purificazione, può essere convertito in un combustibile liquido attraverso un processo di sintesi Fischer-Tropsch (mirato principalmente alla produzione di diesel o jet fuel) o in alternativa trasformato in etanolo per via fermentativa.

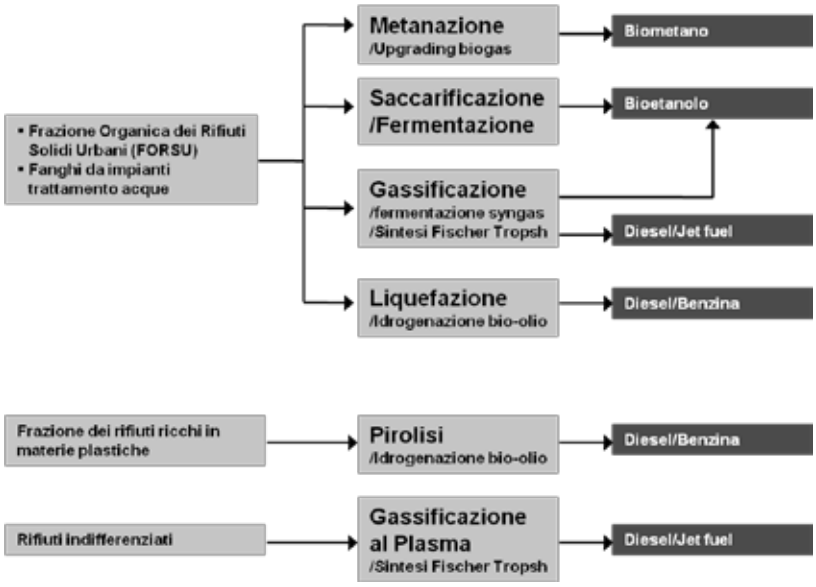


FIG. 43 – SCHEMA DELLE TECNOLOGIE WASTE-TO-FUEL

Tecnologie biochimiche

La **fermentazione** è un processo consolidato adatto a frazioni di rifiuti ricchi in polisaccaridi, per esempio gli scarti dell'industria agroalimentare. Necessita di uno stadio preliminare di saccarificazione in cui la componente polisaccaridica viene trasformata in zuccheri semplici, che sono quindi trasformati in bioetanolo utilizzando tecnologie di fermentazione tradizionali.
La **digestione anaerobica** è una tecnologia ormai matura e ad ampia diffusione sul territorio, con un elevato livello di affidabilità. Il *biofuel* prodotto è il biogas (composto prevalentemente da metano e anidride carbonica in rapporto di circa 1/1) che può essere utilizzato per la generazione di energia elettrica e calore. In alternativa il biogas può essere purificato rimuovendo la CO_2 mediante metodi fisici o assorbimento con ammine, ottenendo un biometano adatto all'immissione in rete per usi domestici o per autotrazione.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

I processi Waste-to-Fuel puntano a raggiungere in modo sinergico i seguenti obiettivi:

- individuare nuove opzioni per lo smaltimento della frazione organica dei rifiuti differenziati, alternative al conferimento in discarica;
- ridurre l'impatto ambientale del ciclo dei rifiuti, considerando anche la qualità delle acque e l'emissione dei gas serra;
- individuare tecnologie competitive dal punto di vista economico in termini di costi operativi e di investimento;
- produrre energia rinnovabile o in alternativa prodotti valorizzabili sul mercato;
- definire un piano integrato a lungo termine per la gestione dei rifiuti;
- trasformare un problema ambientale ed economico in opportunità di sviluppo per il territorio.

L'evoluzione del quadro normativo è il *driver* principale di sviluppo per i processi Waste-to-Fuel: la diffusione di tali tecnologie, infatti, è sostenuta sia dai nuovi *target* sui biocarburanti che, in ottica di sostenibilità globale, tendono a favorire quelli di seconda generazione, sia dai *trend* gestionali e legislativi in materia di valorizzazione rifiuti. In particolare, l'Unione Europea con la direttiva 2008/98/EC ha stabilito che gli Stati Membri devono adottare misure per il trattamento dei loro rifiuti conformemente alla seguente gerarchia, che si applica per ordine di priorità:

- prevenzione;
- preparazione per il riutilizzo;
- riciclaggio;
- recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
- smaltimento.

A livello italiano questa direttiva è stata recepita nel decreto legislativo n° 205 del 3/12/2010, dove tra l'altro si confermano gli obiettivi nazionali per la raccolta differenziata (fissati dal Dlgs 152/2006) che traguardavano un'efficienza del 65% nel 2012. Questi obiettivi non sono stati raggiunti nei tempi previsti e sono stati posticipati al 2016 da un Ddl collegato alla legge di stabilita del 2014.

Un ulteriore stimolo ai processi Waste-to-Fuel viene dal decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 5/12/2013, che introduce incentivi per immettere in rete o usare come carburante per autotrazione il metano ottenuto raffinando il biogas prodotto dalla digestione anaerobica di sottoprodotti e rifiuti di origine biologica.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Queste tecnologie si rivolgono principalmente ad aziende di *waste management*, produttori di rifiuti di piccole, medie e grandi dimensioni, enti pubblici/municipalità, aziende *utility* e multi-*utility*, operatori nel settore della raffinazione petrolifera e della chimica verde.

Il processo al momento più diffuso è la digestione anaerobica per la produzione di biogas, che a livello europeo può contare su oltre 14.500 impianti, con una capacità installata pari a 7857 MW_{el} [36]. I maggiori produttori di biogas sono Germania (9035 impianti) e Italia (1391 impianti).

Ancora meno numerosi, ma in trend di crescita, sono gli impianti a biometano, che nel 2013 hanno raggiunto 282 realizzazioni, con una capacità globale di 1.303 miliardi di m^3/a di metano rinnovabile. Questi impianti sono prevalentemente localizzati in Germania (154), Svezia (54) e Olanda (23). In Italia il primo impianto per produzione e la distribuzione di biometano per autotrazione è stato realizzato presso la discarica di rifiuti di Malagrotta a Roma.

I processi tecnologicamente più avanzati, che permettono la trasformazione dei rifiuti in vettori energetici liquidi, si trovano ancora in una fase di sviluppo preindustriale.

A livello europeo, in Gran Bretagna il progetto *GreenSky London* ha programmato la realizzazione entro il 2017 di un impianto in grado di trattare 575.000 t/a di rifiuti, anche indifferenziati, raccolti nel bacino della città di Londra, trasformandoli in 120.000 t/a di biocarburanti tipo jet-fuel, nafta e diesel. Il processo prevede un primo stadio di gassificazione al plasma (con tecnologia Solena), seguito da uno stadio di sintesi di Fischer Tropsch (con tecnologia Velocys). Partner del progetto sono British Airways, Sasol, Haldor Topsoe, Velocys e UOP Honeywell.

In Spagna Abengoa ha avviato nel 2013 presso Salamanca un impianto in grado di trattare 25.000 t/a di frazione organica di rifiuti solidi urbani producendo 1.5 milioni di litri di bioetanolo, utilizzando una tecnologia proprietaria di saccarificazione e fermentazione.

Il processo per il trattamento termico dei rifiuti organici e dei fanghi da impianti di depurazione acque (HTU – *Hydro Thermal Upgrading*), sviluppato da un cluster di aziende e università europee, fra cui Shell e Total, ha raggiunto la fase pilota ma non è stato al momento dimostrato su scala commerciale. Eni ha sviluppato un processo di liquefazione dei rifiuti organici per produrre un bio-olio con potere calorifico simile a quello di un olio combustibile fossile, che può essere impiegato per la generazione di calore, energia elettrica o può essere trasformato in biocarburante utilizzando i tradizionali processi di raffinazione. Questa tecnologia è stata fino ad ora sviluppata a livello pilota ed è prossima alla fase dimostrativa.

Al momento non è possibile identificare un processo che risulti chiaramente vincente né sotto il profilo tecnico né economico, dato che le tecnologie non sono ancora sul mercato.

36 European Biogas Association – EBA

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 5

TECNOLOGIE PER LA VALORIZZAZIONE DELL'ENERGIA SOLARE

5.1) FOTOVOLTAICO AVANZATO

DESCRIZIONE

Le celle fotovoltaiche trasformano l'energia solare direttamente in energia elettrica. È usuale distinguere tre diverse generazioni tecnologiche, in funzione di livelli di sviluppo assai diversi.

Prima generazione

Nella sua forma più diffusa la tecnologia fotovoltaica impiega come materiale di base il silicio mono o policristallino per la produzione di celle che, collegate elettricamente tra loro, vengono assemblate in moduli rettangolari, tipicamente di circa 1,5 m^2 di superficie. I moduli, capaci ciascuno di produrre potenze massime intorno ai 200-250 W, generalmente sono montati sui tetti di abitazioni e capannoni nel caso di impianti di piccola potenzialità o direttamente a terra per quelli di maggior capacità. Il record di efficienza per celle di questo genere è del 25% con silicio monocristallino e 20,4% con silicio policristallino. Negli ultimi 10 anni, l'efficienza media dei moduli basati su celle di questo tipo è cresciuta circa di 0,3% all'anno, raggiungendo il 16% nel 2013, mentre in laboratorio i migliori moduli con celle monocristalline mostrano efficienze che raggiungono il 23%[37].

Questa tecnologia, già ad uno stadio assai maturo di sviluppo, fornisce circa il 90% del mercato fotovoltaico mondiale. Gli sviluppi in corso sono per lo più di tipo incrementale, concentrati sull'ottimizzazione dei processi di fabbricazione e sulla riduzione dei costi. Il miglioramento delle procedure di manifattura delle celle ha come obiettivo principale l'aumento della loro efficienza, cercando di avvicinarsi quanto più possibile a quello che è considerato il limite fisico per l'efficienza del silicio, vale a dire circa il 30%. Il contenimento dei costi richiede invece una continua revisione dei processi di ottenimento dei lingotti di silicio, contenendo i consumi energetici e incrementando le rese qualitative, un'ulteriore riduzione degli spessori dei wafer di silicio e del consumo di argento utilizzato per i contatti ed una forte automazione dei processi produttivi di drogaggio delle celle e di assemblaggio delle celle in moduli. In questo ambito il prepotente ingresso della Cina, fornitrice di silicio a bassissimi prezzi, sta condizionando pesantemente il mercato. Sono comunque da menzionare attività sulle quali la ricerca può ancora fare buoni progressi con risultati potenziali interessanti, principalmente indirizzate sulla riduzione dell'ombreggiamento da parte dei collegamenti elettrici (contatti sepolti) e delle perdite elettriche e sulla massimizzazione dell'assorbi-

37 Fraunhofer Institute Photovoltaics Report 2014

mento della radiazione incidente (impiego di strutture diffrattive e di film antiriflettenti). Da notare infine l'impegno nello sviluppo di strutture a eterogiunzione, che accoppiando silicio cristallino e amorfo hanno raggiunto un'efficienza record di cella del 25,6%.
Le celle a base di silicio sono caratterizzate da spessori poco superiori al decimo di millimetro; pertanto presentano una discreta robustezza meccanica ma allo stesso tempo non sono utilizzabili su superfici curve. Inoltre, il grado di purezza richiesto al silicio per la preparazione delle celle solari è tale da mantenere il costo di produzione dell'energia elettrica da fotovoltaico a livelli ancora superiori alla generazione termoelettrica convenzionale (6-12 c€/kWh[38]). Un grande pregio della tecnologia fotovoltaica tradizionale è infine la lunga durata dei pannelli, che supera i 25 anni.

Seconda generazione

La tecnologia fotovoltaica dei moduli a film sottile, detta di seconda generazione, si propone di abbassare i costi rispetto alla tecnologia di prima generazione, sostituendo il silicio cristallino con altri materiali semiconduttori che permettano di ridurre sostanzialmente lo spessore dello strato attivo e quindi l'impiego e il costo del materiale per unità di energia prodotta, da cui dipende la maggior quota di costo nel fotovoltaico di prima generazione. La possibilità di produrre celle molto sottili, tra l'altro, permette loro un certo grado di flessibilità e ne facilita l'integrazione architettonica o su dispositivi portatili.
Questo approccio si scontra però in generale con prestazioni inferiori, anche se in condizioni particolari (prevalenza di radiazione diffusa) può essere vero il contrario. In alternativa al silicio mono o policristallino, nei dispositivi a film sottile, caratterizzati da spessori circa 10-100 volte inferiori a quelli convenzionali, si ricorre in particolare a:

- silicio amorfo (a-Si), con efficienze medie dei moduli intorno al 6-8% (record per celle in laboratorio 13,4%), ridotta durata e accentuata velocità di degradazione delle celle; ad oggi, i risparmi in termini di costo non risultano tuttavia sufficienti a compensare le minori prestazioni e sono quindi allo studio – e in alcuni casi già commercializzati in alcune applicazioni di nicchia, quali quelle aerospaziali – celle multigiunzione e combinazioni con silicio microcristallino allo scopo di aumentare sensibilmente l'efficienza di conversione e la vita utile dei dispositivi;
- tellururo di cadmio (CdTe), tecnologia promettente, con rendimenti relativamente elevati (13% su moduli; 20,4% il record di cella), bassi costi di produzione; risulta problematica a livello ecologico per la natura tossica del cadmio e per le risorse terrestri di tellurio che alle attuali efficienze non sarebbero in grado di assicurare materiale sufficiente ad una produzione di massa di questo tipo di celle (i costruttori attivi sono infatti fortemente impegnati nel riciclo delle celle alla fine della loro vita utile);
- celle CIS e CIGS (Copper Indium Selenide e Copper Indium Gallium Selenide) hanno efficienze di modulo del 12-14% e costi di produzione interessanti; presentano ancora margini di miglioramento.

38 Fraunhofer Institute, Levelized Cost of Electricity – Renewable Energy Technologies, 2013

Confrontando gli attuali trend, è interessante notare come la tecnologia CdTe abbia subito un notevole impulso negli ultimi dieci anni, ottenendo lo stesso aumento di efficienza in termini assoluti, a livello di modulo, delle tecnologie di prima generazione. In questo ambito come in quello CIS/CIGS, i principali player sono americani (First Solar su tutti), con una marginale attività da parte dell'industria italiana. Più interessante risulta invece il coinvolgimento italiano nell'ambito della tecnologia a-Si: in particolare, nel 2010 è stato avviato un importante progetto internazionale denominato 3Sun che vede la partecipazione sia di Enel Green Power sia di STMicroelectronics.
Nel complesso la quota di mercato delle celle di seconda generazione è in discesa e non supera il 10% del totale fotovoltaico (nel 2009 era il 15%). Tra le motivazioni alla base di questa tendenza c'è la forte riduzione di costo delle celle di prima generazione a fronte di prestazioni superiori e comunque in miglioramento, con una produzione rapidamente aumentata negli ultimi anni.

Terza generazione

I sistemi fotovoltaici di terza generazione sono dispositivi radicalmente diversi dai precedenti, sviluppati con l'obiettivo non solo di ridurre i costi dell'energia generata, ma anche di ampliare lo spettro dei possibili ambiti applicativi. I filoni della ricerca tecnologica in tale ambito includono nuovi materiali attivi, nuove strutture, nuove architetture di sistema, senza prescindere dai nuovi processi produttivi con i quali estendere su larga scala i ritrovati di laboratorio. Per nuove strutture si intendono modalità innovative e peculiari di assemblare la materia (ad esempio il film sottile nanometrico, il multistrato, i *quantum dots*, la matrice nano-porosa, la nanostrutturazione dell'interfaccia o degli strati attivi, etc.), con le quali è possibile preparare gli strati attivi o parti funzionali dei nuovi dispositivi di terza generazione. Per nuove architetture di sistema si intende l'introduzione in ambito fotovoltaico di concetti e soluzioni mutuate da differenti contesti tecnologici: accoppiamento tra materiali organici e inorganici, materiali polimerici, etc. Riassumendo, si possono includere nella terza generazione le seguenti tecnologie: celle a *quantum dots*, celle organiche (*Organic Photovoltaic*-OPV), celle ibride organiche-inorganiche (*Dye Sensitized Solar Cells*-DSSC, celle a base di perovskite) e celle solari ad alta efficienza (come multigiunzione GaAs, eventualmente completate da sistemi per la concentrazione della radiazione solare).

Il grado di maturità della terza generazione è oggi di gran lunga inferiore rispetto a quello del fotovoltaico tradizionale, ma con prospettive molto interessanti nel medio e lungo termine. Tra tutte le tecnologie elencate, l'OPV appare assai promettente, avendo un concreto potenziale per sviluppare celle a bassissimo costo tramite processi produttivi estremamente efficienti, quali quelli denominati *roll-to-roll* (R2R), simili allo stampaggio su carta tramite rotative. A tutt'oggi sono già stati raggiunti record di efficienza per celle di laboratorio superiori all'11%, mentre su celle stampate mediante processi R2R si è ancora al di sotto del 6%. Va peraltro ricordato che per questa tecnologia il driver più forte, più ancora che il rendimento, è il bassissimo costo potenziale delle celle. Il principio di funzionamento delle celle organiche è sostanzialmente l'opposto di quello utilizzato dagli ormai ben *noti Organic Light Emitting Diodes* (OLED) e può essere schematicamente riassunto nei seguenti passaggi:

- l'assorbimento di un fotone porta alla formazione di uno stato elettronico eccitato, detto eccitone, in cui elettrone e lacuna sono ancora legati;

- in seguito, si ha la diffusione di questo stato legato-eccitato in un'opportuna regione, dove può avvenire la separazione delle due cariche;
- infine si ha il trasporto delle cariche nel semiconduttore organico fino ai rispettivi elettrodi, da dove possono interagire con il circuito esterno.

A causa del grande gap energetico tra le bande del materiale organico solo una parte della radiazione incidente solare può essere assorbita (ff30-40%) attivando la struttura. Molti degli eccitoni prodotti invece decadono e non portano alla generazione di portatori di carica liberi.
Nei polimeri, per una migliore separazione della carica dovuta agli eccitoni sono necessari forti campi elettrici locali che si possono produrre nelle prossimità di un'interfaccia tra polimeri diversi, dove si verificano brusche variazioni di potenziale elettrico. Gli eccitoni devono avere, inoltre, una vita media (o lunghezza di diffusione) sufficientemente lunga per poter raggiungere tali interfacce: in caso contrario, gli eccitoni decadono attraverso processi radiativi–termici, perdendo l'energia luminosa raccolta. Le lunghezze di diffusione sono dell'ordine di ca. 10-30 nm.
A tutto questo si aggiunge poi che le cariche libere create devono essere raccolte velocemente ed efficientemente dagli elettrodi al fine di evitare che esse possano ricombinarsi tra loro durante il cammino.
Lo sviluppo dei materiali organici può sfruttare la significativa esperienza già maturata negli ambiti OLED; inoltre la flessibilità nella sintesi di nuovi polimeri promette la possibilità di sviluppare molecole con caratteristiche ottimizzate per ottenere i migliori rendimenti o prestazioni particolari (ad esempio selettività nell'assorbimento, con possibilità di realizzare celle sensibili a IR e UV lasciando passare le radiazioni nel visibile). Un'altra caratteristica peculiare dell'OPV è la possibilità di fabbricare celle su substrati flessibili, creando quindi componenti in grado di conformarsi alle superfici sulle quali vengono applicati.
Come accade in tutte le applicazioni di elettronica su plastica, un punto chiave riguarda l'incapsulamento dei dispositivi, che deve prevenire la alterazione degli elementi attivi e dei catodi da parte di umidità e ossigeno atmosferico. La definizione di un processo di incapsulamento affidabile risulta quindi abilitante per la tecnologia consentendo un forte rallentamento del degrado nel tempo delle celle organiche.

Una nuova classe di celle messe a punto in tempi recentissimi si basa sull'impiego di particolari composti inorganici, le perovskiti, in unione con composti organici. I valori di efficienza ottenuti in laboratorio da questi dispositivi hanno visto incrementi rapidissimi, raggiungendo oggi quasi il 18%. Anche se rimangono aperti una serie di problemi, come la presenza di piombo nella struttura inorganica (anche se sono in corso studi per sostituirlo), la capacità di mantenere le prestazioni nel tempo e la possibilità di utilizzare tecnologie produttive a basso costo come per le celle OPV, è indubbio che questo tipo di dispositivi costituiscano oggi un tema di estremo interesse, tanto che sempre più numerosi sono i laboratori che vi si dedicano.
In Italia esistono da tempo numerosi centri di competenza che riguardano sia il dominio generale dell'elettronica organica sia le tecnologie di incapsulamento dei dispositivi; più di recente, alcuni gruppi di ricerca si sono attivati anche sul tema delle perovskiti.

Un'altra tecnologia che ha subito ultimamente una rapida evoluzione, in particolare dal 2007 a oggi, è quella basata su sistemi a concentrazione (CPV- *Concentrating PhotoVoltaic*). Il principio di funzionamento consiste nel concentrare la luce captata per mezzo di strumenti ottici (es. lenti o specchi) su un'area di dimensioni molto ridotte dove sono posizionate piccole celle solari particolarmente sofisticate e costose, contenendone in tal modo l'impatto economico sul sistema. Il più interessante beneficio di questa tecnologia consiste infatti nella possibilità di utilizzare celle multigiunzione (dove ciascuna giunzione copre una differente lunghezza d'onda dello spettro solare), capaci di ottenere efficienze di oltre il 40%. Va tenuto presente che la concentrazione implica l'impiego di un inseguitore solare, che a fronte di un costo aggiuntivo permette una maggiore esposizione delle celle alla luce.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le celle di prima generazione costituiscono una tecnologia piuttosto consolidata. Nonostante ciò, si ricercano miglioramenti incrementali finalizzati alla riduzione dei costi di produzione. In primo luogo l'attenzione è rivolta alla fase di manifattura dei wafer, sia attraverso approcci innovativi di produzione dei lingotti che consentano di ottenere silicio di migliore qualità e a minor costo, sia ottimizzando il processo di taglio delle fette di silicio, con l'obiettivo di ridurre il consumo di silicio puro dagli attuali 5 g/W a 3 g/W, risultato che da solo porterebbe a una riduzione di oltre il 30% del costo delle celle, dato il peso preponderante che in quello detiene il materiale rispetto alle restanti componenti.

Alcuni osservatori sostengono che il settore della seconda generazione continuerà a perdere terreno nei confronti della più efficiente e diffusa tecnologia tradizionale al silicio. Stime in merito allo sviluppo futuro di questo settore sono discordanti. Di sicuro il suo destino è molto legato al successo della multinazionale First Solar e alla sua produzione di moduli in CdTe. Per raggiungere una competitività di interesse rispetto alla prima generazione, questa filiera deve agire principalmente su costi e efficienza. Proprio First Solar ha recentemente rivisto al rialzo i propri obiettivi di efficienza, 25% per le celle di laboratorio e 19% per i moduli in tre anni, rivendicando inoltre il contenimento della riduzione di prestazioni nel tempo allo 0,5% all'anno in ogni condizione climatica.

Come già accennato, il bisogno di sviluppare sorgenti di energia rinnovabili sempre più economiche, affidabili ed integrabili ha stimolato la ricerca scientifica nella realizzazione di elementi fotovoltaici per la conversione dell'energia solare in energia elettrica a basso costo, innovativi rispetto a quelli tradizionalmente usati e basati sul silicio. L'ambito nel quale potrebbe essere più interessante concentrare gli sforzi di sviluppo potrebbe quindi essere quello del fotovoltaico di terza generazione. Le motivazioni sono molteplici:

- lo stato ancora embrionale della tecnologia lascia spazio all'avvento di nuovo attori; eventuali ritardi del sistema industriale italiano rispetto allo stato dell'arte potrebbero essere recuperati molto più facilmente che nel caso di tecnologie che si trovano a stadi di sviluppo più avanzati;
- il bilanciamento performance/costo atteso per le celle di nuova generazione dovrebbe portare in prospettiva a soluzioni più vantaggiose rispetto alle tecnologie fotovoltaiche di generazione precedente;

- sia i processi produttivi sia i materiali utilizzati dovrebbero permettere alle celle delle nuove filiere di avere tali doti di leggerezza, flessibilità ed adattabilità a superfici anche non piane, da raggiungere ambiti applicativi non adatti per le celle convenzionali, legati ad esempio all'architettura e al design, contribuendo così a mantenere la posizione di eccellenza di cui l'Italia già gode.

Va rilevato tuttavia che, se si eccettua il caso recente delle celle a base di perovskiti, su cui peraltro sarà necessario ancora molto lavoro di sviluppo prima di ottenerne l'industrializzazione, le prestazioni di queste nuove celle sono molto inferiori a quelle delle celle convenzionali ed è ancora aperto il problema del raggiungimento di una vita utile sufficiente per la loro commercializzazione.
È opinione comune che sussistano comunque ampi margini per migliorare le caratteristiche di questi dispositivi, giustificando i cospicui investimenti in ricerca industriale. In particolare, gli aspetti scientifico-tecnologici maggiormente oggi investigati sono:

- nuovi materiali fotoattivi (incremento delle proprietà di trasferimento di carica, di assorbimento della luce e/o di trasporto elettronico attraverso polimeri e/o molecole di nuova concezione, e/o ottimizzazioni strutturali mirate di materiali già esistenti);
- intervento su elettrodi delle celle organiche per incrementare le efficienze dei dispositivi (nuovi materiali, nuove tecnologie di deposizione, trattamenti superficiali mirati all'ottimizzazione del trasporto di carica, studio dell'interfaccia molecola/solido);
- tecniche di incremento della durata dei dispositivi (tecnologie di incapsulamento dei dispositivi, sintesi di strutture molecolari intrinsecamente resistenti alla foto-ossidazione).

Numerose sono le discipline (fotonica, nanotecnologie, *quantum dots*) che possono fornire un contributo decisivo allo sviluppo del fotovoltaico di terza generazione e in cui il panorama scientifico italiano presenta numerose eccellenze.
Un cenno va infine dedicato al fotovoltaico a concentrazione (CPV), che per circa 25 anni ha avuto un ruolo marginale ma sta riscuotendo un crescente interesse in questi ultimi anni. Il CPV ha la possibilità di sfruttare sia celle al silicio *best in class* con sistemi a basso fattore di concentrazione[39] (intorno a 10) e inseguimento su un solo asse, sia celle multigiunzione con sistemi di elevato fattore di concentrazione (300 ed oltre) e inseguimento su due assi. In entrambe i casi, nelle località a maggior insolazione le più alte produttività ottenibili bilanciano i maggiori costi e pongono queste soluzioni in diretta concorrenza con i sistemi convenzionali.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le prime due generazioni sono fortemente presidiate, a livello industriale, da Cina e Taiwan; anche Stati Uniti (First Solar) e Giappone (Kyocera, Solar Frontier, Sharp) sono presenti in misura consi-

39 Il fattore di concentrazione viene solitamente espressa in "soli": si assume che la luce diretta proveniente dal sole – nelle migliori condizioni atmosferiche e per una superficie normale alla direzione dei raggi incidenti – sia caratterizzata da una potenza per unità di superficie di 1 sole = 0.85 kW/m^2. Quindi, ad esempio, un fattore di concentrazione di 10 soli corrisponde a una potenza per unità di superficie 10 volte superiore a quella solare, perciò pari a 8.5 kW/m^2.

stente sul mercato, con quote in calo per i primi, in aumento per il secondo.
Nel 2013 si stima che siano stati prodotti 39,8 GW di moduli, costituiti al 90% da silicio cristallino (suddiviso tra silicio multicristallino, 66%, e monocristallino, 24%).
A fine 2013 risultavano installati nel mondo più di 138 GW di impianti (23 GW nel 2009). L'Europa mantiene il primato con circa 81,5 GW cumulati installati rappresentando circa il 59% della capacità mondiale, seguita dall'Asia Pacifica (Cina esclusa) e dalla Cina, rispettivamente con 22 e 18,6 GW.
Nel 2013 sono stati installati circa 38,4 GW di nuovi impianti fotovoltaici (nel 2011 e 2012 le nuove installazioni annuali erano stabili a circa 30 GW). Per la prima volta l'Europa perde la leadership delle nuove installazioni, con il 29% (74% nel 2011; 55% nel 2012), lasciando il primato alla Cina, primo mercato nel 2013 con 11,8 GW di nuove installazioni, di cui la metà rappresentate da sistemi *off-grid*. La Germania è stato il primo mercato all'interno dell'Unione Europea con 3,3 GW, seguita dalla Gran Bretagna con 1,5 GW e dall'Italia con 1,4 GW.
L'espansione del fotovoltaico di seconda generazione ha segnato una battuta d'arresto rispetto alle previsioni: tra le cause principali vi sono il perdurare della crisi economica e il mancato sviluppo del settore architettonico, per il quale l'integrazione del fotovoltaico (BIPV-*Building Integrated PhotoVoltaic*) rappresentava un punto di forza.
Per quanto riguarda il fotovoltaico di terza generazione, ci si trova ancora in uno scenario di ricerca avanzata e di realizzazione dei primi prototipi. I centri di ricerca più attivi si trovino negli Stati Uniti, Europa (Inghilterra e Germania) e Giappone, ma anche in Italia si trovano centri di eccellenza (come il Centro di Ricerca sulle Energie Non Convenzionali – Istituto Eni Donegani di Novara) basati sul know-how sviluppato sulle piattaforme di chimica e fotonica organica. Le tecniche e i metodi utilizzati in questa filiera, nella maggior parte dei casi originati dalla ricerca universitaria e successivamente fatti propri dalle industrie nanotech, sono assai variegati: tra i metodi *wet chemistry* sono annoverati *spin coating*, *dip coating, spray coating, screen printing*; tra i metodi *gas-phase* ci sono CVD, PVD, RF e DC *sputtering*. Uno dei metodi più interessanti, per la possibilità sia di raccogliere nanoparticelle in forma di polveri, sia di deporle in forma di un film sottile poroso direttamente su una superficie di raccolta, è basato sul principio della pirolisi in fiamma (*Flame Spray Pyrolysis* – FSP). Tra i temi di ricerca in tale ambito si possono ricordare: la messa a punto e l'inserimento nei dispositivi di materiali nanostrutturati (ad esempio nanotubi di carbonio per aumentare la conduttività di materiali polimerici); lo sviluppo di elettrodi trasparenti e conduttivi, anche organici, alternativi a quelli usati normalmente (*Indium Tin Oxide* – ITO; *Fluorine Tin Oxide* – FTO), problematici in particolare dal punto di vista del reperimento dei materiali (indio) o della stabilità; lo studio delle problematiche connesse alla degradazione dei materiali nel tempo e delle possibili contromisure (film barriera).
Diverse società si stanno interessando infine al settore CPV, anche se molti analisti attribuiscono ad esso un ruolo minoritario, destinato a ricoprire solo nicchie di mercato. Alcune valutazioni stimano per il 2014 una quota di mercato di circa 100 MW (pari al 0,25%), che diventerà di 940 MW al 2018 (1,5% del mercato previsto). Tra i protagonisti si possono annoverare Soitec (Francia), SunPower (USA) e Suncore (Cina). La prima costruisce sistemi ad elevata concentrazione che fanno uso di celle multigiunzione e nei prossimi anni punta a raggiungere efficienze di cella del

50% e di modulo di oltre il 40%; tuttavia ha recentemente (16/1/2015) annunciato di volere lasciare il fotovoltaico. Le sue realizzazioni più recenti sono l'impianto da 1,5 MW di Newberry Solar 1 (California), quello da 1,3 MW di Alcoutim (Portogallo) e quello da 10,8 MW di Borrego Springs (California). SunPower propone invece sistemi a bassa concentrazione (7x) che impiegano celle al silicio e sistemi di inseguimento su un solo asse, capaci di ottenere un rendimento del modulo del 20,1%. Suncore produce moduli con efficienza del 30% sotto una concentrazione di 1000x; nel 2013 ha installato in Cina il più grande impianto CPV al mondo (50 MW). In conclusione, da notare la presenza di alcuni attori anche in Italia, sia sul fronte della ricerca e sviluppo (CESI, ENEA, ENEL, RSE) sia della produzione e commercializzazione di impianti (Angelantoni, Alitec, Beghelli).

5.2) SOLARE TERMODINAMICO A CONCENTRAZIONE

DESCRIZIONE

Il solare termodinamico a concentrazione sfrutta il principio della concentrazione della radiazione diretta proveniente dal sole per ottenere calore ad alta temperatura da impiegare in vari campi industriali, dalla generazione di energia elettrica negli impianti CSP (*Concentrating Solar Power*) al recupero di idrocarburi via EOR (*Enhanced Oil Recovery*).

Nel primo di questi ambiti, in particolare, l'avvio di numerosi progetti per la realizzazione di nuovi impianti negli ultimi 10 anni è la dimostrazione del rinato interesse dei paesi industrializzati verso questa tecnologia, dopo le esperienze degli anni '80 e '90 del secolo scorso, rimaste per lungo tempo isolate. La potenza installata a livello mondiale ha ormai raggiunto i 4562 MW (escludendo i primi impianti commerciali realizzati negli USA durante gli anni '80), con una crescita nel 2014 di circa il 44% rispetto al 2013, anno che già aveva visto un incremento sostanziale rispetto al precedente, nonostante il perdurare della crisi economica globale. La leadership in termini di potenza installata è detenuta dalla Spagna, anche se gli Stati Uniti hanno ottenuto il primato delle installazioni effettuate nel 2014 (sopra gli 800 MW) e possono vantare un notevole portafoglio di progetti in via di definizione.

La catena di trasformazioni energetiche su cui si basano gli impianti CSP è costituita da quattro fasi:

- conversione della radiazione solare in calore;
- immagazzinamento del calore mediante sistemi di accumulo termici (opzionale)
- conversione del calore in lavoro meccanico;
- conversione del lavoro in elettricità.

Nel seguito si farà riferimento solo alle prime due fasi, caratteristiche di questi impianti, dato che gli ultimi due processi sono sostanzialmente costituiti da tecnologie convenzionali.

Anche se la stragrande maggioranza del solare termico a concentrazione è oggi impiegato in impianti CSP, gli stessi sistemi utilizzati per la conversione dell'energia radiante in energia termica e per il suo immagazzinamento possono essere adattati ad altre esigenze, a cui si farà brevemente cenno alla fine del capitolo.

In generale, per ottenere energia da fonte solare a temperature elevate, il primo passo è la concentrazione dei raggi solari. A tale scopo si utilizzano pannelli riflettenti di ampia superficie e opportuna geometria, in grado di inviare la radiazione solare su appositi ricevitori di superficie molto più ridotta, che trasformano l'energia radiante in energia termica e la rendono trasportabile attraverso l'utilizzo di un fluido termovettore. L'energia trasportata dal fluido può essere utilizzata direttamente oppure accumulata in appositi serbatoi in grado di renderla disponibile nei momenti di

scarsa insolazione. Proprio la possibilità di accumulare energia in modo relativamente semplice ed economico rappresenta una caratteristica molto attraente della tecnologia CSP.
Per i pannelli riflettenti, si distinguono quattro principali architetture, basate rispettivamente su:

- collettori lineari parabolici
- torri solari
- collettori lineari Fresnel
- dischi parabolici

Tutte queste soluzioni presentano caratteristiche specifiche, si trovano a stadi di sviluppo differenti e sono oggetto di investimenti, da parte sia delle aziende sia di enti statali. Non verrà nel seguito presa in esame la quarta categoria, quella di dischi parabolici (simili per struttura alle antenne utilizzate per le comunicazioni satellitari), che, pur consentendo elevati rendimenti anche su taglie ridotte, stenta ad affermarsi a causa della necessità di motori primi (Stirling o Brayton) sviluppati ad hoc e della difficoltà ad essere integrati con un sistema di stoccaggio dell'energia termica.

Collettori parabolici lineari

La tecnologia dei collettori parabolici lineari (*parabolic trough*) è a oggi la più matura nel panorama del solare termodinamico e di gran lunga quella maggioritaria in termini di potenza installata (poco meno del 90% del totale). La concentrazione della radiazione solare è realizzata mediante specchi costituenti una superficie a profilo parabolico, con apertura intorno ai 5-6 m, focale intorno a 1,6 m e fattore di concentrazione di circa 80. Seguendo il movimento del sole con rotazioni attorno a un solo asse, generalmente coincidente con l'asse baricentrico della struttura, indirizzano i raggi solari su un tubo ricevitore posizionato sul fuoco della parabola; all'interno del tubo, isolato termicamente da un'intercapedine sottovuoto ottenuta tra il tubo stesso e un involucro coassiale esterno in vetro, scorre un fluido termovettore che si riscalda ed è poi utilizzato per alimentare un ciclo termodinamico a vapore di tipo classico per la generazione di energia elettrica. I tubi ricevitori sono costituiti tipicamente da elementi lunghi circa 4 metri, connessi in serie fino a raggiungere lunghezze complessive di oltre 100 metri. Per raggiungere elevate potenze è necessario connettere più file di questo tipo in parallelo.
Gli elementi su cui si concentrano le attività di sviluppo sono:

- tubo ricevitore
- fluido termovettore
- specchi
- struttura di supporto

Le caratteristiche del **tubo ricevitore**, in termini di capacità di assorbimento di calore, riduzione della dissipazione termica e robustezza delle giunzioni anche in presenza di forti stress termici, sono fondamentali per ottimizzare le prestazioni di questi impianti. La qualità del *coating* applicato sul tubo è fondamentale per ridurre al minimo la riflessione dei raggi solari e l'irraggiamento e le conseguenti dispersioni di energia. Tipicamente si utilizzano film compositi di ossidi ceramici e

metalli denominati CerMet, aventi altissime capacità di assorbimento e coefficienti di emissione molto bassi alle temperature di funzionamento. Il mantenimento di un adeguato livello di vuoto nell'intercapedine tra vetro e tubo metallico è un altro punto chiave per evitare dispersioni di calore. Infine, la giunzione tra il tubo metallico entro cui scorre il fluido termovettore e il vetro coassiale esterno rappresenta un punto estremamente delicato della struttura, facilmente soggetto a rotture dovute ai differenti coefficienti di dilatazione termica dei materiali. Nel settore dei tubi ricevitori, l'avanguardia tecnologica è tuttora detenuta da produttori occidentali (Archimede Solar Energy, Rioglass ex-Siemens Solel, Schott) anche se si stanno affacciando un discreto numero di produttori cinesi con prestazioni ed affidabilità ancora inferiori ma con una politica di costi molto aggressiva.

Passando al **fluido termovettore**, uno dei principali obiettivi è l'utilizzo in impianti commerciali di composti in grado di lavorare a temperature superiori ai 500°C, per aumentare il rendimento di conversione del ciclo a valle negli impianti CSP. Una delle soluzioni più promettenti, che ha visto la realizzazione di un primo prototipo dimostrativo da parte di Enel e basata sul lavoro di sviluppo effettuato da ENEA, è costituita dall'impiego di una miscela di sali fusi, capaci di oltrepassare i limiti di funzionamento (tipicamente 390°C) degli oli minerali normalmente utilizzati in questo tipo di impianti, riducendo nel contempo le problematiche di sicurezza dovuta all'infiammabilità e di impatto ambientale nel caso di sversamenti. Legato a questo tema è lo sviluppo di tubi ricevitori compatibili con condizioni operative così sfidanti; anche in questo caso l'Italia mette in campo un'eccellenza, la società Archimede Solar Energy controllata dal gruppo Angelantoni e partecipata dalla multinazionale giapponese Chiyoda Corporation e dal gruppo saudita Fal Holdings. Decisivo è stato ancora l'apporto di ENEA, che ha brevettato un rivestimento selettivo specifico in grado di operare a temperature significativamente più alte di quelle stato dell'arte.

Anche gli **specchi** utilizzati come concentratori hanno un ruolo chiave nel raggiungimento di costi competitivi di produzione dell'energia elettrica. A tal fine alcuni costruttori propongono specchi in alluminio ricoperto da un *coating* protettivo o film polimerici riflettenti autoadesivi applicabili a supporti metallici o in composito. A parte le qualità ottiche dei materiali impiegati, un aspetto da considerare è la precisione geometrica delle superfici, per fare in modo che i raggi solari riflessi colpiscano esattamente la superficie del tubo ricevente.

Su quest'ultimo punto ha effetto anche la progettazione delle **strutture di supporto**, il cui peso deve essere minimizzato per contenere le deformazioni dovute al peso proprio e il cui assemblaggio deve essere studiato per ridurre gli errori di puntamento, su cui peraltro influisce anche la qualità dei sistemi di movimentazione e controllo. Si tratta di aspetti tutt'altro che trascurabili, tanto che la sola ottimizzazione meccanica si stima possa avere un impatto sulla riduzione dei costi di generazione fino al 30%.

Torri solari

I cosiddetti impianti Solar Tower sono costituiti da un esteso campo di specchi indipendenti (eliostati) che, mossi con rotazioni attorno a due assi, inseguono il movimento del sole e convogliano i raggi solari verso un ricevitore centrale fisso collocato in cima a una torre di altezza adeguata per evitare interferenze e ombreggiamenti. Il fattore di concentrazione raggiunto è dell'ordine di

700, valore che permette di raggiungere temperature superiori ai 500°C ed efficienze di trasformazione in energia elettrica relativamente elevate. Anche questa tipologia di impianti, seppure nettamente minoritaria rispetto ai collettori parabolici lineari, sta registrando un aumento della potenza totale installata e in prospettiva, secondo alcune valutazioni, potrebbe essere la prima a raggiungere livelli di costo di generazione del kWh comparabili con quelli delle tecnologie tradizionali (*grid parity*). Ad oggi il suo stadio di sviluppo è infatti più arretrato rispetto a quella dominante dei collettori parabolici lineari e potrebbe quindi avere maggiori margini di miglioramento.
Anche in questo settore vi sono numerosi aspetti tecnologici su cui sono attesi importanti sviluppi e per i quali anche le industrie italiane potrebbero fornire contributi decisivi.
Le principali attività di ricerca sono focalizzate sul ricevitore centrale, la cui progettazione risulta particolarmente delicata per gli elevati stress termici cui è sottoposto, e sul miglioramento dell'efficienza di conversione dell'energia termica raccolta dal ricevitore, raggiungibile sia attraverso l'utilizzo di fluidi termovettori avanzati (come sali fusi o gas pressurizzati), sia mediante l'ottimizzazione dei cicli termodinamici a valle. Ulteriori miglioramenti sono attesi per il campo solare, sia in termini di disposizione e movimentazione degli eliostati che in termini dei materiali utilizzati, in particolare per l'incremento delle prestazioni ottiche delle superfici riflettenti.

Collettori lineari Fresnel

L'ultima tecnologia da tenere in considerazione, anche se contribuisce oggi soltanto per circa l'1% alla potenza installata del solare termodinamico, è quella dei collettori lineari Fresnel. Si tratta di sistemi che come i collettori parabolici lineari concentrano la radiazione su una linea in cui è posto un tubo ricevitore. Questo, però, è montato, fisso, ad una certa altezza e la riflessione dei raggi solari avviene grazie a una struttura posta sotto di esso a livello del terreno e costituita da un insieme di specchi di forma allungata rotanti su assi paralleli fra loro e al tubo stesso.
Per i previsti costi ridotti conseguenti alla sua semplicità e, d'altra parte, per le prestazioni nominalmente inferiori (principalmente a causa della necessità di un riflettore secondario presso il tubo ricevitore e della mancanza di un sistema di isolamento sottovuoto), questa tecnologia è stata finora utilizzata per realizzazioni di potenzialità non elevata e livelli di temperatura medio-bassi (tipicamente al di sotto dei 300°C).
In architetture CSP, ciò suggerisce di utilizzare come sezione di potenza per questi collettori cicli a fluido organico (ORC) o di accoppiarli a impianti a vapore convenzionali che possano elevare i livelli termici e far uso di macchinari di elevate prestazioni.
Recentemente diversi soggetti industriali stanno sviluppando tecnologie che riescono ad eguagliare i livelli di temperatura degli impianti parabolici lineari mirando altresì all'uso di fluidi innovativi (anche in questo caso sali fusi) per il miglioramento dell'efficienza del sistema.

Applicazioni diverse dalla generazione elettrica

Come già accennato, la disponibilità di energia termica da fonte solare può soddisfare anche necessità diverse dalla generazione elettrica.
Tutti gli impianti industriali che fanno uso di vapore di processo avrebbero sulla carta la possibilità di utilizzare, grazie alle tecniche di concentrazione della radiazione, la fonte solare, anche

se vanno tenute presente alcune limitazioni: la localizzazione, che deve consentire un'adeguata disponibilità di radiazione diretta, e lo sfasamento tra la domanda di energia e la produzione, che determina la necessità di un adeguato sistema di accumulo se non di un'integrazione con fonti convenzionali o con altre fonti rinnovabili programmabili (biomasse o biogas).
Un particolare utilizzo dell'energia termica ad alta temperatura generata dal sole è costituito dal recupero assistito di petrolio (EOR, Enhanced Oil Recovery). Il vapore immesso nel sottosuolo ha in questo caso la funzione di rendere più fluido olio particolarmente viscoso e permetterne così l'estrazione, allungando la vita produttiva di pozzi petroliferi esistenti.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

In un'ottica di sviluppo atteso, le informazioni esposte nel paragrafo precedente vanno inquadrate tenendo conto anche della competizione esistente con tecnologie concorrenti che utilizzano la stessa sorgente rinnovabile di energia, il sole, in particolare tra CSP e fotovoltaico. Tale competizione si va accendendo sempre di più e si segnalano addirittura alcuni casi di impianti, localizzati negli Stati Uniti, che inizialmente previsti come CSP sono poi stati convertiti a fotovoltaico, a causa dei bassi prezzi raggiunti recentemente da quest'ultimo e dalla più facile bancabilità[40] delle iniziative.
Passando ad un confronto diretto, i punti di forza della tecnologia CSP sono i seguenti:

- capacità di costituire una infrastruttura di generazione dispacciabile, grazie alla possibilità di prevedere un sistema di accumulo a costi relativamente contenuti;
- capacità di ridurre il costo di generazione adottando configurazioni ibride con centrali convenzionali, in cui il campo solare contribuisce all'alimentazione della sezione di potenza di queste ultime;
- possibilità di cogenerazione di calore di processo ad elevata temperatura.

Per contro vanno ricordate anche alcune limitazioni del CSP:

- attitudine alla produzione centralizzata di energia, mentre il fotovoltaico si presta anche alla generazione distribuita on site;
- localizzazione favorevole in siti ad alta insolazione diretta, mentre il fotovoltaico può sfruttare anche la radiazione diffusa.

In realtà non sembra che la competizione possa risolversi in modo totalmente favorevole a uno dei contendenti. Un esame approfondito delle potenzialità delle due principali tecnologie che sfruttano la radiazione solare porta a ipotizzare per il futuro un regime di convivenza in ambiti differenti in risposta alle rispettive specificità.
A proposito del costo di generazione, un rapporto del Fraunhofer Institute[41] assegna al fotovoltaico valori tra 0,12 €/kWh (per gli impianti di piccola potenza) e 0,059 €/kWh (per le scale più

40 Requisiti (interesse commerciale, certezza di un flusso di reddito, etc.) che permettono di generare entrate tramite la vendita delle strutture o tramite l'uso dei servizi da parte di terzi.
41 Fraunhofer Institute, Levelized Cost of Electricity – Renewable Energy Technologies, 2013

grandi), mentre il costo del kWh da CSP si situa a seconda del livello di irraggiamento tra 0,139 e 0,196 €, includendo però la disponibilità di un sistema di accumulo integrato. Secondo la stessa fonte, quest'ultima caratteristica insieme alle prospettive di una riduzione dei costi di generazione al di sotto di 0,1 €/kWh al 2030 giustificano il mantenimento di attività di sviluppo della tecnologia CSP. Tali previsioni di costo del chilowattora sono state recentemente confermate da uno studio dell'International Energy Agency[42] che stima un costo di 0,07 €/kWh al 2050 per impianti CSP dotati di sistema di accumulo.

Per ciò che riguarda le prospettive per l'Italia, va ricordato che la posizione geografica del nostro paese, non lontano dalla cosiddetta *sun belt* (corrispondente alla zona nordafricana) dove l'irraggiamento è maggiore, potrebbe garantire un'efficienza di conversione comunque interessante.

In particolare il Sud Italia presenta due vantaggi distintivi (che contrastano altresì con la conformazione collinare e la scarsità di zone pianeggianti che sarebbero ideali, in particolare per i Solar Tower):

- un elevato irraggiamento solare diretto, inferiore a quello delle zone desertiche del Nord Africa e del Medio Oriente, ma, almeno nel Mezzogiorno, superiore a quello utilizzabile da gran parte delle nazioni altamente industrializzate;
- maggiore disponibilità di acqua, rispetto al Nord Africa e Medio Oriente, utile per massimizzare l'efficienza della sezione di potenza abbassando la temperatura di condensazione nei cicli Rankine a vapore rispetto all'impiego dell'aria ambiente e necessaria per mantenere puliti i tubi riceventi soprattutto in zone ventose o sabbiose.

Considerando infine gli asset a disposizione a livello nazionale, in particolare il lavoro di sviluppo e le relative coperture brevettuali di ENEA sugli impianti che utilizzano sali fusi come fluido termovettore, l'esperienza di Archimede Solar Energy nei tubi ricevitori e le competenze presenti nel campo della tecnologia del vuoto e della scienza dei materiali, risulta evidente che c'è spazio per un proficuo impegno del sistema industriale italiano come fornitore di tecnologia per realizzazioni anche al di fuori del territorio nazionale.

In particolare, si segnalano le principali linee di sviluppo possibili:

- costruzione di impianti di grande taglia, anche rivitalizzando progetti già considerati in passato o che sono stati notevolmente ridimensionati;
- consolidamento del know-how nei settori tecnologici citati in precedenza: fluidi termovettori, materiali, vuoto, sistemi di accumulo termico;
- sviluppo di tecnologie mini-CSP per impianti di dimensioni ridotte funzionanti a temperature intermedie (200-250°C) in assetti cogenerativi o trigenerativi (generazione di energia, elettrica, termica e frigorifera) per soddisfare carichi locali.

42 "Technology Roadmap: Solar Thermal Electricity", IEA, 2014

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La realizzazione da parte di ENEL del campo solare presso la centrale di Priolo (progetto Archimede) non ha finora dato i frutti sperati in termini di affermazione della tecnologia dei sali fusi, almeno per ciò che riguarda i collettori parabolici lineari; anche altri attori italiani, come Eni, sono impegnati nello sviluppo di soluzioni avanzate per questo tipo di collettori. Inoltre sono state individuate nel nostro paese una serie di iniziative CSP a livello industriale, che stanno però procedendo a rilento a causa di difficoltà normative e autorizzative. Peraltro, la presenza di un punto di aggregazione fra le aziende che operano nell'ambito del solare termodinamico a concentrazione, l'Associazione Nazionale Energia Solare Termodinamica (ANEST), può facilitare la valorizzazione della filiera e rappresentare le istanze del settore.

Ampliando lo sguardo a livello mondiale, come già detto in precedenza, la nazione guida in termini di potenza CSP installata è senz'altro la Spagna, con circa il 60 % della capacità produttiva mondiale e diverse aziende posizionate fra i principali produttori di componentistica. Il suo fortissimo contributo deriva negli anni passati da un favorevole sistema incentivante, ora in via di pesante revisione, oltre che da oggettivi vantaggi geografici, disponendo di vaste superfici di pianure aride, e climatici, con elevati valori della radiazione diretta annualmente disponibile. Volgendo però lo sguardo agli impianti in fase di studio e progettazione, la segmentazione cambia notevolmente, con gli USA in testa ed un crescente contributo di Nord Africa e Medio Oriente, Cina, India, Sud Africa e Cile.

Si possono infine segnalare alcune iniziative sperimentali in ambito EOR. Il primo progetto commerciale è stato realizzato nel 2011 dalla Glass Point Solar presso McKittrick Oil Field (campo operativo da oltre 100 anni) in California della Berry Petroleum, il più grande produttore di petrolio indipendente della California. Un'altra iniziativa è stata realizzata in Coalinga (California) da Chevron e BrightSource Energy. Più recentemente, nel 2013, sempre la Glass Point ha realizzato in Oman un altro progetto per la Petroleum Development Oman (joint venture tra il Sultanato dell'Oman, Shell e Total).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 6

TECNOLOGIE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA E LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

6.1) ISOLANTI TERMICI AVANZATI

DESCRIZIONE

I consumi energetici per il riscaldamento e/o condizionamento degli edifici sono molto elevati, com'è noto sia agli specialisti sia all'opinione pubblica. Sono quindi stati sviluppati materiali con funzioni coibenti da inserire nelle strutture (pareti, pavimenti, sottotetti) degli edifici stessi. Questa prassi, ormai consolidata per le nuove costruzioni, trova anche crescenti applicazioni nelle ristrutturazioni degli edifici più vecchi.

In Italia, secondo il più recente censimento ISTAT, esistono oltre 14,5 milioni di edifici, di cui più dell'80% ad uso residenziale. Ampliando lo sguardo allo scenario europeo, il numero lievita a oltre 100 milioni. Scalando opportunamente le stime dal Department of Energy (DoE) americano, un miglioramento significativo nell'isolamento termico degli edifici (superiore al 30%) potrebbe portare ad un possibile risparmio annuo di energia dell'ordine dei 100 TWh, corrispondenti a circa 5 miliardi di euro nell'ambito dell'Unione Europea.

Il parametro convenzionalmente usato per determinare le proprietà di isolamento termico di un involucro di qualsiasi tipo è il cosiddetto *U-value*, espresso in unità $W/m^2/K$. Attualmente, i muri esterni degli edifici mostrano valori di U nel migliore dei casi non inferiori a 0,03 $W/m^2/K$. Molto più alta (fino a due ordini di grandezza maggiore) è poi la trasmissione di calore attraverso le finestre, che hanno proprietà di isolamento termico assai limitate. Per queste ultime i trend di sviluppo tecnologico sono tipicamente indirizzati verso i tripli vetri, con tutti i connessi problemi di peso e spessore, mentre appaiono ancora lontane nel tempo soluzioni più eleganti ed efficienti, quali le finestre evacuate e gli aerogel trasparenti.

Considerando l'orizzonte temporale coperto dal presente studio, vale quindi la pena di focalizzarsi soltanto sui muri perimetrali, dove già oggi è possibile effettuare interventi per migliorare le caratteristiche di isolamento degli edifici già esistenti. Interventi di routine vengono fatti rivestendo i muri esterni con un "cappotto" di materiale isolante classico (tipicamente lane minerali o polimeri espansi); tuttavia, date le performance limitate di tali materiali, gli spessori sono generalmente ragguardevoli e i valori di U raggiungibili sono quelli citati in precedenza (0,03 $W/m^2/K$).

I materiali isolanti, che si dividono circa a metà il mercato europeo per questa applicazione, sono di due tipologie: le lane minerali e i polimeri espansi. Questi presentano importanti vantaggi in termini di ecobilancio, ovvero a parità di potere di isolamento termico e di superficie da coibentare, richiedono un quantitativo di energia per la produzione pari alla metà o anche meno rispetto alle lane minerali.

Tra i polimeri espansi utilizzati in quest'applicazione, la quota maggioritaria (circa i due terzi) è detenuta dall'EPS (*Expandable PolyStyrene*). Proprio il settore dell'isolamento edilizio ha rappre-

sentato negli ultimi anni, e rappresenta tuttora, il *driver* principale della ricerca e sviluppo tecnologico relativamente a questo materiale e alle tecnologie per produrlo.
Sono altresì in fase di studio soluzioni più avanzate, che consentano di raggiungere prestazioni ottimali sia in termini di isolamento, sia di riduzione degli spessori ed alleggerimento del rivestimento. Tra questi approcci, teoricamente più performanti ma ancora non adeguatamente diffusi (almeno in Italia), merita attenzione l'utilizzo di pannelli isolanti evacuati (VIP-*Vacuum Insulated Panels*).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La crescente diffusa consapevolezza riguardo la necessità di ridurre gli sprechi di risorse energetiche ha prodotto un preciso quadro normativo di riferimento. La direttiva del Parlamento Europeo 2010/31/EU (che aggiorna un'analoga del 2002) sull'efficienza energetica degli edifici si basa sul dato che circa il 40% dei consumi energetici in Europa è finalizzato al riscaldamento e/o condizionamento degli edifici.
La direttiva comunitaria lascia alcune deleghe importanti agli Stati Membri: in Italia il D.Lgs. 192-2005 (integrato poi nel 2007) ha portato ad esempio alla definizione e all'obbligo della classificazione energetica degli edifici.
Questa progressiva evoluzione del quadro di riferimento ha avuto significative ricadute anche in termini di ricerca e sviluppo tecnologico. Ad esempio, per l'EPS, considerato un materiale ormai maturo con pochi margini di miglioramento, proprio le crescenti richieste di prestazioni in termini di isolamento termico (riduzione del coefficiente di conducibilità termica λ) hanno stimolato lo sviluppo di nuovi processi produttivi e nuove linee di prodotto.

Anche l'evoluzione degli elettrodomestici (frigoriferi, freezer, forni, ecc.) assegna un valore sempre maggiore alle prestazioni di efficienza energetica, con l'introduzione delle classi energetiche come parametro distintivo dell'apparecchio. In questo caso specifico, l'interesse per l'Italia riguarda non solo l'utilizzo di apparecchi efficienti (dato comunque rilevante, considerando il notevole numero di abitanti, quindi di apparecchi installati), ma anche il fatto che, nonostante la crisi, esiste ancora nel nostro paese una importante filiera industriale in questo settore. Innovazioni tecnologiche in grado di migliorare ulteriormente le prestazioni in termini di isolamento (e quindi di consumi), abbinando anche caratteristiche di ridotto spessore e leggerezza dei pannelli isolanti permetterebbero quindi non solo di ottimizzare l'efficienza, ma a parità di volume esterno consentirebbero di aumentare la capienza utile dei refrigeratori.
Già nei primi dieci anni di introduzione degli incentivi per l'acquisto di elettrodomestici efficienti sono stati risparmiati in Europa 34 TWh cumulativi di elettricità, corrispondenti alla riduzione delle emissioni di CO_2 dell'ordine di 17 milioni di tonnellate. Soltanto il contributo di frigoriferi e congelatori di classe A+ e A++ in attività è stato stimato, durante la vita utile dei prodotti, contribuire fino a 500 GWh di elettricità risparmiata, che corrispondono a minori emissioni di CO_2 nell'atmosfera per 250.000 tonnellate.
A fronte di questi dati già significativi, si ritiene che l'introduzione di isolanti efficienti nel comparto edilizio potrebbe fornire risparmi energetici ancora più rilevanti.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Expandable PolyStyrene – EPS

Dal punto di vista dei processi produttivi, l'innovazione più importante è senza dubbio lo sviluppo della tecnologia in massa continua, che vede il nostro paese allineato ai migliori competitor internazionali. Mentre il processo tradizionale prevede la polimerizzazione dello stirene monomero in sospensione acquosa, quello in massa continua ne prevede la polimerizzazione in assenza di fase acquosa e, al termine di questa fase, l'additivazione dell'agente espandente (tipicamente pentano) e degli additivi necessari direttamente sulla massa fusa del polimero.

I vantaggi della nuova tecnologia sono molteplici: da un lato si evita di avere la coproduzione di ingenti quantitativi di acque di processo inquinate, che rappresentano un aggravio ecologico ed economico poiché necessitano di opportuni trattamenti prima dello scarico come effluenti liquidi oppure di un loro eventuale riutilizzo. Dall'altro lato il processo in massa continua offre una grande flessibilità sul versante compositivo-formulativo del prodotto finale, che può riguardare la distribuzione dei pesi molecolari della matrice polimerica, l'incorporazione di cariche o additivi difficilmente compatibili con il processo in sospensione o infine l'impiego e la valutazione di agenti espandenti alternativi al pentano.

Questi aspetti di innovazione vedono l'Italia già presente con asset industriali e nuove linee di prodotti sul mercato; sono inoltre in cantiere significativi impegni di R&D sia per il miglioramento delle varie operazioni unitarie di processo, sia per lo sviluppo di nuove formulazioni. Su quest'ultimo fronte, oltre all'obiettivo della riduzione del coefficiente di conducibilità λ, altre azioni mirano a sostituire gli additivi bromurati, necessari per le proprietà di ritardo alla fiamma, che sono in *phase-out* a livello comunitario per problemi di sostenibilità ambientale.

In figura 44 sono sintetizzati alcuni risultati salienti di questa articolata attività di ricerca e innovazione, mostrando le curve di conducibilità termica in funzione della densità finale della schiuma di polistirolo espanso. La curva in alto (a) mostra l'andamento per l'EPS standard da sospensione acquosa, così come era alcuni anni orsono; le altre curve rappresentano i miglioramenti ottenuti attraverso modifiche formulative e il passaggio alla tecnologia in massa continua. Poiché le applicazioni tipicamente ricadono nell'intervallo di densità tra 10 e 20 g/l, si può concludere che il beneficio medio in termini di potere isolante si aggira attorno al 20%.

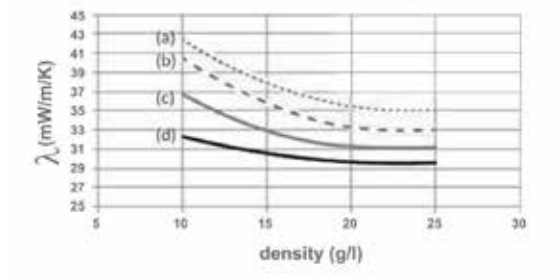


FIG. 44 – CURVE DELLA CONDUCIBILITÀ TERMICA /DELL'EPS IN FUNZIONE DELLA DENSITÀ DELLA SCHIUMA ESPANSA IN G/L.
(a) EPS da sospensione; (b) EPS da sospensione a seguito di miglioramenti formulativi; (c) EPS da massa continua grado base; (d) EPS da massa continua con formulazione ottimale

Vacuum Insulated Panels – VIP

Un pannello isolante evacuato (VIP – *Vacuum Insulated Panel*) consiste in una struttura porosa racchiusa dopo evacuazione in un sacchetto di materiale impermeabile all'aria, tipicamente sigillato mediante una termosaldatura. Il materiale di riempimento deve avere una struttura porosa aperta per consentire una evacuazione efficace e ha la duplica funzione di isolante termico e materiale strutturale.

I materiali di riempimento devono essere in grado di soddisfare una serie di requisiti fondamentali: avere un diametro dei pori particolarmente ridotto, che permetta di raggiungere performance ottimali anche in condizioni di basso vuoto (nell'ordine del mbar); possedere una struttura dei pori al 100% aperta per eliminare facilmente gran parte dell'aria intrappolata; avere la capacità di sopportare la compressione dovuta alla pressione atmosferica esterna; essere impermeabili rispetto alla radiazione infrarossa, che contribuisce in modo significativo al trasferimento di calore tra le due facce del pannello.

Tra i principali materiali utilizzati in questa applicazione, si ricordano la polvere di silice, la fibra di vetro e soprattutto le schiume poliuretaniche, che al momento forniscono le prestazioni migliori dal punto di vista meccanico e di isolamento termico. Guardando ad un futuro più lontano, certamente gli aerogel, sostanze simili a gel a bassissima densità, rappresentano la tecnologia più promettente, poiché hanno caratteristiche eccezionali di leggerezza ed elevatissime performance di isolamento anche lavorando in leggerissima depressione (decine o centinaia di mbar).

Il film dentro il quale viene imbustato il materiale isolante riveste a sua volta una notevole importanza. Alle caratteristiche di impermeabilità al gas atmosferico, è necessario abbinare anche la capacità di minimizzare il ponte termico ai bordi, pur garantendo al tempo stesso un'ottimale tenuta della termosaldatura. Per questi motivi, i film più comunemente utilizzati, definiti anche accoppiati barriera, hanno strutture multistrato, in cui un'opportuna sequenza di film polimerici, il più interno dei quali in grado di fondere termicamente e di avere una bassissima conducibilità termica, sono alternati a uno o più film di alluminio, in genere laminati o depositati per PVD, che hanno invece la funzione di impermeabilizzare l'involucro. Ovviamente, aumentando il numero di strati migliorano le caratteristiche di barriera per i gas, ma è necessario arrivare ad un ragionevole compromesso tra prestazioni richieste e costo del materiale.

Un ruolo non secondario viene infine giocato dai materiali in grado di mantenere un adeguato livello di vuoto all'interno del materiale di riempimento. Si possono distinguere in due classi: essiccanti, la cui unica funzione è di farsi carico dell'umidità che permea nel tempo attraverso la saldatura del film esterno; *getter*, in grado di assorbire non solo il vapore acqueo, ma anche altri gas che permeano dall'esterno oppure possono essere generati dal materiale isolante stesso per fenomeni di degasaggio.

6.2) SEPARAZIONE, CONFINAMENTO GEOLOGICO E UTILIZZO DI CO_2

DESCRIZIONE

Le attuali tecnologie CCS sono capaci di catturare fino all'85-90% delle emissioni di CO_2 prodotte da impianti di generazione elettrica e da processi industriali, per poi, una volta trasposte via *pipeline* o nave, confinarle definitivamente in siti geologici adeguati, generalmente a profondità superiori agli 800 metri sotto la superficie terrestre. Ogni fase contempla numerose opzioni tecnologiche, caratterizzate da diversi livelli di efficienza e maturità, che possono essere combinate in modalità variabili a seconda di ciascun caso specifico. Queste tecnologie possono essere applicate dove la CO_2 è prodotta in grandi quantità e presente in percentuali importanti nell'efflusso gassoso da trattare: un caso esemplare è la generazione di energia elettrica in impianti di potenza; un altro sono alcuni processi industriali fortemente energivori ed emettitori di CO_2, come quelli relativi alla produzione siderurgica o cementifera o alla raffinazione di petrolio. L'intera filiera del processo va considerata con un approccio olistico per assicurare l'effettiva riduzione delle emissioni di CO_2 massimizzando il bilancio $[CO_{2(assorbito)} - CO_{2(emesso)}]$, dove $CO_{2(emesso)}$ rappresenta complessivamente il biossido di carbonio immesso in atmosfera per produrre tutte le forme di energia (termica, elettrica, meccanica, usando i combustibili fossili) necessarie a sostenere l'intero sistema.

Un passo di ulteriore sviluppo è la **cattura e utilizzo di CO_2** (**CCU** – *Carbon Capture and Utilization*), che prevede appunto l'utilizzo della CO_2 come prodotto base per processi industriali piuttosto che limitarsi al solo stoccaggio. La CO_2, una volta catturata e purificata, può essere infatti utilizzata nella produzione di gas (SNG) e combustibili di sintesi, biocombustibili, solventi, polimeri, fertilizzanti e in generale nella realizzazione di processi chimici e biologici per la preparazione di intermedi per l'industria chimica e farmaceutica.

Le tecnologie di **cattura, utilizzo e stoccaggio di CO_2** (**CCUS**) hanno quindi il più gran potenziale di abbattimento delle emissioni del principale gas serra; pertanto sono una delle metodologie principali per la lotta ai cambiamenti climatici, dato che ancora per un periodo di tempo non trascurabile la produzione energetica si baserà sull'utilizzo massiccio di fonti fossili. Queste tecnologie, ancora relativamente onerose dal punto di vista economico, se sviluppate ed applicate diffusamente potrebbero dimezzare le emissioni mondiali di CO_2, evitando l'emissione diretta in atmosfera dagli effluenti prodotti in impianti stazionari di grossa taglia.

La cattura, l'utilizzo e lo stoccaggio di CO_2 comprendono generalmente tre fasi principali:

- cattura e compressione di CO_2 nel sito di emissione;
- trasporto di CO_2 fino al sito di confinamento;
- stoccaggio e conseguente confinamento permanente di CO_2 in formazioni geologiche profonde o, in alternativa, utilizzo di CO_2 come fonte di carbonio per la sintesi di combustibili e

prodotti chimici (C1-chemistry), per la mineralizzazione e per aumentare la produttività di giacimenti di gas e petrolio esausti.

I sistemi di **cattura di CO_2** sono riconducibili a tre tipologie di processo:

- cattura post-combustione (ossia a valle della combustione): in questo caso CO_2 viene rimossa dagli effluenti attraverso assorbimento con solventi di tipo selettivo;
- cattura pre-combustione (ossia a monte della combustione): in questo caso è il combustibile a essere pretrattato e convertito in una miscela di CO_2 (che viene poi catturata) e idrogeno (utilizzabile direttamente come combustibile o indirettamente come prezioso vettore energetico alternativo alla corrente elettrica);
- combustione oxy-fuel, che utilizza ossigeno come comburente per produrre come effluente una miscela di vapore acqueo (facilmente separabile) e CO_2 senza la presenza di azoto tipica dei sistemi ad aria.

Le **tecniche di separazione** sviluppate o in sviluppo per separare la CO_2 dalla corrente di gas riguardano principalmente l'assorbimento ad opera di solventi o ad opera di sostanze solide.
I solventi chimici, principalmente soluzioni acquose di ammine come monoetanolammina (MEA), 2-ammino-1-propanolo (AMP), dietanolammina (DEA) e miscele brevettate, sono in grado di catturare una gran quantità di CO_2 da un effluente gassoso che generalmente la contiene in quantità mai superiori al 10-15%. Il successivo riscaldamento ad elevata temperatura permette il rilascio di CO_2 a elevata purezza e la rigenerazione del solvente per essere riutilizzato. Utilizzando MEA può essere raggiunta una rimozione fino al 98% di CO_2 con produzione di gas a purezza superiore al 99%. L'energia richiesta per la rigenerazione del solvente è probabilmente il principale problema legato all'utilizzo di questa tecnica di separazione, a cui si aggiungono problemi dovuti alla degradazione termica e ossidativa delle ammine stesse, allo smaltimento dei solventi di scarto ed alla corrosione delle strutture, che fanno crescere i costi di tale tecnologia. Il miglioramento dei solventi adsorbenti, attraverso la ricerca di ammine più stabili e più facilmente rigenerabili, e il perfezionamento della progettazione delle colonne di lavaggio e dei rigeneratori dei solventi potrebbero ridurre notevolmente le richieste di energia e rendere più appetibile l'utilizzo di solventi.
La separazione di CO_2 per adsorbimento su una sostanza solida, come la zeolite o il carbone attivo, è un'altra tecnica ben sperimentata anche in ambito commerciale. In questo caso l'effluente gassoso attraversa un letto di riempimento costituito da particelle di adsorbente, fin quando non viene raggiunto il limite di CO_2 adsorbibile dallo strato solido. Il solido adsorbente viene quindi rigenerato per riduzione della pressione oppure per aumento della temperatura. L'adsorbimento al momento non è attraente per la separazione su vasta scala della CO_2 dai gas di combustione, in quanto il rendimento e la selettività a CO_2 dei materiali disponibili sono bassi; a parità di costi generali, la quantità di CO_2 che può essere rimossa è considerevolmente inferiore rispetto a quella rimuovibile con solventi. Malgrado ciò, questa metodologia potrebbe avere un ruolo importante se combinata con altre tecnologie di separazione.
Altre due tecniche note e funzionanti per la cattura e separazione su impianti di piccola scala so-

no la criogenia e l'utilizzo di membrane; al momento però risultano ambedue meno mature per applicazioni agli elevati flussi gassosi provenienti da centrali elettriche in impianti di potenza.
Una volta sequestrata e purificata, il **trasporto di CO_2** su larga scala è nella maggior parte dei casi attuato via *pipeline*; altre opzioni possono prevedere il trasporto via nave o, in misura decisamente minore, su strada.
I serbatoi di **stoccaggio** individuati e utilizzati fino ad oggi sono sostanzialmente serbatoi naturali associati a formazioni geologiche sepolte e serbatoi in mare profondo. Questi devono avere una capienza sufficiente a trattenere una frazione significativa delle emissioni globali di CO_2 (attualmente oltre 30 Gt/a) e devono essere in grado di immagazzinare stabilmente CO_2 per centinaia di anni. Lo stoccaggio di CO_2 deve avere inoltre basso impatto ambientale, costi contenuti ed essere conforme alle normative nazionali e internazionali.
Sempre più interesse stanno avendo a livello internazionale le **tecnologie CCU**: queste non solo riducono le emissioni di CO_2 in atmosfera, ma impiegano il gas rimosso per produrre prodotti ad alto valore aggiunto. L'utilizzo di CO_2 può prevedere sia il suo uso diretto, sia la sua conversione in sostanze chimiche. Negli ultimi anni, CO_2 è stato impiegato in vari settori commerciali, dall'industria delle bevande (*soft drink*) alla saldatura, dall'utilizzo per estintori alle sostanze schiumanti, all'impiego come propellente o come solvente (fluido) in vari processi come *drying-cleaning*, separazioni, trattamenti di acque, etc.
Molto studiata è anche la conversione di CO_2 in combustibili e prodotti di interesse per l'industria chimica. Urea, policarbonati, metanolo, dimetilcarbonato e dimetiletere, che vengono attualmente prodotti nell'ordine dei milioni di tonnellate annue, presentano interessanti valori di mercato e prospettive di sviluppo.
L'utilizzo di CO_2 da processi CCS per la preparazione di questi prodotti, dato il loro vasto utilizzo, possono compensare parte dei costi sostenuti per la cattura stessa o, addirittura, generare profitto. Tuttavia, la termodinamica sfavorevole e la scarsa reattività di CO_2 rende ogni sua potenziale conversione ancora troppo costosa da un punto di vista energetico; è quindi necessario lo sviluppo sia di nuovi processi basati su nuovi catalizzatori, versatili ed efficienti, sia di innovative filiere biocatalitiche, fotosintetiche, fotocatalitiche (cfr. SETTORE 10 – AMBIENTE).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'Italia è sostanzialmente in linea con la strategia internazionale ed europea, come confermato da vari accordi internazionali firmati dal nostro governo con USA, Cina, Regno Unito, etc., da accordi fra organismi di ricerca e come è indicato nella Legge n. 99 del 23 luglio 2009 (Disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia). La legge prevede anche iniziative e supporto finanziario per promuovere la ricerca e la sperimentazione nel settore della cattura e confinamento della CO_2 emessa da impianti termoelettrici, la realizzazione di progetti dimostrativi e specifiche iniziative industriali centrate nell'area carbonifera della Sardegna. In tale quadro si inseriscono le attività sviluppate nel recente passato, anche finanziate dai Ministeri della Ricerca e dello Sviluppo Economico e avviate sul piano industriale essenzialmente da ENEL e Eni.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In tutto il mondo sono in corso importanti programmi di ricerca sulle tecnologie CCS e sulla loro dimostrazione su scala industriale. Particolarmente attivi risultano USA, Canada, Australia, Sud Africa, Cina, i paesi scandinavi e i paesi orientali.

In Europa, oramai dieci anni fa, una coalizione di *stakeholder* comprendente diverse compagnie elettriche europee, società petrolifere, fornitori di impianti e componenti, ricercatori e accademici provenienti da diversi enti, società e università hanno fondato nel 2005 la Piattaforma Tecnologica Europea ZEP per lo sviluppo di impianti di generazione elettrica ad emissione zero alimentati a combustibili fossili. La piattaforma ha negli anni condotto numerosi studi sul settore ed ha approntato una *roadmap* per lo sviluppo, la dimostrazione e la commercializzazione delle tecnologie e degli impianti CCS anche all'interno della cornice delle Iniziative Industriali Europee (EII) e del recente *CCS Implementation Plan*. All'interno del piano di sviluppo originale il Consiglio Europeo ha deciso di supportare fino al 2015 lo sviluppo di 10-12 impianti dimostratori delle tecnologie CCS su larga scala. Un miliardo di euro era stato stanziato per dare copertura a sei progetti da attuare in sei Paesi Membri attraverso il programma di finanziamento EEPR (*European Energy Programme for Recovery*). Finanziamenti pari a circa 160 milioni di euro sono poi stati messi a disposizione attraverso il Settimo Programma Quadro; ulteriori 300 milioni di euro sono arrivati anche al meccanismo *New Entrants Reserve* (NER300) relativo al mercato di allocazione dei permessi di emissione ETS. Ad oggi l'impatto di questa iniziativa è di fatto considerevolmente ridotto rispetto alle aspettative a causa di diversi fattori, come la crisi economica-finanziaria, che ha ridotto la domanda di energia, precluso parte dei fondi e sbilanciato (a causa anche di valori di EUA ridotti fino a 5 volte le attese) i piani economico-finanziari dei progetti CCS tipicamente a lungo termine, indebolendo il supporto politico in alcuni Stati Membri.

Coprendo circa il 52% della domanda nel 2012, gli impianti di potenza alimentati a combustibili fossili rappresentano ancora lo zoccolo duro del sistema europeo di generazione elettrica. Il carbone e il gas sono i combustibili più utilizzati (24,7 e 23,6% nel 2012). Le previsioni in campo energetico suggeriscono un quadro che manterrà percentuali intorno al 40-50% al 2030. La ripartizione tra moderni impianti a carbone o a gas dipenderà dal prezzo dei combustibili e dal mercato delle quote di emissione, che attualmente, con valori intorno a 5 euro per tonnellata di CO_2, non riesce ad attrarre investitori senza la presenza di un determinante apporto di sovvenzioni pubbliche. L'impatto dello *shale gas* su questo scenario è ancora incerto. Gli impianti con CCS andranno a competere con quelli convenzionali appena raggiungeranno un minimo livello commerciale. Il livello di penetrazione sarà influenzato dalle tempistiche, dalla diffusione, dalla cornice normativa, dai vincoli ambientali e dallo sviluppo di una rete efficace di trasporto del CO_2.

I moderni impianti di generazione elettrica da combustibili fossili dotati di tecnologie CCS non sono ancora diventati commercialmente competitivi rispetto a quelli convenzionali. Quando lo diventeranno sarà all'interno di una cornice regolatoria che disciplini l'emissione di quote programmate di emissioni climalteranti tenendo conto dei costi supplementari dovuti all'introduzione delle CCS (come quella dell'ETS – *Emission Trading Scheme* europeo). Secondo quanto riportato nell'*Energy Roadmap* europea 2050, le tecnologie CCS applicate al settore *power* contribuiranno per una quota compresa tra 19 e 32% alla riduzione delle emissioni al 2050. Negli scenari ove si

assume che le fonti rinnovabili assumeranno un ruolo ancora maggiore, gli impianti alimentati con combustibili fossili equipaggiati con CCS dovranno possedere una flessibilità tale da poter essere utilizzati per far fronte alle variazioni di carico bilanciando la rete e fornendo capacità di riserva. Un prerequisito fondamentale per lo sviluppo in larga scala delle tecnologie CCS è la dimostrazione della fattibilità tecnico-economica dell'integrazione delle tecnologie esistenti in un'unica filiera completa, a partire dal combustibile fossile fino allo stoccaggio del CO_2. Sono necessari quindi studi e sperimentazioni, affinché si sviluppino metodi di cattura sempre più efficienti e meno penalizzanti dal punto di vista energetico ed economico. Altresì c'è la necessità di accumulare maggiore esperienza nel trasporto della CO_2 per migliorare gli aspetti relativi alla sicurezza e raggiungere migliori livelli di accettabilità sociale. L'utilizzo di biomasse in alimento agli impianti può potenzialmente condurre ad emissioni di CO_2 nulle se non addirittura negative. Gli incentivi finanziari sono vitali affinché le tecnologie CCS possano diventare effettivamente e commercialmente applicabili. Sul lungo periodo un meccanismo stabile di tassazione delle emissioni di biossido di carbonio è necessario per permettere una reale diffusione di queste tecnologie. Certamente c'è ancora molto da fare in termini di miglioramento delle efficienze di cattura e di riduzione dei costi cosa che può essere fatta solo investendo in attività di ricerca. Gli aspetti prioritari riguardano il miglioramento delle efficienze degli impianti di generazione elettrica, lo sviluppo di nuovi materiali ad alte prestazioni (in particolare per i boiler USC e le turbine a gas e a vapore), lo sviluppo di catalizzatori innovativi e in generale di processi di cattura più economici, sia in termini chimici, con la formulazione di solventi o adsorbenti più performanti, che impiantistici. Il punto chiave per quanto riguarda lo stoccaggio sul lungo periodo sono la sicurezza e la salubrità. Sia l'impatto ambientale che la gestione della sicurezza impongono ulteriori approfondimenti e ricerche. Le tecniche di monitoraggio e modellazione dei siti, utilizzate per determinare fenomeni di diffusione, migrazione di CO_2, interazione tra fluidi e rocce, la valutazione della tenuta dei *caprock*, ecc. vanno ulteriormente affinate e validate sito per sito.

Anche gli aspetti finanziari e normativi relativi alle infrastrutture di trasporto e stoccaggio vanno ulteriormente approfonditi.

La percezione pubblica avrà un ruolo determinante per lo sviluppo della tecnologia. Il livello di coscienza e di conoscenza delle CCS è attualmente abbastanza basso ma è una priorità con la quale tutti gli attori sul campo devono in qualche modo confrontarsi.

Per quanto riguarda lo status dei progetti su larga scala a livello europeo, a parte i due siti norvegesi di Sleipner e Snøhvit, ove si opera con la cattura sul gas naturale estratto da piattaforme *offshore*, ci sono pochi altri grossi progetti relativi alla realizzazione di nuovi impianti che procedono pur tra vari rallentamenti:

- progetto inglese White Rose, relativo a un impianto di cattura realizzato su una centrale ad ossicombustione con stoccaggio definitivo in acquiferi salini offshore;
- progetto ROAD in Olanda che prevede la cattura di 1Mt/a CO2 da una centrale a carbone con stoccaggio offshore;
- a livello italiano è per il momento in stand by il grosso progetto ENEL di Porto Tolle, relativo all'applicazione di un sistema di cattura post combustione per catturare fino ad 1Mt/a CO2 prodotto da un gruppo a carbone da 660MW.

L'Italia è in linea rispetto al trend internazionale, le scelte politiche devono essere aggiornate alla luce della persistente crisi economica con la necessità sempre più stringente di dar corso alla nuova strategia energetica. Esistono, in ogni caso, degli indirizzi riguardo alle politiche della ricerca e innovazione, promosse dai ministeri dello Sviluppo Economico (MISE), Istruzione Università e Ricerca (MIUR) e Ambiente Tutela Territorio e del Mare (MATTM) con ambiti e obiettivi specifici ancora non precisati, come nel caso delle problematiche normative, autorizzative e di *public acceptance* per lo stoccaggio di CO_2. Permangono, invece, grandi incertezze relativamente al recepimento della direttiva europea sulle quote di emissione, che non ha garantito i risultati attesi. La situazione, ancora in evoluzione, è caratterizzata dall'impegno di due grandi realtà come ENEL, soprattutto sulla cattura di CO_2 ed Eni per il trasporto e stoccaggio di CO_2, e da iniziative importanti effettuate da Sotacarbo, CNR ed ENEA. In questo senso è stata recentemente avviata, con la sottoscrizione di un protocollo di intesa tra ministero dello Sviluppo Economico e Regione Autonoma Sardegna ad agosto 2014, un'importante iniziativa a livello nazionale, che spazia dalla ricerca e sviluppo, alla dimostrazione su scala industriale, fino alla formazione/informazione e crescita dell'accettabilità sociale. Si tratta di un'iniziativa lanciata nel Sulcis (Sardegna sudoccidentale), che tra l'altro si presta molto bene allo stoccaggio di anidride carbonica in quanto è zona non sismica, con formazioni acquifere saline, considerate le più idonee per lo stoccaggio di CO_2, sovrastate da strati di carbone non utilizzabili. Vi è poi un ampio insieme di operatori che hanno espresso forte interesse alle tecnologie CCS e perciò hanno avviato iniziative di studio di fattibilità e/o attività di ricerca e scouting tecnologico; tra queste si menzionano le società di ingegneria – Techint, Foster Wheeler, Saipem – e le manifatturiere Ansaldo Energia ed Ansaldo Caldaie. Vi sono poi altre aziende elettriche e realtà di dimensioni più piccole interessate ad impianti di taglia medio-piccola.

Sul piano degli aspetti legali e normativi per la CCS si è avviata una complessa attività internazionale, che ha visto il protagonismo di Australia, Canada, Unione Europea e Stati Uniti d'America, seguiti da molti altri paesi come Svizzera, Nuova Zelanda, Corea e Sud Africa. Nell'UE sono coinvolti sia la Commissione Europea che gli Stati Membri che operano nell'ambito della Direttiva Europea 2009/31/CE del 23 aprile 2009, che è stata recepita nella maggior parte degli Stati.
L'Europa intende affrontare le grandi sfide del clima e dell'energia attraverso un grande programma di innovazione, denominato SET Plan – *Strategic Energy Technology Plan*. Per realizzare questa nuova rivoluzione industriale, facendo altresì fronte alla concorrenza di alcuni paesi industrializzati e delle economie emergenti, i paesi dell'Unione dovranno mettere in comune risorse condividendo i rischi connessi allo sviluppo delle nuove tecnologie trovando così il giusto equilibrio fra cooperazione e competizione. Tale sforzo potrà portare ad assumere la *leadership* mondiale delle tecnologie energetiche, valorizzando così i benefici che questa rivoluzione comporterà. Grande importanza e responsabilità nel cofinanziamento è lasciata ai singoli Stati Membri. Infine, un ruolo crescente sta assumendo l'EERA (*European Energy Research Alliance*) che prosegue col *Joint Programme* sulle CCS nel consolidamento del suo ruolo di riferimento, nell'ambito del SET Plan, per l'individuazione delle priorità di ricerca e sviluppo, affiancandosi alla piattaforma tecnologica ZEP (*zero Emission Fossil Fuels Power Plants*) che rappresenta essenzialmente il mondo industriale.

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore 3 – Energia

Eni	Massimo Chindemi (Coordinatore)
	Daniele Bianchi
	Vincenzo Calemma
	Lorenzo De Vita
	Marco Rotondi
	Arrigo Vienna
CNR	Maurizio Peruzzini
Elettra Sincrotrone	Matteo Amati
	Andrea Radivo
EMA	Michele Di Foggia
ENEA	Paolo Deiana
Enel	Valerio Cinti
	Stefano Malloggi
Gruppo M&G	Sandro Cobror
INSTM	Francesco Basile
	Fabrizio Cavani
Rivoira/Praxair	Enrico Liso
Saes Getters	Corrado Carretti
Versalis	Paolo Lomellini
Warrant Group	Francesco Lazzarotto

con la collaborazione di:

Angelantoni	Augusto Maccari

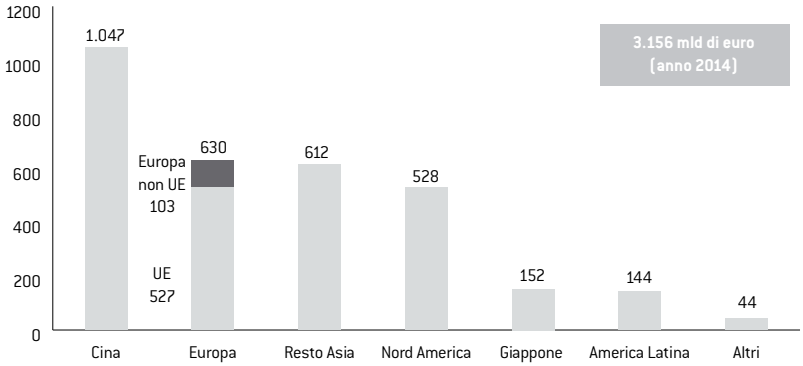
SETTORE 4

>CHIMICA<

PROFILO DEL SETTORE

Profilo della chimica europea

La chimica mondiale realizza un valore della produzione prossimo ai 3.160 miliardi[1] di euro e, nonostante la rapida ascesa della Cina, primo produttore mondiale con 1.047 miliardi di euro, la chimica europea continua a rivestire un ruolo primario nel panorama mondiale; infatti essa, con 527 miliardi di euro, rappresenta il 17% del valore della produzione mondiale (il 20% includendo i Paesi non UE) e mantiene la leadership mondiale in termini di investimenti in R&S.



Nord Amercia = USA, Canada e Messico
Resto Asia = Asia esclusi Cina e Giappone

FIG. 45 – DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA DELLA PRODUZIONE CHIMICA MONDIALE

1 *Fonte: Cefic Chemdata International (2014)*

Sul fronte degli investimenti produttivi la Cina risulta ormai il polo di attrazione principale con oltre 66 miliardi di euro. L'Europa (18,6 miliardi di euro) e gli USA (24 miliardi di Euro) ricoprono comunque una posizione migliore rispetto al Giappone, alla Corea del Sud, al Brasile, Russia, India e Sud Africa[2]. In particolare gli USA vedranno una significativa crescita, peraltro già in atto, degli investimenti nel prossimo triennio connessa alla rivoluzione dello shale gas.

La chimica è un settore di specializzazione dell'industria europea che contribuisce in modo significativo all'innovazione ed occupazione qualificata. L'industria chimica europea genera un surplus commerciale quasi raddoppiato negli ultimi 10 anni e pari a 48 miliardi di euro nel 2013. La ricomposizione dell'avanzo commerciale testimonia alcuni cambiamenti in atto: un contributo crescente nel tempo e ormai maggioritario proviene, infatti, dalla chimica fine e specialistica (26,2 miliardi di euro) e dalla chimica per il consumo (15,4 miliardi di euro), mentre i prodotti organici ed inorganici di base ridimensionano il loro apporto (pur restando in territorio positivo per la petrolchimica). La chimica è un settore ad elevata intensità di ricerca, tuttavia, l'incidenza delle spese di R&S sul fatturato mostra un andamento decrescente non solo in Europa, ma anche nelle altre principali aree avanzate (USA e Giappone), perché risente del peso crescente delle commodities, cioè di prodotti indifferenziati per i quali l'innovazione non è adeguatamente remunerata dai clienti. Non si tratta comunque di una tendenza generalizzata a tutti i prodotti chimici né inarrestabile. Al contrario, le nuove frontiere tecnologiche (dalla sostenibilità alla chimica da fonti rinnovabili, dalle nanotecnologie alle biotecnologie) daranno nuovo slancio agli investimenti in R&S dell'industria chimica.

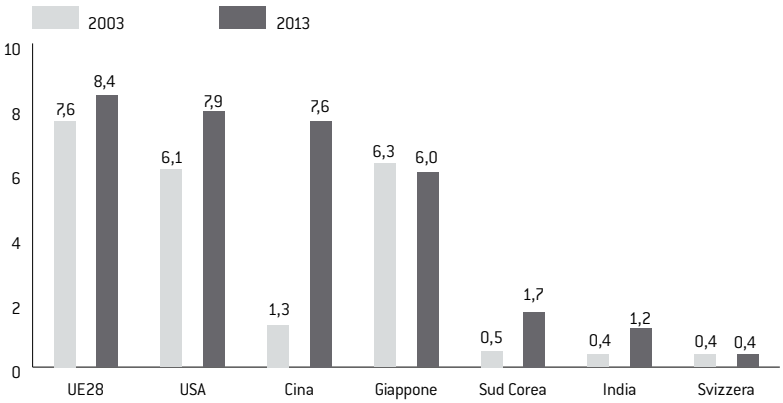


FIG. 46 INVESTIMENTI IN MILIARDI DI EURO 2003 VS 2013 PER PAESI

2 *Fonte: Cefic Chemdata International (2014)*

Nonostante il fatto che negli ultimi anni si sia verificata una contrazione degli investimenti in R&S è interessante il confronto sul periodo 2003-2013[3] dal quale si evince il grande salto compiuto dalla Cina in termini di investimenti in R&S, la diminuzione degli investimenti in Giappone e l'aumento degli investimenti in EU sebbene inferiori a quelli statunitensi.

MERCATO

L'Europa ha una lunga tradizione di leadership nella chimica, tuttavia emergono chiari segnali su cui riflettere:
- negli ultimi 20 anni l'Europa ha perso quote di mercato a fronte dell'entrata in scena dei Paesi emergenti (dal 23,5% del 1992 al 18% del 2012);
- questo fenomeno si è intensificato dopo la crisi del 2008.

In effetti, in base ad un'analisi condotta dal Cefic in collaborazione con Oxford Economics, il differenziale di crescita dell'export chimico europeo rispetto a quello mondiale nel periodo 2008-2012 (pari a 5,3 punti %) risulta:
- solo in piccola parte dovuto ad un mix di Paesi di destinazione con domanda meno dinamica (1,5 punti %);
- prevalentemente riconducibile ad una perdita di competitività (3,9 punti %).

L'erosione di competitività emerge soprattutto nei settori della chimica di base (in particolare petrolchimica e polimeri) e trova riscontro anche nel corrispondente deterioramento del saldo commerciale, in corso già da diversi anni, a fronte della continua espansione nei settori della chimica fine e specialistica.

I principali fattori di svantaggio competitivo risiedono:
- in un divario nel costo dell'energia, che si è ampliato negli ultimi anni anche nei confronti del Nord America a seguito dell'impiego di shale gas a prezzi vantaggiosi;
- nell'adozione di politiche climatiche molto ambiziose (come la riduzione delle emissioni di gas serra del 40% entro il 2030) che penalizzano le imprese chimiche europee senza benefici sostanziali per l'ambiente, tenuto conto che l'Europa rappresenta solo il 10% delle emissioni globali e che iniziative unilaterali rischiano di provocare la delocalizzazione delle produzioni verso Paesi con meno vincoli;
- più in generale, in un contesto normativo poco favorevole all'impresa che produce inutili extra-costi, scoraggiando gli investimenti. Su quest'ultimo punto, proprio per cercare di recuperare competitività, la Commissione Eu-

3 *Fonte: Cefic Chemdata International (2014)*

ropea guidata da Juncker ha, ad inizio 2015, avviato un'analisi a livello europeo per valutare l'impatto economico delle varie normative sull'Industria Chimica.

Tali condizionamenti, pur gravando in misura maggiore sui settori della chimica di base, impattano sulla competitività di tutta l'industria chimica, anche perché l'indebolimento delle fasi a monte della filiera chimica produce effetti a cascata su tutta la chimica a valle.

Normative come REACh[4], CLP[5], PPPR[6], BPR[7] se da un lato hanno un inevitabile impatto sulla competitività dell'industria chimica europea, dall'altro hanno posto sempre più al centro della scena l'attenzione per l'ambiente e per la salute. In questo contesto si inquadra la forte spinta delle autorità europee per la sostituzione, laddove possibile, delle cosiddette sostanze SVHC[8].

Tuttavia, nonostante l'erosione competitiva dovuta a cause esogene ed endogene, l'Europa Comunitaria (EU28) rimane l'area del mondo con la più alta % di export verso le altre aree.

FIG. 47 – IMPORT/EXPORT DELL'INDUSTRIA CHIMICA A LIVELLO MONDIALE

	NAFTA	LAT[1]	EU(28)	ROE[2]	ASIA	AFRICA& OCEANIA	TOTALE
EXPORT %	13,6	2,4	42,5	4,6	35,0	1,9	100
IMPORT %	11,8	5,9	35,3	6,1	37,4	3,5	100

1 Centro e Sud America. Messico escluso
2 Resto dell'Europa

Negli ultimi anni, in particolare in Europa, si è fatto sempre più strada il concetto di sostenibilità che introduce, a fianco dell'attenzione per l'ambiente e per la salute, un parametro economico. Alla luce di questo, la sostenibilità quindi per essere vera deve soddisfare armonicamente tre parametri fondamentali che sono l'ambiente, la salute e il profitto. In questa logica l'industria chimica europea si sta ormai muovendo e le KETs[9] individuate dall'Unione Europea qualche anno fa cercano di conciliare la sostenibilità e la competitività del sistema industriale europeo.

4 Registration, Evaluation, Authorization of Chemicals
5 Classification, Labeling and Packaging
6 Plant Protection Products Regulation
7 Biocidal Products Regulation
8 Substances of Very High Concern
9 Key Enabling Technologies

PROFILO DELLA CHIMICA ITALIANA

In Italia sono attive quasi tremila imprese chimiche che occupano circa 109 mila addetti, altamente qualificati. L'industria chimica si caratterizza per una capacità di attivazione degli altri comparti, elevata, crescente e anch'essa qualificata, basti pensare ai servizi specializzati in ambito ambientale. Si stima che l'occupazione complessivamente attivata dalla chimica in Italia sia circa il triplo di quella diretta e arrivi a superare i 350 mila addetti.

Con un valore della produzione di circa 52 miliardi di euro (9,7%)[10], l'Italia si conferma il terzo produttore chimico europeo dopo Germania (28,4%) e Francia (14,9%) e l'undicesimo a livello mondiale. In ambito europeo l'Italia è anche il terzo mercato di utilizzo di prodotti chimici, il che riflette la forte vocazione industriale del Paese.

Il settore copre il 6% del fatturato dell'industria manifatturiera del Paese, ma il suo ruolo va ben al di là di questo dato, infatti i vari prodotti chimici trovano impiego "a valle" in tutti i settori industriali e grazie al loro contenuto tecnologico ne alimentano la competitività. L'Italia è presente in tutte le aree della chimica:

- la chimica di base produce i costituenti fondamentali della filiera per le imprese chimiche a valle ed è un settore costituito da un numero limitato di grandi produttori. Essa ricopre circa il 43% della produzione chimica italiana e il 31% in termine di addetti;
- la chimica fine e specialistica rappresenta circa il 41% del totale, è molto articolata e fornisce agli altri settori industriali beni intermedi fortemente differenziati in grado di garantire la performance desiderata;
- detergenti e cosmetici, oltre ad alcune tipologie di pitture e vernici, sono destinati al consumatore finale e rappresentano il restante 16% della produzione.

L'industria chimica italiana presenta una specializzazione forte e crescente nella chimica a valle che rappresenta il 57% del valore della produzione, una quota ben superiore rispetto alla chimica europea (45%). L'Italia, tra i produttori europei, è il paese che presenta la maggior crescita dell'export di chimica fine e specialistica tra il 2010 e il 2014.

In Italia l'industria chimica vede la presenza bilanciata di 3 tipologie di attori: le imprese a capitale estero, i medio-grandi gruppi italiani e le PMI. Il settore si caratterizza per una presenza significativa di imprese a capitale estero: la loro quota sugli addetti (intorno al 30%) è circa il triplo rispetto all'industria manifatturiera italiana ed è in linea con la media europea a testimoniare che, nono-

10 Fonte: Cefic Chemdata International (2014)

stante tutte le gravi inefficienze del Sistema Paese, esistono in Italia ancora dei vantaggi nella realizzazione di produzioni chimiche.

Queste imprese rivestono il 36% del valore della produzione chimica in Italia e rappresentano una risorsa importante grazie ad una presenza radicata sul territorio, rivolta, nella maggior parte dei casi, non solo alla domanda interna ma anche ai mercati esteri. Sono, infatti, responsabili di circa un terzo dell'export di chimica (con una quota sul fatturato in media pari al 42%) e spesso realizzano in Italia anche attività di ricerca, specialmente laddove gli stabilimenti italiani costituiscono, per determinate specialità, una base produttiva di riferimento per tutto il gruppo.

Nonostante la crisi abbia inevitabilmente indotto un ridimensionamento anche della presenza estera, non si è assistito a un massiccio processo di disinvestimento: la quota in termini di addetti chimici è calata soltanto di due punti percentuali in 6 anni. Tuttavia, il processo di razionalizzazione degli impianti a livello mondiale non si è ancora completamente esaurito e pertanto permangono rischi in merito al mantenimento di alcune produzioni in Italia, gravate da un costo dell'energia molto penalizzante. Tra le imprese a capitale italiano figurano anche numerose PMI, che rappresentano il 39% del valore della produzione. Rispetto alle PMI di altri settori industriali, quelle chimiche sono imprese complesse ed avanzate infatti, grazie all'innovazione e agli investimenti in risorse umane qualificate, sono mediamente molto più produttive, come dimostra un valore aggiunto per addetto del 75%.

Contrariamente alla percezione, talvolta prevalente, delle scomparsa in Italia della grande industria chimica, i medio-grandi gruppi a capitale domestico (caratterizzati da vendite mondiali superiori ai 100 milioni di euro) ricoprono il 25% del valore della produzione[11].

La classifica dei principali gruppi chimici a proprietà italiana evidenzia numerose realtà, forse sconosciute al grande pubblico, ma spesso leader nel loro segmento di specializzazione a livello europeo se non addirittura mondiale. Queste imprese hanno la massa critica per affrontare quelle che sono le sfide più impegnative per il settore: ricerca di frontiera e internazionalizzazione. La maggior parte delle aziende medio-grandi italiane hanno produzioni all'estero, sia per soddisfare il mercato locale, che per utilizzare materie prime naturali presenti nella regione e sfruttare competenze specifiche locali.

Nonostante un buon numero di imprese chimiche italiane strutturate per gestire metodologicamente la R&S, rimane un gran numero di PMI che non hanno una massa critica tale da poter affrontare in modo strutturato l'innovazione di prodotto che protegge molto di più, davanti alla competizione mondiale, rispetto all'innovazione di processo. Rimane infatti alto il numero di PMI che

11 Fonte: Dati Federchimica 2013

affrontano la R&S in modo esperienziale ovvero non strutturato. Questa mancanza di strutturazione di fatto preclude, nella stragrande maggioranza dei casi, l'accesso ai finanziamenti europei, a cui è sempre più necessario far riferimento per finanziare l'innovazione. Se in passato piccolo poteva essere bello, oggi, in particolare per un'industria come la chimica che richiede alta intensità di ricerca, non è più così.

È auspicabile quindi che le PMI dell'industria chimica si evolvano sempre di più dotandosi di piani di sviluppo e organizzazioni tali da poter gestire l'innovazione in modo strutturato. Un passaggio fondamentale in questa direzione è per le PMI la capacità di interagire con il mondo accademico e gli Enti di Ricerca. Questa consapevolezza sembra aver preso piede in quanto è significativamente aumentato negli ultimi anni il numero di imprese che svolge attività di R&S in collaborazioni con università e centri di ricerca.

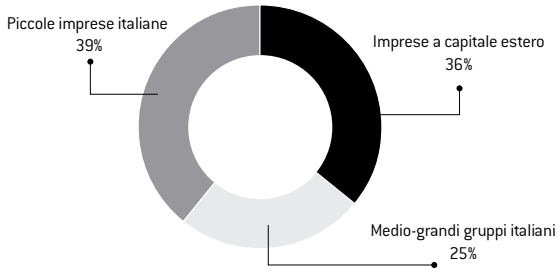


FIG. 48 – DISTRIBUZIONE DELLA PRODUZIONE IN ITALIA (%, ANNO 2013)

OCCUPAZIONE

L'industria chimica europea garantisce posti di lavoro altamente qualificati e occupa circa 1,2 milioni di addetti. Considerando anche l'occupazione attivata indirettamente, si stima che oltre 4,0 milioni di lavoratori in Europa abbiano un impiego collegato all'Industria chimica. Dagli anni Duemila, l'occupazione chimica diretta in Europa è tendenzialmente diminuita ma una parte di questa diminuzione è stata dovuta all'effetto dell'outsourcing, ovvero alcune attività che prima venivano svolte all'interno delle imprese chimiche sono state esternalizzate con un aumento degli occupati indiretti. Un'altra parte della diminuzione degli addetti è sicuramente dovuta al principio dei vasi comunicanti che ha visto al contempo la crescita tumultuosa della Cina come produttore.

Dopo il marcato calo durante la crisi del 2008-2009, l'occupazione nell'industria chimica europea sembra essersi stabilizzata, segnale di un rallentamento del drenaggio verificatosi nel corso degli ultimi venti anni per via della crescita dei Paesi emergenti, in primis la Cina.

RICERCA E SVILUPPO

Tendenze evolutive della chimica in Italia

Da alcuni anni l'industria chimica in Italia vive una netta divaricazione tra andamento del mercato italiano ed estero: dinnanzi a vendite interne che hanno perso oltre il 20% rispetto al 2007, solo la continua crescita dell'export ha consentito di limitare al 7% la caduta del valore della produzione e, di conseguenza, di contenere la perdita di occupati (-10% a fronte del -14% dell'industria manifatturiera nel suo complesso). La crisi, come è noto, ha carattere strutturale e sta cambiando il volto dell'industria manifatturiera italiana e, in parte anche europea: alcuni settori ne escono fortemente ridimensionati mentre altri, soprattutto ora che la ripresa appare finalmente alla portata, emergeranno come nuove specializzazioni del made in Italy.

L'industria chimica italiana, pur risentendo del ridimensionamento di importanti clienti a livello nazionale, non evidenzia situazioni diffuse di crisi irreversibile, al contrario è tra i comparti che hanno resistito meglio alla pesante crisi iniziata nel 2008. L'incidenza delle sofferenze sui prestiti bancari, infatti, rimane la più bassa nel panorama industriale italiano (6% a fronte del 20% totale dell'industria).

L'export rappresenta una variabile chiave sotto un duplice punto di vista: sia perché i mercati esteri continueranno ad offrire le migliori opportunità di crescita, sia come cartina di tornasole della competitività. Da diversi anni la chimica si sta distinguendo nel panorama industriale italiano per la sua performance sui mercati internazionali: dal 2007 le esportazioni sono cresciute del 16%, un ritmo ben superiore rispetto alla media manifatturiera (+10%).

Performance di eccellenza emergono, in particolare, nella chimica fine e specialistica, in espansione del 26% e con segnali di netta accelerazione negli ultimi anni (+3.7% nel solo 2014), frutto del riposizionamento di molte imprese tradizionalmente orientate al mercato interno. In effetti, l'Italia vanta una specializzazione in numerosi segmenti della chimica fine e specialistica che complessivamente generano un surplus commerciale che supera i 4 miliardi di euro. Tra questi figurano i cosmetici, le pitture e vernici, i detergenti e prodotti per la cura della casa, gli additivi per oli lubrificanti, gli adesivi, gli ausiliari per tessile e cuoio. Gli sforzi di riposizionamento non riguardano solo le rotte del commercio estero, ma anche il portafoglio prodotti. Emerge, infatti, un innalzamento del contenuto qualitativo e tecnologico dei prodotti chimici concentrato soprattutto negli ultimi cinque anni e quantificabile nel +8% sulla base del confronto tra la crescita dei valori medi unitari e dei prezzi all'esportazione (questi ultimi a parità di mix qualitativo).

In un contesto in cui la concorrenza internazionale si fa sempre più pressan-

te, ricerca e innovazione diventano sempre più fondamentali per sostenere la competitività. Rispetto all'immagine, talvolta stereotipata, di un'industria italiana che non fa ricerca, la chimica investe, nel nostro Paese, circa 500 milioni di euro all'anno e dedica circa 4.900 addetti alla R&S con un'incidenza sull'occupazione pari al 4.2%, assai superiore alla media manifatturiera (2.6%). L'Italia, inoltre, è ben posizionata in un ambito di frontiera come la chimica da fonti rinnovabili, dove sono presenti imprese nazionali all'avanguardia tecnologica e dotate di rilevanti capacità di ricerca e investimento.

RICERCA E SVILUPPO DELL'INDUSTRIA CHIMICA IN ITALIA	
Spese per la R & S (milioni di euro)	475
Personale dedicato alla R & S	4.930

QUOTA DEL PERSONALE DEDICATO ALLA R&S SUL TOTALE ADDETTI (A PARITÀ DI ORE LAVORATE)	
Industria Chimica	4,2%
Industria Manifatturiera	2,6%

FIG. 49 – R&S DELL'INDUSTRIA CHIMICA IN ITALIA

Le imprese chimiche impegnate in attività di innovazione rappresentano una quota assolutamente predominante del fatturato del settore (83%, in linea con la chimica europea e superiore ad alcuni importanti produttori chimici come Francia, Regno Unito e Paesi Bassi). Molte PMI, in particolare anche quelle attive nella chimica delle formulazioni, stanno cercando di compiere un salto qualitativo verso un'innovazione meno basata su ricerca di breve termine, borderline con l'assistenza tecnica, ma di proporre soluzioni fortemente innovative proiettate su un futuro meno immediato. È interessante sottolineare che:

- tra il 2000 e il 2012 la quota di spesa in R&S sul totale delle spese di innovazione è passata dal 45.8% al 68.4%;
- le imprese che fanno R&S intra-muros sono circa 700, un numero che supera ormai Francia e Spagna ed è secondo solo alla Germania in ambito europeo.

Sempre più imprese trovano nella collaborazione con soggetti esterni un'opportunità per integrare un patrimonio di competenze e attrezzature necessariamente limitato con conoscenze scientifiche più di frontiera in aree limitrofe o persino distanti da quella aziendale. Questa tendenza è testimoniata dall'esplosione negli ultimi anni delle spese di R&S extra-muros passate dal 4% al 18% del totale delle spese di innovazione tra il 2000 e il 2012. In effetti, la chimica è il settore manifatturiero italiano in cui è maggiormente diffusa la collaborazione con università (11% delle imprese) e istituti di ricerca pubblici (5%).

Tale modello di innovazione aperta si va sempre più affermando nella grande impresa e vede casi di successo anche tra le imprese di dimensioni contenute ma, paradossalmente, non è tipico delle PMI che potrebbero avvantaggiarsene di più. È necessario infatti che le imprese, soprattutto le PMI, migliorino la capacità gestionale dei processi innovativi che sono per definizione complessi con ritorni incerti e dilatati nel tempo; essi infatti richiedono una strategia a monte, un'attenta programmazione finanziaria, il controllo dei risultati in itinere, la gestione di team allargati, la messa a punto di progetti per accedere ai finanziamenti pubblici, il ricorso alla protezione brevettuale. La ricerca pubblica, dal canto suo, deve presidiare adeguatamente le aree di specializzazione dell'industria chimica italiana aprendosi sempre più alla collaborazione con le imprese con atteggiamento proattivo.

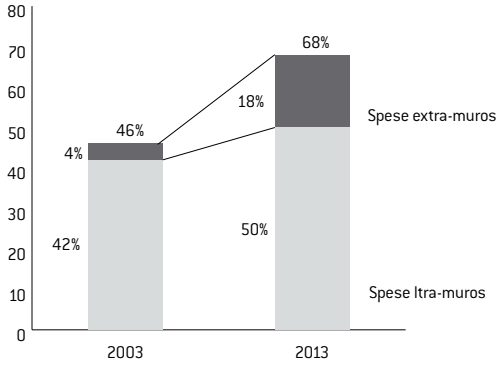


FIG. 50 – SPESE DI R&S DELLE IMPRESE CHIMICHE IN ITALIA (% SUL TOTALE SPESE DI INNOVAZIONE)

TECNOLOGIE PRIORITARIE

Le tecnologie prioritarie per il Settore Chimica individuate dal GdL[12] per questa edizione 2015 sono variegate ma altresì tutte riconducibili alla direttrice principale su cui si basa il piano dell'opera voluto da AIRI, ovvero dare uno stimolo alle istituzioni, alla ricerca pubblica ma anche alle imprese, per lo sviluppo di tecnologie prioritarie di possibile interesse nel medio periodo per l'industria chimica italiana. Esse sono inoltre in linea con i principi guida del Programma Horizon 2020 dell'UE che ha individuato nelle KETs[13] gli strumenti per la crescita scientifica, tecnologica e occupazionale dell'UE attraverso la collaborazione virtuosa tra le imprese, le università e i centri di ri-

12 Gruppo di Lavoro
13 Key Enabling Technologies

cerca e attraverso l'internalizzazione delle imprese stesse.

Le dieci tecnologie prioritarie individuate possono essere, in linea generale, raggruppate in tre gruppi di rilevanza strategica che sono:

- Tecnologie per la minimizzazione dei rischi di processo e per la competitività;
- Tecnologie ecosostenibili;
- Tecnologie formulative e innovative.

Il primo gruppo comprende le tecnologie atte all'aumento della sicurezza e all'ottimizzazione dei processi industriali attraverso ricadute positive sia in termini di costi energetici sia in termini di recupero e riciclo dei reagenti. Il secondo gruppo comprende alcune tecnologie baricentrate sulla chimica da fonti rinnovabili, come materie prime di origine naturale, che portano benefici in termini di prodotti più biodegradabili, sulla semplificazione dei processi e al non utilizzo di reagenti tossici. Infine il terzo gruppo comprende alcune tecnologie innovative e le tecnologie formulative che sono di estrema importanza vista la struttura dell'industria chimica italiana.

Tecnologie per la minimizzazione dei rischi di processo e per la competitività

1 *Nuove tecnologie operanti in flusso per lo sviluppo di una produzione chimica sostenibile*
2 *Membrane e processi a membrana nel trattamento delle acque*
3 *Tecnologie innovative a membrana per la separazione di gas industriali*

Tecnologie ecosostenibili

4 *Bioraffinerie integrate per la produzione di biochemicals*
5 *Utilizzo di biomasse nella produzione di elastomeri*
6 *Tecnologie di recupero del Polivinilcloruro*

Tecnologie formulative ed innovative

7 *Tecnologie dei Nanomateriali*
8 *Grafeni in 3D*
9 *Sviluppo di materiali plastici con nanocariche*
10 *Tecnologie Formulative per l'Industria*

Tutte le tecnologie prioritarie qui riportate sono invisibilmente collegate tra loro. Infatti, nel selezionarle e proporle, il GdL si è fatto guidare da una visione d'insieme che può essere declinata nel senso ampio e non abusato del concetto di "Sviluppo Sostenibile"[14] che, per essere tale, deve necessariamente coniugare

14 "*Lo sviluppo sostenibile è tanto un modo di considerare il mondo, con particolare attenzione alle interazioni fra cambiamenti economici, sociali e ambientali, quanto un modo per descrivere la nostra aspirazione a una vita dignitosa, coniugando lo sviluppo economico con l'inclusione sociale e la sostenibilità ambientale. In breve, è sia una teoria analitica che una cornice normativa etica*" – Jeffrey D. Sachs – *The Age of Sustainable Development*, Columbia

in un'unica, seppur difficile equazione, il rispetto per la componente ambientale, il rispetto per la componente sociale e il rispetto per la componente economica.

SINTONIA CON LE LINEE EUROPEE

Le Tecnologie Prioritarie proposte per il Settore della Chimica, in sintonia con le linee guida KETs e SSS[15] dell'Unione Europea, cercano quindi di:

- **proporre** uno sviluppo tecnologico rispettoso dell'ambiente, sicuro in termini di processo/prodotto, attento alla salute dei lavoratori dell'industria chimica e dei cittadini ed economicamente vantaggioso;
- **valorizzare ed incentivare** l'uso di tecnologie che utilizzano fonti rinnovabili;
- raggiungere gli obiettivi indicati dell'Unione Europea al 2030[16] per le emissioni di gas serra ed efficienza energetica;
- **conciliare** lo sviluppo sostenibile e la competitività delle imprese attraverso la minimizzazione dei consumi energetici e il recupero dei reflui industriali;
- **spostare** in avanti l'orizzonte tecnologico-competitivo delle imprese chimiche italiane;
- **incentivare** la collaborazione sulla ricerca tra industria chimica, università e centri di ricerca;
- **stimolare** le imprese chimiche, soprattutto le PMI, all'innovazione di processo ma, soprattutto, di prodotto;
- **proteggere** l'innovazione con un approccio strategico alla proprietà intellettuale;
- **creare** un quantum leap tecnologico per ridare competitività all'industria chimica nazionale creando al contempo delle barriere tecnologiche all'entrata;
- **sostituire** prodotti o processi pericolosi;
- **aumentare** l'occupazione creando nuovi posti di lavoro;
- **stimolare** la riflessione affinché l'invenzione, tipica del mondo accademico, diventi, in collaborazione con l'industria, innovazione di beni e servizi, creando così ricchezza;
- **indirizzare** il mondo accademico verso le esigenze dell'Industria;
- **aggregare**, seguendo i principi del Programma Horizon 2020 dell'UE, le imprese affinché creino massa critica per affrontare l'innovazione ed avere così la possibilità di accedere ai finanziamenti europei;
- **contribuire** a cambiare l'immagine dell'industria chimica.

Sull'ultimo punto è utile fare una riflessione: infatti, a pensarci bene, la Chi-

University Press

15 Smart Specilazation Strategies

16 CO_2: – 40% / Efficienza Energetica: + 27% / Utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia: +27%

mica è forse l'unica scienza ad avere un'industria associata. In passato questa industria ha provocato, soprattutto per inconsapevolezza, dei danni ambientali di non poca rilevanza contribuendo così a creare nell'immaginario collettivo un alone di timore nei confronti della scienza Chimica e della sua industria. Da una maggiore consapevolezza sociale-politica-industriale che man mano si è sviluppata nel corso degli anni, è nata una nuova sensibilità ed una nuova attenzione verso l'ambiente, la salute e la sicurezza che l'industria chimica ha fatto propri e dotandosi per prima, quasi trenta anni fa, di programmi di sostenibilità (codici di autodisciplina) per la gestione dell'impresa.

Quello che l'industria chimica mondiale, europea ed italiana hanno fatto in questi ultimi venticinque anni in termini di attenzione all'ambiente, alla salute ed alla sicurezza non è ancora ben percepito dalla società e dalla politica. Con questa chiave di lettura possono essere quindi lette l'enorme numero di normative europee e italiane nel campo della sicurezza, salute e ambiente che, in qualche modo, hanno condizionato e condizionano lo sviluppo dell'industria chimica.

Ben vengano le normative purché esse siano chiare ed equilibrate e volte a dare certezza sulla sicurezza dei prodotti e dei processi chimici ai cittadini-consumatori garantendo al contempo gli operatori dell'industria chimica. La Chimica, come sappiamo, è una sorta di Giano Bifronte per cui è una scienza che può provocare disastri se mal gestita ma è la sola in grado di risolverli (si pensi all'imponente piano di bonifiche in atto in alcuni siti italiani) ed a prevenirli. Da questo punto di vista infatti lo Sviluppo Sostenibile è possibile se e solo se lo si àncora ad una serie di valori, individuali e collettivi, che si declinano nell'etica della responsabilità, intesa come attenzione verso le ricadute (prevedibili) delle proprie azioni.

È auspicio che quanto qui individuato e presentato faccia da stimolo per l'Industria Chimica, per l'Università, per gli Enti di Ricerca e per la Politica affinché, nel rispetto dei ruoli, ognuno contribuisca a creare sinergie e linee di indirizzo virtuose di politiche per la ricerca industriale in questo importante e strategico settore al fine di aumentare la competitività del Paese e dell'Europa generando crescita ed occupazione.

Le tecnologie prioritarie di seguito riportate richiedono complessivamente investimenti non trascurabili per il loro sviluppo e la loro implementazione. L'investimento indicato per lo sviluppo di ogni tecnologia prioritaria individuata ha, necessariamente, un carattere indicativo quindi è inevitabilmente affetto da un grado di incertezza che in funzione dei casi può essere più o meno elevato.

RISORSE ECONOMICHE TOTALI

Circa 500 milioni di euro.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 1

NUOVE TECNOLOGIE OPERANTI IN FLUSSO PER LO SVILUPPO DI UNA PRODUZIONE CHIMICA SOSTENIBILE

DESCRIZIONE

La sostenibilità tecnologica ed economica della produzione chimica dell'Italia e dell'Europa è strettamente correlata alla produzione di milioni di tonnellate di rifiuti ed al loro relativo costo di decine di miliardi di euro e lo sviluppo di una chimica sostenibile ha le sue fondamenta su una attenta valutazione economica. Al fine di garantire la competitività del settore chimico, appare evidente l'esigenza di sviluppare nuove ed adeguate tecnologie di produzione capaci di valorizzare materiali di partenza provenienti da risorse rinnovabili ma anche di minimizzare il costo energetico, e di sicurezza oltre che la qualità e la quantità dei rifiuti da smaltire.

In questo contesto e negli ultimi anni, ricercatori dell'accademia e dell'industria hanno rivolto la loro attenzione allo sviluppo di nuove tecnologie per la realizzazione di processi sintetici operanti in flusso. L'uso di reattori in flusso (a cui comunemente ci si riferisce come microreattori) promette vantaggi sia in termini di innovazione di processo che di efficienza. Diversi sono gli esempi riportati in ambito accademico ma anche industriale, in cui viene dimostrato come, attraverso i processi in flusso, è possibile ottenere una migliore resa e qualità del prodotto finale, un'ottimale efficienza dei catalizzatori impiegati e una semplicità di variazione della scala di produzione. Inoltre, l'impiego della tecnologia in flusso promette una significativa ottimizzazione del costo energetico del processo con un più efficace controllo della temperatura dell'ambiente di reazione, e della sicurezza attraverso la produzione minima e controllata delle sostanze pericolose, oltre che la possibilità di indirizzare i processi sintetici verso cammini di reazione del tutto innovativi che non possono essere realizzati nelle condizioni di reattore statico "batch" (Novel Process Windows).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Per molto tempo l'industria chimica si è affidata a processi in flusso continuo o semicontinuo per la produzione di prodotti chimici di largo uso (commodity chemicals, come metanolo, dicloroetilene, etc.). Solo raramente questo approccio è stato poi esteso alla produzione di molecole di elevato valore aggiunto quali molecole farmacologicamente attive, pesticidi, pigmenti, additivi chimici e altri prodotti che rientrano nella vasta area dei prodotti chimici ad elevato valore aggiunto quali quelli della chimica fine specialistica e farmaceutica. D'altro canto, non è sorprendente il limitato impiego della tecnologia in flusso in questi importantissimi settori della produzione chimica dove i processi chimici impiegati comprendono la definizione di processi multistadio che impiegano sistemi catalitici sofisticati che devono permettere la preparazione di materiali ad elevata complessità molecolare. Inoltre, fino a non molto poco tempo fa, non erano disponibili apparecchiature che permettessero di realizzare i processi di interesse in flusso e nelle comuni quantità impiegate dai laboratori di ricerca. Pertanto, la chimica sviluppata a livello di ricerca (accademica e

industriale) è stata sempre basata su processi "batch". Questo ha significato che la ricerca è stata spesso disconnessa dalla chimica di processo portando ai numerosi problemi e costi connessi con la necessità di ricorre ad una ottimizzazione aggiuntiva di processi oltre che la totale riprogettazione della strategia sintetica iniziale al fine di intensificare il processo nell'ottica di una reale produzione.

In tutte le nazioni, sia in ambito accademico che industriale, gli ultimi anni hanno visto fiorire molte PMI che in collaborazione con partner industriali ed accademici hanno realizzato e commercializzato diverse tipologie di strumentazione per la realizzazione di processi in flusso sviluppando e portando i microreattori nella vita quotidiana dei laboratori di ricerca e di sviluppo. È aumentato drasticamente il numero di contributi scientifici che riguardano la realizzazione ed applicazione della chimica in flusso a processi complessi dimostrando che una nuova chimica maggiormente efficiente e sicura è possibile attraverso l'impiego di questa nuova tecnologia e lasciando intravedere vantaggi economici indubbi. Di pari passo, sono nati numerosi progetti di ricerca europei riguardanti lo sviluppo di processi efficienti di produzione chimica in flusso in cui partner industriali ed accademici hanno trovato un terreno fertile per collaborare. Non è un caso infatti, che una percentuale significativa di ricercatori che hanno contribuito e che rappresentano un punto di riferimento di quest'area provengono dal mondo industriale a dimostrazione di come questo ambito scientifico stia rappresentando un punto di congiunzione importante per l'avvicinamento del mondo accademico ed industriale al fine di rafforzare la competitività dell'Industria Chimica.

L'Italia, in qualità di terzo produttore chimico europeo, deve e può contribuire allo sviluppo tecnologico e culturale rappresentato dalla chimica in flusso e dalla chimica sostenibile. Intraprendendo tale direzione, si potranno definire quelle innovazioni tecnologiche necessarie per rendere competitiva la produzione di molecole ad alto valore aggiunto (e.g. chimica fine specialistica e farmaceutica) che possono rendere vantaggioso continuare a produrre in Europa e competere con i paesi emergenti attraverso la qualità, l'innovazione e la protezione brevettuale.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Vengono indicate con il termine di "tecnologie abilitanti" quelle soluzioni innovative che permettono l'aumento della produttività di un processo chimico migliorandolo dal punto di vista della velocità, della sicurezza e della riproducibilità chimica. In genere, questo tipo di tecnologie si basano su un nuovo modo di pensare la chimica e sulla ricerca di nuovi paradigmi coinvolgendo competenze multidisciplinari. La chimica in flusso costituisce sicuramente un caso attuale di tecnologia emergente di interesse comune sia alla ricerca scientifica che alla produzione chimica industriale attraverso la possibilità di esecuzione di processi chimici in modo automatizzato e controllato da un computer. La chimica in flusso sta cambiando le comuni pratiche di laboratorio ed il modo di pensare e lavorare del chimico di sintesi indirizzando il lavoro di ricerca e sviluppo verso una strada più sicura ed efficiente in termini di costo e tempo.

L'obiettivo di questa tecnologia è la realizzazione di un processo che possa operare in modo continuo, riproducibile e completamente automatizzato permettendo di ridurre l'impegno materiale e l'attenzione dedicata alla realizzazione del processo e lasciando maggior tempo per le altre attività collegate alla ricerca o alla produzione. In modo semplicistico ma efficace si possono confron-

tare i processi eseguiti in reattore "batch" e quelli in flusso (Vedi Fig. 51). In un reattore statico, i reagenti sono aggiunti prima e/o durante un processo, si definisce un "tempo di reazione" dopo il quale il processo si considera completo e per tale tempo i reagenti, l'eventuale catalizzatore e il prodotto sono mescolati insieme. In un processo in flusso, se continuo, i reagenti sono indirizzati continuamente in un reattore. Si definisce quindi uno "spazio di reazione" all'interno del quale deve avvenire il processo chimico e fuori di esso il prodotto viene separato dai reagenti e dal catalizzatore in modo continuo e possibilmente viene valutata la qualità del prodotto attraverso misure analitiche continue che permettono quindi un continuo aggiustamento delle condizioni ottimali di reazione.

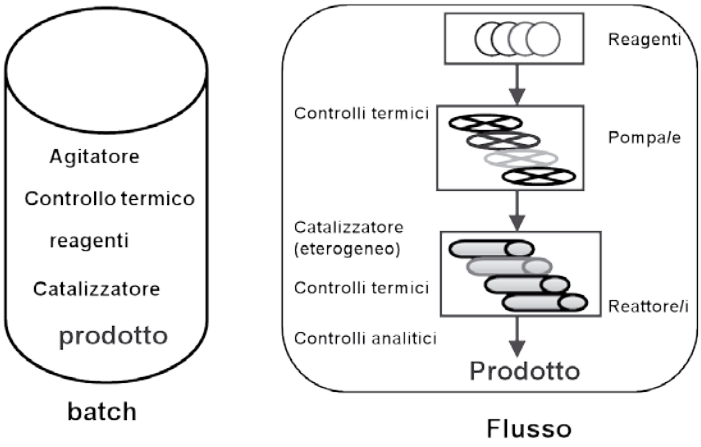


FIG. 51 – CONFRONTO SCHEMATICO DI UN PROCESSO IN BATCH E IN FLUSSO

Inoltre, come è facile intuire, nel caso di reazioni in cui reagenti sono sostanze altamente tossiche o pericolose, la produzione delle stesse può avvenire "in situ" e l'approccio in flusso continuo permette di generare solo piccolissime quantità di queste specie evitando il loro stoccaggio pericoloso e costoso. Esempi importanti a tale riguardo nella produzione chimica, sono le reazioni di riduzione con produzione di idrogeno, la generazione di diazocomposti, in particolare diazomentano, e di azidi organiche o inorganiche che seppur di grande interesse e largo impiego nella chimica fine e farmaceutica, sono sostanze di elevata pericolosità e di difficile stoccaggio.
A tale proposito nell'ambito della produzione di idrogeno, l'attuale interesse è verso la generazione continua di idrogeno a partire da materiali derivanti da biomasse che permetterebbe di accoppiare una procedura sicura di microgenerazione all'impiego di fonti rinnovabili alternative a quelle fossili. Inoltre, l'impiego di procedure in flusso che impiegano composti diazotati permetterebbe la realizzazione di una produzione sicura ed automatizzata di composti contenenti la struttura ciclopropanica che sono di grande valore per l'industria della chimica fine e farmaceutica italiana ma non solo, quali l'acido crisantemico e suoi derivati.

Un esempio in tale ambito di interesse e applicazione industriale è dato dal processo della multinazionale olandese DSM (settore farmaceutico di Linz, Austria) per la preparazione ed uso di diazocomposti nelle sintesi di derivati ciclopropanici. Impiegando un sistema di reattori Corning Advanced-Flow, viene prodotto in continuo il diazoacetato di etile, un prodotto chimico molto utile per la sintesi di molecole della chimica fine e farmaceutica ma molto instabile difficile da trasportare. Questo, sempre in continuo, viene impiegato per la funzionalizzazione di doppi legami e la preparazione di derivati ciclopropanici (Fig. 52).

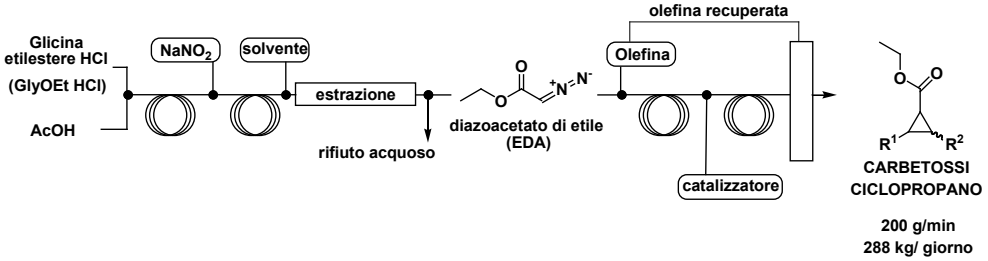


FIG. 52 – METODO DMS PER LA SINTESI DI CARBETOSSI CICLOPROPANI IN FLUSSO (LINZ, AUSTRIA)

La Lonza, una multinazionale svizzera leader nel settore della chimica, ha sviluppato una varietà di reattori di diversa dimensione denominati FlowPlate che possono operare con volumi da meno di 1 fino ad oltre 30 mL che riproducendo la stessa sezione interna del microreattore possono permettere reazioni su diversa scala. Inoltre hanno definito anche un reattore in flusso denominato Miprowa, che può operare fino a 2000 L di flusso. La sede di Visp (Svizzera) della Lonza, è dove maggiormente si sviluppano e si applicano le metodologie in flusso. Lo stabilimento di Visp produce fin dal 1950 la Niacin (Vitamina B_3 o acido nicotinico). Oggi la Niacin è prodotta a Visp con un impianto operante in continuo che fornisce 40 tonnellate al giorno di questa molecola. La Lonza fornisce più della metà della Niacin richiesta nel mondo. Il processo si basa sulla nitrazione di composti aromatici, un processo molto esotermico e studiato dai ricercatori della Lonza da molto tempo (Angew. Chem. Int. Ed. 2005, 44, 7972 –7975, Fig. 65).

Un altro vantaggio evidente della chimica in flusso è l'elevata efficienza del controllo termico della reazione, grazie alla elevata superficie di contatto che si realizza in particolare nei microreattori con canali di flusso dell'ordine di 0,5-3 mm e con velocità di flusso che possono essere di 0,5-80 L/h. La possibilità di miniaturizzare il sistema reattore utilizzato, permette un controllo della sicurezza di processo più semplice ed economico oltre che impegnare in modo molto ridotto quello che oggi si definisce l'impronta ecologica (footprint). A tale proposito, possono essere menzionati altri processi industriali target sia a livello italiano che mondiale che sono le funzionalizzazioni di doppi legami aromatici, quali acilazioni o allilazioni di Friedel-Craft che sono attualmente basati su una chimica del tutto classica e che potrebbero beneficiare dell'approccio della chimica in flusso velocizzando e ottimizzando le procedure sintetiche di molecole di largo interesse.

L'interesse verso questi processi è elevatissimo, in quanto vengono usati comunemente reagenti aggressivi come soluzioni di $AlCl_3$ in un adeguato cloruro di alchile che con il substrato desiderato vengono lasciati reagire in reattori statici per poi eseguire difficili separazioni di reagenti la cui manipolazione è molto problematica. Infatti, i rischi associati con l'acilazione di Friedel-Craft, sono la elevata esotermicità delle reazioni e del processo di neutralizzazione finale per l'isolamento del prodotto, con conseguente potenziale formazione di sottoprodotti indesiderati. Un recentissimo esempio da parte del MIT[17] americano, comparso sulla maggiore rivista di chimica applicata[18], riporta l'applicazione della chimica in flusso per realizzare una sintesi e purificazione dell'Ibuprofen basato sull'acilazione di Friedel-Craft e su un processo a 5 stadi (3 passaggi di formazione di nuovi legami, 1 di lavorazione della reazione e 1 di separazione liquido-liquido) che hanno permesso una interessante produzione del farmaco in 8,09 g/h e impiegando una sistema con una "footprint" totale di circa la metà di un classico sistema di laboratorio. Questo esempio dimostra anche come la ricerca accademica può adesso significativamente contribuire alla chimica di processo grazie all'uso di tecnologie in flusso.

Più in generale, i processi chimici che possono certamente beneficiare dell'approccio della chimica in flusso sono quelli basati su reazioni che beneficiano della elevata pressione, che includono intermedi instabili, con cinetiche veloci, che impiegano reagenti o sottoprodotti tossici, che possono beneficiare di una rapida miscelazione dei reagenti eventualmente con il catalizzatore, che sono altamente esotermiche, che possono portare a processi violenti o esplosivi, che richiedono un controllo stechiometrico molto preciso.

Obiettivi strategici

La grande opportunità che la chimica in flusso offre è quello di realizzare processi chimici più efficienti e competitivi e di avvicinare il mondo della ricerca accademica a quello dell'applicazione industriale. L'obiettivo da raggiungere per l'Italia è di sfruttare al meglio questa opportunità rendendo vantaggioso per l'azienda l'investimento nel sistema di ricerca accademico. Dovrebbe essere agevolata la creazione di una piattaforma di interesse sia accademico che industriale in cui sviluppare in modo coordinato le nuove opportunità che offre la chimica in flusso con l'intenzione di aiutare il fabbisogno di innovazione ed applicazione della produzione chimica nazionale.

Possibili ricadute occupazionali

L'innovazione tecnologica delle metodologie in flusso promette una maggiore competitività della produzione chimica che dovrebbe permettere di ridurre i costi e migliorare la qualità dei processi produttivi. Risultati positivi in questa direzione permetterebbero di ridurre i costi di produzione aumentandone al contempo la produttività rendendo meno conveniente l'offerta dei paesi in via di sviluppo quali Cina e India in cui la produzione si basa su processi datati, di qualità inferiore e la cui convenienza è dovuta ai più permessivi vincoli ambientali e di sicurezza di quei Paesi.

17 Massachusetts Institute of Technology
18 Angew. Chem. Int. Ed. 2015, 54, 983 –987, Schema

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 2

MEMBRANE E PROCESSI A MEMBRANA NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE

DESCRIZIONE

Una membrana costituisce una barriera tra due fasi che consente in modo ristretto e controllato il passaggio di una o più specie attraverso essa, trattenendone altre, facenti parte della stessa miscela. I processi di separazione nei processi a membrana sono il risultato di differenze nei parametri di trasporto delle specie chimiche attraverso la membrana. L'entità del trasporto è determinata dall'intensità della forza motrice che caratterizza il processo, come ad esempio la differenza di pressione, concentrazione e temperatura tra le due superfici della membrana.

Per quanto riguarda il trattamento delle acque, i processi a membrana più importanti e consolidati sono quelli basati sulla differenza di pressione:

microfiltrazione (MF);

- ultrafiltrazione (UF);
- nanofiltrazione (NF);
- osmosi inversa (OI).

La microfiltrazione è principalmente utilizzata per separare i solidi sospesi o eterofasi dalla soluzione contenente tutte le sostanze disciolte. L'ultrafiltrazione separa macromolecole e colloidi che presentano dimensioni superiori ad un cut-off di 1000 Dalton. La nanofiltrazione, industrialmente parlando, è un processo relativamente nuovo che permette la separazione di zuccheri o ioni di grosse dimensioni o con elevata densità di carica come sali tri- o bivalenti. L'osmosi inversa è invece in grado di separare le specie con bassissimo raggio ionico come gli ioni dei sali monovalenti, ad esempio cloruri di Sodio e/o Potassio. La pressione applicata varia da processo a processo e, in prima approssimazione, questa deve essere tanto più elevata quanto maggiore è la resistenza opposta al trasporto di massa offerta dalla membrana, dal fenomeno della polarizzazione, dal fouling e dalla pressione osmotica. Ad esempio nel caso di microfiltrazione e ultrafiltrazione, che utilizzano membrane ad elevata porosità, sono impiegate pressioni abbastanza basse (0,1-2 bar per MF e 2-10 bar per UF), mentre nel caso dell'osmosi inversa, dove alla resistenza dello strato denso della membrana si deve aggiungere il contributo della pressione osmotica associato alla concentrazione salinale pressioni in gioco sono decisamente alte (35-100 bar). La nanofiltrazione utilizza membrane con minor resistenza, tale per cui molti sali non vengono trattenuti dalle membrane risultando in una minore contropressione osmotica, necessita di pressioni operative più basse rispetto all'OI (8-24bar). Recentemente sono state messe sul mercato membrane da OI caratterizzate da un limitato strato denso, che se usate in applicazioni con soluzioni salmastre sono in grado di lavorare a basse pressione (7-14 bar). Le caratteristiche e le modalità di funzionamento dei processi descritti è riassunto in Figura 53.

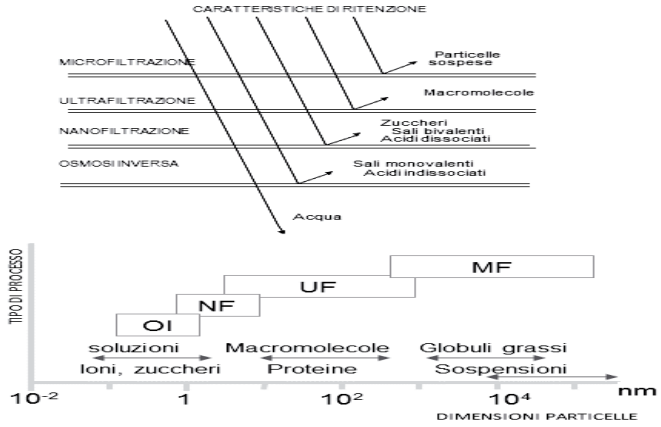


FIG. 53 – CARATTERISTICHE DEI PRINCIPALI PROCESSI A MEMBRANA.

Secondo questo schema è facilmente deducibile che, applicando i diversi processi singolarmente o simultaneamente, è possibile separare in modo completo o parziale le diverse specie chimiche presenti in una qualsiasi soluzione reale evitando la distruzione o la modifica senza distruggere o modificare le molecole presenti nella soluzione considerata. In aggiunta i processi a membrana sono caratterizzati, a seconda della configurazione, da un elevato contenimento nei volumi e quindi possono essere considerati processi intensivi in quanto volumi limitati possono comunque contenere elevate superfici filtranti. Ad oggi, i processi a membrana trovano numerose applicazioni industriali alcune delle quali sono sinteticamente riportate in Figura 54.

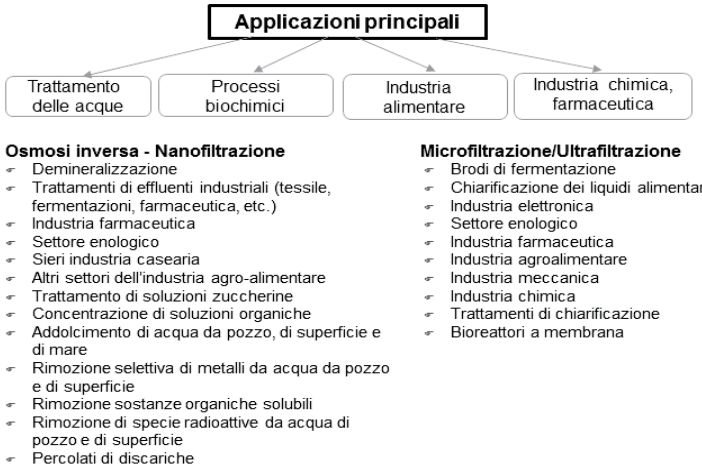


FIG. 54 – APPLICAZIONI PRINCIPALI DEI PROCESSI A MEMBRANA.

Per quanto riguarda il trattamento delle acque, i processi a membrana per le loro caratteristiche e la loro elevata flessibilità di utilizzo sono divenute una chiave di volta per uno sviluppo sostenibile.
I processi più consolidati e maturi, divenuti in alcuni casi insostituibili, sono quelli con un unico processo a membrana, come ad esempio l'OI usata per la dissalazione dell'acqua di mare. In molti casi questi processi, per mantenere stabili le prestazioni nel tempo, sono preceduti da pretrattamenti complessi e sofisticati. Negli ultimi anni comunque stanno prendendo campo processi integrati che, per ottimizzare le prestazioni, utilizzano più processi a membrana che operano contemporaneamente ed in serie sulla stessa linea di flusso. Un esempio di schema integrato è riportato in Figura 55, dove partendo da un'acqua in ingresso, comunque inquinata, è possibile ottenere un'effluente con le caratteristiche desiderate.

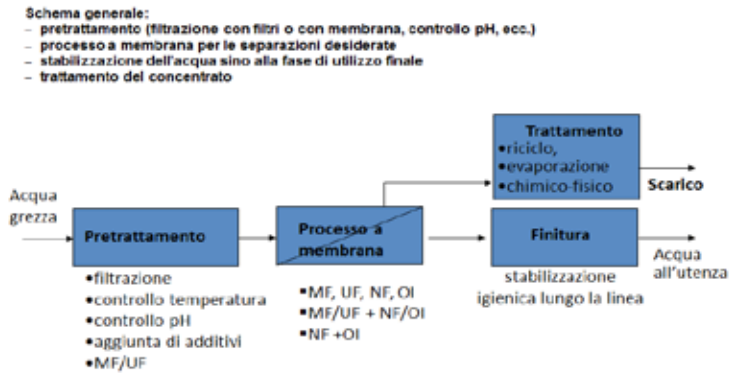


FIG. 55 – USO DI PROCESSI INTEGRATI A MEMBRANA NEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE.

Processi integrati che seguono lo schema di Figura 4 sono facilmente applicati nei processi di potabilizzazione o nel trattamento di reflui inquinati che poi vengono recuperati.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'acqua, pur essendo una risorsa rinnovabile, oggi è una risorsa limitata, il cui bilancio risulta negativo, in quanto il consumo risulta più veloce della fase di recupero (piogge) e la quantità di acqua inquinata tende a prevalere su quella primaria. Come riportato in Figura 56[19], il riuso e la desalinizzazione dell'acqua sarà nei prossimi anni uno dei più grossi mercati in sviluppo.
Esiste dunque la costante necessità di adottare tecnologie di depurazione innovative per riciclare ed aumentare il tempo di permanenza dell'acqua nell'ambiente. I processi a membrana costituiscono una tecnologia innovativa che consente il recupero delle acque inquinate ed il loro integrale riutilizzo con l'ottenimento di acque di elevata qualità. Adottando un sistema che utilizzi la tecnologia a membrane, ulteriori vantaggi ottenibili sono: maggiore flessibilità dell'impianto, ele-

19 Ravi Krishnaswamy – Energy Practice Frost & Sullivan Asia Pacific "Mega Trends 2020: Perspective on GlobalSmart Grid"

vata capacità di separare in maniera efficiente senza modificare o perdere i composti termolabili, ridotto uso di sostanze chimiche, possibilità di adottare processi continui con un ampio intervallo di composizioni (soluzioni diluite, concentrate, ecc.) e diverse dimensioni di scala.



FIG. 56 – TECNOLOGIE IN FASE DI SVILUPPO ENTRO IL 2020.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Al momento attuale, l'utilizzo dei processi a membrana nel trattamento delle acque è ampiamente diffuso nei Paesi del Nord Europa, con particolare riferimento agli impianti di trattamento di reflui civili e comunque notevoli sono le potenzialità di applicazione di questi tipi di processo. La Figura 57[20] mostra a tale proposito la diffusione al 2008 degli impianti biologici a membrana (MBR) in Europa. In particolare la situazione al Nord Europa è di diffusione pressoché totale per gli impianti civili esistenti, mentre per il Sud Europa con particolare riferimento ad Italia, Spagna, ai Paesi cosiddetti "newcomers" e nei Paesi dell'Est la diffusione della tecnologia è ancora parziale, ma con ampie prospettive per il prossimo futuro.

20 European Commission EUR 24552 "Membrane technologies for water applications" – Luxembourg: Publications Office of the European Union 2010.

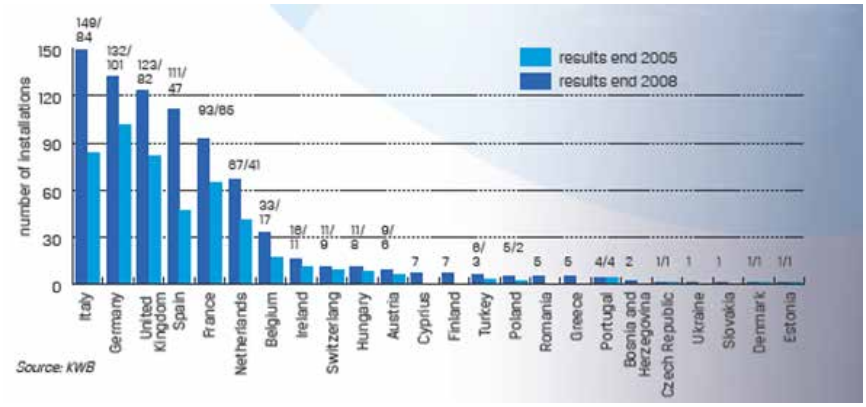


FIG. 57 – DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA DEL MERCATO MBR IN EUROPA.

Obiettivi strategici

L'obiettivo globale rimane in ogni caso quello di sfruttare la rete delle piccole e medie imprese europee attive e virtuose in questo campo per rispondere ai fabbisogni europei di acqua e contemporaneamente contribuire a rendere più eco-sostenibile e green l'economia europea sostenendo l'industria manifatturiera. In questo contesto il principale obiettivo strategico a cui mirare è sicuramente quello di continuare a diffondere e sviluppare i processi biologici a membrana di tipo aerobico nel trattamento delle acque, e di ottimizzare l'integrazione dei processi a membrana, consentendo la risoluzione di problemi di tipo ambientale a livello industriale, con riduzione dei costi di trattamento. Si prevede inoltre che con i recepimenti nazionali della Direttiva 2008/98/CE, vi sarà un ampio spazio per lo sviluppo di processi a membrana di tipo anaerobico connesso con la diffusione in particolare di impianti per la digestione anaerobica di frazioni organiche derivanti da rifiuti.

Possibili ricadute occupazionali

Le tecnologie a membrana possono essere generalmente gestite tramite automazione. Molti impianti infatti sono gestiti o gestibili tramite controllo remoto, senza necessità di presidio e quindi con impiego di risorse umane limitato. Per contro, gli impianti a membrana possiedono delle difficoltà di funzionamento intrinseche e le professionalità richieste in questo ambito sono elevate, con particolare riferimento a conoscenze e competenze che competono alla figura del "membranologo". Al momento attuale la presenza di figure professionali connesse con questa tecnologia risultano scarse e non sufficienti per rispondere alle esigenze future. Data la rapidità di diffusione prevista per tali competenze, però, ci saranno crescenti opportunità per figure altamente specializzate che potranno essere impiegate in settori quali la progettazione di impianti, quello commerciale e per l'assistenza tecnica.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 3

TECNOLOGIE INNOVATIVE A MEMBRANA PER LA SEPARAZIONE DI GAS INDUSTRIALI

DESCRIZIONE

Le correnti gassose che richiedono una separazione hanno ricadute sia nel campo ambientale sia in quello energetico. La cattura dell'anidride carbonica dagli scarichi industriali (centrali di produzione di energia, cementerie, acciaierie, etc.) necessita la sua concentrazione/separazione dagli altri componenti (principalmente azoto, per la sua elevata concentrazione, quindi, ossigeno e gli altri inquinanti presenti). Il gas naturale così come anche il biogas prima di essere immessi nella rete (*grid*) di distribuzione richiedono una concentrazione in idrocarburi (metano *in primis*) sia per innalzarne il potere calorifico sia, avendo ridotto la presenza di inerti, per ridurre il costo di trasporto delle correnti immesse nel *grid* stesso. L'adozione di nuove ed innovative tecnologie, quali la separazione gassosa a membrana, porterebbe ad una chimica nuova, innovata negli aspetti oggigiorno più sentiti quali, per es., l'ambiente, l'efficienza ed il risparmio energetici, la riduzione nell'utilizzo di solventi ed altri materiali di ausilio nelle separazioni, etc.

Nella separazione di gas sono utilizzate, nella stragrande maggioranza dei casi, membrane polimeriche "dense". L'aggettivo "dense" si riferisce ad una specifica tipologia di membrane che non presenta pori di dimensione e forma definite e stabili nel tempo. Le molecole di gas attraversano la membrana migrando negli spazi presenti o che via-via si creano tra una catena polimerica e l'altra, spazi meglio noti come volume libero. Anche se il valore di questa proprietà di membrana rimane costante, altrettanto non si può dire per la sua localizzazione e distribuzione spaziale che cambia anche nel tempo. I gas sono molecole di dimensioni dell'ordine dei nano-metri e spesso, come la maggior parte dei gas permanenti (per es., metano, anidride carbonica, idrogeno, ossigeno, azoto, etc.), anche di dimensioni inferiori al nanometro. Le dimensioni così piccole di queste particelle, anche quando le differenze tra un gas e l'altro raggiungono un fattore dieci, non consentono una separazione sulla base di fattori geometrici quali la dimensione stessa. Gli spazi tra le catene polimeriche sono di dimensioni molecolari o sub-molecolari; pertanto, le molecole devono "trovare" lo spazio per penetrare la matrice polimerica. Ecco perché non è appropriato parlare di pori nel caso di questa tipologia di membrane.

La separazione avviene per le interazioni chimico-fisiche tra la matrice polimerica ed i gas da separare secondo il noto meccanismo soluzione-diffusione. Le molecole di gas, interagendo con la superficie della membrana sono adsorbite su di essa, quindi passano nel bulk polimerico della membrana, dove diffondono verso il lato opposto della membrana stessa. Il percorso che ogni molecola di gas segue nell'attraversare la membrana è diverso da quello di un'altra molecola dello stesso gas, sia per la mobilità delle catene polimeriche nel tempo, sia per "l'approccio" molecola-membrana.

Si può, facilmente, intuire come questa tipologia di membrane, operando a livello molecolare, ri-

cada nella categoria dei materiali nano-strutturati. La più importante proprietà di una membrana è la sua selettività che, nel caso specifico delle membrane dense per separazione gassosa, è dovuta a due principali fattori: l'affinità tra il gas ed il polimero costituente la membrana, meglio nota come solubilità del gas nella matrice polimerica ed alla proprietà del gas di diffondere all'interno del bulk polimerico. Gas diversi avranno diversa solubilità e diversa diffusività; pertanto, diversa capacità/velocità di permeare la membrana. Un'alta selettività consente di raggiungere elevati valori di concentrazione nelle correnti separate.
La selettività, purtroppo, come mostrato nella Figura 58, decresce con l'aumentare del flusso permeativo che rappresenta l'altra proprietà importante delle membrane. Il flusso trans-membrana è direttamente collegato alla superficie di membrana da utilizzare, quindi alla dimensione dello stadio di separazione e pertanto ai costi d'installazione delle membrane.

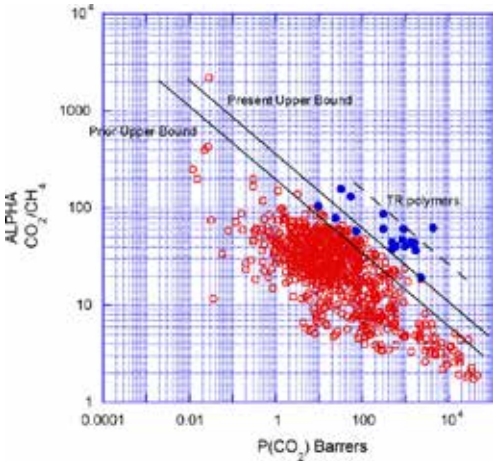


FIG. 58 – SELETTIVITÀ IN RAPPORTO CON IL FLUSSO PERMEATIVO

Alti valori di flusso trans-membrana significano minori dimensioni e costi. Il flusso è legato sia al tipo di polimero sia allo spessore della membrana. Al fine di ridurre il più possibile lo spessore e garantire le necessarie proprietà meccaniche delle membrane, la morfologia tipica delle membrane utilizzate nella separazione gassosa è quella asimmetrica: lo strato selettivo denso che garantisce la separazione ed il cui spessore è inferiore al micron (millesimo di millimetro) è supportato da uno strato poroso di spessore di un centinaio di micron.
La Figura 59 mostra gli effetti del rapporto di pressione e della selettività per una separazione CO_2/metano in termini di recupero e concentrazione nelle due correnti in uscita al separatore a membrana. La tecnologia delle membrane può essere anche essere applicata ad integrazioni delle tecnologie esistenti (per es., l'assorbimento) per aumentarne l'efficienza nella distruzione di gas in diversi cicli produttivi industriali e civili.

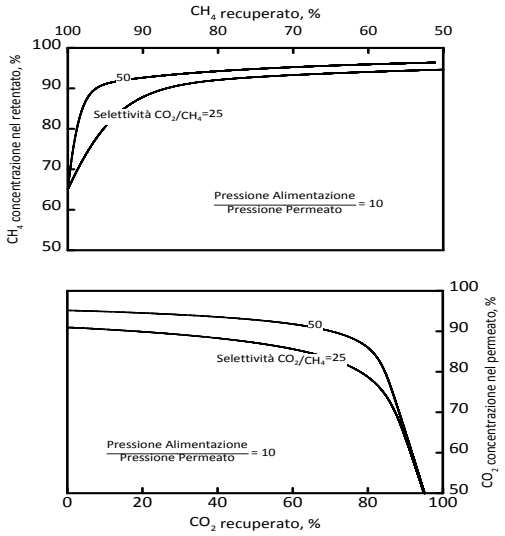


FIG. 59 – EFFETTI DEL RAPPORTO DI PRESSIONE E DELLA SELETTIVITÀ PER UNA SEPARAZIONE CO2/METANO

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le motivazioni per lo sviluppo di processi di separazione gassosa a membrana si possono riassumere nei seguenti punti:

Ambientale – Riduzione di emissioni d'inquinanti;

- Energetico – Maggiore efficienza energetica di questi processi;
- Consumi specifici – Migliore utilizzo delle materie prime;
- Scale up – Scalabilità modulare;

Le membrane sono assemblate in moduli di area di membrana, dedicata alla separazione, di pochi metri quadrati. Per raggiungere le dimensioni richieste dai processi industriali, sono assemblati in parallelo tra loro molti di questi moduli. Questo rende le operazioni a membrana, quali la separazione gassosa, modulari e scalabili, praticamente, su ogni dimensione. Pertanto, la stessa tipologia di membrana, realizzata a partire dallo stesso polimero, può essere utilizzata sia in impianti di grandi dimensioni (centrali di potenza, cementerie, etc.) sia in impianti di piccola taglia (presenti a livello di piccole e micro imprese) ma anche in quelli eventualmente domestici, essendo la scalabilità direttamente legata al numero di moduli a membrana che dovranno essere installati caso per caso. Le stesse possono essere utilizzate per separazioni anche parziali al fine di ridurre i carichi alle più onerose unità convenzionali.

I processi di separazione delle varie correnti di cicli produttivi hanno una rilevante incidenza: dal 50 al 75% dei costi di produzione. Molte di queste separazioni richiedono calori sensibili e/o latenti per il riscaldamento e/o passaggi di fase come avviene nella distillazione criogenica dei gas, l'utilizzo di solventi o di adsorbenti solidi, rispettivamente, nei processi di assorbimento ed adsor-

bimento. Questi ultimi processi comportano il rilascio, anche se in piccolissime concentrazioni, in atmosfera di solventi o particelle solide con importanti conseguenze ricadute ambientali. I processi di separazione gassosa a membrana operano in stazionario, a temperature ordinarie e sotto l'azione della pressione, quale generatrice della forza spingente alla separazione, non utilizzano né solventi né adsorbenti, tantomeno temperature criogeniche. Come descritto in precedenza, la separazione gassosa avviene su scala molecolare ed è caratterizzata da maggiore efficienza nell'utilizzo dell'energia e nell'uso delle materie prime. Risultano processi di più facile controllo anche da remoto. In molti settori, le membrane sono già definite *Best Available Technology* (BAT): per es. nella dissalazione di acque saline e salmastre l'utilizzo dell'osmosi inversa ha ridotto i costi di un fattore dieci. Molti sono i processi industriali dove la separazione gassosa a membrana è da tempo adottata; tra essi si possono citare la separazione/purificazione d'idrogeno (utilizzato nella produzione di ammoniaca, nell'industria petrolchimica in processi d'idro-reforming, idrocracking, desolforazione, etc.). L'adozione della tecnologia a membrana nel trattamento di altre correnti gassose ridurrebbe costi ed impatto ambientale.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

L'applicazione di unità di separazione gassosa a membrana su scala commerciale si è realizzata verso la fine degli anni 70, per la separazione dell'idrogeno di raffineria e per l'aggiustamento del rapporto H_2/CO del gas di sintesi. Da allora, sono stati fatti enormi passi avanti in vari settori applicativi. Oggi, la tecnologia di separazione gassosa a membrana è largamente utilizzata per la separazione dei componenti dell'aria, per la purificazione dell'idrogeno da gas di raffineria, per la disidratazione del gas naturale e, recentemente, per il recupero di CO_2 da biogas e natural gas[21]. La separazione gassosa a membrana risulta oggi essere la tecnologia dominante per la produzione di correnti arricchite in ossigeno (al 40%) o azoto (al 90%) per applicazioni di mercato inferiori a 50 ton/giorno. Air Products Norway ha attualmente installato più di 700 sistemi di separazione per la produzione di N_2 (PRISM® systems) e circa 200 per installazioni offshore[22]. Altri impianti per produzione di ossigeno arricchito della capacità di 550 ton/giorno sono stati installati dall'Air Liquide a Dalian (Cina)[23].

La possibilità di utilizzare la stessa tecnologia per la separazione di CO_2 da biogas, flue gas e natural gas è, attualmente, largamente studiata. La separazione CO_2/CH_4 risulta ad oggi più matura per uno scale up applicativo e Membrane Technology Research, Air Products, UOP, Air Liquide, Praxair, Cynara, UBE, GKSS Licenses risultano oggi i maggiori produttori di moduli di separazione commerciali[24]. Dal 2012, Biopower ha sviluppato un impianto di upgrading del biogas (1.8 million Nm^3/year) che produce 210 $Nm^3\ h^{-1}$ di biometano iniettato direttamente in griglia di distribuzione.

21 Brunetti A.; Barbieri G.; Drioli E.; "Gas separation, overview of applications", edited by Eric M. V. Hoek, Volodymyr V. Tarabara, in Encyclopedia of Membrane Science and Technology, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, New Jersey 07030-5774, ISBN: 978-0-470-90687-3; http://www.dx.doi.org/10.1002/9781118522318

22 www.airproducts.no

23 Air Liquide to install ASU for Dongbei Special Steel Group", China Chemical Reporter, May 2007

24 S. Basu, A.L. Khan, A. Cano-Odena, C. Liu, I.F.J. Vankelecom, "Membrane-based technologies for biogas separations", The Royal Society of Chemistry, 2010, 39, 750-768

Altri impianti che utilizzano moduli a membrana Sepuran Green prodotti dall'Evonik sono attualmente in funzione in un impianto di produzione di biogas a Neukirchen an der Vöckla (Austria) ed in vari altri siti nel mondo[25]. In Italia, BTS Biogas (Bolzano) ha installato impianti di produzione di biogas[26], che viene poi trattato attraverso un Sistema a membrane denominato "bioMETANO process", nel quale il metano è separato dalla CO_2 che, recuperata nel permeato e, poi, liquefatta, raggiunge una purezza del 100% utile per il suo utilizzo nell'industria alimentare.

Obiettivi strategici

Il termine KETs[27] ben caratterizza la separazione gassosa a membrana oltre che per le sue peculiarità separative a livello molecolare, ai ridotti consumi energetici ed a quelli di materie prime, etc. per altri importanti fattori, legati all'impiantistica, quali flessibilità operativa, capacità di operare con portate significativamente ridotte rispetto a quelle di progetto, o di incrementare la capacità produttiva nel tempo, oppure di continuare a ben operare quando la corrente ha subito variazioni. Tutti quest'ultimi fattori di "flessibilità" operativa sono la chiave per abilitare l'adozione della tecnologia della separazione gassosa a membrana presso il mondo produttivo in generale e presso le piccole imprese, in particolare.

La conoscenza e la sua implementazione a livello produttivo, ossia innovazione tecnologica, sono fattori promotori di sviluppo sociale ed economico del Paese. Inoltre, indirettamente, lo sviluppo di tecnologie innovative porta alla "esportazione" delle nostre conoscenze oltre i confini nazionali, creando un'ulteriore fonte di sviluppo economico-sociale. L'innovazione introdotta dalla separazione gassosa a membrana potrebbe giocare un ruolo di traino nello sviluppo sostenibile e nella messa a punto di prodotti e processi ecocompatibili sviluppati nella logica dell'intensificazione di processo, moderna strategia che raccoglie le tendenze evolutive per la progettazione d'impianti.

Possibili ricadute occupazionali

L'innovazione introdotta richiede nuove figure professionali con conoscenze delle operazioni a membrana, anche integrate tra loro e con unità operative convenzionali, per poter affrontare e dare un significativo contributo alla risoluzione di problematiche presenti in diversi settori industriali sia di grandi aziende ma, soprattutto, di realtà produttive medio-piccole. Aziende che vogliono innovare ed ottimizzare i loro processi produttivi al fine di migliorare i prodotti immessi sul mercato riducendo altresì l'impatto ambientale dovranno utilizzare tecnologie a membrana e figure professionali con avanzate competenze nelle separazioni molecolari.

Il loro inserimento in contesti produttivi risulta necessario per un'innovazione di prodotto e di processo con il conseguente trasferimento di nuove tecnologie a membrana operanti selettivamente a livello molecolare, generalmente non richiedenti calore e pertanto bassi consumi energetici ed anche basso impatto ambientale. Il profilo professionale richiesto è una nuova figura molto innovativa e indispensabile per poter sviluppare ed implementare processi a membrana.

25 http://www.sepuran.com
26 http://www.bts-biogas.com/en/products/biometan.html
27 Key Enabling Technologies

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 4

BIORAFFINERIE INTEGRATE PER LA PRODUZIONE DI BIOCHEMICALS

DESCRIZIONE

In linea con i più recenti indirizzi della Commissione Europea in materia di bioeconomia, il Cluster Tecnologico Nazionale della "Chimica Verde" SPRING[28] è stato costituito con l'obiettivo di incoraggiare lo sviluppo in Italia di industrie e di tecnologie prioritarie "bio" attraverso un approccio olistico all'innovazione, volto a rilanciare la chimica italiana sotto il segno della sostenibilità ambientale, sociale ed economica nonché attraverso la valorizzazione del territorio e la collaborazione dei diversi interlocutori pubblici e privati.

Il Cluster nasce per iniziativa di tre importanti imprese chimiche italiane e di Federchimica. Le tre realtà industriali promotrici[29] sono ampiamente impegnate nello sviluppo di prodotti e tecnologie innovative ad alto valore aggiunto, a partire da biomasse vegetali anche residuali. Su questa base il cluster riunisce l'intera filiera italiana della chimica "verde"[30], dal mondo agricolo al prodotto finale, in una logica multisettoriale e multilivello, col coinvolgimento di grandi player industriali, PMI, associazioni, università, centri di ricerca, fondazioni, Poli di innovazione regionali e numerosi altri soggetti attivi nella promozione dell'innovazione e nel trasferimento tecnologico. L'obiettivo finale è quello di promuovere la realizzazione di bioraffinerie avanzate[31] (di seconda e terza generazione) sostenibili ed integrate nel territorio attraverso la valorizzazione delle risorse proprie del territorio, l'ottimizzazione dell'uso del suolo ed il possibile utilizzo di terreni marginali e/o contaminati, con possibili effetti positivi sullo sviluppo economico in aree rurali, sul risanamento ambientale e sul riassetto idrogeologico.

Due sono le linee principali individuate per lo sviluppo della Chimica Verde in Italia:

1. Le bioraffinerie integrate

Favorire la realizzazione di Bioraffinerie Integrate nel territorio orientate alla produzione di un ampio range di prodotti ad alto e medio valore aggiunto e capaci di produrre l'energia per il proprio funzionamento e di valorizzare gli scarti in una logica di totale integrazione. Le Bioraffinerie Integrate, per la quantità e complessità di conoscenza che richiedono, per gli investimenti in

28 Sustainable Processes and Resources for Innovation and National Growth.

29 Biochemtex, Novamont e Versalis.

30 La Chimica Verde è sempre più una realtà industriale rilevante nonché un tassello fondamentale verso lo Sviluppo Sostenibile. Visto l'importanza scientifica, tecnologica e politica dell'argomento, si è ritenuto opportuno riportare una descrizione dettagliata degli obiettivi che il "Cluster Tecnologico Nazionale della Chimica Verde", costituito nel Febbraio 2014, si propone di raggiungere, seguita da una breve descrizione della Tecnologia Prioritaria (MOGHI) proposta.

31 In realtà trattasi di "Tecnologie Prioritarie" in quanto molteplici sono le tecnologie che possono essere sviluppate nell'ambito della Chimica Verde.

ricerca, sviluppo, costruzione di impianti pilota e di dimostratori e di impianti industriali e per la necessità di mettere a sistema le competenze del territorio in uno sforzo progettuale che coinvolge tutti gli interlocutori sono un modello culturale prima che industriale che può rivitalizzare l'economia di un territorio oltreché di un Paese. La costruzione delle filiere di materie prime che le alimentino nel rispetto dell'agricoltura e biodiversità locali e in sinergia con le filiere alimentari e con la disponibilità di scarti è un punto nodale per il successo di questa tipologia di iniziative. Questa linea di sviluppo ha una valenza pionieristica e una grande concretezza perché si lega ad investimenti privati molto ingenti su attività di forte innovazione già in atto e su un modello virtuoso di economia che si vuole andare a realizzare in ottica di sperimentazione di sistema e di trasparenza rispetto al territorio.

2. La filiera bio-energetica per la conversione di biomasse in biochemicals

La filiera bio-energetica per la conversione di biomasse in biochemicals si colloca nell'ampio campo tecnologico dello sviluppo di nuove energie da fonti rinnovabili, caratterizzate da grossi potenziali di crescita sia dal punto di vista delle materie prime selezionate, che della ricerca d'innovativi processi di trasformazione, che ne garantiscano una sostenibilità economica e ambientale tale da poter competere con energie/combustibili di origine fossile. L'utilizzo di biomasse ai fini energetici è previsto in forte aumento negli anni futuri grazie alla diffusione di colture dedicate che dovrebbero passare dall'attuale 3% al 50% delle biomasse totali entro il 2030[32]. Il vantaggio principale del settore agro-energetico è la possibilità di orientarsi verso diversi tipi di mercati (dalla generazione di energia elettrica e di calore, ai biocarburanti, fino all'ampia gamma di molecole della chimica di base e di specialità) semplicemente variando la specie coltivata, il residuo organico utilizzato e soprattutto sviluppando innovative tecnologie di trasformazione. Alcune filiere, come la produzione di biocarburanti derivanti da biomasse coltivate o residuali, nascono dall'esigenza di trovare alternative ai combustibili di origine fossile. Il Protocollo di Kyoto del 1997 e il nuovo pacchetto clima-energia dell'Unione Europea impongono, infatti, di diminuire entro il 2030 le emissioni di gas a effetto serra del 40%, di portare al 27% il risparmio energetico e di aumentare del 27% il consumo di fonti rinnovabili.

Fra le fonti rinnovabili, le biomasse presentano ampie prospettive di espansione anche nel breve e medio periodo. Esse devono rispondere a specifici requisiti, come l'adattabilità all'ambiente e rusticità, la facilità d'inserimento negli avvicendamenti colturali, l'elevata potenzialità produttiva, bilanci energetico/economici ed ambientali favorevoli, richiesta di minimi investimenti per le macchine di raccolta, adattabilità allo stoccaggio, alla logistica ed all'impianto di trasformazione, consenso sociale e in particolar modo del mondo rurale, non competizione con la filiera alimentare e dei mangimi e, per quanto riguarda l'impatto ambientale, un bilancio positivo delle emissioni di gas serra dell'intera filiera.

Le filiere dei biocarburanti in particolare vanta in Italia eccellenze riconosciute a livello mondiale, quale quella del bioetanolo cellulosico che, contrariamente ai tradizionali biocarburanti convenzionali (bioetanolo, biogas, biodiesel e biometano da materie prime food) presentano elevata

32 Biomass Action Plan, 2005

sostenibilita' ambientale e elevata accettabilita' sociale, grazie al ricorso a materie prime non in competizione con la catena alimentare, quali residui agricoli e colture dedicate non alimentari, quali arundo donax, miscanto, sorgo da fibra, ecc. Si tratta dunque della famiglia dei cosiddetti biocarburanti avanzati che non intendono competere con la catena alimentare.
Tuttavia, mentre i biocarburanti convenzionali (es bioetanolo da mais o da canna da zucchero oppure biodiesel da colza o da olio di palma) sono già prodotti su larga scala a partire da specie vegetali note e largamente coltivate e da processi industriali già collaudati, i biocarburanti avanzati hanno solo recentemente trovato uno sviluppo industriale che quindi necessita di consolidarsi attraverso ulteriori sforzi per ottimizzare la filiera agro-energetica con particolare riguardo al tema della logistica della materia prima e della valorizzazione completa della biomassa in un'ottica di bioraffineria avanzata capace di generare sia prodotti energetici (es biocarburanti) che prodotti chimici (biochemicals).
Le nuove tecnologie bioenergetiche (biocarburanti avanzati – non in competizione con la filiera alimentare) che si stanno sviluppando oggi, in particolare le bioraffinerie per l'etanolo dalla cellulosa, promettono gia' oggi di giocare un ruolo determinante nello sviluppo delle energie rinnovabili e nell'affrancamento (almeno parziale) dall'uso di fonti fossili dispendiose e poco sostenibili ambientalmente. Per raggiungere gli obiettivi è stato definito un Piano di Sviluppo Strategico che include quattro iniziative di ricerca industriale, sviluppo sperimentale e formazione che sono:

"Alternative Lignocellulosic Biomasses for Elastomers" (ALBE)
Il progetto di ricerca e sviluppo ALBE intende innovare in modo radicale la produzione di elastomeri sintetici (SE) e gomma naturale (NR), sul territorio nazionale utilizzando materie prime da fonti rinnovabili, alternative a quelle tradizionalmente utilizzate, così come la produzione di beni per alcuni settori target a base di elastomeri /gomma naturale, come ad esempio pneumatici, utilizzando oli estensori e additivi rinnovabili.

"Bioraffineria di III generazione integrata nel territorio" (BIO3G)
Il progetto ha l'obiettivo di sviluppare una Bioraffineria Integrata di terza generazione ed integrata nel territorio che parta dall'identificazione di aridocolture, non in competizione con il food, nel rispetto della biodiversità locale, e che, a partire da metodi di coltivazione sostenibili, metta a punto processi a basso impatto ambientale per ottenere bio-based chemicals ad alto valore aggiunto ed energia.
In particolare questo progetto di ricerca richiede un enorme sforzo di ricerca e sviluppo per quanto riguarda il processo ed i prodotti, l'ingegneria e la messa a punto di un sistema di produzione ripensando agli approvvigionamenti di materie prime, ai sistemi logistici, ai modi in cui generare energia in modo efficiente e sostenibile.

"Biochemicals da biomasse: integrazioni di bio-conversioni per la produzione e l'applicazione di biochemicals da biomasse di II generazione da fonti rinnovabili" (REBIOCHEM).
Obiettivo del progetto è la dimostrazione tecnica su scala pilota ed industriale della possibilità di

ottenere ed utilizzare biochemicals, come per esempio 1,4 butandiolo, (di seguito BDO) ed energia da biomasse di II generazione, non in competizione con la filiera alimentare, grazie all'integrazione di processi biotecnologici e chimici tali da risultare economicamente ed ambientalmente più sostenibili rispetto alle tecnologie esistenti. In particolare, grazie alla presente proposta progettuale, verra' realizzata la prima piattaforma biotecnologica industriale nazionale per la produzione di biochemicals a partire da risorse rinnovabili, attraverso l'utilizzo di processi fermentativi con microorganismi specializzati.

"Sviluppo di tecnologie di seconda generazione per la conversione di derivati organici in acidi dicarbossilici green, come bulding blocks di origine rinnovabile per la sintesi di chemicals e polimeri" (LIDIA)
Il progetto LIDIA intende valorizzare attraverso una partnership pubblico-privata con elevate esperienze nel settore delle rinnovabili e delle tecnologie di seconda generazione, tutte le competenze scientifiche della filiera delle bioraffinerie, creando un centro di riferimento per la produzione di chemicals e in qualità di technology provider non solo a livello europeo, ma soprattutto con valenza internazionale.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le attività della Chimica italiana nascono sulla scia della strategia europea dedicata alla bioeconomia lanciata nel 2012 col titolo: "Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe". Il peso economico del settore della Bioeconomia viene stimato dalla UE con un fatturato di circa 2.000 miliardi di euro ed oltre 22 milioni di persone impiegate, che rappresentano il 9% dell'occupazione complessiva della Comunità Europea. Viene inoltre stimato che per ogni euro investito in ricerca e innovazione nella Bioeconomia, con adeguate politiche di sostegno a livello nazionale ed europeo, la ricaduta in valore aggiunto nei settori di comparti come quello dei prodotti biobased sarà pari a dieci euro entro il 2025. In base a tale strategia, per mantenere la propria competitività l'Unione Europea dovrà trasformarsi in una società caratterizzata da basse emissioni di carbonio, nella quale la crescita sostenibile e la competitività stessa siano alimentate sinergicamente da industrie che usano in modo efficiente le risorse e dal ricorso a prodotti biobased e a bioenergia.
L'industria chimica è fortemente coinvolta nella ricerca di soluzioni alle grandi sfide della nostra società, tra le quali la gestione delle risorse dove la diversificazione delle fonti gioca un ruolo rilevante, anche se il petrolio è destinato a rimanere a lungo la risorsa prevalente. La vera soluzione risiede allora nello sviluppo di processi che permettano un utilizzo più efficiente delle risorse ed in questo contesto la chimica offre un contributo fondamentale nel migliorare sia la propria performance, sia quella dei settori utilizzatori.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In coerenza con la gia' citata strategia europea sulla bioeconomia, le attività si pongono inoltre in linea di continuità con altre iniziative legislative che la Commissione Europea ha intrapreso negli ultimi anni per incentivare in maniera netta lo sviluppo della cosiddetta "chimica verde" e delle industrie biobased, quali la "Lead Market Initiative" della Commissione Europea del 2007 che indi-

vidua i prodotti biobased come uno dei sei mercati-guida o la più recente strategia "Europa 2020" che auspica lo sviluppo della bioeconomia in quanto elemento chiave per consentire una crescita intelligente e sostenibile in Europa. A dimostrazione dell'importanza della Chimica Verde nel panorama europeo, questa e' fortemente presente nel "Programma Quadro di Ricerca e Innovazione Horizon 2020", che individua come azione prioritaria l'attivazione di progetti innovativi che permettano lo sviluppo in Europa di bioraffinerie che impiegano tecnologie avanzate, innovative e sostenibili in grado di utilizzare biomasse per l'ottenimento di prodotti chimici e materiali sia di base sia ad alto valore aggiunto.

Obiettivi strategici

In Italia il MIUR[33] ha indicato nel 2012 come "*le dinamiche del cambiamento tecnologico, la rapida evoluzione e convergenza delle tecnologie abilitanti dischiudono nuove opportunità per il mercato e la società, in termini di nuovi prodotti, nuovi servizi, nuovi mercati, nuovi settori produttivi, diverse modalità di organizzazione della produzione, delle istituzioni, dei servizi sociali ed in particolare della Pubblica Amministrazione. In tale ottica diventa fondamentale perseguire una linea di azioni ed interventi coerente con le agende strategiche comunitarie, che consenta una attiva partecipazione ed una convergenza con gli obiettivi di Horizon 2020, il Programma Europeo per la ricerca e l'innovazione per il periodo 2012/2020*". È in questo contesto che il Cluster SPRING intende giocare un ruolo da protagonista per creare le sinergie necessarie per un vero sviluppo della Chimica Verde in Italia.

Di seguito viene riportata una breve descrizione del processo MOGHI per la produzione di intermedi chimici di base partendo da lignina Un esempio di integrazione di Bioraffinerie esistenti è costituito dal processo MOGHI che prevede di integrare la conversione delle materie prime lignocellulosiche utilizzate per produrre bioetanolo cellulosico su scala industriale, studiando le possibile rotte per trasformare il coprodotto (lignina), in molecole ad alto valore aggiunto e/o in prodotti con mercati consolidati. È infatti noto come, di tutta la biomassa lignocellulosica, solo la frazione contenente cellulose ed emicellulose viene convertita in bioetanolo, mentre la frazione contenente lignina resta come coprodotto del processo. MOGHI è una piattaforma tecnologica che consente di convertire la lignina in bio-nafta e suoi derivati aromatici. La nafta è una miscela di idrocarburi liquidi (C5-C9) solitamente derivante dalla distillazione del petrolio ed è principalmente utilizzata per la produzione di benzine ad alto numero di ottano attraverso il processo di reforming catalitico.

Il processo MOGHI in particolare prevede di ottenere a partire dalla frazione ligninica (lignin cake), attraverso step catalitici di depolimerizzazione e deossigenazione, un liquido ricco in aromatici (BTX-Benzene, Toluene e Xilene) che chiamiamo bioreformato. Tale bioreformato viene poi successivamente convertito attraverso altri step chimici in intermedi chimici e vettori energetici:

Per mezzo della tecnologia MOGHI, verrà realizzato il primo impianto dimostrativo al mondo per produrre bio jet-fuel da materia prima lignocellulosica. La tecnologia MOGHI permette quindi di ottenere una nafta "green" da biomasse non alimentari che presenta le stesse caratteristiche della nafta derivante dal petrolio. La bio-nafta è a tutti gli effetti un "drop-in" nell'industria petrolchimi-

33 Ministero Università e Ricerca Scientifica

ca e non richiede lo sviluppo di nuove tecnologie per il suo utilizzo. Questo processo è parte di un nuovo concetto di bio-raffineria integrata all'interno della quale tutti i componenti fondamentali della biomassa sono valorizzati: gli zuccheri attraverso la tecnologia Proesa®, e la lignina attraverso attraverso la tecnologia MOGHI.

Altro obiettivo strategico è la realizzazione di una Bioraffineria integrata nel territorio, promossa attraverso Matrica[34], e riguardante la riconversione di uno stabilimento chimico[35] in una bioraffineria per la produzione di biochemicals, biointermedi, basi per biolubrificanti e bioadditivi per gomme, con una filiera agricola integrata in fase di sviluppo.

La bioraffineria sorge in un'area rurale ricca di terreni marginali e adatti alla produzione sostenibile di biomassa da colture pluriennali a basso input. La presenza del nuovo complesso produttivo sta contribuendo a rafforzare la capacità competitiva e di innovazione del territorio e a massimizzare su più fronti le sue potenzialità di crescita, sta fornendo enormi vantaggi su più fronti dal settore primario (agricoltura e allevamento, per fare alcuni esempi), a quello secondario (mezzi e attrezzi agricoli, logistica, manifatturiero di trasformazione dei bioprodotti) sino ad arrivare al terziario (collaborazioni con le università ed enti di ricerca locali).

La bioraffineria rappresenta un modello virtuoso di integrazione tra produzione industriale e agricola che mette a sistema e valorizza tutti gli elementi della filiera agricola a partire dalla selezione delle materie prime che ne alimentano il fabbisogno industriale. Il cardo (Cynara cardunculus L. var. Altilis) è una coltura che per le sue peculiarità ben si adatta alle esigenze produttive della bioraffineria ed al territorio nel quale si colloca, in quanto è una coltura a basso input che cresce su terreni aridi e poco adatti a colture tradizionali. Del cardo si utilizza sia il seme, che fornisce un olio simile a quello del girasole, sia la biomassa, da cui si ricavano cellulosa ed emicellulosa. Dall'estrazione dell'olio si ottiene poi una farina altamente proteica che può sostituire la soia attualmente utilizzata per alimentare gli animali da latte.

Fin dalla sua costituzione, l'iniziativa ha assunto il ruolo di un vero e proprio caso studio di bioeconomia che, per le sue caratteristiche, può essere replicato su altri territori, adeguandosi alle specificità locali e può essere adottato analogamente per il recupero o il rilancio di siti industriali dismessi ma soprattutto per offrire nuove opportunità di sviluppo sia in Italia che all'estero. Un modello capace di innescare fenomeni di rigenerazione territoriale in termini economici, ambientali e sociali, valorizzando le risorse e le competenze già esistenti sul territorio ed arrivando ad incidere positivamente sulle prospettive occupazionali a lungo termine.

Ad oggi sono attivi tre impianti: il primo è l'impianto di trasformazione di oli vegetali in monomeri e intermedi che permette di produrre intermedi noti, come acido azelaico e acido pelargonico, nonché nuovi prodotti proprietari, attraverso un processo sicuro e a basso impatto ambientale. Il secondo impianto, integrato a valle del primo, produce oli estensori sviluppati per il mercato degli pneumatici ed il terzo impianto, invece, è in grado di trasformare monomeri e intermedi in prodotti ad alto valore aggiunto, quali basi per biolubrificanti, plastificanti per PVC e prodotti per formulazioni cosmetiche.

34 Joint Venture tra Novamont e Versalis

35 Stabilimento di Porto Torres (SS).

Gli impianti della bioraffineria si avvalgono di una tecnologia proprietaria prima al mondo, infatti essa è radicalmente diversa da quelle esistenti: non utilizza ozono nella reazione di scissione ossidativa dell'olio vegetale e permette di ottenere alte capacità produttive attraverso un processo sicuro e a basso impatto ambientale.
Vari sono i biprodotti che hanno molteplici settori di utilizzo: bioplastiche, biolubrificanti, prodotti per la cura della persona, fitosanitari, additivi per la detergenza e per l'industria della gomma e della plastica. È importante sottolineare che sono tutti prodotti caratterizzati da biodegradabilità e atossicità che forniscono soluzioni sostenibili e a basso impatto ambientale coniugando al tempo stesso rinnovabilità ed alte prestazioni.

Le principali categorie di prodotti commercializzati sono:

Intermedi

Tra i prodotti di punta figurano l'acido azelaico e l'acido pelargonico. L'acido azelaico è un acido dicarbossilico ad alta purezza utilizzato nei processi di polimerizzazione, nella produzione di lubrificanti e in una vasta gamma di applicazioni nei settori cosmetico, farmaceutico e per la cura della persona, oltre ad essere una tra i costituenti di base delle bioplastiche di terza generazione. L'acido pelargonico è un acido monocarbossilico, che trova utilizzo come intermedio nella sintesi di emollienti per il settore cosmetico, nella produzione di biolubrificanti, candeggianti e fragranze per alimenti; è inoltre un erbicida di origine naturale a spettro totale e, in quanto tale, è utilizzato nella formulazione di fitosanitari.

Lubrificanti

L'ampia gamma di basi per lubrificanti costituita da esteri, destinati a formulazioni per il settore agricolo, l'industria automobilistica e aeronavale, nonché per la produzione di oli idraulici e fluidi speciali per l'industria.

Plastificanti

Vasta gamma di plastificanti per PVC e un'innovativa tipologia di oli bioestensori per elastomeri appositamente studiati per l'industria degli pneumatici in sostituzione totale o parziale degli oli estensori di origine fossile. Gli pneumatici così ottenuti hanno migliori prestazioni, sia in termini di resistenza al rotolamento, sia di aderenza sull'asfalto bagnato.

Cosmetici

Sostanze ben note in ambito cosmetico come l'acido azelaico che, per la sua elevata purezza, può essere utilizzato in diverse applicazioni farmaco-cosmetiche, così come la glicerina di origine vegetale che, per le sue proprietà idratanti e lubrificanti, è presente in numerosi prodotti quali saponi, oli essenziali e creme.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 5

UTILIZZO DI BIOMASSE NELLE TECNOLOGIE DI PRODUZIONE DEGLI ELASTOMERI

DESCRIZIONE

Gli elastomeri sono materiali polimerici con caratteristiche molto peculiari dal punto di vista scientifico e tecnologico. Sono solidi con un basso modulo elastico, una capacità di sopportare grandi deformazioni e di ritornare alle dimensioni originali se viene rimossa la sollecitazione esterna. Di fatto, questo loro insieme di proprietà rappresenta un "unicum" che li rende insostituibili da altri materiali (plastiche, vetro, carta, metalli, ecc.) nella quasi totalità delle loro applicazioni. È questa una delle ragioni principali alla base della strategicità dei materiali elastomerici.

Per quanto riguarda i volumi produttivi, a livello mondiale si producono circa 25 milioni di tonnellate annue di elastomeri. È interessante notare che, nonostante il grande sviluppo degli elastomeri sintetici negli ultimi decenni, la gomma naturale[36], attualmente estratta quasi esclusivamente dalla pianta Hevea Brasiliensis, mantiene una quota di mercato leggermente superiore al 40%. Questo perché in varie applicazioni presenta caratteristiche prestazionali ancora ineguagliate dai prodotti sintetici. Nell'ambito di questi ultimi il monomero di gran lunga più usato come materia prima è il butadiene che copre circa i due terzi dei fabbisogni produttivi.

In termini invece di sbocchi applicativi, quello di gran lunga prevalente è rappresentato dal settore dello pneumatico (60-70%). Oltre che rilevante in termini economici, questa è una applicazione tecnologicamente complessa. Da un lato c'è l'importanza cruciale degli elastomeri (composizione chimica, peso molecolare, architettura delle catene, ecc.) usati come basi. Parallelamente è altrettanto decisivo il ruolo delle complesse formulazioni impiegate (olii estensori, filler rigidi, antiossidanti, agenti reticolanti, ecc.) utilizzati per ottenere il manufatto finale, le cui caratteristiche sono soggette a crescenti richieste di prestazioni tecniche e vincoli normativi.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Numerosi sono i fattori di criticità legati alla gomma naturale estratta dalla Hevea Brasiliensis, al punto che è stata inserita dalla UE nella lista dei "Critical Raw Materials" per le industrie manifatturiere europee. Tra questi fattori possiamo ricordare:

- La produzione possibile solo in climi tropicali e concentrata esclusivamente nel sud-est asiatico;
- La tipologia di estrazione (difficilmente automatizzabile) che presta il fianco a forme di sfruttamento del lavoro;

36 NR, 1-4 cis poli-isoprene

- Competizione con le piantagioni per olio di palma (oleochimica, biodiesel, ecc.) e ripercussioni sulla deforestazione di quelle aree;
- Sensibilità ad alcuni patogeni che storicamente (anni '30 del secolo scorso) hanno sterminato l'Hevea nel continente sudamericano di origine (da cui l'aggettivo Brasiliensis);
- Presenza in questa gomma di alcune proteine, residue dai processi biosintetici, che possono dare fenomeni anche gravi di allergia nell'uomo per le applicazioni a contatto con la pelle (presidi medici, condom, guanti, ecc.).

Altre criticità sono invece presenti negli scenari futuri ipotizzabili per il butadiene. In particolare il recente rapido sviluppo dello "shale gas" potrebbe comportare una eccessiva riduzione dei cracking a virging nafta a vantaggio di quelli alimentati ad etano. L'effetto sarebbe dunque quello di creare una tensione sul mercato delle frazioni idrocarburiche superiori al C3. Da qui l'opportunità di sviluppare tecnologie per la produzione di butadiene da feed stock diversi dalla virgin nafta. In tale contesto le biomasse possono rappresentare una alternativa possibile, anche in considerazione del quadro più ampio delle politiche europee a favore dello sviluppo dell'economia "biobased".

Anche il principale settore applicativo degli elastomeri, come detto lo pneumatico, presenta vari aspetti che stimolano azioni di ricerca e sviluppo tecnologico. Negli ultimi anni sono uscite ad esempio direttive e regolamenti a livello europeo per classificare e certificare le prestazioni e la qualità dello pneumatico. Ad esempio il regolamento EC 1222-2009 relativo alla etichettatura per certificare le prestazioni dello pneumatico in termini di sicurezza di guida (Wet Grip, adesione sul bagnato), riduzione dei consumi di carburante (Rolling Resistance) e comfort (rumorosità). In termini di miglioramento della salubrità dei vari componenti si può ricordare la Direttiva 2005-69-EC per la sostituzione di alcune frazioni petrolifere (olii altamente aromatici) usate nelle formulazioni come olii estensori. Alla luce di questi "driver", le fonti rinnovabili possono rappresentare un utile feed-stock per la produzione ad esempio di olii e filler da impiegare nelle formulazione delle mescole per pneumatico.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Questi temi si inseriscono nella iniziativa dei Cluster Tecnologici Nazionali istituiti dal MIUR nel 2012, nello specifico in quello dedicato alla Green Chemistry.

Per quanto riguarda lo sviluppo di piante alternative alla Hevea Brasiliensis per la produzione della gomma naturale è stato individuato il Guayule come coltivazione più promettente per i climi non tropicali e che potrebbe trovare un habitat particolarmente favorevole nel clima mediterraneo. Esistono alcune esperienze incoraggianti di coltivazione del Guayule negli USA (Arizona) e sulla base di queste si punta ad uno sviluppo significativo in termini agronomici ed industriali nel mezzogiorno di Italia nonché, successivamente, anche in paesi africani. L'obiettivo rappresenterebbe sia un importante scale-up quali-quantitativo sia una significativa innovazione tecnologica rispetto l'attuale stato dell'arte conseguito in Arizona. Verrebbe ottimizzata la tecnologia più tradizionale (estrazione gomma con acqua alcalina) che consente di ottenere la gomma sotto forma di lattice, idoneo per produrre manufatti a più alto valore aggiunto come presidi ne setto-

re medicale, performance suits, ecc. Parallelamente risulta importante sviluppare la tecnologia di estrazione con solvente che permette di ottenere (più agevolmente rispetto la tecnologia basata sulla estrazione acquosa) la gomma naturale in foma solida, idonea per il compounding (settore pneumatici), anche a costi inferiori e con impianti di maggiori dimensioni. La tecnologia di estrazione con solvente consente poi una migliore separazione delle varie frazioni della pianta ovvero quella gommosa, quella resinosa e infine la lignocellulosica. Questo punto renderebbe più agevole la valorizzazione di tutte le componenti del Guayule, favorendo lo sviluppo di una bioraffineria integrata. Uno schema possibile di questa è riportato in Figura 60.

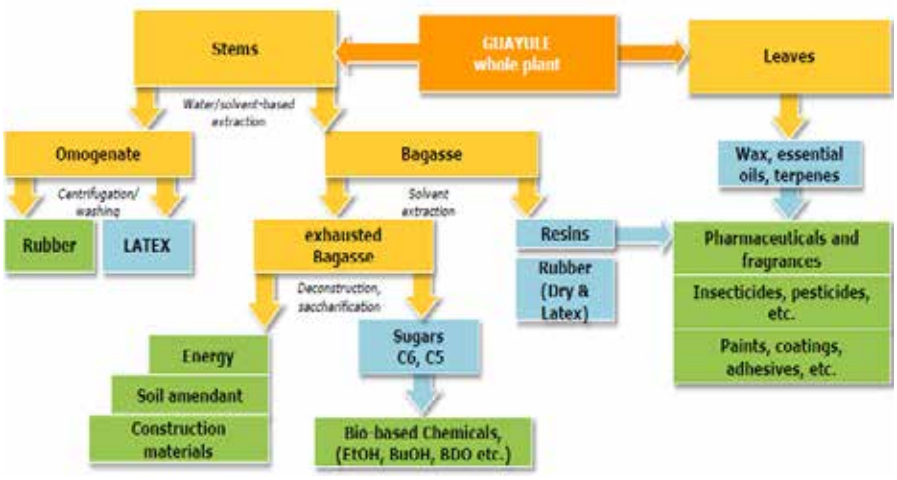


FIG. 60 – SCHEMA PER LO SVILUPPO POSSIBILE DI UNA BIORAFFINERIA INTEGRATA A PARTIRE DALLA COLTIVAZIONE DEL GUAYULE

Attualmente sono stati avviati in Italia i primi campi sperimentali per la coltura del Guayule e le attività di separazione e caratterizzazione delle frazioni della pianta su scala laboratorio per la raccolta di tutti i dati necessari alla progettazione-realizzazione degli impianti su scala pilota e-o industriale. Il completamento degli obiettivi sarebbe una filiera agronomica e industriale "first-of-kind" a livello internazionale.

Un'altra linea di azione molto consistente e significativa è quella per lo sviluppo di un pacchetto tecnologico completo che, attraverso una molteplicità di processi, porti all'ottenimento del monomero butadiene da biomasse lignocellulosiche come materie prime. A partire da queste, attraverso processi fisici, chimici ed enzimatici, si ottiene una miscela di zuccheri C6 e C5 che deve essere sufficientemente pura (concentrazioni minime di inibitori) per poter essere successivamente impiegata come substrato di fermentazione. In questa fase la miscela di zuccheri serve ad alimentare microrganismi ingegnerizzati "ad hoc" per produrre un intermedio chimico idoneo all'ottenimento finale del butadiene. Una possibilità è rappresentata dal butandiolo che, attraverso un processo chimico catalizzato di disidratazione produce il monomero desiderato. Una ipotesi di schema a blocchi è rappresentata in figura 61.

Diverse parti hanno un forte carattere innovativo e la messa a punto di un know-how completo e industrializzabile sarebbe un "break-through" che porrebbe l'industria italiana in una posizione di assoluta avanguardia. L'obiettivo è pertanto giungere in pochi anni alla dimostrazione di fattibilità tecnico-economica e alla realizzazione di un primo impianto dimostrativo di taglia industriale.

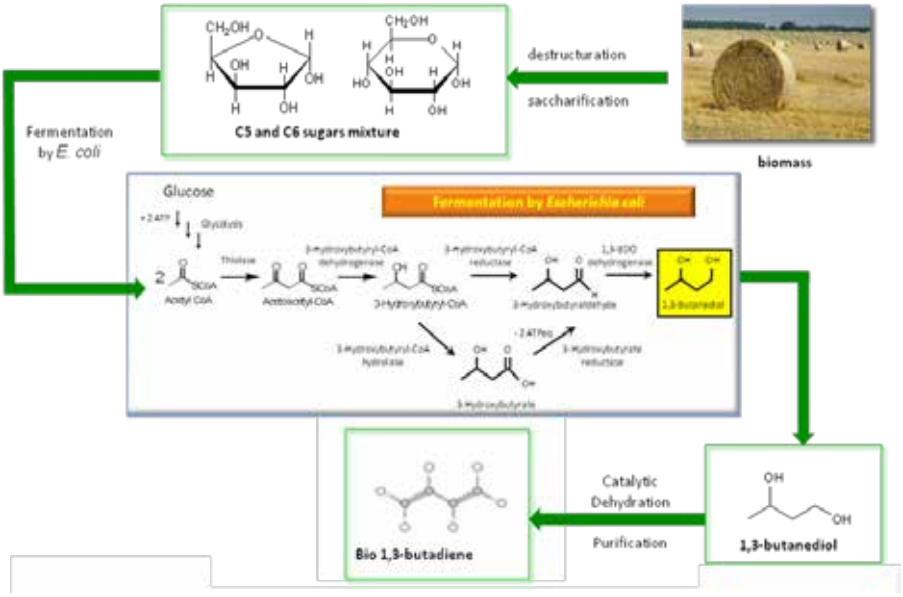


FIG. 61 – SCHEMA PER LA PRODUZIONE POSSIBILE DI BUTADIENE A PARTIRE DA BIOMASSE

L'ultimo riquadro di questo prospetto sintetico è relativo allo sviluppo di additivi "bio-based" da impiegare nelle formulazioni per il compounding degli elastomeri. Tra questi additivi sono di particolare interesse gli olii estensori e i filler rigidi, in quanto parte integrante del progetto di riconversione del petrolchimico di Porto Torres in una moderna bioraffineria integrata e che ha contribuito a dare all'Italia un ruolo guida a livello internazionale nello sviluppo della bio-economia.
Nel caso particolare degli olii estensori viene valorizzata una corrente di sottoprodotti che altrimenti dovrebbe essere trattata come scarto o rifiuto. Questa frazione, costituita da una miscela complessa di acidi grassi, tramite una opportuna esterificazione viene trasformata in una nuova miscela che è appunto idonea all'uso come olio estensore in sostituzione di olii idrocarburici, inclusi quelli ad elevata aromaticità che, come detto, presentano aspetti critici in termini di tossicità.
Oltre al beneficio dal punto di vista ambientale e di salute, questi olii consentono anche prestazioni tecnologicamente equivalenti (per la Wet Grip) o superiori (per la Rolling Resistance) rispetto le formulazioni con gli olii tradizionali utilizzati per la produzione di pneumatici.

Obiettivi strategici

L'obiettivo generale è quello di sviluppare tecnologie e prodotti a partire da fonti vegetali rinnovabili che possano inserirsi nel settore dei materiali elastomerici contribuendo ad affrontare e risolvere alcune delle criticità attualmente presenti nelle principali filiere di prodotti e applicazioni.
Nello specifico gli obiettivi principali sono:

- Sviluppare un processo per ottenere il più importante monomero del settore (il butadiene) a partire da fonti rinnovabili in alternativa agli attuali feedstocks basati sulla frazione C4 petrolifera;
- Sviluppare la produzione di gomma naturale da colture alternative alla Hevea Brasiliensis che è l'unica attualmente impiegata;

Sviluppare additivi per il compound degli elastomeri (ad esempio olii estensori) in sostituzione almeno parziale degli attuali di origine fossile.

Possibili ricadute occupazionali

Gli olii estensori di origine vegetale sono uno degli stream prodotti da Matrica (JV Novamont-Versalis) a Porto Torres e contribuiscono all'attuale processo di riconversione del petrolchimico a bio-raffineria. Per gli altri obiettivi, una eventuale realizzazione industriale in termini occupazionali diretti è confrontabile con gli impianti chimici di media-alta complessità. Inoltre sono ipotizzabili benefici occupazionali indiretti legati allo sviluppo di una filiera agricola.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 6

TECNOLOGIA DI RECUPERO DEL POLIVINILCLORURO

DESCRIZIONE

Il processo VinyLoop è una tecnologia di riciclo fisico, a base solvente, per rifiuti e scarti di PVC a fine vita. Il prodotto ottenuto è un compound di PVC riciclato di alta qualità, simile al vergine. Il processo si avvale di una fase di dissoluzione selettiva in solvente (miscela brevettata) seguita da una filtrazione in due fasi, la seconda delle quali decisamente più sofisticata ed efficace, effettuata grazie ad una decantazione centrifuga, che permette di eliminare le contaminazioni di dimensioni più piccole ancora presenti. Successivamente si separa il solvente per evaporazione e si ottiene il compound di PVC per precipitazione. Le fasi finali prevedono una essicazione e l'imballaggio del prodotto ottenuto. Messo a punto a livello industriale per alcune tipologie di rifiuti, il prodotto ottenuto può essere utilizzato per la produzione di articoli in PVC quali ad esempio membrane per impermeabilizzazione, tubi plastificati, pavimentazioni, suole per calzature, stivali, profili tecnici ed articoli stampati ad iniezione.

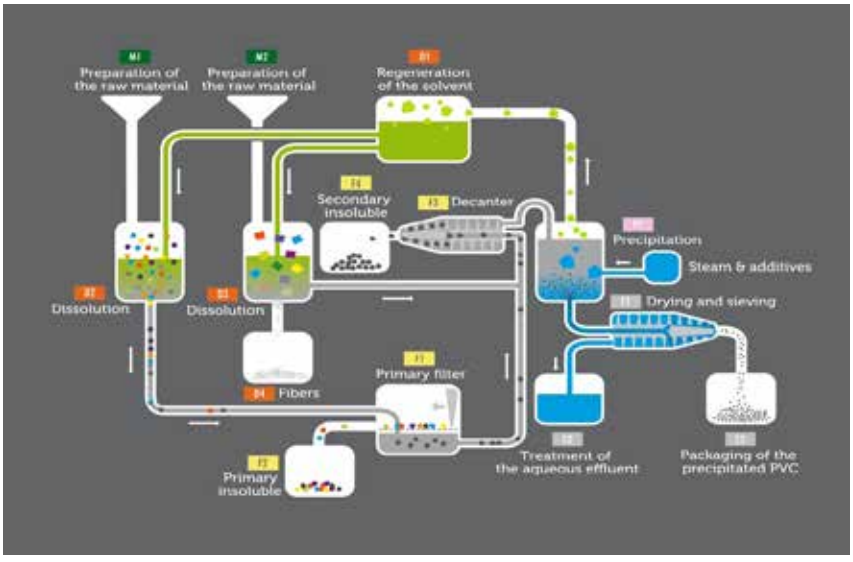


FIG. 62 – PROCESSO VINYLOOP

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Lo sviluppo di sistemi di raccolta e di riciclaggio è di fondamentale importanza per l'industria europea del PVC che, attraverso i programmi Vinyl 2010 e successivamente VinylPlus, ha promosso un impegno volontario, grazie al quale i sistemi di raccolta e di riciclaggio dei flussi di PVC sono stati notevolmente migliorati. Lo scopo originale del processo brevettato VinyLoop è stato quindi quello di riciclare materiali compositi che non possono essere riciclati in modo soddisfacente dai più comuni processi di macinazione e selezione.
La qualità del prodotto riciclato raggiunge una qualità simile al vergine e permette l'utilizzo del compound di PVC riciclato per la produzione di articoli normalmente ottenuti con materie prime vergini. In questo modo si evita di indirizzare allo smaltimento rifiuti altrimenti non recuperabili con evidenti vantaggi di riutilizzo di risorse e riduzione dei rifiuti. Inoltre il compound di PVC riciclato può essere commercializzato come un componente chiave di eco-efficienza dei prodotti finiti. L'impatto ambientale positivo del riciclaggio è stato valutato grazie ad una analisi del ciclo di vita (LCA). Il PVC riciclato ottenuto è stato confrontato con Compound PVC prodotto in via convenzionale. I metodi di Life Cycle Assessment (LCA) come da ISO Standard di ISO1440-44 sono stati utilizzati in questo studio che è stato criticamente recensito da DEKRA. Si è evidenziato che, con i suoi benefici ambientali in termini di risparmio energetico e di riduzione delle emissioni di CO2, VinyLoop® R-PVC è una risorsa importante per produrre un impatto ambientale minore e prodotti di prestazioni di alta qualità tecnica.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

È in funzione un solo impianto al mondo (a Ferrara, in Italia) che ha la funzione di pilota a livello industriale con lo scopo di approfondire e ottimizzare il riciclo di diversi tipi di rifiuti a base di PVC, oltre a quelli già messi a punto a livello industriale, con particolare attenzione verso quelli a fine vita. Attualmente sono stati ottimizzati, e vengono trattati principalmente, scarti di PVC a fine vita provenienti dalla macinazione di cavi elettrici e da teloni. Il macinato da cavi elettrici è lo scarto dell'operazione effettuata da numerose società per il recupero del rame e dell'alluminio. Questo rifiuto è altrimenti destinato principalmente allo smaltimento. Il macinato di teloni è il risultato della raccolta a fine vita di teloni utilizzati per usi diversi quali tensostrutture, banner pubblicitari, rivestimenti, protezioni e altri tipi di foglie flessibili con supporto tessile.
Il processo e la configurazione dell'impianto sono stati ottimizzati per le tipologie di rifiuti già sperimentati e attualmente utilizzati a livello industriale, ma possono essere la base di lavoro per la valutazione del trattamento di riciclo di numerose altre tipologie di rifiuti.

Obiettivi strategici

A supporto della strategia europea (e mondiale) della "circular economy", proseguire la ottimizzazione del processo e della configurazione impiantistica per il trattamento di rifiuti di differente composizione a base di PVC. Questa attività ha il fine di trattare rifiuti di sempre maggiore difficoltà e dunque risolvere problematiche di riciclo altrimenti impossibili. Il risultato ultimo è la miglior valorizzazione possibile del processo con risultati ambientali altrettanto elevati. La tecnologia brevettata potrà essere proposta sul mercato ad investitori e imprenditori interessati allo svolgi-

mento di questa attività, destinata sempre più a svilupparsi ed innovarsi per la migliore e più ampia gestione possibile di risorse altrimenti perdute.

Possibili ricadute occupazionali

La possibilità di ulteriore sviluppo in termini di capacità produttive e ricadute occupazionali sono legate alla costruzione di impianti, basati su questo processo, per il trattamento di rifiuti analoghi a quelli attualmente trattati e della messa a punto del processo per altri flussi di rifiuti analoghi o con altra composizione, che si rendessero disponibili. Il principio del processo ed alcune operazioni brevettate possono addirittura essere estese a separazione di altri materiali compositi, che non sono stati considerati ad oggi in quanto il focus è stato concentrato sul riciclo del PVC.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 7

TECNOLOGIE DEI NANOMATERIALI

DESCRIZIONE

La nanotecnologia opera in un ambito d'investigazione multidisciplinare, coinvolgendo molteplici indirizzi di ricerca, tra cui: biologia molecolare, chimica, scienza dei materiali, fisica (sia applicata che di base), ingegneria meccanica, ingegneria chimica ed elettronica. Può essere vista sia come un'estensione delle scienze esistenti sulla scala nanometrica, che come un loro "ri-arrangiamento". Essa raggruppa per definizione tutti quei processi che prevedono la manipolazione e/o il controllo della materia su scala nanometrica. Oggetto delle nanotecnologia sono, i nanomateriali, ovvero oggetti aventi almeno una delle tre dimensioni in un intervallo compreso tra 1 e 100 nm.
Appartengono, pertanto, al mondo delle nanotecnologie:

- tecniche di sintesi di nanomateriali, con processi controllati di auto assemblaggio a partire dagli atomi (processi bottom-up);
- tecniche di manipolazione degli atomi presenti su una superficie macroscopica al fine di creare oggetti nanometrici, con processi simili a quelle della litografia (processi top-down);
- tecniche di microscopia elettronica in grado di mostrare la materia a livello nanometrico.

Il confinamento della materia all'interno di dimensioni che possono ospitare da qualche decina a qualche centinaio di atomi o molecole è alla base delle peculiari proprietà mostrate dai nanomateriali. In questo intervallo dimensionale la fisica classica lascia il posto alla fisica quantistica nello spiegare molti dei fenomeni alla base della interazione luce/materia.

Due sono, in concreto, gli effetti che rendono uniche le proprietà dei nanomateriali:

- il size-effect, legato alle dimensioni, inferiori o prossime a quelle di molti fenomeni fisici (lunghezza d'onda della luce UV-VIS, energia del band-gap nei semiconduttori);
- il surface-effect legato alla preponderante porzione di atomi (o molecole) superficiali.

Il size-effect genera nei materiali proprietà nuove rispetto a quelle dei materiali macroscopici e strettamente dipendenti dalla loro nanostruttura (dimensioni e forma). Il surface-effect si traduce in un drastico incremento della reattività che deriva dall'elevatissima energia superficiale. Come sottolineato da G. Pacchioni, nel suo saggio divulgativo sulle nanotecnologie[37], con l'ingegnerizzazione dei processi di produzione dei nanomateriali, i chimici realizzano qualcosa di simile al sogno degli alchimisti di trasformare tutti i materiali in oro. Oggi sappiamo, infatti, che non è possibile trasformare la natura chimica degli atomi, ma, con le nanotecnologie, è possibile tra-

37 Gianfranco Pacchioni, "Quanto è piccolo il mondo. Sorprese e speranze delle nanotecnologie", Zanichelli, 2008

sformare la materia per farla funzionare in modi nuovi e utili, con risvolti economicamente più interessanti.

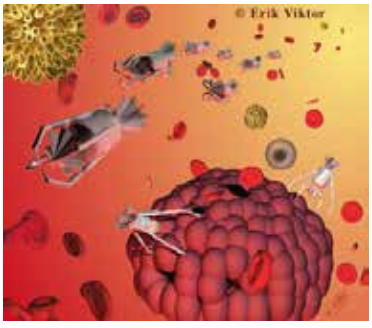
MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Per farsi un idea delle potenzialità, delle applicazioni già diffuse e di quelle in fase di sviluppo dei nano materiali si fa, solitamente, riferimento o alle tecnologie di processo o alla tipologia di materiale.

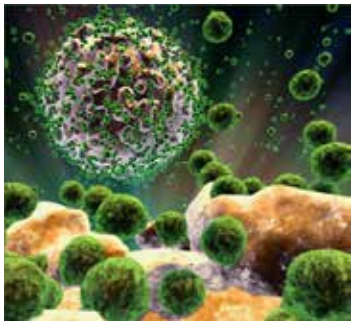
NANOELETTRONICA

Nell'ambito delle tecnologie di processo lo sviluppo di tecniche microscopiche quali il microscopio a scansione a effetto tunnel (STM) e il microscopio a forza atomica (AFM), ha aperto le porte a nuove frontiere di miniaturizzazione dei circuiti elettronici, possibili grazie a tecniche quali la nanolitografia. Parallelamente, si stanno facendo strada altre avveniristiche tecnologie, destinate, se vanno in porto, a rivoluzionare il mondo dell'elettronica e sono i cosiddetti transistor molecolari e computer quantistici. In entrambi i casi la progettazione di dispositivi molecolari in grado di far fluire a comando la corrente elettrica o assorbire selettivamente la luce a certe lunghezze d'onda, possono essere sfruttati, rispettivamente, come transistor o dispositivi per immagazzinare informazioni, spingendosi verso miniaturizzazioni impensabili e potenzialità enormi di elaborare dati.

NANOMEDICINA



MOLECOLE BIOLOGICHE



NANO ROBOT

FIG. 63 – APPLICAZIONI PER NANOMEDICINA

Gli scenari già esistenti o in alcuni casi ancora avveniristici della nanomedicina costituiscono, sicuramente, uno dei campi più promettenti delle nanotecnologie. Essi riguardano essenzialmente:

Nuove possibilità diagnostiche e terapeutiche

L'interazione selettiva dei tessuti biologici con nanoparticelle opportunamente funzionalizzate e le tecniche microscopiche, attualmente a disposizione, con una risoluzione di immagini a livello

nanometrico, consentono di rilevare e caratterizzare organismi attivi a livello biologico, nonché di sollecitare le cellule bersaglio con un irraggiamento termico o elettromagnetico, inducendo la distruzione selettiva dei tessuti patogeni.

Somministrazione mirata di farmaci

Le nanoparticelle, grazie alle loro dimensioni, sono in grado di attraversare alcune barriere biologiche. Inoltre a causa della loro elevata reattività superficiale sono facilmente funzionalizzabili con sostanze inorganiche e organiche. Queste proprietà hanno reso possibile la realizzazione di dispositivi nanometrici biologicamente funzionalizzati con molecole in grado di interagire con i tessuti malati e di trasportare i principi attivi che uccidono selettivamente solo le cellule patogene (drug-delivery systems).

Rigenerazione controllata di tessuti

Le tecniche di nanofabbricazione consentono la realizzazione di dispositivi nanostrutturati per applicazione nei settori cardiovascolare, ortopedico e della chirurgia ricostruttiva. La ricerca, in tal senso, segue due line principali: 1) la realizzazione di superfici nanostrutturate per tessuti molli; 2) l'ottenimento di materiali nanostrutturati per tessuti duri. Il fine ultimo è sempre quello di valutare le possibili utilizzazioni dei materiali nanostrutturati come elementi di protesi.

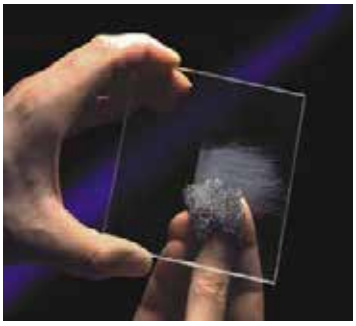
Nano oro e nanoparticelle superparamagnetiche nella diagnosi e cura dei tumori o di altre patologie.

Nano Particelle d'oro con forma a bastoncello (nanorod) e di magnetite opportunamente funzionalizzate con molecole e o anticorpi selezionati che le rendono trasparenti al sistema immunitario ma attraenti per le cellule patogene, circolano nel sangue e si depositano, ad esempio, in corrispondenza delle cellule tumorali. A seguito dell'irraggiamento con opportune lunghezze d'onda (nel IR con laser a CO_2 per il nano oro e utilizzando campi elettromagnetici nel range delle radioonde per le particelle magnetiche) è possibile sfruttare gli effetti ipertermici della interazione radiazione-particella allo scopo di trattare le cellule tumorali con ipertermia. È inoltre possibile localizzare le particelle con tecniche di imaging fotoacustico (nel caso di nanorod di oro) o di MRI. Quindi si configura un possibile approcciio teranostico dove è possibile sfruttare da una parte l'effetto termico eventualmente in sinergia con il rilascio locale di farmaci, in precedenza ancorati alla superficie (drug delivery) e dall'altra la possibilità di localizzare in contemporanea le particelle durante la loro azione.

ENERGIA E AMBIENTE

L'elevata energia superficiale dei nanomateriali li rende materiali ideali per i processi di catalisi o fotocatalisi utilizzati in dispositivi per la produzione o l'accumulo di energia quali: celle solari, celle a combustibile, batterie. L'enorme capacità delle superfici nano strutturate di assorbire gas le rende estremamente preziose anche in processi di degradazione di inquinanti (marmitte catalitiche) o per il rilevamento di gas nocivi (sensori di gas).

MATERIALI DA COSTRUZIONE



VETRI ANTI GRAFFIO



SUPERFICI SELF-CLEANING

FIG. 64 – APPLICAZIONI PER MATERIALI DA COSTRUZIONE

Per comprendere il grosso impatto che i nanomateriali esercitano nell'industria dei materiali da costruzione (acciaio, legno, vetro, rivestimenti, polimeri) è necessario prendere confidenza con il concetto di materiale composito. I nanomateriali, infatti, entrano di prepotenza nel mondo dei materiali massivi da costruzione come additivi delle matrici esistenti, allo scopo di conferire proprietà quali una accresciuta resistenza meccanica e durata, nonché proprietà funzionali quali proprietà autopulenti (self-cleaning) o antibatteriche, derivanti da processi fotocatalitici.
Alla luce di quanto esposto, le attività che rivestono maggiore valore strategico riguardano:

a) Processi ad umido "green" e sostenibili per la sintesi e formulazione (design) di nanomateriali inorganici

I metodi di sintesi in fase liquida presentano una grande flessibilità e soprattutto la possibilità di esercitare un più stretto controllo sulle proprietà dei nanomateriali, modificando i parametri di sintesi in base alle specifiche desiderate, inoltre la rielaborazione e lo stoccaggio di sospensioni risulta molto più facile e sicuro rispetto alla manipolazione delle polveri. Essi permettono di ottenere particelle inorganiche a base ossidica o metallica, eventualmente multicomponenti, di forma e dimensioni controllate, con elevata reattività chimico-fisica e massimo controllo della purezza. Il controllo così elevato sui materiali prodotti richiede lo sviluppo di tecniche di sintesi a partire da soluzioni dei cationi precursori. I processi sono basati sull'idrolisi (nel caso di ossidi) o sulla riduzione (nel caso di metalli) in acqua o in mezzi organici dei cationi precursori, a seguito di variazioni di pH o aggiunta di agenti riducenti. Tali processi per la loro stessa natura si prestono ad essere sviluppati dalle tecnologie produttive di tipo "flow chemistry" che assicurano una rapida scalabilità del processo.

b) Smart surfaces

Lo sviluppo di prodotti in fase liquida per il coating di superficie apre la strada alla funzionalizzazione di diversi substrati con tecniche attualmente alla portata di utilizzatori industriali anche

tradizionali. I settori industriali che saranno maggiormente interessati all'apporto tecnologico di questi materiali saranno soprattutto la ceramica ed il vetro (superfici superidrofiliche e superidrofobiche, superfici antibatterice ed antismog), quello dei lapidei e dei rivestimenti, del legno e delle plastiche. Nel campo dei rivestimenti metallici sistemi nanostrutturati ibridi polimerici-inorganici saranno utilizzati per migliorare le caratteristiche alla ossidazione ad alte temperaturre, per superfici anti stain superidrofobiche ed antigraffio. L'utilizzo di superfici porose ceramiche, metalliche o plastiche nanostrutturate con biossido di titanio fotocatalitico apre la strada allo sviluppo di filtri fotoattivabili per il trattamento di ambienti contaminati sia indoor (inquinamento da VOC's, formaldeide..) che outdoor (inquinamento da NOx, VOC's...).

c) Tessuti ceramizzati

L'unione della tecnologia sol-gel con i processi di finissaggio dei tessuti o le tecnologie di spinning consente di ottenere mezzi multifunzionali altamente versatili, facilmente sfruttabili nelle molteplici applicazioni della "green technology". L'elevata scalabilità e la sostenibilità del processo è garantita dalle tecnologie consolidate coinvolte nei processi nanotecnologici / sol-gel / colloidali e tessile. In particolare:

- PROPRIETÀ ANTIBATTERICHE. Il meccanismo largamente accettato di azione antibatterica è per entrambi i nanomateriali a base di TiO_2 e Ag, un'interazione diretta degli ioni liberati dalla superficie di Ag o dei radicali foto-indotti sulla superficie della TiO2 ossidativi con i batteri della membrana, che porta ad un aumento della sua permeabilità che favorisce l'efflusso dei contenuti intracellulari, accelerando la morte della cellula. L'immobilizzazione di tali nanoparticelle in rivestimenti attivi antibatterici, depositati su substrati tessili, è la migliore strategia per uno sfruttamento scalabile a livello industriale delle loro proprietà catalitiche (nanotools biocatalitici), che presenta i vantaggi della catalisi eterogenea: elevata permeabilità del supporto all'acqua e ai gas, recupero del catalizzatore grazie alla facile separazione, minimi costi e impatto ambientale.
- PROPRIETA' DI AUTOPULENZA. Rivestimenti a base di TiO_2 hanno attirato un attenzione particolare a causa delle loro proprietà fotocatalitiche sfruttabili in processi di rimozione delle macchie quando depositati su substrati di rilevante interesse tecnologico (tessili, ceramica, vetro). L'uso di particelle nanometriche aumenta il grado di adesione del trattamento e la sua funzionalità. Le nanoparticelle di ossidi metallici hanno una particolare affinità per le fibre idrofile naturali e possono essere utilizzate nei processi di finitura del tessuto per modificare le proprietà superficiali e diffondere nuove funzioni al prodotto (processo di ceramizzazione). Tessuti di cotone sono ceramizzati con un metodo da sol-gel di foulardaggio a partire dal TiO_2 nanosols commerciali o opportunamente sintetizzati con caratteristiche stabili e riproducibili. Le prestazioni fotocatalitiche sono valutate in diversi contesti sperimentali: particelle / soluzione colorante, particelle depositate sul substrato / soluzione di colorante, particelle depositate sul substrato / macchie di colorante, in modo da riprodurre i meccanismi alla base, rispettivamente, di: catalisi omogenea, catalisi eterogenea, applicazioni di autopulenza. Proprietà dipendenti dalla nanoscala come la nanostrutturazione e la chimica di superficie così come

macro proprietà quali l'idrofilia influenzato l'attività fotocatalitica ed il loro controllo è fondamentale al fine di migliorare le prestazioni.

- PROPRIETA' CATALITICHE. Nanoparticelle metalliche sono sintetizzate tramite un metodo brevettato di sintesi "green" sfruttando diversi polisaccaridi come agenti riducenti. Questo metodo consente di ottenere particelle con dimensioni e forma modulabili e proprietà molto interessanti in termini di stabilità nel tempo, contenuto solido delle sospensioni, resa di reazione e versatilità / scalabilità del processo. I metalli e bimetalli (strutture core-shell e leghe) sintetizzati mostrano alte prestazioni catalitiche sia in reazioni di idrogenazione e ossidazione, quando vengono supportati sia su nanopolveri di ossido (TiO_2) che su membrane polimeriche

Possibili ricadute occupazionali

L'impatto occupazionale nei prossimi 10 anni è stimabile in termini di una crescita del 1,5-3% per anno soprattutto nei comparti della manodopera specializzata, dei tecnici e dei ricercatori industriali di aziende spin-off ma anche tradizionali grazie alla grande flessibilità delle tecnologie e alla loro facile applicabilità in comparti a vocazione manufatturiera.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 8
GRAFENI IN 3D

DESCRIZIONE

È ben noto anche ai non specialisti che, a partire dalla scoperta del grafene nel 2004 e soprattutto dopo l'assegnazione del premio Nobel nel 2010[38], si è avuta una vera esplosione di attività di ricerca su questi ed altri materiali bidimensionali (2D). La maggior parte della ricerca è rivolta a possibili applicazioni in elettronica. Tuttavia applicazioni reali in tale settore presentano l'oggettiva difficoltà di vincere la concorrenza dei materiali a base di silicio, che hanno raggiunto da tempo livelli di sofisticazione difficilmente pareggiabili.

Molto più vicino ad applicazioni industriali sono materiali tridimensionali contenenti strati grafenici, che in questo testo sono denominati in breve "*grafeni in 3D*".
La grande maggioranza dei grafeni in 3D, descritti in numerosi lavori di ricerca e sviluppo, sono ottenuti a partire dall'ossido di grafite, prodotto per cui utilizzeremo la sigla utilizzata internazionalmente di GO. Il GO è un materiale a strati, noto fin dalla fine dell'ottocento, che può essere ottenuto da ossidazione di grafite mediante acidi minerali forti ed agenti ossidanti. GO è costituito da strati grafitici con gruppi funzionali contenenti ossigeno (prevalentemente gruppi ossidrilici ed epossidici sulla superficie dei piani basali e gruppi carbonilici e carbossilici ai bordi), che conferiscono polarità alle superfici ed un marcato carattere idrofilo. La comunità scientifica internazionale è generalmente concorde con l'idea che la produzione in larga scala di grafeni a singolo strato o con pochi strati potrà essere ottenuta da processi "top-down" di esfoliazione e riduzione di GO, mediante trattamenti chimici o termici.
Molti esperti accademici ed industriali ritengono inoltre che lo sviluppo di strutture tridimensionali contenenti singoli strati di ossido di grafene e di grafene porterà a miglioramenti nella lavorabilità industriale del grafene e ad un'espansione delle possibili applicazioni. In particolare, secondo il bando transnazionale congiunto 2015 relativo alla "Graphene Flagship" dell'Unione Europea, i principali vantaggi dei materiali grafenici rispetto ad altri additivi a base di carbonio risiedono nella migliore lavorabilità e l'elevata area superficiale attiva per interagire con fasi metalliche e polimeriche.
Nell'ambito di questo testo sono brevemente citati alcuni specifici materiali grafenici in 3D: carta di grafene e di ossido di grafene ("graphene and graphene oxide paper"), aerogeli e compositi caricati con grafene.

38 E. Negishi, A. Suzuki, R. Heck

Carta di grafene

Materiali autoportanti e flessibili, tipo carta, costituiscono una parte rilevante di molte tecnologie. I loro usi comprendono strati protettivi, filtri per separazione di solidi e filtri molecolari, componenti di batterie elettriche e di supercapacitori, strati adesivi e componenti elettronici o optoelettronici. In particolare, fogli di grafite flessibili composti da piattine di grafite espansa impilate in modo disordinato sono utilizzati da molto tempo in applicazioni in imballaggi e guarnizioni. I principali vantaggi di fogli flessibili di natura grafitica sono un'elevata resistenza chimica nei confronti di molti agenti e una buona impermeabilità ai fluidi.

In anni recenti, sono state sviluppate delle carte flessibili ed autoportanti costituite da una aggregazione disordinata di strati singoli di ossido di grafene o di grafene, caratterizzate da un solo parziale parallelismo tra gli strati grafenici. Questi nuovi materiali, che presentano tipicamente una densità vicina a 1,8 g/cm^3, superano notevolmente altri tipi di carta a base grafitica soprattutto per una sorprendente flessibilità associata a elevate rigidità e resistenza, che già caratterizzano le carte grafitiche. Per dare un'idea immediata della grande flessibilità di tali "paper", in Figura 65 è mostrato il massimo ripiegamento di un film di ossido di grafene di spessore di 15μm, all'interno di un calibro.

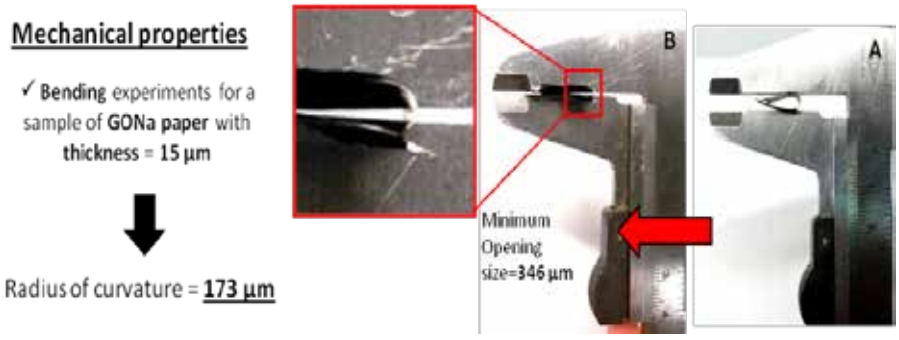


FIG. 65 – MASSIMO RIPIEGAMENTO DI UN FOGLIO FLESSIBILE A BASE DI OSSIDO DI GRAFENE ("GRAPHENE OXIDE PAPER") CON LO SPESORE DI 15µM, ALL'INTERNO DI UN CALIBRO. IL RAGGIO DI CURVATURA VALUTATO È INFERIORE A 180 µM.

Tali straordinarie proprietà meccaniche che associano flessibilità e rigidità, quasi come in materiali polimerici, sono dovute ad un arrangiamento interconnesso dei fogli di ossido di grafene.

Aerogeli

Aerogeli costituiti da strati grafenici reticolati in strutture tridimensionali con assenza di ordine orientazionale e di densità anche molto bassa (anche inferiore a 0,01 g/cm^3) sono ottenuti agevolmente da essiccamento di geli a base di GO, seguito da riduzione termica o chimica. Aerogeli monolitici che presentano legami covalenti tra gli strati di grafene, piuttosto che semplici reticolazioni fisiche, possono essere preparati usando della classica chimica di tipo sol-gel. In partico-

lare, resine termoindurenti (ad es., fenoliche) sono utilizzate per produrre organogeli, che sono essiccati di solito mediante anidride carbonica in condizioni supercritiche e poi ridotti termicamente in modo da produrre aerogeli polimero/GO reticolati, che poi per pirolisi e carbonizzazione dei legami trasversali organici portano ad aerogeli di grafene. Soprattutto grazie all'elevata area superficiale (500-600 m^2/g) ed alla loro conduttività elettrica, aerogeli a base di grafene potrebbero trovare applicazioni in svariate tecnologie, ed utilizzati in supercapacitori, batterie, catalizzatori e sensori.

Sono stati anche ottenuti aerogeli a base di polimeri termoplastici contenenti elevate quantità di ossido di grafene e di grafene. Tali materiali hanno potenziali applicazioni come "masterbatch" utilizzabili nella lavorazione di polimeri, cioè come granulo da diluire con materiali polimerici termoplastici in processi di lavorazione di polimeri in fase fusa. Tali materiali hanno anche potenziali applicazioni in catalisi supportata.

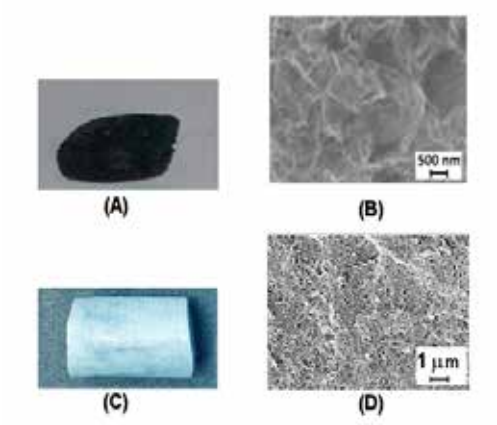


FIG. 66 – IMMAGINE FOTOGRAFICA (A,C) ED IMMAGINE SEM (B,D) DI AEROGELI MONOLITICI CON DENSITÀ APPARENTE DI ≈ 0,1 G/CM2: (A,B) GRAFENE; (C,D) POLIMERO/OSSIDO DI GRAFENE, 80/20.

Compositi

Applicazioni di materiali grafenici, probabilmente più vicine allo sviluppo industriale, sono come cariche in materiali polimerici. In particolare, sono attese applicazioni sia in compositi a matrice termoplastica che in compositi a matrice termoindurente.

La grafite, materia prima precursore del GO e dei suoi derivati grafenici è economica ed abbondante e questo fattore costituirà probabilmente uno dei vantaggi principali rispetto all'uso di nanotubi di carbonio (CNT) in nano compositi, soprattutto nel caso di produzioni su larga scala. Inoltre, mentre CNT e grafeni generano miglioramenti comparabili in proprietà meccaniche ed elettriche, i grafeni offrono più ampi miglioramenti della conduttività termica e soprattutto di proprietà barriera (Figura 67). Com'è facilmente intuibile, le proprietà fisiche dei compositi a base polimerica caricati con grafene sono molto dipendenti dal controllo dell'organizzazione spaziale delle nanocariche, con particolare riferimento alle interazioni ed al grado di orientazione tra gli strati grafenici.

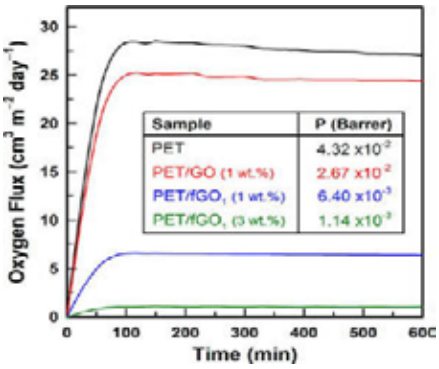


FIG. 67 – NOTEVOLE RIDUZIONE DEL FLUSSO DI OSSIGENO ATTRAVERSO FILM DI POLIETILENETEREFTALATO (PET) A SEGUITO DI AGGIUNTA DI OSSIDO DI GRAFENE BEN DISPERSO (IN QUANTO FUNZIONALIZZATO), CON STRATI GRAFENICI ORIENTATI PARALLELAMENTE AL PIANO DEL FILM.

Nel caso di matrici termoindurenti (ad es. epossidiche) studi recenti hanno anche evidenziato che grafeni possono aggiungere alla funzione di rinforzo anche una efficace funzione di catalizzatore delle reazioni di reticolazione termica, consentendo di pervenire ad elevati gradi di reticolazione a temperature di reticolazione decisamente inferiori, con conseguente riduzione di costi.
Il miglioramento di svariate proprietà fisiche, osservate con cariche a base di grafene, associato a potenziali basso costo e produzione in larga scala, possono generare molteplici applicazioni di tali nanocompositi ed una loro immissione sul mercato nel giro di pochi anni.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le molteplici attività di ricerca e sviluppo industriale su materiali grafenici tridimensionali ("graphene paper", aerogeli e compositi con polimeri termoplastici e termoindurenti) porteranno nel giro di pochi anni ad una serie di applicazioni industriali.
Forze spingenti verso uno sviluppo industriale di grafeni in 3D potranno essere:

- Bassi costi ed abbondante disponibilità della materia prima (grafite) e di reagenti per l'ottenimento di GO e dei suoi derivati grafenici;
- La compatibilità ambientale, legata al fatto che tali materiali sono costituiti solo da carbonio e eventualmente piccole quantità di ossigeno e dalla tendenza nel lungo termine e nei processi di smaltimento a riaggregarsi in materiali grafitici. Tale evoluzione termodinamica verso la grafite non è ugualmente riscontrabile in altri nanomateriali a base di carbonio quali il fullerene o i nanotubi di carbonio;
- Il loro facile inserimento in alcune tecnologie industriali di lavorazione;
- La disponibilità del GO in stabili dispersioni acquose ne rende agevole l'inserimento in tecnologie industriali e prodotti a base acqua.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

A livello internazionale ma anche nazionale operano svariate piccole aziende (spesso nate come attività spin-off di strutture accademiche) che producono in piccola scala svariati materiali grafitici (ad alta area superficiale) e grafenici. Alcune aziende, quale ad esempio la Pirelli, anche in collaborazione con centri di ricerca accademici, hanno sviluppato competenze su preparazione, funzionalizzazione, caratterizzazione e specifiche applicazioni di materiali a base di GO e grafene.
La rilevanza dei materiali grafenici per l'innovazione industriale è testimoniata anche dal grande sforzo di ricerca e sviluppo promosso dall'Unione Europea con il Progetto Bandiera sul grafene (Graphene Flagship). Ad esempio, una delle aree previste dal bando transnazionale congiunto (joint transnational calls, JTC) per il 2015 sono proprio i Compositi Multifunzionali.

Obiettivi strategici

Come conseguenza dei miglioramenti in corso nei processi di produzione chimica di grafeni in 3D e con la conseguente riduzione dei costi, alcuni prodotti contenenti materiali grafenici e soprattutto compositi a base polimerica che usano tali tipi di nanocariche dovrebbero presto divenire una realtà commerciale. In particolare, esiste già un notevole interesse e sforzo di sviluppo industriale da parte di molte compagnie per lo scale up nella produzione di GO. A riguardo va tuttavia evidenziato che è particolarmente rilevante, per la produzione in larga scala ed il trasporto del GO, una precisa conoscenza di come identificare e superare aspetti di infiammabilità di tali materiali.
Secondo il già citato bando 2015 della "graphene Flagship" dell'Unione Europea, una delle aree di speciale interesse è lo sviluppo di compositi grafene-polimero con maggiore conduttività elettrica rispetto a quelli con carbon black, che superino anche le limitazioni meccaniche e funzionali del nerofumo. Ci si aspetta peraltro di migliorare conduttività termica, resistenza alla corrosione e flessibilità.

Possibili ricadute occupazionali

Ricadute occupazionali potrebbero esserci in ambito di aziende produttrici di materiali grafenici, attualmente presenti come piccole aziende (spesso spin-off accademici). Ricadute occupazionali positive si potrebbero anche avere in aziende utilizzatrici di grafeni in 3D. Infatti, innovazioni basate sul rimpiazzo in tecnologie esistenti di materiali grafitici tradizionali potrebbero contribuire alla competitività di aziende operanti in svariati settori (prevedibilmente soprattutto in ambito energetico, ad esempio in elettrodi per batterie e componenti di cavi di potenza).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 9

SVILUPPO DI MATERIALI PLASTICI CON NANOCARICHE

DESCRIZIONE

Negli ultimi anni la ricerca sui materiali plastici e derivati si è indirizzata soprattutto verso i seguenti settori:

- sviluppo di nuovi materiali e tecnologie dei cosiddetti compositi rinforzati, con particolare riguardo ai compositi a matrice termoplastica e a tecnologie che consentano l'aumento della produttività nella realizzazione di componenti in composito termoplastico e termoindurente;
- sviluppo di materiali plastici da fonti rinnovabili nelle loro diverse forme (le cosiddette bioplastiche), per migliorare il ciclo di vita (LCA) e la sostenibilità dei materiali polimerici;
- sviluppo delle tecnologie di produzione additiva (Stampa 3D), al fine di migliorare le caratteristiche chimiche e meccaniche dei prodotti a base polimerica così realizzati.

La dispersione di nano cariche nella matrice polimerica può consentire di migliorare significativamente prestazioni e caratteristiche dei polimeri "tradizionali", dei bio-polimeri, dei fibro-rinforzati e dei materiali plastici utilizzati per la produzione additiva.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Recentemente si sono rese disponibili alcune tecnologie di stampaggio ad iniezione, quali lo stampaggio microcellulare, il condizionamento dinamico degli stampi, lo stampaggio in contropressione, che potrebbero consentire la realizzazione di componenti in materiale termoplastico con riduzioni di peso fino al 30-40% a parità di prestazioni e funzionalità.

Ulteriori sensibili riduzioni di peso, sempre dello stesso ordine di grandezza, sarebbero possibili con l'impiego di compositi a matrice termoplastica rinforzati con fibre di carbonio o di altra natura, anche da fonti rinnovabili. Ovviamente sarebbe anche possibile realizzare manufatti per stampaggio ad iniezione mediante la combinazione delle tecnologie sopra riferite con ulteriori vantaggi in termini di peso e prestazioni. Tali tecnologie si stanno sviluppando ad un ritmo assai lento per varie ragioni; uno dei quali è la scarsità di materiali adeguati ed ottimizzati per il loro utilizzo.

Da alcuni studi e ricerche già effettuate risulterebbe che l'introduzione di nano-cariche nella matrice polimerica mediante compoundazione meccanica, potrebbe sensibilmente migliorare la fruibilità di alcuni polimeri largamente utilizzati nella realizzazione di particolari tecnici. Le nano-cariche disperse nella matrice polimerica consentono il miglioramento anche di altre caratteristiche del materiale, quali ad esempio una migliore resistenza all'abrasione superficiale, eliminando la necessità di verniciatura. Oppure possono conferire al materiale caratteristiche funzionali particolari, quali ad esempio la conduttività, la capacità di distruggere agenti microbici, l'anti-staticità.

Nell'ambito dei materiali avanzati e delle nano-tecnologie i materiali plastici (polimeri – e loro deri-

vati – sia termoplastici che termoindurenti) sono sicuramente di grande interesse per le notevoli potenzialità di sviluppo, sia in nuovi ambiti applicativi, sia per il possibile miglioramento di quelli in cui sono già utilizzati. Lo sviluppo su larga scala di prodotti realizzati con l'impiego di questi materiali e tecnologie avrebbe un sensibile impatto positivo sul bilancio energetico di settori chiave (quale il trasporto su gomma, la produzione di articoli tecnici, l'industria del bianco, il settore medicale e farmaceutico).

Tali obiettivi potranno essere perseguiti attraverso varie linee di ricerca su materiali innovativi e nano-tecnologie, quali ad esempio:
Lo sviluppo e l'impiego su larga scala di materiali fibro-rinforzati a matrice termoplastica, ciò consentirebbe di migliorare la processabilità e il recupero a fine vita rispetto ai tradizionali materiali fibro-rinforzati a matrice termoindurente;

- L'impiego di processi di trasformazione che consentano di ridurre la quantità, e quindi il peso, di materiale impiegato, senza influire negativamente sulle caratteristiche meccaniche;
- Il miglioramento delle caratteristiche dei materiali utilizzati nella trasformazione mediante processi di additivazione (la cosiddetta stampa 3D), permettendo di ridurre sensibilmente il costo di componenti prodotti in piccole serie e le pre-serie prototipali.
- La funzionalizzazione dei materiali plastici, utilizzati nella maggioranza dei casi come elementi di contenimento o di ricopertura, consentirebbe di realizzare, ad esempio, la trasmissione di segnali elettrici e/o di calore, piuttosto che un cambiamento di colore o una variazione elle proprietà ottiche – riflessione/trasparenza – del componente "funzionalizzato". A tal fine si immagini, ad esempio, una analogia con l'epidermide umana che, oltre a "contenere" organi, muscoli, scheletro, ecc., è anche in grado di rilevare e trasmettere segnali al sistema nervoso, variare di colore, emettere e/o assorbire liquidi, ecc., analogamente il materiale plastico utilizzato prevalentemente come supporto o contenitore di altri componenti più "nobili", potrebbe svolgere funzioni "sensoriali", consentendo ad esempio, la trasmissione di segnali elettrici senza la necessità di cavi, connettori, interruttori, ecc.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La ricerca e lo sviluppo dell'utilizzo di cariche nanometriche nei materiali plastici avanzati è di grande importanza strategica per il mantenimento e lo sviluppo del settore della produzione e trasformazione dei materiali plastici in Italia. L'industria chimica e meccanica italiane vantano una grande tradizione nello sviluppo di materiali plastici e nella loro trasformazione. Purtroppo sia la produzione di polimeri che di macchine e impianti per la loro trasformazione è in forte crisi, rispetto agli anni '80 e '90, durante i quali l'Italia era fra i leader mondiali in entrambi i settori. Oggi ci viene offerta la possibilità di recuperare parte del terreno perduto, se crederemo nelle potenzialità di questi nuovi compound e investiremo seriamente nel loro sviluppo. In caso contrario rischiamo di perdere anche ciò che rimane delle aziende di trasformazione e, con esse, anche i pochi produttori di macchine ed impianti di processo (in particolare estrusori, termoformatrici, stampi, apparecchi ausiliari) ancora rimasti sul territorio nazionale.

Obiettivi strategici

Lo sviluppo di materiali plastici nano-caricati è in linea con le linee guida europee in quanto tecnologia abilitante per la realizzazione di nuovi materiali che, grazie alle migliorate prestazioni, consentono, in definitiva, una riduzione dei consumi energetici e delle emissioni in atmosfera. Ad esempio nel settore dell'autoveicolo, dei veicoli industriali e del motociclo l'utilizzo dei materiali polimerici ha avuto un fortissimo incremento a partire dagli anni settanta. Tale sviluppo è iniziato con i componenti interni all'abitacolo (maniglie, rivestimenti, coperchi, ecc.) per arrivare a componenti importanti della carrozzeria (paraurti, parafanghi, portelloni, tettucci abitacolo, serbatoi), del motore (coperchi di vario tipo, tubi e raccordi, ecc.), dell'abitacolo (cruscotti, sedili, interni porta, condotti di condizionamento, ecc.).

L'avvento di nuovi materiali plastici con caratteristiche uniche e innovative (ad esempio conducibilità elettrica localizzata, elevatissima resistenza meccanica, resistenza all'abrasione, ecc.) consente oggi di individuare possibili ulteriori sviluppi in questo settore sia in termini di "metal replacement" che di riduzione e semplificazione del numero di componenti utilizzato nella realizzazione del veicolo. Le nano tecnologie applicate al settore dei polimeri riguardano prevalentemente la produzione di materiali contenenti cariche di dimensione nanometrica, capaci di conferire particolari caratteristiche e qualità alla matrice polimerica, sia in termini di miglioramento della processabilità, sia conferendole particolari caratteristiche funzionali. Esistono già numerosi studi al riguardo con l'utilizzo di nanocariche disponibili sul mercato (ad es. sepioliti), che confermano la possibilità di migliorare il processo e/o le specifiche caratteristiche del polimero.

Miglioramento del processo di trasformazione

La tecnologia più diffusa per la realizzazione di componenti in materiale plastico è lo stampaggio con utilizzo di presse ad iniezione e dei relativi stampi.

Il miglioramento delle prestazioni e/o la riduzione di peso possono essere ottenuti agendo su diversi fattori:

a) La tipologia di polimero utilizzato

migliorando le caratteristiche meccaniche intrinseche del materiale, si ottengono, ovviamente, componenti più leggeri; oggi la scelta di polimeri ad alte prestazioni è molto vasta, ma l'additivazione con specifiche nanocariche consentirebbe di ottenere polimeri ottimizzati per uno specifico impiego.

b) L'ottimizzazione della progettazione del componente

aumentando la quantità di materiale dove maggiori sono i carichi e riducendola dove non necessario, compatibilmente con la realizzazione fisica e con il processo impiegato nella produzione del componente, si ottengono prodotti più leggeri e più performanti, in questo caso è necessario lo sviluppo di software di progettazione che siano in grado di tener conto con la massima precisione sia delle specifiche proprietà meccaniche del materiale (polimero base, nanocariche, fibre di rinforzo), sia del processo di trasformazione.

c) L'impiego di tecnologie di stampaggio microcellulare

queste tecnologie di processo consentono la realizzazione di una struttura microcellulare a celle chiuse che, opportunamente simulata in fase di progettazione e realizzata durante il processo produttivo, consente una riduzione di peso del componente anche dell'ordine del 30-40%, senza influire negativamente sulle sue proprietà di resistenza meccanica e partendo dallo stesso polimero di base;

d) L'impiego di tecnologie di stampaggio che migliorino il processo di riempimento e compattamento del materiale nello stampo

tecnologie di processo che prevedano il condizionamento dinamico degli stampi (processo heat & cool), in modo da ridurre gli spessori e migliorare le linee di giunzione, consentono una riduzione della quantità di materiale utilizzato. Ciò permette anche di ottenere un aspetto estetico superficiale di altissima qualità, che consente in molti casi di eliminare i processi di verniciatura, con conseguente ulteriore miglioramento dell'impatto ambientale legato alla produzione del componente.

e) Compositi termoplastici

questa tecnologia si riferisce alla realizzazione di componenti complessi, ottenuti da una "preforma" in tessuto di fibre ad alte prestazioni (es. fibre di carbonio), impregnato con resine termoplastiche e sovrastampato con la stessa resina che costituisce il legante del tessuto di rinforzo. In pratica la resistenza "strutturale" del componente è ottenuta con l'ausilio della fibra di rinforzo, mentre il "sovra-stampaggio" del polimero consente di realizzare, ad esempio, le giunzioni, gli aggraffaggi, alcune parti estetiche, ecc. Questo processo consente importanti riduzioni di peso del componente, dell'ordine in molti casi del 40-50%. Rispetto al più tradizionale utilizzo di materiali rinforzati a matrice termoindurente, il composito termoplastico presenta numerosi e importanti vantaggi in termini di velocità e ripetibilità del processo e di trattamento a fine vita del componente, che permette una più facile separazione e recupero della fibra di rinforzo e del polimero.

f) Bio-polimeri

lo sviluppo di nuovi polimeri da fonti rinnovabili che possa generare materiali con caratteristiche analoghe o superiori a quelle dei polimeri tradizionali, è una sfida importante nell'ottica della sostenibilità ambientale. Oggi i bio-polimeri disponibili sono una percentuale minima rispetto ai polimeri tradizionali, soprattutto per il loro costo troppo elevato. Purtroppo il circolo vizioso legato ai "bassi volumi produttivi=elevati costi" è difficile da spezzare senza una precisa volontà politica che agevoli l'introduzione sul mercato dei polimeri da fonte rinnovabile. Ben inteso le tecnologie riferite ai punti precedenti sono in gran parte applicabili anche ai bio-polimeri.

<u>Miglioramento delle caratteristiche funzionali</u>

Mediante l"utilizzo di nanocariche disperse nella matrice polimerica è possibile conferire al polimero specifiche caratteristiche, è noto da tempo, infatti, che si possono migliorare, ad esempio,

la resistenza al fuoco, le proprietà isolanti, ecc. Di particolare interesse e fortemente innovativo è l'utilizzo di nanocariche (in particolare carbo-nano-tubi – CNT) per il conferimento di caratteristiche funzionali al polimero e, di conseguenza, al componente che con lo stesso viene realizzato. A titolo di esempio con questa tecnologia è possibile realizzare componenti che, mediante un successivo trattamento, detto di "attivazione", presentino localmente caratteristiche diverse (addirittura opposte) a quelle tradizionali dei materiali polimerici da cui derivano.

Dal punto di vista pratico potrebbe significare la realizzazione una plancia per autoveicolo con materiale caricato con CNT; dopo lo stampaggio con una pressa ed uno stampo "tradizionali" è possibile mediante l'impiego di una sorgente laser, attivare un "percorso" all'interno del componente dove il materiale viene reso conduttivo alla corrente elettrica o al calore. Sarà possibile in tal modo eliminare i cavi e gli interruttori necessari al trasferimento e/o all'attivazione di un segnale elettrico, con grandissimi vantaggi in termini di semplificazione costruttiva, riduzione del numero di componenti, maggiore affidabilità, riduzione del peso, per citarne alcuni.

Materiali per produzione additiva:

Il limite attuale della produzione additiva (stampa 3D) è soprattutto legata alle prestazioni meccaniche del componente realizzato e al limitato numero di materiali disponibili per l'utilizzo con questo processo. Lo sviluppo di nuovi materiali polimerici per produzione additiva è elemento imprescindibile alla diffusione di questa tecnologia. Sulla base di alcune ricerche preliminari, si può ritenere che specifiche nano-cariche possano migliorare la resistenza meccanica di componenti realizzati con materiali polimerici mediante produzione additiva, ad esempio migliorando l'adesività tra i successivi strati depositati, che si traduce nel miglioramento delle proprietà meccaniche del componente.

Possibili ricadute occupazionali

Analizzando i dati del comparto industriale relativo alla produzione di manufatti in plastica, si scopre che a livello nazionale sono presenti circa 12.000 aziende che occupano 190.000 addetti, per un valore aggiunto complessivo pari al 5% del settore manifatturiero, con oltre il 30% del fatturato realizzato all'estero e con una forte concentrazione territoriale nel Nord Italia, innanzi tutto in Lombardia, seguita, quasi a pari merito, da Veneto, Emilia e Piemonte, è del tutto evidente che per mantenere, e possibilmente incrementare, l'occupazione del settore è importante continuare ad investire risorse nella ricerca e sviluppo di materiali e processi innovativi.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 10

TECNOLOGIE FORMULATIVE PER L'INDUSTRIA

DESCRIZIONE

La chimica è uno dei settori chiave del sistema industriale ed economico fornendo beni intermedi a tutti i settori produttivi e trasferendovi inoltre il proprio contenuto innovativo. La chimica è stata largamente identificata nel corso degli anni solo con i prodotti chimici di sintesi in quanto singole speci chimiche caratterizzate dai loro processi produttivi e dall'uso che se ne fa per le loro specifiche proprietà chimiche e fisiche. Tuttavia in molti settori delle industrie manifatturiere, estrattive e in quelli che si occupano delle scienze della vita, praticamente in modo trasversale ai mercati, la possibilità di utilizzare singole sostanze chimiche può essere significativamente ampliata e migliorata se esse vengono combinate fisicamente tra loro per ottenere proprietà altrimenti irraggiungibili o per conseguire un auspicabile vantaggio di costo.

Queste combinazioni peculiari di sostanze chimiche sono definite formulazioni e non genericamente miscele in quanto ogni componente apporta una specifica funzionalità allo stesso prodotto o al substrato sul quale verrà poi utilizzato. I settori applicativi spaziano dall'estrazione degli idrocarburi e dei minerali, all'agricoltura e allevamento, all'edilizia, ai leganti per adesivi e verrnici ed alla cura della persona e della salute. Spesso l'uso dei formulati nei materiali o nei processi, anche se a volte introdotti in quantità minima, risulta fondamentale per la qualità dei beni fabbricati e per l'economia e l'efficienza dei processi.

Un esempio significativo di formulazione è la fabbricazione di manufatti biodegradabili di materie plastiche con combinazioni tra polimeri speciali e additivi per favorirne la compatibilità e promuoverne la degradazione biologica. Un altro caso è la modifica delle proprietà superficiali o interfacciali dei manufatti attraverso l'applicazione di formulati complessi per il deposito di coloranti, metalli, agenti anticorrosivi, etc. Anche la microincapsulazione di prodotti chimici o materiali tipo inchiostri, coloranti, etc. può essere vista come una modalità per rendere disponibili forme fisiche innovative. Nella progettazione e realizzazione di un formulato il fattore chiave di successo è la conoscenza delle interazioni sia tra i componenti presenti che non si trasformano chimicamente (quali i solventi, i catalizzatori, gli iniziatori di polimerizzazione), sia tra quelli che mutano la loro natura, per effetto di trasformazioni chimiche e/o fisiche. L'uso di componenti come disperdenti, tensioattivi, nucleanti, stabilizzanti e modificatori reologici richiede conoscenze non banali.

L'approccio oggi prevalente alla scienza della formulazione è ancora di tipo largamente empirico. Le specialità chimiche formulate rappresentano oggi circa il 50% del valore della produzione chimica in Italia. La rilevanza economica del settore richiede lo sviluppo di un approccio science-based che focalizzi il meccanismo di azione di ciascun componente che contribuisce al raggiungimento delle funzionalità richiesta. Ogni formulato può essere classificato in base a quattro dimensioni:

- interazioni molecolari
- funzione d'uso
- settori di applicazione
- tecnologie produttive

A) Interazioni Molecolari

Le interazioni molecolari rendono ragione delle proprietà e del comportamento applicativo delle formulazioni e meritano un approfondimento in quanto la loro conoscenza consente di stabilire una correlazione tra la composizione e le prestazioni, e di ottimizzare l'impiego del formulato nella funzione d'uso. Lo stato dell'arte di queste conoscenze è piuttosto diverso nei vari settori: sono disponibili conoscenze profonde nelle applicazioni che richiedono un percorso autorizzativo a fronte di studi ben documentati come nel caso di formulazioni farmaceutiche e fitofarmacologiche, oppure dove la performance dipende in modo stringente dal tipo di interazione come nel caso dell'elettronica e dei formulati fotochimici. Nei settori industriali manifatturieri ed estrattivi le interazioni molecolari sono ben conosciute solo in casi particolari (es. gli stabilizzanti alla luce e gli antiosssidanti per polimeri), mentre in generale c'è molto empirismo.

I formulati nel settore del tessile, del cuoio, delle vernici, ecc. sono molto utilizzati con ottimi risultati ma lo studio a livello molecolare non è stato affrontato con sufficiente rigorosità scientifica e spesso i formulati sono frutto di esperienza e di empirismo. Oggi le normative di sostenibilità (REACh) richiedono di limitare l'uso o addirittura di eliminare alcuni prodotti chimici tradizionalmente utilizzati come componenti di formulazioni; di conseguenza devono essere identificati composti sostitutivi. In questo caso, accanto alla grande esperienza dei formulatori italiani sarebbe auspicabile il supporto di studi molecolari che possano indirizzare la sostituzione di un componente senza variare significativamente le caratteristiche del formulato come ad esempio sta accadendo nel settore della cosmesi.

I formulati (sistemi omogenei ma più spesso eterogenei) sono sistemi molto complessi dove le interazioni molecolari tra i componenti determinano la morfologia delle fasi e la loro stabilità, e quelle con i substrati (altri formulati, manufatti, organismi viventi) influenzano le prestazioni applicative e la loro efficacia. I metodi disponibili per lo studio delle interazioni molecolari sono molteplici ed il loro utilizzo nelle formulazioni dipende dalla scala dimensionale alla quale si vuole condurre l'indagine, dalla natura dei componenti e dal tipo di interazione che si vuole evidenziare ed indagare.

Ad esempio la mobilità molecolare dei solidi a seguito di assorbimento d'acqua può essere misurata con vari metodi tra cui la temperatura di transizione vetrosa, l'NMR allo stato solido e la cristallografia a raggi X. La spettroscopia micro-Raman e l'NMR allo stato solido sono state usate con successo nella caratterizzazione delle strutture carboniose che si vengono a formare, con funzioni di intumescenti, a seguito dell'esposizione alle alte temperature di formulati.

La microscopia a forza atomica nano-localizzata, l'analisi termica, la spettroscopia Raman confocale e ATR-IR consentono di individuare con grande precisione le interazioni tra molecole e domini di natura diversa ad esempio per le combinazioni di principi attivi farmacologici ed eccipienti polimerici. Un'altra tecnica fondamentale per la caratterizzazione di superficie è l'osservazione attra-

verso l'AFM (Atomic Force Microscopy) che rappresenta uno dei principali strumenti per l'imaging e la misurazione su scala nanometrica. La risonanza magnetica per immagini (MRI), ampiamente utilizzata in diagnostica medica, è stata utilizzata con successo per valutare lo stato di penetrazione dell'acqua e di altre sostanze in varie matrici biologiche.

Il livello di interazioni molecolari si può schematicamente suddividere in tre tipologie:

- **Livello zero ovvero Formulazioni Additive**
  La performance complessiva è quella prevista dal contributo dei singoli componenti che non interferiscono tra loro (ad esempio miscele di più stabilizzanti termici con meccanismi di azione disgiunti).

- **Livello 1 ovvero Formulazioni Sinergiche**
  La performance complessiva risulta migliore o diversa da quella prevedibile dalla miscela dei singoli componenti. Questa è l'area più interessante sotto il profilo tecnico-economico per i risultati che si possono conseguire. Gli esempi sono numerosissimi e vanno dagli additivi e ausiliari industriali, alle vernici, inchiostri, adesivi, leganti idraulici, etc. Particolari formulazioni sinergiche sono quelle volte ad aumentare l'efficacia di principi biologicamente attivi come le preparazioni di fitofarmaci che sarebbero quasi privi di efficacia a causa della loro scarsissima solubilità in acqua, o le formulazioni farmaceutiche che offrono una migliorata biodisponibilità del farmaco anche in forme ad azione ritardata o protetta.

- **Livello 2 ovvero Formulazioni Reattive**
  La performance è completamente diversa da quella dei componenti in quanto nell'applicazione interviene una reazione chimica. Esempi importanti sono quelli relativi ai coatings fotochimici che comprendono accanto a cariche, pigmenti, disperdenti, livellanti, promotori di adesione, i fotoiniziatori e coiniziatori, ed i monomeri e oligomeri insaturi che reticolano con meccanismo radicalico o cationico ad opera dell'esposizione alla radiazione UV. Un altro caso è quello relativo ai sistemi multicomponenti contenenti resine epossidiche e reticolanti amminici, opportunamente catalizzati e utilizzati come adesivi strutturali. Le stesse vernici in polvere basano la propria performance non solo sulla filmazione di miscele in polvere ad opera del calore ma anche sulla contemporanea reticolazione per poliaddizione o policondensazione. Un altro esempio è quello della gomma che assieme alle cariche, plastificanti, agenti di rinforzo ed altri additivi viene vulcanizzata in presenza di adatti catalizzatori e donatori di zolfo.

B) Funzione d'uso

Si declina in una elevatissima numerosità. A volte la funzione d'uso assume una valenza trasversale ai settori applicativi, ed è riconducibile ad un comportamento generale, come per gli antischiuma, i riduttori di attrito, gli emulsionanti, i disperdenti, gli ausiliari di macinazione, gli idroritentivi, i modificatori reologici, gli antiossidanti, i filtri UV, i radical scavenger, i complessanti,

etc. In altri casi la funzione d'uso ha una propria specificità strettamente collegata al settore applicativo, come ad esempio i riduttori di filtrato nei fanghi di perforazione per la ricerca del petrolio, gli agenti di flottazione nelle operazioni di arricchimento dei minerali in miniera, gli stabilizzanti termici per PVC, etc.

C) Settori di Applicazione

- agrochimica, fitofarmaci, biocidi, fertilizzanti, mangimistica, veterinaria, alimentare, farmaceutica, cosmetica.
- tessile, fibre naturali e sintetiche, fibre di vetro, preparazione e patinatura e converting della carta, concia e rifinizione delle pelli, trattamento acque, materie plastiche ed elastomeri, coating di legno, plastiche, metalli, vetro, ceramica, pitture murali, vernici, inchiostri per arti grafiche e per decorazione ceramica, sigillanti e adesivi, edilizia, asfalti e bitumi, aerosol, preparati per la casa, detergenza, metallurgia, fonderia, galvanotecnica, lubrificanti, elettronica ed optoelettronica.
- estrazione di idrocarburi (drilling, fracturing, well stimulation, production), mining, opere di ingeneria civile.

D) Tecnologie Produttive

Le tecnologie più utilizzate nella produzione di formulati sono la miscelazione di liquidi omogenei, la disoluzione di solidi in liquidi, la miscelazione di solidi, la macinazione a secco e ad umido, la dispersione di solidi in liquidi, la microincapsulazione, la dispersione e l'emulsionamento di liquidi immiscibili tra loro e di gas in liquidi. Nelle tecnologie formulative la R&S svolge un ruolo cardine e richiede competenze non sempre disponibili nell'offerta di formazione universitaria anche a causa di un orientamento accademico spinto più verso le tecnologie chimiche di sintesi. La prassi è quindi la formazione specialistica nelle tecnologie formulative delle risorse all'interno delle aziende, sia con tecniche analitiche e preparative di base che con l'esperienza applicativa in aree specifiche.

Da ultimo non va dimenticato che, per quanto si è detto, le formulazioni costituiscono un patrimonio di proprietà intellettuale di inestimabile valore per le industrie, e la cui proprietà va quindi adeguatamente protetta con opportune politiche brevettuali.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Nonostante la chimica delle formulazioni sia oggi ampiamente diffusa in numerosi settori tecnici e in mercati assai differenziati con notevole impatto economico, non è ancora considerata come una tecnologia vera e propria. Tra le cause spicca certamente la difficoltà di comprendere i fenomeni di interazione tra le varie sostanze che spesso avvengono in sistemi multifasici ed eterogenei . Ne conseguono notevoli difficoltà a predire il comportamento di nuovi formulati e/o le loro prestazioni. Anche le competenze necessarie alla progettazione e realizzazione dei formulati sono assai diverse da quelle necessarie alla sintesi chimica per la quale conoscenze ben affermate sulle proprietà molecolari, sui processi di sintesi, sulla correlazione struttura – attività consentono la progettazione di nuove molecole. Nel caso dei formulati l'esigenza di definirne la composi-

zione in funzione di un bisogno di mercato è legata agli aspetti specifici dei sistemi complessi nei quali tali formulati sono destinati ad essere applicati. Prevalgono in questo caso le competenze applicative. che sono tipiche di gruppi omogenei di clienti.
Una ulteriore complicazione è legata al fatto che la formulazione coinvolge molteplici operatori lungo la catena del valore: dalla sintesi chimica del componente, alla preparazione di specialità formulate, all'impiego dei formulati. Diversi fattori stanno orientando le attività di ricerca e sviluppo verso nuove soluzioni formulative per perseguire un maggiore rispetto dell'ambiente, per ridurre la pericolosità dei prodotti e l'esposizione della popolazione e degli operatori, per migliorare il rapporto prestazioni / costi. Le stesse regolamentazioni, prima fra tutte il REACh, spingono ad utilizzare al meglio le sostanze esistenti sicure, cosa che può essere ottenuta con una adeguata formulazione: la scoperta di interazioni tra fitofarmaci praticamente insolubili in acqua, disperdenti e tensioattivi consente di aumentare enormemente la disponibilità del principio attivo a parità di quantità usata per trattare la stessa superficie agraria. Il panorama brevettuale mostra che la formulazione è uno strumento fondamentale e largamente adottato dalle multinaziionali nei settori più avanzati che riguardano le scienze della vita come la farmaceutica, l'alimentare, la cosmetica e l'agrochimica, ma che si sta proponendo anche in altri settori quali ad esempio l'elettronica, l'edilizia, la protezione dei materiali e le attività estrattive.
Quindi le opportunità di sviluppo delle formulazioni sono veramente infinite e possono rappresentare una valida via per le aziende italiane di acquisire nuovo vantaggio competitivo difendibile nel tempo. Il 39% delle aziende chimiche italiane ha dimensione medio piccola e spesso tali aziende non sono strutturate per svolgere attività di R&S in proprio. Una buona parte di queste aziende opera nel settore delle formulazioni. È quindi necessario che la ricerca pubblica supporti queste aziende sviluppando corsi di formazione specifici per le tecnologie formulative che oggi non sono ben codificate e insegnate nel percorso formativo dei laureati in chimica, né rappresentano l'oggetto principale dell'eccellenza accademica nella ricerca.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le tecnologie formulative sono già oggi largamente praticate a livello industriale. In Italia il fatturato stimato per l'industria chimica nel 2013 è di 52,2 miliardi di euro, (81,5 se si include la farmaceutica) per un totale di 2.814 imprese (3.297 con la farmaceutica) che impiegano 109.900 addetti (172.200 con la farmaceutica), posizionandosi al terzo posto in Europa (undicesimo nel mondo) contribuendo per il 10% alla produzione Europea. Si stima che le tecnologie formulative coinvolgano circa il 50% dell'industria chimica italiana, arrivando a sfiorare il 70% se si considera l'insieme della chimica e della farmaceutica.

Obiettivi strategici

Sarebbe auspicabile una mappatura delle attività accademiche e industriali legate alla formulazione e la definizione di dettaglio della dimensione economica e sociale ad esse associata. Federchimica, conscia dell'importanza di questo settore, ha avviato iniziative di sensibilizzazione e stimolo del mondo accademico per l'introduzione dell'insegnamento sistematico nei corsi di laurea in chimica delle tecnologie formulative. Ha inoltre stipulato una convenzione con il CNR che

potrebbe includere lo sviluppo delle competenze tecnico scientifiche necessarie. Obiettivo strategico generale del Settore è l'accelerazione del processo di transizione delle tecnologie di progettazione e realizzazione di formulati da metodologie empiriche a metodologie science based. Per raggiungere questo obiettivo sono necessari significativi investimenti in conscenza, sia nelle Imprese che nella Ricerca Pubblica. Il ritorno strategico prevedibile su tale investimento è l'accresciuta competitività delle Imprese chimiche italiane di cui una larga parte sono imprese formulative.

Possibili ricadute occupazionali

La presa di coscienza da parte delle industrie, in particolare della piccola e media industria, del ruolo e importanza delle tecnologie formulative quale fattore di vantaggio competitivo proteggibile, potrebbe innescare una ricaduta occupazionale non indifferente, sia nella riqualificazione del personale di ricerca, sia nella crescita del volume di affari e quindi degli addetti in un settore che sembra resistere alla crisi anche per gli elevati livelli di esportazione.

10.1) CHIMICA FORMULATIVA NEI SISTEMI ETEROGENEI

DESCRIZIONE

La composizione di una miscela di materie prime di un composto è determinata dalle specifiche tecniche, richieste sia dal processo di produzione che dal prodotto finito, e dalle caratteristiche economiche. I componenti della miscela possono avere diverse funzioni, alcuni determinano, a seconda delle caratteristiche proprie e della quantità con cui sono presenti, le proprietà finali del prodotto, altri influenzano la processabilità del composto ed altri ancora migliorano la compatibilità e l'interazione tra le diverse materie prime. In sistemi eterogenei, in cui la natura delle materie prime è diversa, ad esempio materiali inorganici riempitivi introdotti all'interno di matrici polimeriche, il ruolo dei compatibilizzanti è fondamentale, non solo per ottimizzare la dispersione tra i diversi componenti ma anche per trarre vantaggio dalle sinergie tra i diversi materiali.

Negli ultimi anni, oltre a queste caratteristiche, altri aspetti si sono aggiunti ad influenzare la composizione di un composto, in particolare quelli che determinano la sostenibiltà del prodotto, definita come il soddisfacimento delle esigenze attuali in coerenza con le future, e realizzabile attraverso un impegno sia economico che sociale e ambientale. La sostenibilità ambientale deve essere valutata durante l'intero ciclo di vita dei materiali, nella produzione sia dei singoli componenti che del composto, nel suo utilizzo e nella fase di smaltimento. L'origine naturale della materie prime ed in particolare l'introduzione di materie prime rinnovabili in questi ultimi anni ha riscosso una notevole attenzione. Un'ampia attività di ricerca e sviluppo, ad esempio, è stata avviata dai principali costruttori degli pneumatici in collaborazione con i rispettivi fornitori sulla produzione di materie prime da fonti naturali alternative come la gomma naturale dal Guayule e dal Tarassaco o la silice dalla lolla, sottoprodotto nella linea di produzione del riso. Questi nuove fonti di produzione possono anche aprire la porta a nuovi sviluppi in grado di realizzare materiali con prestazioni diverse e più elevate.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPPO

È stato dimostrato (ETRMA source – Fig. 68) che nel caso di un prodotto come lo pneumatico l'impatto principale sull'ambiente (circa 86%) si verifica nella fase di utilizzo, determinato dalle caratteristiche di durabilità, di peso e di prestazione. Il miglioramento della sostenibilità ambientale passa quindi attraverso lo sviluppo di uno pneumatico più leggero, in grado di sostenere sforzi elevati, con ridotte proprietà dissipative, caratteristiche che possono essere identificate con il comportamento all'usura (abrasione) dello pneumatico e la cosiddetta "resistenza al rotolamento" indice anche del consumo di carburante del veicolo. Il miglioramento di queste prestazioni passa attraverso lo sviluppo di nuovi materiali e di nuovi processi, sia per la miscelazione

dei componenti delle mescole, normalmente constituiti da numerose sostanze di natura diversa, che per la realizzazione del prodotto finito.A questo scopo, nell'ambito dello sviluppo dei materiali, l'attività di ricerca e sviluppo sta esplorando sempre più in dettaglio l'interazione tra i diversi materiali, spostando l'attenzione da una risoluzione microscopica a quella nanoscopica.

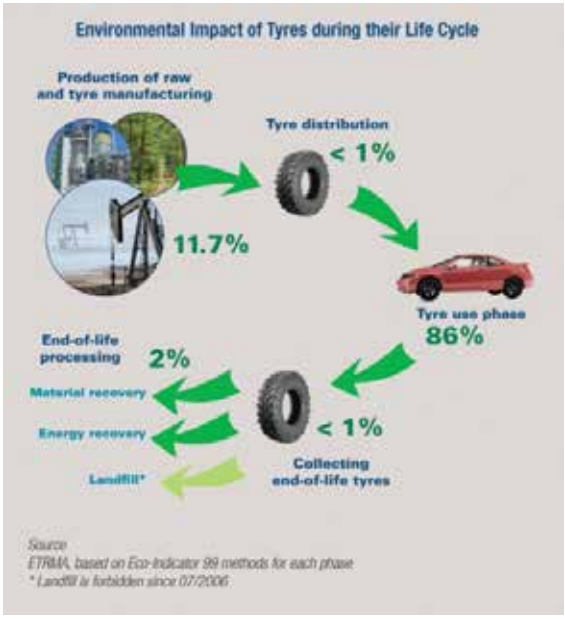


FIG. 68 – IMPATTO AMBIENTALE PNEUMATICO NEL SUO CICLO DI VITA

Nel campo dei polimeri, in collaborazione con i principali fornitori, sono state avviate attività di ingegneria molecolare allo scopo di sintetizzare catene polimeriche con una struttura, e quindi i requisiti, specifici per l'applicazione desiderata . Un esempio è lo sviluppo di polimeri funzionalizzati, in cui i gruppi funzionali, a seconda della propria natura e della posizione lungo la catena, sono in grado di modificare, migliorandola, l'interazione con le cariche inorganiche e la loro distribuzione nella miscela. I gruppi funzionali polari, introdotti su catene polimeriche all'interno di mescole contenenti
silice, generano un effetto migliorativo sulle proprietà dissipative del materiale, sulla resistenza al rotolamento dello pneumatico e quindi sulle caratteristiche di consumo di carburante del veicolo.
Nello stesso modo è possibile pensare alla realizzazione di polimeri a blocchi in cui la sequenza, l'ampiezza e le caratteristiche dei singoli blocchi possono essere attentamente selezionati. Approcci equivalenti ma estesi ai diversi componenti la miscela possono ulteriormente migliorare le prestazioni della mescola finale. Il miglioramento dell'interazione tra la matrice polimerica e i diversi sistemi in essa dispersi come i sistemi vulcanizzanti o quelli protettivi, oppure le na-

nocariche di origine naturale come la stessa silice o la lignina, ottenuta dalla cellulosa, possono generare ulteriori miglioramenti delle prestazioni delle mescole. È possibile quindi sintetizzare i componenti più idonei per ottimizzare le proprietà delle miscele in condizioni di utilizzo diverse ed estreme. Si aumenta la competitività dei prodotti anche a fronte di prodotti importati da parti del mondo dove la mano d'opera è particolarmente conveniente ma la capacità di innovazione è meno rilevante. È evidente dunque la strategicità di poter disporre di prodotti castomizzati, ad alte prestazioni ed è parimenti evidente il valore generale di questo approccio che puo' essere esteso non solo all'esempio dello pneumatico.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

L'attività di sviluppo e di castomizzazione dei materiali necessita del contributo e quindi della stretta collaborazione tra entrambe le parti interessate: gli esperti nella sintesi dei materiali (fornitori di materie prime) e quelli del prodotto finito, al fine di identificare le modifiche chimiche più efficaci da introdurre nelle strutture conosciute. Nel settore dei polimeri e della loro sintesi, i principali fornitori sono localizzati principalmente in Asia e negli Stati Uniti. In Italia, nonostante l'impegno di alcuni gruppi, le capacità di sviluppo e di sintesi sono ben inferiori rispetto all'estero. Parimenti si può dire per quanto riguarda l'industria chimica produttrice di cariche e nanocariche, in alcuni casi basate nel resto d'Europa (Germania e Francia) ma totalmente assenti in Italia.

10.2) FORMULATI NANOSTRUTTURATI PER L'EDILIZIA

DESCRIZIONE

Nei formulati a base cementizia l'aggiunta di acqua innesca la reazione di idratazione del cemento con la formazione della struttura del materiale cui sono legate le funzionalità applicative. Le conoscenze oggi consolidate consentono il controllo della struttura della materiale alla scala microtrica. Per ottenere le funzionalità più complesse che l'evoluzione dei bisogni del mercato lascia oggi intravedere occorre raggiungere il controllo della struttura del materiale cementizio alla scala nanometrica, struttura che si forma nelle prime ore di contatto del formulato con acqua. L'obiettivo delle sviluppo di nanotecnologie per questi formulati è caratterizzare la nanostruttura, controllarne la formazione indirizzandone la morfologia nella direzione voluta con l'aggiunta di opportuni additivi.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il livello di maturità del Settore è elevato, ma le esigenze del mercato sono in continua evoluzione per funzioni d'uso sempre più sofisticate, quali durabilità e multifunzionalità. Perseguire obiettivi così impegnativi con un approccio empirico comporta un'attività sperimentale molto laboriosa. I modelli empirici sono poi difficilmente estrapolabili a situazione diverse, anche se di natura simile. In altri termini, la curva di apprendimento correlata a questo approccio è scarsamente efficace, e lo stato attuale delle conoscenze costringe ad affrontare ogni obiettivo ab-initio. Lo sviluppo di nuovi formulati deve utilizzare invece approcci fondamentali che combinino sempre più conoscenze di tipo chimico e ingegneristico; questo approccio all'innovazione, che comincia a mostrare apprezzabili risultati, deve proseguire con ulteriori consistenti investimenti in sviluppo di conoscenze. Il fattore innovativo che introduce una vera e propria discontinuità tecnologica è costituito dalle nanotecnologie. Il controllo della strutturazione della materia alla scala nanometrica è decisivo per gli avanzamenti delineati. Questo richiede, con riferimento ai formulati cementizi, un elevato grado di conoscenza dell'evoluzione nel tempo della composizione chimica e della morfologia del sistema cementizio fin dalle prime fasi delle reazioni di idratazione.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

I formulati per edilizia rappresentano oggi un settore di business con una dimensione molto significativa. Pur avendo un peso contenuto nell'intero comparto dell'edilizia il settore dei formulati, denominato anche "Chimica per l'Edilizia", ha assunto il ruolo di innovatore per l'intero comparto tradizionalmente conservatore. Il settore della *chimica destinata alle costruzioni* è stimato nel 2012 in circa 4000 milioni di Euro. Il 56% dell'output è legato alle nuove costruzioni mentre il 44% è connesso ad interventi di manutenzione e riqualificazione. L'andamento del fatturato del settore

è riportato nella tabella seguente che mostra chiari segni di declino, a parte una timida ripresa nell'anno 2010.

	2008	2009	2010	2011	2012
Valore del mercato *(milioni di euro correnti)*	4.866	4.039	4.434	4.531	4.053
Var.% mercato in termini reali *(in quantità)*	-6,1%	-11,6%	0,7%	-4,5%	-11,9%
Numero addetti	15.920	15.538	15.320	15.152	15.075
Numero aziende	800	800	800	800	790

FIG. 69 – CHIMICA DESTINATA ALLE COSTRUZIONI, FEDERCOSTRUZIONI

Il 73% del valore della produzione è destinato al mercato italiano e il 27% alle esportazioni. La distribuzione relativa alle principali tipologie merceologiche è la seguente:

Pitture e vernici per muratura	33%
Materie plastiche	28%
Adesivi, sigillanti e formulati a base cementizia	13%
Prodotti chimici per ceramica	9%
Sistemi impermeabilizzanti	8%
Adesivi, sigillanti e vernici per legno	5%
Additivi per calcestruzzo, cementi e malte	4%

Il *sistema delle costruzioni*, inclusi i servizi innovativi e tecnologici, ha un valore della produzione 2012 di 440 miliardi di Euro, di cui circa il 37% è destinato all'esportazione; il grafico ne evidenzia la ripartizione tra la sua principale componente – *costruzioni in senso stretto* – e gli altri comparti (Fig. 70).

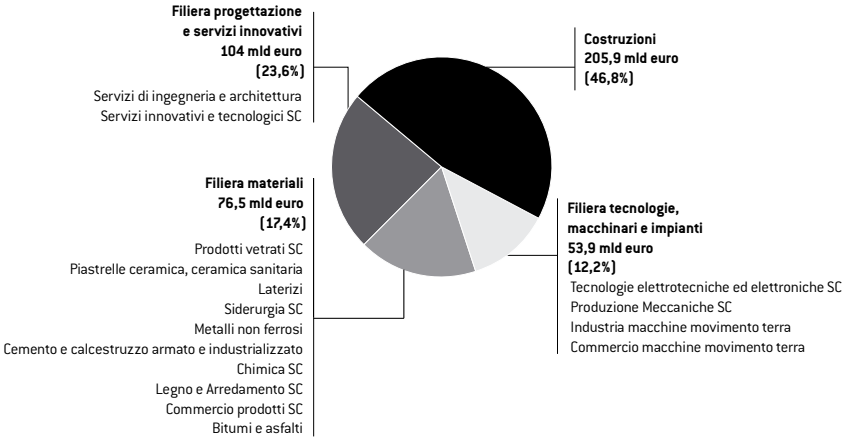


FIG. 70 – FILIERA DELLE COSTRUZIONI – DISTRIBUZIONE % E VALORI ASSOLUTI 2012 (FONTE FEDERCOSTRUZIONI)

Il settore della chimica destinata alle costruzioni è caratterizzato da un elevato contenuto tecnologico di prodotti e sistemi proposti per le applicazioni più diversificate e impegnative, con una

sempre maggior attenzione alla sostenibilità ambientale delle soluzioni impiegate.
Il fattore scientifico-tecnologico unificante che accomuna formulati che appaiono così diversi è la capacità dell'Impresa, che li sviluppa e produce, di controllare la struttura della materia alla scala micrometrica, ed in particolare di realizzare strutture interpenetrate tra polimero e cariche inorganiche per il segmento pitture o tra polimero e cemento per il segmento dei formulati cementizi.
In questo quadro si identificano i seguenti obiettivi di sviluppo:

- La ulteriore comprensione e la gestione dei fenomeni chimici, chimico-fisici e ingegneristici che influenzano le tecnologie di prodotto e di applicazione.
- La progettazione e definizione di formulati che soddisfino le nuove esigenze emergenti del mercato, con particolare enfasi sulla sostenibilità.

I prossimi anni vedranno un impegno crescente nello sviluppo di nanotecnologie applicate a materiali per edilizia. Lo stato delle conoscenze consolidate consente il controllo e la strutturazione della materia alla scala micrometrica. Me il controllo e la strutturazione della materia alla scala micrometrica non sono più sufficienti a fronte dell'evoluzione del mercato.
Due sono le principali forze che spingono verso la conoscenza ed il controllo di una scala mille volte più piccola: la scala nanometrica.

- Le piccole dimensioni del materiale e del dispositivo sono un valore in sé; la spinta verso una miniaturizzazione sempre più accentuata ha fatto applicare le nanotecnologie in settori quali l'elettronica e il biomedicale prima che in altri settori.
- Le prestazioni del materiale, pur usato alle dimensioni dei centimetri o metri, sono fortemente influenzate dalla struttura del materiale stesso alla scala nanometrica.

Sono queste le ragioni che spingono il sistema imprenditoriale ad introdurre le nanotecnologie nel mondo dei materiali per edilizia.

Obiettivi strategici

Gli obiettivi strategici alla base dell'investimento necessario per lo sviluppo di nanotecnologie sono i seguenti:
1. Seguire e possibilmente anticipare il trend evolutivo dei nuovi bisogni del mercato, quali Nuove Funzionalità e Multifunzionalità dei materiali, Durabilità e Sostenibilità, di cui sono riportati alcuni esempi.
Le nuove *funzionalità* dei materiali sono di tipo *chimico-biologico* (proprietà batteriostatiche e antibatteriche), *fisico-meccanico* (proprietà idrofobe, idrofile, termoisolanti, fonoassorbenti, antiusura e antigraffio), *elettrico-magnetico* (proprietà barriera a campi elettrici, a radiofrequenze e a campi magnetici), *strutturale* (proprietà antisismiche, anti-intrusione, antiurto, anti-deflagrazione) ed *estetico* (proprietà luminescenti, catarifrangenti, antigraffiti, ecc.).

Esempi di *multifunzionalità* dei materiali sono l'isolamento termico/acustico, la capacità di adattare le prestazioni alle condizioni ambientali e l'attività dei componenti per generare, raccogliere e immagazzinare energia.

Durabilità e *sostenibilità* fanno riferimento a materiali edili con proprietà controllate nel tempo, con capacità di autodiagnosi e che consentano risparmio di energia e riduzione delle emissioni nocive.

2. Controllare la strutturazione della materia alla scala nanometrica

Operare la strutturazione della materia alla scala nanometrica significa vedere queste dimensioni con strumentazione adeguata, controllarle e regolarle per correlare la nano struttura con la funzionalità desiderata.

Occorrono quindi apparecchiature di alta specializzazione quali il *Microscopio elettronico di nuova generazione,* in grado di "vedere" la nano-struttura del materiale in profondità, la *Risonanza magnetica nucleare,* per avere immagini tridimensionali della materia alla scala nanometrica, il *Microscopio forza atomica,* per "fotografare" la superficie di un materiale distinguendo i singoli atomi ed il *Sincrotrone,* in grado di registrare l'evoluzione della nano struttura di un materiale nel tempo, come in una sequenza cinematografica.

Per controllare ed influenzare la dimensioni a scala nanometrica è necessario definire le variabili di composizione chimica del formulato, definire le cinetiche di reazione dei singoli componenti del formulato tra loro ed identificare i meccanismi di degrado del materiale. Infine, la misurazione delle caratteristiche chimico-fisiche, reologiche e fisico- meccaniche del materiale e della loro evoluzione nel ciclo di vita del materiale consentirà di correlare la nano-struttura con la funzionalità desiderata.

3. Sviluppare il mercato dei nuovi prodotti nano-strutturati

A livello europeo risulta che questa strada venga seguita dai maggiori Gruppi del sistema competitivo.

Seguendo questo percorso, sono stati sviluppati nuovi additivi basati su silicati idrati nanometrici, in grado di migliorare la microstruttura della pasta di cemento e di rendere il calcestruzzo meno permeabile all'acqua e meno suscettibile all'attacco degli agenti aggressivi da questa veicolati, quali i solfati e i cloruri, che sono la principale fonte di degrado delle strutture in calcestruzzo. Questi composti, una volta introdotti nell'impasto di calcestruzzo fresco, grazie alle loro dimensioni nanometriche (10-30 nm), possono permeare la porosità capillare della pasta di cemento e catalizzare la formazione dei prodotti idratazione non solo sulla superficie dei granuli di cemento ma anche all'interno dei pori capillari stessi.

La nucleazione omogena dei prodotti di idratazione nei pori capillari genera una microstruttura della pasta di cemento molto più omogenea e compatta, che offre maggiore resistenza alla penetrazione dell'acqua e aumenta la durabilità delle strutture. Il meccanismo di funzionamento è illustrato schematicamente nelle figure 71 e 72.

Lo stesso tipo di composti, attraverso complessi processi di nucleazione degli ioni calcio e silicato in fase omogenea, è in grado di accelerare lo sviluppo delle resistenze meccaniche delle strutture in calcestruzzo, consentendo la rimozione anticipata delle armature di contenimento dei getti. Nella produzione di elementi prefabbricati, l'utilizzo di additivi a base di silicati idrati nanometrici consente la riduzione o addirittura l'eliminazione della somministrazione del vapore, con evidenti

vantaggi economici e ambientali derivanti dalla riduzione dei consumi energetici. Nel caso della produzione di getti di calcestruzzo preconfezionato, l'ottimizzazione dei cicli produttivi consente di accelerare lo svolgimento delle attività e di ridurre la durata e l'impatto dei cantieri, con conseguenti benefici per la popolazione.

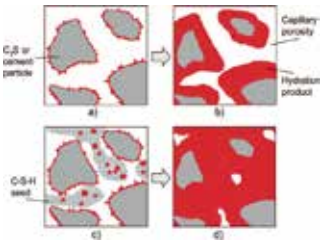


FIG. 71 – IN UN NORMALE IMPASTO CEMENTIZIO, LA NUCLEAZIONE E CRESCITA DEI PRODOTTI DI IDRATAZIONE AVVENGONO SULLA SUPERFICIE DEI GRANULI.
(C3S = Silicato tricalcico)

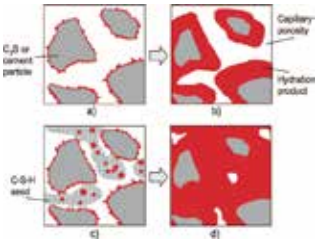


FIG. 72 – IN PRESENZA DI SILICATI IDRATI NANOMETRICI, LA NUCLEAZIONE E CRESCITA AVVENGONO ANCHE ALL'INTERNO DEI PORI CAPILLARI.
(C-S-H = Silicato di calcio idrato)

10.3) FORMULAZIONI INSETTICIDE PER L'AGRICOLTURA A RILASCIO CONTROLLATO E BASSO IMPATTO AMBIENTALE

DESCRIZIONE

Attualmente sono disponibili, sul mercato degli agrofarmaci, numerosi tipi di formulazioni quali ad esempio concentrati emulsionabili, micro e macro-emulsioni, granuli disperdibili, dispersioni di solidi in acqua. Alla luce delle numerose problematiche connesse con la tossicità, il livello di residui, l'effetto su insetti utili di diversi agrofarmaci, nonché di significativi problemi di resistenza sviluppati da parte di svariate specie di insetti ed altri infestanti, l'utilizzo di formulazioni a rilascio controllato può trovare numerose ed importanti applicazioni nel settore agricolo, in un'ottica di riduzione delle dosi applicative dei principi attivi e di miglioramento della loro efficacia anche in presenza di specie resistenti.

Sono disponibili numerose tecnologie che consentono il rilascio controllato dei principi attivi, come ad esempio la microincapsulazione in diverse matrici quali polimeri di vario genere (poliuree, poliuretani, poliammidi, ecc.), silice, chitosano, liposomi e amido, oltre alla complessazione in ciclodestrine. Queste tecnologie differiscono tra di loro per quanto riguarda le matrici utilizzate, il metodo di preparazione ed il meccanismo di azione, ma fondamentalmente hanno come obiettivo principale quello di rilasciare le sostanze dopo un periodo di tempo prestabilito (breve o lungo) o in presenza di certe condizioni di pH (ad esempio per alcuni farmaci), di temperatura e di irraggiamento (microcapsule fotosensibili), trovando impiego in diversi settori quali ad esempio quello agrochimico, farmaceutico, cosmetico ed alimentare per citarne alcuni.

Sono state individuate le seguenti opportunità per l'utilizzo di formulazioni a rilascio controllato in agricoltura:

- La modulazione del rilascio dei principi attivi nel tempo in modo controllato (da poche ore fino diversi giorni), con benefici sia in termini di efficacia sia in termini di efficienza dei principi attivi;
- La riduzione del livello degli attivi nell'ambiente, controllandone anche la degradazione;
- L'eliminazione dell'esposizione a sostanze tossiche/irritanti da parte dell'operatore che effettua i trattamenti in campo;
- La soluzione a problemi tecnologici intrinseci al principio attivo quali solubilità e instabilità in particolari condizioni che ne limiterebbero fortemente l'uso;
- La riduzione di effetti tossici e fitotossici;
- L'aumento della foto-stabilità degli attivi permettendo un numero minore di applicazioni e riducendo quindi la quantità di fitofarmaci immessi nell'ambiente;
- L'aumento dell'efficacia ed efficienza dei principi attivi contro specie suscettibili e resistenti di insetti attraverso l'uso combinato con molecole sinergiche.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Negli ultimi anni le autorità a livello Europeo e non solo stanno ponendo sempre più restrizioni per quanto riguarda l'utilizzo degli agrofarmaci per applicazioni agricole. I principali punti di preoccupazione da parte delle autorità sono relativi all'effetto su insetti utili quali le api, all'inquinamento delle acque, ai residui nel terreno e nelle colture stesse e sulla salute dell'uomo.

Questo processo ha comportato una drastica riduzione del numero di principi attivi insetticidi, fungicidi ed erbicidi utilizzabili, una diminuzione delle dosi applicative e degli usi permessi. Ad esempio si stima che delle circa 1000 sostanze sul mercato in almeno un Paese europeo prima del 1993, solo il 26 % abbia superato positivamente la valutazione da parte delle autorità. La maggior parte delle sostanze (67%) invece è stata bandita o perché i dossiers a supporto registrativo non sono stati presentati o perché sono stati giudicati incompleti dalle autorità. Ad oggi nel mercato europeo, circa 70 sostanze non sono state approvate in quanto la valutazione effettuata ha evidenziato un uso non sicuro nei confronti dell'uomo e dell'ambiente. Attualmente sono disponibili 431 sostanze consentite, tra queste circa 100 rischiano di essere bandite nei prossimi anni.

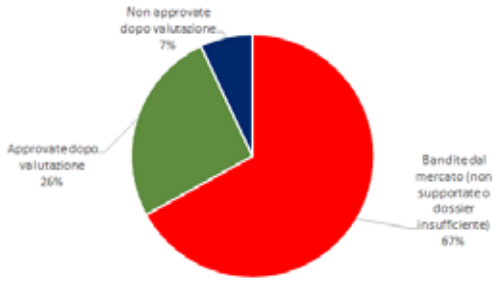


FIG. 73 – SOSTANZE CHIMICHE APPROVATE E BANDITE
(FONTE: DIRECTORATE GENERAL FOR HEALTH AND CONSUMERS – COMMISSIONE EUROPEA)

Questa situazione pone non pochi problemi nel controllo di alcune specie di insetti, funghi ed erbe infestanti, anche in considerazione del fatto che sono disponibili un numero limitato di nuovi principi attivi che hanno peraltro costi molto maggiori per l'utilizzatore finale. A questo si aggiungono fenomeni di resistenza sviluppati da parte di varie specie di insetti a causa dell'impiego massiccio e talvolta sconsiderato degli agrofarmaci; tali fenomeni di resistenza possono addirittura rendere i trattamenti del tutto inefficaci. Il fenomeno stesso della resistenza agli agrofarmaci viene amplificato dall'utilizzo continuo dei pochi principi attivi ancora consentiti che il più delle volte hanno lo stesso meccanismo di azione, aumentando quindi l'entità di questi fenomeni di resistenza ed estendendoli ad un numero sempre maggiore di sostanze (resistenza incrociata).

Questa situazione provoca danni ingenti sia alle aziende chimiche operanti in questo settore che agli agricoltori stessi, per poi ricadere infine sul consumatore finale in termini di aumento del prezzo di acquisto. Pertanto si rende necessario ideare tecnologie formulative che permettano di migliorare l'efficienza e l'efficacia dei principi attivi esistenti, allo stesso tempo riducendone

la dose applicativa al fine di ottemperare alle restrizioni poste dalle autorità, nell'ottica di un miglioramento sia per le aziende stesse operanti in questo settore che nei confronti dell'ambiente e dell'uomo.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Il settore agricolo costituisce un importante settore dell'economia per l'Italia così per molti altri Paesi nel mondo. Allo stesso modo è di notevole rilevanza anche il valore del mercato degli agrofarmaci, che è in continuo aumento soprattutto a causa dell'aumento globale della richiesta di cibo. Si stima che il mercato degli agrofarmaci, inclusi fungicidi, insetticidi, erbicidi ed altre categorie minori sia aumentato del 9.4% dal 2012 al 2013.

La resistenza degli insetti ai principi attivi usati in agricoltura, è un fenomeno importante ed è principalmente causato dall'uso ripetuto e massiccio di insetticidi appartenenti a diverse classi quali piretroidi, neonicotinoidi, carbammati e organofosforati. Sono noti inoltre numerosi casi di resistenza anche da parte di insetti quali mosche, scarafaggi e zanzare, tipici degli ambienti domestici e civili. Di particolare preoccupazione è la resistenza da parte delle zanzare vettori di patogeni quali malaria e dengue, contro le quali il controllo con formulazioni "convenzionali" in diverse aree dell'Africa e dell'Asia non è più efficace.

Esistono diversi meccanismi di resistenza che di norma coesistono all'interno dell'insetto; uno dei principali è costituto dalla sovra-produzione di una serie di enzimi (esterasi ed ossidasi di vario tipo) che sono responsabili della detossicazione della molecola insetticida all'interno del corpo dell'insetto mediante idrolisi dei legami esterei o ossidazione di alcuni gruppi funzionali. A livello pratico questo comporta che l'efficacia del trattamento è molto bassa o addirittura nulla, con gravi ripercussioni per l'agricoltore.

È noto che alcune molecole sinergiche, tra cui il Piperonil Butossido, siano in grado di bloccare il meccanismo di detossificazione degli insetti inibendone il sistema enzimatico su ceppi di insetti sia suscettibili che resistenti pertanto l'uso combinato del principio attivo e del sinergico comporta un netto miglioramento della performance del principio attivo, associata anche ad una riduzione della dose sua dose applicativa ed un ripristino della sua efficacia in presenza ceppi di insetti resistenti.

Diversi studi condotti da diversi centri di ricerca e società, hanno mostrato che al fine di esplicare al meglio le proprie attività di inibizione del sistema enzimatico degli insetti, la molecola sinergica dovrebbe essere applicata un certo tempo prima rispetto al principio attivo. Grazie a questa applicazione differita il sinergico inibisce i sistemi di difesa dell'insetto, rendendolo quindi più suscettibile all'azione del principio attivo.

Purtroppo però una doppia applicazione in campo da parte dell'utilizzatore finale, ovvero prima il sinergico e dopo un certo tempo l'insetticida, non è una pratica agronomica fattibile visti i costi ed i tempi associati con i trattamenti di campo.

Questo rilevante problema può essere risolto brillantemente con una tecnologia formulativa che permette di ottenere formulazioni a rilascio controllato tali da consentire il differimento di qualche ora tra il rilascio della molecola sinergica e successivamente del principio attivo incapsulato. L'obiettivo finale è non solo però quello di migliorare l'efficacia, ma al contempo di diminuire

le dosi applicative minimizzando così l'impatto ambientale e l'esposizione degli operatori che effettuano i trattamenti in campo. Tra le varie tecnologie per l'ottenimento formulazioni a rilascio controllato, sono state individuate come più promettenti la microincapsulazione in poliurea e la complessazione in ciclodestrina.

La microincapsulazione in poliurea si basa sulla formazione di una parete costituita da un polimero di composizione, porosità e grado di reticolazione variabile che racchiude il principio attivo non rendendolo immediatamente disponibile. Variando opportunamente le condizioni operative quali ad esempio il tipo di monomeri impiegati, il loro rapporto relativo, la percentuale di polimero rispetto al materiale da incapsulare, la dimensione delle particelle, è possibile ottenere formulazioni microincapsulate con profili di rilascio differenti.

Secondo un meccanismo molto diverso operano le ciclodestrine, che sono oligosaccaridi ciclici. Esistono diversi tipi di ciclodestrine che differiscono per il numero di unità di glucopiranosio: maggiore il numero di unità maggiore è la dimensione della cavità e quindi la dimensione delle molecole che possono entrare. La cavità centrale delle ciclodestrine è relativamente idrofobica ed è idonea ad accomodare principi attivi, mentre la parte esterna è relativamente idrofilica grazie ai gruppi ossidrilici. Sono disponibili commercialmente anche ciclodestrine sostituite che hanno diverse proprietà, come ad esempio una maggiore solubilità in acqua, ma hanno costi troppo elevati per applicazioni in agricoltura.

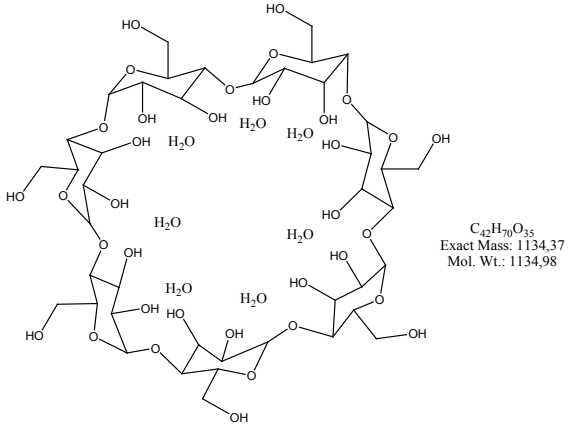


FIG. 74 – STRUTTURA DELLA BETA CICLODESTRINA (7 UNITÀ DI GLUCOPIRANOSIO).

Questi prodotti hanno inoltre altri vantaggi rispetto alle poliuree nel senso che aumentano la solubilità di principi attivi e la loro penetrazione nella cuticola dell'insetto. I risultati sperimentali ad oggi disponibili sono estremamente incoraggianti, pertanto risulta evidente come le formulazioni a rilascio controllato siano uno strumento molto importante nell'ottica del miglioramento dell'efficacia dei principi attivi contro specie di insetti sia resistenti che suscettibili, oltre a presentare gli innumerevoli vantaggi precedentemente descritti in particolare in termini di riduzione delle dosi applicative con conseguenti vantaggi per l'ambiente e le persone.

Obiettivi strategici

I punti strategici da perseguire per lo sviluppo delle formulazioni a rilascio controllato in campo agricolo sono fondamentalmente i seguenti:

- Proseguire il fine tuning delle formulazioni testandone l'efficacia in campo con principi attivi selezionati;
- Modulare il rilascio dei principi attivi dalle microcapsule grazie all'utilizzo di solventi da aggiungere alla formulazione prima dell'uso, con il fine di ottenere profili di rilascio diversi partendo dalla medesima sospensione di microcapsule a seconda del target finale. Infatti, poiché il tempo di differimento ottimale tra principio attivo e sinergico dipende dal tipo di target, teoricamente sarebbe necessario mettere a punto una formulazione diversa per ciascuno di essi, cosa che è chiaramente non praticabile da un punto di vista industriale e commerciale. Questo permetterebbe di rendere la tecnologia ancora più flessibile aumentandone le potenzialità;
- Mettere a punto modelli che consentano di simulare in laboratorio il comportamento dei formulati in campo;
- Comprendere più approfonditamente il meccanismo di azione dei formulati in ciclodestrina;
- È possibile infine sviluppare e promuovere la tecnologia qui descritta per controllare la resistenza degli insetti in altre applicazioni come l'uso di principi attivi per uso domestico, della disinfestazione professionale e dell'igiene pubblica. Quest'ultimo settore è di particolare interesse in quanto è crescente la preoccupazione legata ai problemi di efficacia dei prodotti disponibili per il controllo di vettori di patogeni quali malaria e dengue.

10.4) FORMULAZIONI FOTORETICOLABILI PER L'INDUSTRIA

DESCRIZIONE

I sistemi fotoreticolabili sono stati introdotti nell'uso industriale a metà degli anni '70; essi sono formulati basati essenzialmente a) su monomeri e oligomeri dotati di funzionalità acrilica o metacrilica o dotati di gruppi epossidici e b) su fotoiniziatori sensibili alla radiazione luminosa e capaci di generare specie radicaliche o acide che inducono la polimerizzazione. L'efficienza di questi sistemi generalmente liquidi nel generare film polimerici con caratteristiche utili nelle applicazioni industriali manifatturiere è strettamente correlata a una serie di parametri tra loro interdipendenti che delineano l'architettura tecnologica adottata nei vari settori merceologici. Devono infatti essere considerate le tipologie delle sorgenti di luce, la natura chimica e fisica degli ingredienti formulativi e le condizioni di esercizio nelle quali avviene la reticolazione e la conseguente formazione del film solido. In Figura 75 è riportato un semplice schema d'azione.

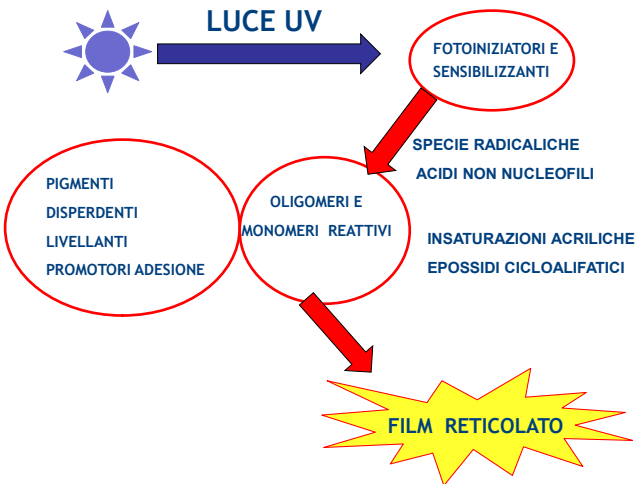


FIG. 75 – RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEI SISTEMI FOTORETICOLABILI

Tra le sorgenti di luce si annoverano le lampade "attiniche" a bassa pressione e quelle al mercurio a media pressione con emissioni multiple tra i 250 ed i 360 nm, le lampade a mercurio drogate con particolari elementi che consentono emissioni spostate verso i 390 – 420 nm, le lampade che emettono nel visibile ed infine i nuovissimi sistemi di irraggiamento a led che consentono di

ridurre fortemente se non eliminare del tutto la componente termica che accompagna sempre quella luminosa delle sorgenti fino ad ora adottate.
Le formulazioni utilizzate sono innumerevoli, ma gli ingredienti sono raggruppabili in tre famiglie: i fotoiniziatori, i film formers, e gli additivi. I foto iniziatori pur essendo presenti in quantità limitata (da pochi % a 10 -15% in peso) rappresentano l'ingrediente chiave che consente di sfruttare appieno le caratteristiche del sistema. Un foto iniziatore radicalico può essere una singola molecola che dallo stato eccitato subisce una frammentazione (omolitica) oppure una coppia di molecole che trasferiscono al loro interno energia e atomi di idrogeno. I fotoiniziatori cationici sono invece sali di onio che quando irradiati generano acidi non nucleofili che agiscono nella polimerizzazione per apertura di anello degli epossidi. Una classe particolare è quella dei fotoiniziatori che generano acidi solfonici utili nella policondensazione di resine induribili per catalisi acida. Per avere successo sul mercato un fotoiniziatore deve avere le caratteristiche tipiche di un prodotto chimico industriale (costo, producibilità, tossicologia, impatto ambientale) ma soprattutto possedere una resa quantica elevata, cioè essere in grado di sfruttare la radiazione disponibile con alta resa nelle speci reattive capaci di promuovere la polimerizzazione. Questo è il motivo per cui le classi di fotoiniziatori disponibili industrialmente sono relativamente poche e la progettazione di nuove ha un elevato grado di difficoltà e di probabilità di riuscita.
Per estendere la latitudine di impiego dei foto iniziatori ed aumentarne l'efficienza si usano spesso sensibilizzanti spettrali. I monomeri ed oligomeri reattivi che reticolano con le specie radicaliche fotogenerate possono essere distinti in due classi:

- derivati acrilici e metacrilici con funzionalità da uno (usati come diluenti reattivi anche per regolare la viscosità) a 10 (per progettare adeguatamente la densità di reticolazione desiderata per il film); nel caso degli oligomeri l'unità ripetitiva può essere la più varia, in particolare poliacrilica, poliepossidica, poliestere, polietere, poliuretanica;
- derivati epossidici mono o polifunzionali su base cicloalifatica.

Ogni applicazione prevede inoltre l'uso di specifici ingredienti additivi che apportano la funzione d'uso necessaria per le caratteristiche dl manufatto finale, tra i quali pigmenti, stabilizzanti termici per evitare la polimerizzazione durante lo stoccaggio al buio, livellanti, stabilizzanti luce e antiossidanti per aumentare la vita utile del manufatto, promotori di adesione, plastificanti, scavengers di ossigeno per contrastare l'azione inibitrice in superficie: la loro presenza può condizionare pesantemente il risultato in termini di efficienza della reticolazione fotoindotta e la funzionalità del film ottenuto.
Le condizioni operative nelle quali devono essere applicati i sistemi foto reticolabili sono molteplici e prevedono quasi sempre un processo continuo o semicontinuo nel quale il manufatto transita sotto la sorgente di radiazione esponendo ad essa la parte sulla quale è applicato il sistema fotoreticolabile. La velocità di macchina è dettata da esigenze produttive precise e dipende anche dallo spessore del film che deve reticolare: più è sottile e maggiormente la polimerizzazione radicalica è inibita dall'ossigeno, specialmente in supeficie, ma per motivi economici solo in casi selezionati è possibile inertizzare con azoto la linea; quando lo spessore del film è elevato la polimerizzazione degli strati profondi è difficoltosa per via dell'elevato cammino ottico e quindi si

devono usare fotoiniziatori che decomponendosi, oltre a generare le speci attive, cambiano lunghezza d'onda nello spettro di assorbimento aprendo la strada alla radiazione.
I sistemi radicalici sono i più diffusi, anche per la disponibilità di una vasta serie di oligomeri e monomeri diluenti di tipo acrilico e metacrilico a basso contenuto di acido (met) acrilico libero e che offrono ampia possibilità di combinazione; i limiti consistono nella sensibilità all'azione inibitrice dell'ossigeno che rallenta le velocità di linea e nell'elevato coefficiente di ritiro volumetrico durante la polimerizzazione che nel caso di superfici metalliche compromette la perfetta adesione al substrato. In questo caso si ricorre ai sistemi cationici (o loro combinazioni con quelli radicalici) che però sono più lenti e necessitano di uno stadio di postpolimerizzazione termica o maturazione a temperatura ambiente.
Quindi la messa a punto di un efficiente sistema foto reticolabile dipende dalla combinazione ben progettata delle interazioni molecolari che avvengono tra la radiazione disponbile, fotoiniziatore e substrato polimerizzabile nelle reali condizioni operative possibili. Un esempio è rappresentato dai sistemi fotoreticolabili pigmentati che trovano una naturale difficoltà per la scarsa possibilità che la luce ha di penetrare uno strato più o meno opaco per stimolare la decomposizione del foto iniziatore.
È quindi necessario utilizzare fotoiniziatori dotati di bande di assorbimento a lunghezze d'onda sovrapposte alle bande di emissione della sorgente luminosa e prossime a quelle dove è più elevata la trasmittanza del pigmento e minore la sua riflettenza, le così dette finestre ottiche, oppure aggiungere un sensibilizzante spettrale che assorbe in prossimità della finestra ottica e trasmette energia al fotoiniziatore.
L'utilità di questi sistemi è fondamentalmente riconducibile a tre direttrici:

- risparmio energetico in quanto si utilizza radiazione UV molto più efficiente del tradizionale sistema per reticolare i film in forni termici;
- vantaggio ambientale perché tali sistemi liquidi non contengono solventi e sono trasformati per il 100% in film solidi, quindi non vi sono dispersioni nell'ambiente né si devono adottare complessi impianti di ricupero solventi;
- vantaggio economico perché il processo di fotoreticolazione è veloce e avviene in spazi estremamente compatti rispetto ai processi termici tradizionali.

Per questi motivi l'impiego dei sistemi fotopolimerizzabili si è esteso negli anni come una delle tecnologie sostitutive intrinsecamente dotata di sostenibilità sotto molti aspetti. In Figura 76 è riportata la segmentazione del mercato.
Di fatto i formulati fotoreticolabili con radiazione UV hanno sostituito con penetrazione diversa quelli tradizionali nei settori seguenti: vernici per legno, plastiche, metalli, automobili e OEM (anche per riparazione e mantenimento) vernici in polvere, inchiostri da stampa sia tradizionali che digitali (inkjet), anche per stampa 3D, nella fabbricazione delle matrici da stampa come fotopolimeri temporanei (rotocalco) o permanenti (offset e letterpress), adesivi liquidi e hot melt, fabbricazione delle fibre ottiche (strato di confinamento del segnale luminoso), nella fabbricazione di materiali compositi (pre preg), nell'elettronica (fotopolimeri per la creazione del circuito elettrico, vernici e incapsulanti nei circuiti stampati, testine da stampa digitale, nella fabbricazione degli

schermi piatti), in preparati cosmetici per decorazione e fabbricazione delle unghie, nella fabbricazione di dispositivi medici.

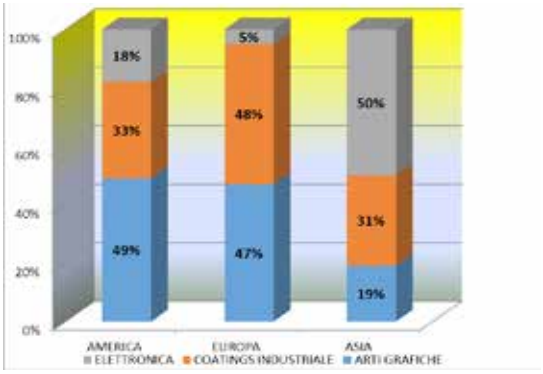


FIG. 76 – SEGMENTAZIONE DEL MERCATO (VOLUMI) PER AREA GEOGRAFICA E SETTORE
Fonte: Radtech Europe – Brochure 2012

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Sebbene i sistemi foto polimerizzabili siano ampiamente usati negli inchiostri da stampa e nelle arti grafiche in generale, l'impiego degli inchiostri UV reticolabili negli imballaggi alimentari destinati al contatto indiretto è ancora in una fase embrionale. Recentemente in Europa il quadro normativo di riferimento prevede una procedura generale per l'autorizzazione delle sostanze in materiali a contatto con alimenti prevista dagli Articoli 8 – 12 del Regolamento (EC) 1935/2004 (Framework Regulation).

L'EFSA (European Food Safety Authority) ha emanato nel 2008 le linee guida per la valutazione di sicurezza di sostanze da utilizzare a contatto con alimenti prima del loro autorizzazione. La Svizzera ha emanato la RS 817.023.21 Swiss Ordinance che riporta *"l'elenco delle sostanze ammesse il 1° aprile 2013 per la fabbricazione degli inchiostri per imballaggi e requisiti in merito*", con le categorie dei leganti, coloranti, solventi, additivi, e per la prima volta dei fotoiniziatori. Tra i fotoiniziatori alcuni sono stati valutati ed i loro dati di sicurezza sono diventati patrimonio comune ed hanno consentito di fissare limiti e condizioni precise e normate nel loro utilizzo, altri non sono stati valutati e sono o saranno oggetto di studi specifici e autorizzazioni ad hoc. Anche la Germania sta lavorando per emanare una regolamentazione BfR con scopi e modalità simili.

Molti autori hanno dimostrato la migrazione potenziale dei fotoiniziatori in prodotti alimentari da materiali di contatto alimentare, e il RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed) dal 2005 al dicembre 2014 ha pubblicato 140 avvisi relativi alla migrazione di fotoiniziatori in imballi di cibi diversi, con i casi ben noti relativi all'isopropiltioxantone del 2005 ed al 4-metilbenzofenone del 2009. L'EFSA ha classificato la maggior parte dei fotoiniziatori comuni come molecole di classe III (altamente pericolosi) secondo la classificazione di Cramer. Un altro problema è l'integrazione di tutte i prodotti di fotodecomposizione nella definizione di NIAS (sostanze non-intenzionalmente

aggiunte), perché molte di queste potrebbero essere pericolose, per esempio: il benzene è una molecola con tossicità dimostrata, essendo classificato dallo IARC (Agenzia internazionale per ricerca sul cancro) come cancerogeno per gli esseri umani.
Sembra quindi indispensabile una revisione dettagliata dei meccanismi di migrazione con lo sviluppo di modelli teorici e sperimentali con i quali sottoporre i fotoiniziatori a studi approfonditi per raggiungere la convinzione del loro uso sicuro e regolamentato, per studiarne di nuovi e più sicuri, al fine di sfruttare pienamente le vantaggiose caratteristiche del processo fotochimico di stampa e verniciatura rispetto al tradizionale processo a solventi nel settore dell'imballaggio alimentare. D'altra parte anche la tecnologia tradizionale non è esente da problematiche di migrazione e contaminazione degli alimenti.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La migrazione del foto iniziatore e dei suoi prodotti di fotodecomposizione da un inchiostro o coating in materiali per imballaggi alimentari può avvenire sia per contatto tra la parte esterna inchiostrata e quella interna a diretto contatto con il cibo durante il magazzinaggio di fogli impilati o arrotolati su se stessi (set off) o per diffusione attraverso il materiale di supporto a causa delle caratteristiche molecolari delle specie migranti. Nel caso del set off si può solo ricorrere a quanto previsto dal Regolamento (EC) No 2023/2006 che stabilisce le linee guida di buona fabbricazione per assicurare che se si verifica migrazione, non devono essere superati i limiti stabiliti dal Regolamento (EC) 1935/2004.
Per calcolare la migrazione dovuta a diffusione si utilizzano modelli matematici basati sulla seconda legge di Fick che viene risolta determinando il coefficiente di diffusione del fotoiniziatore; quando si è in presenza di due fasi si deve calcolare la ripartizione della sostanza migrata all'equilibrio termodinamico mediante il coefficiente di partizione. Il peso molecolare, il punto di ebollizione e la tensione di vapore (volatilità), la polarità e la lipofilia sono i parametri che determinano le caratteristiche di migrazione del fotoiniziatore, oltre che la natura dell'alimento contenuto nell'imballo, il materiale di cui e costituito l'imballaggio e la temperatura. I modelli sperimentali prevedono l'uso di liquidi simulanti per sottoporre gli imballi inchiostrati alla migrazione.
I fotoiniziatori più promettenti sono prodotti con proprietà chimico fisiche modulate sull'obiettivo di ridurne la migrazione ma di conservarne l'alta efficienza nel processo fotochimico. I fotoiniziatori polimerici, cioè a medio/alto peso molecolare ma con peso equivalente fotochimico basso sembrano promettenti, ma la loro bassa mobilità nel formulato liquido ne riduce le prestazioni. È quindi necessario individuare strutture molecolari sicure e più efficienti. Per informazioni di maggior dettaglio si rimanda alla review di José Luis Aparicio e María Elizalde[39].

39 *Migration of Photoinitiators in Food Packaging, Packaging Technology and Science*, Volume 28, Issue 3, March 2015, pages 181–203.

Obiettivi strategici

Gli obiettivi strategici da perseguire per lo sviluppo delle formulazioni UV reticolabili per l'imballaggio alimentare sono i seguenti:

- comprendere nel dettaglio i meccanismi di fotodecomposizione per una migliore progettazione molecolare;

stabilire dei modelli sperimentali per sottoporre a verifica i formulati UV reticolabili;

- mettere a punto fotoiniziatori sicuri con elevata probabilità di approvazione;
- sviluppare formulazioni adatte alle moderne esigenze industriali.

10.5) SOSTITUZIONE DI PRODOTTI SVHC IN FORMULATI USATI COME LEGANTI DI ADESIVI E PITTURE

DESCRIZIONE

La polimerizzazione in emulsione è un tipo di polimerizzazione radicalica in cui l'ambiente di reazione è inizialmente costituito da un monomero, acqua ed un tensioattivo che stabilizza la formazione di piccole goccioline di monomero, che costituiscono la fase dispersa del sistema, mentre il solvente acquoso costituisce la fase continua. Il sistema di reazione è complesso e prevede l'utilizzo di altre sostanze quali iniziatori, attivatori, reticolanti, emulsionanti e stabilizzanti. Le caratteristiche applicative del polimero richiedono l'utilizzo di altri composti chimici quali i plastificanti, coalescenti, tamponi, biocidi.

Mentre la dispersione polimerica a base acquosa non è pericolosa in base alle legislazioni vigenti, bisogna però che tutte le altre sostanze intenzionalmente aggiunte non rientrino nella categoria delle sostanze estremamente preoccupanti secondo il regolamento REACh. Per questo obiettivo è necessaria una ricerca impegnativa intesa alla sostituzione di tutte le sostanze VHC con altre non pericolose che permettano comunque di inserirsi nell'attuale assetto produttivo.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'adeguamento della composizione delle dispersioni polimeriche a base acquosa alla normativa vigente è volto a favore dell'uomo e dell'ambiente, nell'ambito di una politica ″responsabile″ che i produttori devono adottare per tutti i propri prodotti. Le dispersioni polimeriche a base acquosa non sono classificate in base alle vigenti legislazioni europee (*REACh*), perciò non sono ritenute pericolose. Tuttavia esse contengono sostanze che possono avere effetti negativi sull'uomo e sull'ambiente e che possono essere identificate, secondo la normativa *REACh,* come sostanze estremamente preoccupanti (SVHC). Queste sostanze, presenti sia pure in percentuali non elevate, vengono utilizzate come plastificanti, iniziatori tensioattivi, tamponi e reticolanti e quindi inglobate nel prodotto.

Se la sostanza è identificata come tale, viene aggiunta alla «candidate list» (a oggi 155 sostanze) e, dopo approfondito esame, può entrare nell'elenco delle autorizzazioni (Allegato XIV – ad oggi 44 sostanze) e/o nell'elenco delle restrizioni (Allegato XVII – ad oggi 64 sostanze). Le sostanze soggette ad autorizzazioni non possono essere immesse sul mercato né utilizzate dopo una certa data. È evidente che le sostanze *SVHC* vadano progressivamente sostituite a cominciare da quelle elencate nell'Allegato XIV soggette ad autorizzazione con altri composti chimici non pericolosi, aventi la stessa funzionalità.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

I polimeri in dispersione/emulsione acquosa vengono proposti per rispondere alle seguenti esi-

genze del mercato:

- polimeri ad alto peso molecolare;
- dispersioni polimeriche a base acquosa e bassa viscosità, esenti da solventi e con un contenuto minimo di sostanze organiche volatili.

Le principali tipologie chimiche di polimeri in dispersione/emulsione acquosa sono:

- omopolimeri vinilici e acrilici;
- copolimeri vinilici: vinil-versatici, vinil-maleici, vinil-etilenici, vinil-acrilici;
- copolimeri stirolo/acrilici;
- copolimeri acrilici;
- copolimeri stirolo/butadiene;
- poliuretani.

Queste dispersioni, tal quali o in formulazioni, trovano impiego come leganti in diversi settori applicativi quali:

- Idropitture;
- Formulati per edilizia;
- Adesivi;
- Industria tessile;
- Industria del cuoio;
- Rivestimento per alimenti;
- Patinatura della carta.

Le dimensioni attuali stimate in Italia del mercato dei polimeri in dispersione sono:

DISPERSIONI PER:	TONS / ANNO
Idropitture	100.000
Adesivi[1]	90.000
Formulati per edilizia	50.000
Industria tessile	10.000
Altri	5.000
TOTALE	255.000

1 Legno, cartotecnica, calzature, DIY

Il valore di riferimento dei prodotti è nel range 1-2 € /kg.

Si stima che il mercato italiano rappresenti circa il 12-15% del totale del mercato Europeo. È evidente che le sostanze *SVHC* vadano progressivamente sostituite a cominciare da quelle elencate nell'Allegato XIV del REACh soggette ad autorizzazione con altri composti chimici non pericolosi, aventi la stessa funzionalità.

I produttori di polimeri in dispersione acquosa stanno studiando la progressiva sostituzione delle sostanze *SVHC* mediante attività di ricerca e sviluppo in house, collaborazione con fornitori per qualificazione materie prime e collaborazione con clienti per l'omologazione dei prodotti così modificati.

È importante che tutti i produttori operino secondo questa linea possibilmente anticipando le evoluzioni del quadro normativo. In particolare, vengono qui riportati alcuni risultati già ottenuti da alcune industrie del settore (Fig. 77).

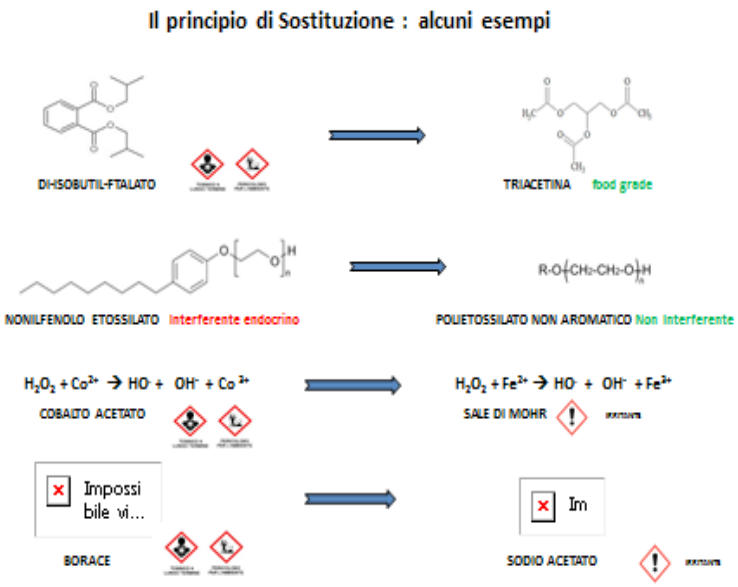


FIG. 77 – IL PRINCIPIO DI SOSTITUZIONE

Il diisobutilftalato, plastificante di omopolimeri in dispersione, classificato tossico per la riproduzione cat.1B, è stato inserito nella candidate list il 13/01/2010 e poi in Allegato XIV. Consumato dal produttore italiano leader di mercato nel 2006 in quantità di 400 ton/anno, è stato sostituito nel 2008 da triacetina con uguali prestazioni e costi più bassi. La triacetina è un prodotto "food grade" ottenuto da risorse rinnovabili nel ciclo di produzione del green diesel. Gli alchilfenoli etossilati, tensioattivi largamente impiegati nella polimerizzazione in emulsione acquosa, pericolosi per l'ambiente acquatico con tossicità cronica cat.3 e frase di pericolo H412, sono stati inseriti nella candidate list SVHC rispettivamente il 16/12/2012 per l'ottile e il 16/06/2013 per il nonile. Questi alchilfenoli possono essere eliminati mediante l'uso di sostanze o miscele in cui il radicale arilico è stato sostituito con alcoli grassi di origine naturale $C_{12\text{-}14}$ oppure con osso-alcoli di origine sintetica $C_{11\text{-}13}$ aventi simili caratteristiche chimico-fisiche, quali l'affinità all'acqua ed alla fase organica, la concentrazione critica micellare e la stabilizzazione del sistema reattivo.
Il cobalto acetato è un attivatore nelle reazioni di polimerizzazione radicalica per favorire la reazione di radicali che innescano il processo. Classificato tossico per la riproduzione cat.1B è stato inserito nella candidate list SVHC in data 15/12/2010. Per sostituire il Cobalto può essere utilizzato un sale ferroso che promuove una reazione analoga.

Il borace, usato come tampone in alcune reazioni di polimerizzazione radicalica in emulsione, è classificato come tossico per la riproduzione cat. 1B, con frase di pericolo H360FD (può nuocere alla fertilità, può nuocere al feto). È stato inserito nella candidate list SVHC in data 18/06/2010. Per la sostituzione in qualità di tampone nelle polimerizzazioni, si è utilizzato in alternativa il sodio acetato.
Nei quattro esempi citati la sostituzione della sostanza non si traduce in una variazione significativa di costo, ma richiede una completa riformulazione per ottenere le stesse caratteristiche chimico-fisiche ed applicative dei prodotti finiti.

L'evoluzione della "colla bianca" acetovinilica

È il prodotto da banco più conosciuto dai consumatori. L'evoluzione "sostenibile" della colla bianca ha comportato negli anni, oltre alla già citata sostituzione del plastificante a base di ftalato, l'eliminazione della formaldeide e la riduzione drastica del contenuto di monomero residuo e dei composti organici volatili. L'eliminazione della formaldeide si può ottenere mediante sostituzione degli iniziatori (da chimici a termici) e dei biocidi. La riduzione del contenuto di monomero residuo può richiedere l'introduzione di appositi processi di post-reazione per massimizzare la conversione. Il vinilacetato monomero residuo nel prodotto da banco è stato ridotto a meno di 0,03%. Mediante stripping sottovuoto è possibile ridurre a meno di 0,1% tutti i composti organici volatili derivanti da reazioni secondarie costituiti da acetaldeide, acetone e ter-butanolo. Nel prodotto più diffuso sul mercato tutte le modifiche apportate non hanno inciso sulle prestazioni dell'adesivo, che nel settore dell'incollaggio del legno e della carta restano eccellenti (Fig. 78).



Caratteristica	Metodo	Unità di misura	Valore
Contenuto in solidi	MV PF01	%	51-53
Viscosità Brookfield	UNI EN ISO 2555	Pa*s	9-16
pH	ISO 976	-	4-5
TMF	UNI 8490-14	°C	0
Rapidità di presa su legno	MV AT 025	N/mm²	>3
Potere collante D2	EN 204/205	N/mm²	>8
Rapidità di presa su carta	UNI 10114	secondi	10-12

FIG. 78 – LE PRESTAZIONI DELLA "COLLA BIANCA"

La sostituzione dei prodotti *SVHC* non è un'operazione banale in quanto richiede la conoscenza dei prodotti chimici alternativi candidati alla sostituzione, buone capacità di sintesi, di caratterizzazione applicativa e di approccio con il cliente che deve omologare il prodotto modificato. La ri-

cerca è articolata negli step seguenti:
Studio della sintesi con formule alternative;

- Caratterizzazione analitica dei prototipi;
- Formulazione e prove applicative specifiche;
- Scale-up industriale;
- Prove industriali presso clienti;
- Variazione della formula.

L'esperienza dell'Industria italiana leader nel settore dimostra che gli obiettivi imposti dal *REACh* possono essere perseguiti e raggiunti. È però necessario che anche la Ricerca pubblica si adoperi per individuare le alternative delle sostanze *SVHC* in particolare a supporto delle PMI che hanno difficoltà ad intraprendere questa strada autonomamente.

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore 4 – Chimica

ENDURA SpA	Cosimo Franco (coordinatore)
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA	Ferruccio Trifirò (coordinatore)
COLOROBBIA SpA	Giovanni Baldi
CNR – ISTEC	Anna Costa
CNR – ITM	Giuseppe Barbieri
CNR – Sassari	Mauro Marchetti
MAPEI SpA	Amilcare Collina
MOSSI & GHISOLFI SpA	Sandro Cobror
NOVAMONT SpA	Giulia Gregori
PIRELLI SpA	Paola Caracino
PROPLAST	Giorgio Ramella
VERSALIS SpA	Paolo Lomellini
VINAVIL SpA	Francesco Pignataro

con la collaborazione di:

ENDURA SpA	Carlotta Gobbi / Francesco Tozzi
LAMBERTI SpA	Giuseppe Li Bassi
PVC FORUM	Carlo Ciotti
TICASS – Genova	Gustavo Capannelli / Claudia Cattaneo
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA	Paolo Zanirato
UNIVERSITÀ DI GENOVA	Antonio Comite
UNIVERSITÀ DI PERUGIA	Luigi Vaccaro
UNIVERSITÀ DI SALERNO	Gaetano Guerra

SETTORE 5

>FARMACEUTICA E BIOTECNOLOGIE<

PROFILO DI SETTORE

I numeri della farmaceutica pongono l'Italia ai primi posti in Europa per presenza industriale, in particolare al secondo nell'Unione Europea, dopo la Germania, per valore della produzione e numero di imprese (figura 79). Tra i grandi Paesi europei, l'Italia è al primo posto per produzione pro-capite.

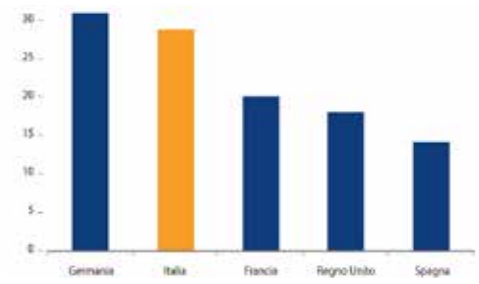


FIG. 79 – VALORE DELLA PRODUZIONE FARMACEUTICA (MILIARDI DI EURO)
FONTE: ELABORAZIONESU DATI EFPIA, EUROSTAT

La produzione farmaceutica realizzata in Italia rappresenta il 26% di quella realizzata nei principali Stati membri dell'Unione Europea, una quota superiore a quella delle vendite (19%), a dimostrazione che l'Italia è un grande produttore ancor più che un mercato farmaceutico.

I dati a consuntivo del 2014 confermano che, oltre a quella dell'export, l'ultimo anno ha visto anche la crescita di investimenti e occupazione (figura 80).

Il numero di addetti nella farmaceutica è salito da 62.300 a 63.000, interrompendo un trend negativo che durava ormai dal 2006, trainato in partico-

lare dalla componente legata alla produzione. Determinante è stato l'ingresso di 5.000 nuovi assunti, 2.000 dei quali under 30, che ha più che compensato il numero dei lavoratori in uscita.

	2010	2011	2012	2013	2014	Var. % 2014/2013
Valore della produzione	24.996	25.052	25.798	27.461	28.696	4,5%
Esportazioni totali	13.973	15.314	17.240	19.635	20.735	5,6%
- medicinali	10.843	12.086	13.964	15.975	16.872	5,6%
- vaccini	506	430	382	412	516	25,3%
Importazioni totali	17.344	19.187	19.737	20.730	19.679	-5,1%
- medicinali	10.729	11.804	12.055	12.029	11.799	-1,9%
- vaccini	273	302	285	337	350	3,8%
Saldo estero di medicinali e vaccini	347	410	2.006	4.021	5.240	-
- medicinali	114	282	1.910	3.946	5.073	-
- vaccini	233	128	97	75	167	-
Investimenti R&S e Produzione	2.370	2.390	2.350	2.250	2.500	11,1%
- Ricerca e Sviluppo	1.240	1.250	1.230	1.220	1.350	10,7%
- Produzione	1.130	1.140	1.120	1.030	1.150	11,7%
Numero di addetti (unità)	66.700	65.000	63.500	62.300	63.000	1,1%
Addetti R&S (unità)	6.050	6.000	5.950	5.950	5.950	0,0%
Addetti R&S/addetti totali	9,1%	9,2%	9,4%	9,6%	9,4%	-
Investimenti/Valore della produzione	9,5%	9,5%	9,1%	8,2%	8,7%	-
Export/produzione	55,9%	61,1%	66,8%	71,5%	72,3%	-

Fonte: elaborazioni su fonti varie

FIG. 80 – PRINCIPALI GRANDEZZE DELL'INDUSTRIA FARMACEUTICA IN ITALIA (MILIONI DI EURO, DATI AL 31/12/2014)
FONTE: ELABORAZIONI SU FONTI VARIE

Gli investimenti sono aumentati complessivamente dell'11%, con una crescita a doppia cifra sia per la componente legata alla produzione sia per quella della Ricerca. Un risultato ancora più importante perché ha invertito una tendenza al ribasso, immettendo nuove risorse nel sistema industriale, in linea con le previsioni di Farmindustria presentate a metà 2014 di 1.500 milioni in più in 3 anni.

Risultati anche di un quadro regolatorio stabile nel quale le imprese hanno potuto programmare la loro attività, consentendo di incrementare i livelli produttivi a supporto del PIL del Paese in una fase economica particolarmente difficile. E anche nei primi mesi del 2015 la ripresa macroeconomica ha potuto contare sul contributo positivo dell'industria farmaceutica: +8% nei primi 5 mesi dell'anno.

Un dato su tutti mostra quanto l'Italia sia in grado di proporsi come base produttiva per l'industria farmaceutica in Europa. Dal 2010 al 2014 il nostro Paese è stato il primo al mondo per crescita in valore dell'export di farmaci e vaccini (figura 81).

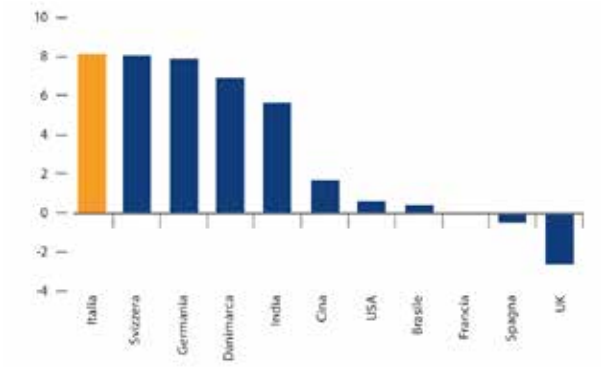


FIG. 81 – CRESCITA 2010-2014 DELL'EXPORT DI FARMACI E VACCINI (MILIARDI DI DOLLARI USA)
FONTE: FONDAZIONE EDISON

MERCATO

La farmaceutica rappresenta un settore industriale a forte contenuto *hi-tech*, nel quale l'Italia ha maturato una specializzazione internazionale e si conferma risorsa fondamentale in termini di investimenti, competitività, qualità delle risorse umane e intensità di ricerca.

L'incidenza dell'industria farmaceutica sul totale dell'industria manifatturiera in Italia varia dall'1,6% dell'occupazione al 13,4% delle spese in ricerca e sviluppo.

Rispetto agli altri settori, l'industria farmaceutica si caratterizza per:

- più alto valore aggiunto per addetto;
- più alte spese per il personale;
- più alti investimenti per addetto, in produzione, in ricerca e sviluppo, in protezione dell'ambiente;
- più alte esportazioni per addetto.

Il processo di internazionalizzazione coinvolge il settore farmaceutico molto più della media industriale, sia per la presenza di imprese estere in Italia sia per la proiezione all'estero di quelle italiane. Tra le imprese a capitale italiano, le farmaceutiche sono al primo posto per investimenti rispetto al fatturato e al grado di internazionalizzazione (figura 82). Tra le imprese a capitale estero, quelle farmaceutiche sono le prime per il valore degli investimenti in Italia (figura 83).

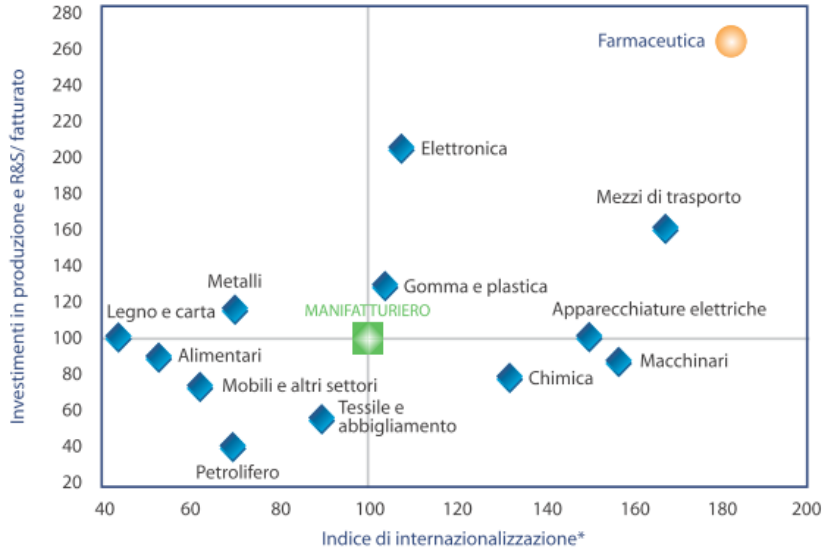


FIG. 82 – INTERNAZIONALIZZAZIONE DELLE IMPRESE A CAPITALE ITALIANO
(INDICE TOTALE INDUSTRIA MANIFATTURIERA=100)
*MEDIA DI EXPORT E VENDITE REALIZZATE ALL'ESTERO DA IMPRESE A CAPITALE ITALIANO, RISPETTO AL FATTURATO
FONTE: ELABORAZIONI SU DATI ISTAT

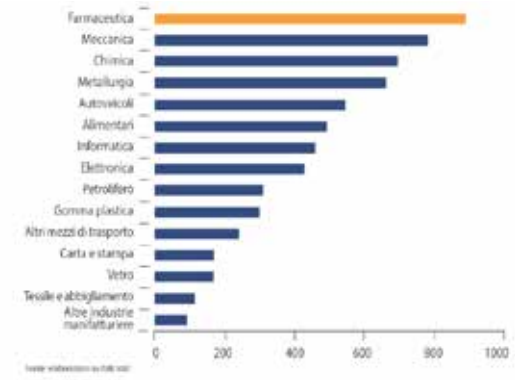


FIG. 83 – PRESENZA DI IMPRESE A CAPITALE ESTERO PER SETTORE
FONTE: ELABORAZIONI SU DATI ISTAT

L'industria farmaceutica e il suo indotto formano in Italia un *network* di eccellenza internazionale e altamente innovativo, dal quale nasce occupazione di qualità. I settori attivati con gli acquisti diretti hanno un totale di 65 mila addetti, 14,2 miliardi di produzione, 4,3 miliardi di valore aggiunto, 2,1 miliardi di stipendi e circa un miliardo di investimenti.

Se si considera anche la filiera, cioè il segmento a valle della farmaceutica, nella distribuzione intermedia lavorano oltre 12 mila addetti e i lavoratori nelle farmacie sono 84 mila. La somma di addetti diretti, indotto e filiera è pari a 224 mila addetti.

Le imprese del settore farmaceutico operanti in Italia sono complessivamente 304 (materie prime e specialità medicinali). Le imprese produttrici di specialità medicinali sono 277, delle quali circa 200 associate a Farmindustria, con una rappresentanza del 90% del settore.

Tenendo conto sia del fatturato sia di parametri quali occupazione, investimenti, vendite estere e imposte pagate, il settore è composto per il 40% da imprese a capitale italiano e per il 60% da imprese a capitale estero (39% europee e giapponesi, 21% USA).

Rispetto al 2005, il mercato in Italia è sceso dal quinto al sesto posto al mondo ed entro il 2017 si appresta a diventare l'ottavo, sopravanzato da Paesi emergenti, quali Cina e Brasile, con India e Russia sempre più vicini.

Lo spostamento della domanda mondiale determina la rilocalizzazione dell'industria a livello globale e fa crescere la concorrenza tra le economie avanzate per consolidare gli investimenti e attrarne di nuovi. Uno scenario che richiama la necessità di rilanciare nel continuo la competitività dell'industria e di rendere il "Sistema Italia" più efficiente.

OCCUPAZIONE

Caratteristica distintiva dell'industria farmaceutica in Italia è la qualità degli addetti. Il confronto per titolo di studio evidenzia che è molto maggiore la quota di personale laureato o diplomato rispetto agli altri settori industriali.

Sul totale degli occupati (63.000 addetti), i laureati sono il 54% nella farmaceutica rispetto al 21% dell'industria manifatturiera. Laureati e diplomati nella farmaceutica rappresentano il 90% degli occupati, rispetto al 63% della media manifatturiera. Gli uomini sono il 56% del totale, con una maggiore prevalenza tra dirigenti (73%), quadri (61%) e operai (70%). Le donne sono il 44% del totale, significativamente di più che nella media dell'industria (25%).

La maggiore presenza femminile rispetto alla media dell'industria si riscontra in tutte le categorie occupazionali, ma è più evidente tra i dirigenti e quadri (rispettivamente 27% e 39% del totale nella farmaceutica, rispetto a 13% e 24% nell'industria). Inoltre, sul totale delle assunzioni, uomini e donne sono ritenuti ugualmente adatti nell'80,5% dei casi, mentre nel totale dell'industria tale valore è pari al 21%.

La qualità delle risorse umane, che consente di ottenere alti livelli di efficienza per le attività industriali in Italia, è un grande fattore di competitività e il principale fattore di attrazione per gli investimenti nel paese.

RICERCA E SVILUPPO

La ricerca è la *mission* dell'industria farmaceutica. Da essa nascono idee e progetti per scoprire nuove terapie e migliorare l'efficacia di quelle disponibili.

Nel 2014 le imprese del farmaco hanno investito in Ricerca e Sviluppo 1.350 milioni di euro, +10,7% rispetto al 2013. Gli addetti R&S sono 5.950, pari al 9,4% del totale degli addetti, una quota superiore a quella del totale delle imprese (0,7%).

La farmaceutica rappresenta il 7% del totale degli investimenti in R&S in Italia.

Ulteriore evidenza sulla specializzazione della farmaceutica nella R&S deriva dal confronto fra il suo peso sugli addetti R&S e su quelli totali: ad esempio rispetto all'industria manifatturiera la farmaceutica pesa il 6,9% dell'occupazione R&S rispetto all'1,6% dell'occupazione totale.

In termini di investimenti R&S la farmaceutica è il terzo settore in Italia, dopo "aeronautica e mezzi di trasporto" e "meccanica".

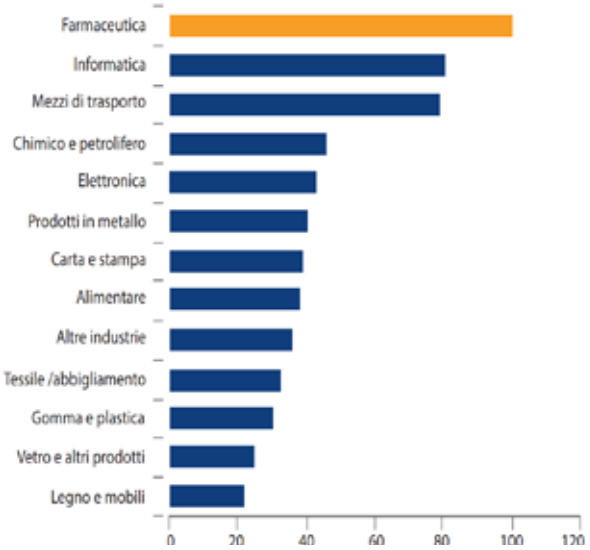


FIG. 84 – SPESA PER INNOVAZIONE PER ADDETTO NEI SETTORI MANIFATTURIERI (INDICE INDUSTRIA FARMACEUTICA = 100)

Tuttavia per rapporto investimenti R&S per addetto, la farmaceutica risulta al primo posto tra i settori industriali. Fatto 100 tale indice per la farmaceutica, la media dell'industria manifatturiera è pari a 41 e quella di tutti i settori a medio-alta tecnologia è pari a 57 (figura 84).

Gli investimenti in R&S nel settore farmaceutico sono dunque ingenti, sia in

termini assoluti sia rispetto alle dimensioni del settore. A tali investimenti le imprese contribuiscono con proprie risorse per oltre il 90%.

Con 9 imprese su 10 (89,5% del totale) che hanno introdotto innovazioni (di processo, prodotto o di altra natura) l'Italia è seconda in Europa, dopo la Germania (92,0%), in linea con UK (89,4%). Con Francia (83,5%) e Spagna (81,6%) a distanza, e una media Ue15 all'85,2%.

Un ambiente produttivo qualificato, efficiente e dinamico, quindi, quello del farmaco: nel quale i ritardi italiani nella ricerca – che riguardano in parte anche la Farmaceutica – costituiscono più una sfida da cogliere che un limite insormontabile.

L'innovazione biotech è sempre più farmaceutica

Oggi assistiamo nel Mondo a una nuova primavera della ricerca farmaceutica con oltre 7.000 medicinali in sviluppo, sempre più biotech, che danno speranza a chi sembra non averne.

La crescente comprensione dei meccanismi biologici delle malattie, della genomica, della proteomica e di altre discipline sta portando a scoperte senza precedenti. E questo grazie all'impegno di imprese e ricercatori e a combinazioni avanzate di scienza, tecnologia, bioinformatica e ingegneria.

La ricerca e l'innovazione in campo farmaceutico è indirizzata in ambito biotecnologico. I nuovi farmaci, sempre più frutto di complessi processi biotecnologici, rappresentano la frontiera dell'innovazione per il trattamento di patologie rilevanti quali, ad esempio, il diabete, la sclerosi multipla, l'epatite C e diverse malattie oncologiche e autoimmuni. E per la prevenzione, con vaccini per le malattie infettive.

In molti casi i trattamenti di origine biotech sono l'unica possibilità di cura e già oggi 350 milioni di pazienti nel mondo ne traggono beneficio. I farmaci biotech rappresentano il 20% di quelli in commercio, il 40% dei nuovi autorizzati e il 50% di quelli in sviluppo. Le biotecnologie sono il presente della ricerca farmaceutica e saranno ancora più importanti in futuro. Un ruolo rafforzato con le terapie avanzate, medicinali biologici di ultima generazione basati su materiale genetico, cellule e tessuti.

E l'Italia ha un ruolo attivo e riconosciuto in questo processo con una pipeline di 303 prodotti biotech e numerosi centri di eccellenza che nell'oncologia, nelle malattie rare, nelle biotecnologie e nelle terapie avanzate ci fanno considerare tra i Paesi a maggiore impatto sulla comunità scientifica. Non è affatto un caso quindi che il primo farmaco a base di cellule staminali approvato in Europa sia frutto della ricerca di un'impresa italiana e che sia nato in Italia il vaccino anti-ebola in fase più avanzata di sviluppo clinico.

E le aziende farmaceutiche rappresentano quasi il 90% del totale del comparto biotech, con investimenti per addetto più di due volte superiori alle altre im-

prese del comparto. Le aziende farmaceutiche con il loro *know-how* e gli elevati standard di processo e di prodotto sono fondamentali per il biotech. Infatti, portando a compimento il lungo processo di ricerca, spesso innescato nelle prime fasi delle PMI e dai laboratori di Ricerca, le imprese del farmaco trasformano i frutti del processo biotecnologico in prodotti da usare in terapia, rendendo disponibili per i Pazienti medicinali che rappresentano la frontiera dell'innovazione e danno risposte ai bisogni di salute ancora non soddisfatti.

Ricerca clinica

I nuovi medicinali sono il frutto di un processo che richiede 10-15 anni di ricerche e diverse fasi di studio, tutte regolate da specifiche norme e linee guida internazionali che garantiscono l'attendibilità dei dati, la tutela dei diritti, la sicurezza e il benessere dei soggetti che partecipano agli studi (figura 85).

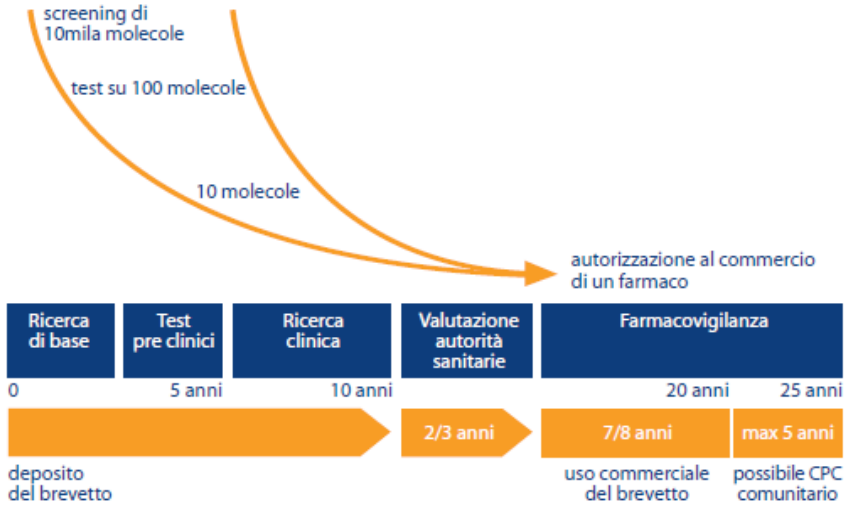


FIG. 85 – PERCORSO DI RICERCA E SVILUPPO CLINICO DI UN FARMACO

Le ultime stime condotte a livello internazionale indicano che per lo sviluppo di un farmaco innovativo sono necessari oltre 2,5 miliardi di dollari.

Mediamente solo una su 5-10 mila molecole arriva con successo alla fine del processo, con costi che crescono e vanno oltre il miliardo di euro.

Il farmaco, all'inizio della sua sperimentazione, deve superare una serie di prove condotte in laboratorio e sugli animali, obbligatorie per legge e fondamentali per avere una conoscenza adeguata della sicurezza e delle proprietà del composto in studio.

Si passa poi alla verifica sull'uomo, ovvero alla sperimentazione clinica, con-

dotta all'interno delle Università, degli ospedali, di Istituti di ricerca pubblici e/o privati accreditati e autorizzati e vincolata al consenso informato e alla volontarietà di tutti coloro che vi si sottopongono.

La distribuzione degli investimenti per fase mostra che gli studi clinici rappresentano una parte rilevante del totale in ricerca e sviluppo (il 51,4% del totale) (figura 86).

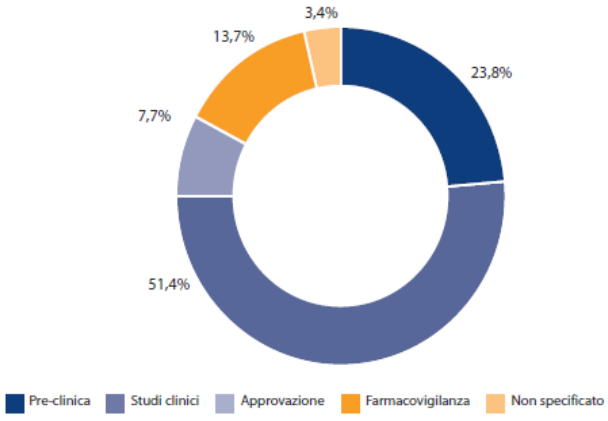


FIG. 86 – DISTRIBUZIONE DEGLI INVESTIMENTI PER FASE DI SVILUPPO CLINICO
FONTE: EFPIA

Gli studi clinici sono un'importante fase della ricerca, con un ruolo centrale nell'innovazione. Ogni anno nel mondo le imprese vi investono oltre 50 miliardi di euro, in Italia 800 milioni circa, un valore che può crescere migliorando l'attrattività del Paese.

E offrire nuove opportunità di salute per i pazienti, di occupazione per i ricercatori e di risparmio per il Ssn. Con gli studi clinici, infatti, le imprese si fanno carico di quota parte dei costi ad essi connessi, quali l'ospedalizzazione, i farmaci, gli esami diagnostici.

Vaccini ed emoderivati: area di specializzazione della ricerca in Italia

All'interno del panorama farmaceutico, vaccini ed emoderivati rappresentano realtà di eccellenza. I vaccini sono prodotti biologici che prevengono le malattie infettive, stimolando una risposta immunitaria e proteggendo così l'organismo da queste patologie.

Se attuate in maniera omogenea e secondo strategie appropriate, le vaccinazioni assicurano il controllo delle malattie bersaglio e la riduzione della loro incidenza, fino, in alcuni casi, all'eradicazione a livello mondiale.

Emoderivati, farmaci salvavita, sono utilizzati per integrare componenti mancanti del sangue, da cui derivano, trovano applicazione anche nel trattamento delle malattie rare – quali emofilia, angioedema ereditario, immunodeficienze primarie – e nei trapianti. Gli emoderivati sono prodotti sulla base di rigorose linee guida internazionali, per garantirne sicurezza e disponibilità ai pazienti.

Vaccini ed emoderivati, oltre che per la salute, rivestono grande importanza per l'Italia dal punto di vista manifatturiero e di ricerca. Tra i comparti più innovativi – grazie alla presenza di centri di eccellenza di imprese a capitale nazionale ed estero, che investono nel Paese ed esportano in tutto il mondo – contribuiscono in maniera fondamentale alla crescita del valore dell'industria e dell'economia.

Le Biotecnologie e il loro ruolo nella salute

L'industria biotecnologica ha conosciuto negli ultimi quindici anni, uno sviluppo straordinario, riconducibile alle formidabili ricadute di queste tecnologie, alla riconosciuta eccellenza della nostra ricerca accademica e industriale, alla capacità delle imprese italiane di tradurre l'innovazione in prodotti di valore.

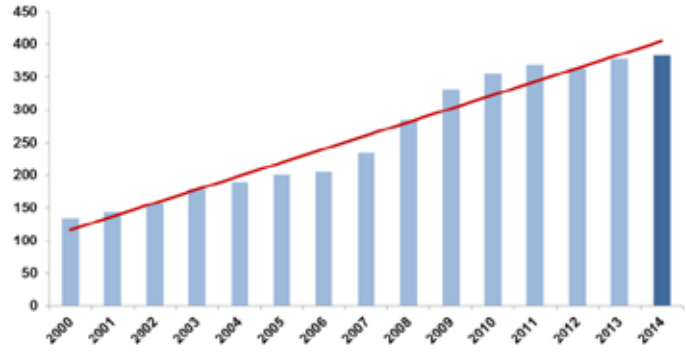


FIG. 87 – IL NUMERO DI IMPRESE BIOTECH IN ITALIA NEGLI ULTIMI 15 ANNI

Sono 384 le imprese attive in Italia nei diversi segmenti delle biotecnologie della salute (Red Biotech), di quelle agroalimentari (Green Biotech) e industriali (White Biotech). Più della metà (251) sono imprese pure biotech, che hanno come core business attività legate prevalentemente alle biotecnologie; tra queste, le pure biotech a capitale italiano sono 225.

Con un incidenza media degli investimenti in R&S sul fatturato del 19% – che sale al 31% per le pure biotech italiane – l'industria biotech si conferma essere uno dei comparti a più elevata intensità di innovazione.

Rilevazione al 31.12.2014	Totale imprese		Pure biotech italiane	
Numero di imprese	384	+1,6%	225	+0,9%
Fatturato	7.726.415	+4,2%	603.868	+2,4%
Investimenti	1.501.133	+4,5%	185.819	+1,8%
Addetti in R&S	7.285	+2,8%	1.992	+1,1%

FIG. 88 – VALORI ECONOMICI IN MIGLIAIA DI EURO €/000

Le percentuali riportate si riferiscono agli scostamenti rispetto alla rilevazione precedente, su campioni omogenei

La struttura industriale

Quasi l'80% delle imprese biotech italiane è di dimensione micro o piccola (avendo, rispettivamente, meno di 10 e meno di 50 addetti). Considerando le sole imprese pure biotech italiane, tale percentuale aumenta sino al 93%, a riprova del fatto che la forza trainante dell'industria biotech italiana è costituita dalle tante PMI innovative e start-up, che vivono di ricerca.

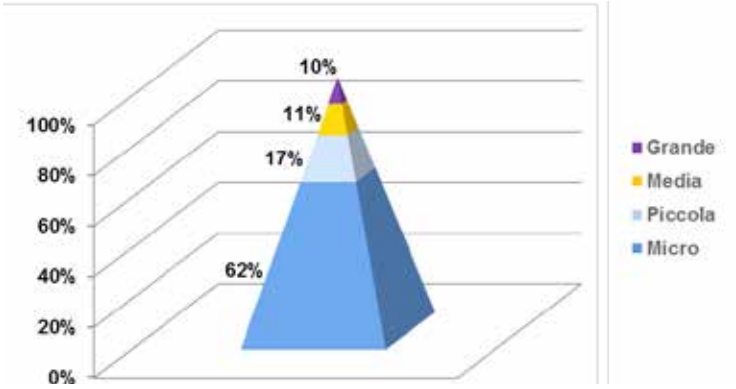


FIG. 89 – ANALISI PER DIMENSIONE DELLE IMPRESE BIOTECH

La maggioranza delle imprese biotech è localizzata nel Nord e Centro Italia, con ben 117 imprese in Lombardia. Quasi la metà delle pure biotech italiane si concentra presso i Parchi Scientifici e Tecnologici (PST) egli incubatori, autentici poli di aggregazione tra ricerca, imprese e capitale; le restanti imprese sono localizzate presso università o centri di ricerca (25%) o hanno sede autonoma (28%).

La maggioranza (66%) delle imprese biotech nasce come start-up, spin off accademico o spin off industriale. Tale percentuale aumenta significativamente (84%) limitando l'analisi al sottogruppo delle pure biotech italiane.

In linea con quanto osservato a proposito del rapporto tra gli investimenti

in R&S e il fatturato, anche l'incidenza percentuale degli addetti in R&S sugli addetti totali risulta significativamente più elevata per le pure biotech italiane (49%), rispetto al totale imprese (18%).

A conferma del fatto che l'industria biotech italiana costituisce uno dei settori industriali a più elevato contenuto di innovazione, più dell'80% degli addetti in R&S vanta una laurea specialistica o un dottorato di ricerca (PhD).

Settori di applicazione: red, green e white

Più della metà delle imprese censite è attiva nel settore Red Biotech (277); sono invece rispettivamente 95 e 76 le imprese attive nei settori Green e White. A conferma della natura trasversale delle biotecnologie, 58 imprese operano in più di un settore di applicazione.

Red Biotech

Come negli altri Paesi, anche in Italia a trainare l'intero comparto è il segmento delle biotecnologie della salute, in cui opera la grande maggioranza delle imprese (72%) e che rappresenta, da solo, una quota preponderante del fatturato totale (96%) e degli investimenti dell'intero comparto (94%), alimentando un numero crescente di progetti, sia sul fronte della diagnosi che della terapia, volti a migliorare l'intero percorso di cura dal punto di vista clinico ed economico.

Rilevazione al 31.12.2014	Totale imprese		Pure biotech italiane	
Numero di imprese	277	+0,4%	161	0%
Fatturato	7.458.537	+4,3%	434.693	+3,3%
Investimenti	1.413.493	+4,2%	141.863	+0,8%
Addetti in R&S	5.761	+1,6%	1.175	-0,3%

FIG. 90 – VALORI ECONOMICI IN MIGLIAIA DI EURO €/000

Le percentuali riportate si riferiscono agli scostamenti rispetto alla rilevazione precedente, su campioni omogenei

Con un investimento complessivo in R&S pari al 33% del loro fatturato o dei costi operativi, le imprese pure biotech italiane attive nel settore Red destinano ingenti risorse allo sviluppo di tecnologie e prodotti altamente innovativi.

Pipeline delle pure biotech italiane

Complessivamente, la pipeline delle pure biotech italiane, conta 158 progetti, di cui 45 si trovano in fase di discovery, 65 in fase preclinica e 48 in fase di sviluppo clinico. Anche quest'anno, emerge una chiara correlazione tra le aree terapeutiche prioritarie delle pure biotech italiane e quelle patologie che an-

cora oggi non trovano risposte terapeutiche adeguate: l'oncologia resta l'area terapeutica con il più alto numero di progetti in fase preclinica e clinica (47%), seguita dall'area delle malattie infettive (13%) e dalla neurologia (9%).

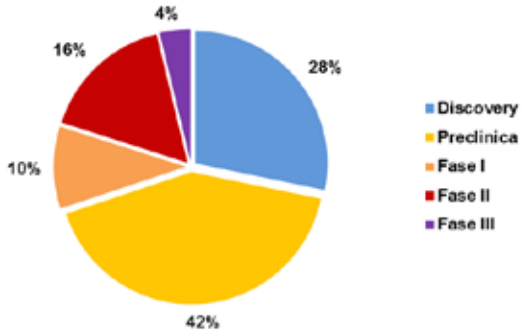


FIG. 91 – PROGETTI IN FASE DI SVILUPPO

Il 45% dei progetti in pipeline è composto da biofarmaci che includono, per definizione, anticorpi monoclonali (14%), proteine ricombinanti (17%) e Terapie Avanzate (14%).

Le imprese pure biotech italiane confermano l'eccellenza scientifica raggiunta nel campo delle Malattie Rare: sono 9 le imprese ad aver ottenuto un'Orphan Drug Designation per 14 progetti, di cui già 4 sono in Fase III.

Sono 3 i prodotti frutto della ricerca di pure biotech italiane ad aver ottenuto l'autorizzazione all'immissione in commercio (AIC) da parte della Commissione Europea:

- il Defibrotide (Defitelio®), un prodotto salvavita sviluppato da GentiumS.p..A. per il trattamento della malattia veno-occlusiva (VOD) epatica grave (AIC nel 2013);
- la Safinamide (Xadago®), terapia sviluppata da NewronPharmaceuticals S.p.A. per la terapia di pazienti affetti da malattia di Parkinson in stadio medio-avanzato (AIC nel 2015);
- Holoclar®, primo prodotto di terapia a base di cellule staminali autologhe approvato e formalmente registrato nel mondo occidentale, sviluppato da Holostem Terapie Avanzate S.r.l. per la cura di pazienti con gravi ustioni della cornea (AIC nel 2015).

Green biotech

L'introduzione delle nuove tecniche di ingegneria genetica ha drasticamente cambiato la prospettiva di migliorare la produttività e la qualità di molte varietà vegetali, nel pieno rispetto della sostenibilità e della qualità dell'intera catena

alimentare. Nonostante le molte limitazioni nell'utilizzo degli OGM, le imprese biotech italiane contribuiscono a migliorare il valore nutrizionale delle produzioni animali e vegetali, e la sostenibilità dell'intera catena alimentare italiana.

Rilevazione al 31.12.2014	Totale imprese		Pure biotech italiane	
Numero di imprese	95	+2,2%	61	+3,4%
Fatturato	84.504	-4,2%	36.953	-14,8%
Investimenti	23.844	+3,9%	9.808	+5,5%
Addetti in R&S	792	+4,5%	465	+1,1%

FIG. 92 – VALORI ECONOMICI IN MIGLIAIA DI EURO €/000
Le percentuali riportate si riferiscono agli scostamenti rispetto alla rilevazione precedente, su campioni omogenei

White biotech

In un'Europa che produce il 75% degli enzimi utilizzati dall'industria chimica, alimentare, cartaria, tessile e dell'energia, le biotecnologie industriali giocano un ruolo di primo piano nella trasformazione dei processi convenzionali in una prospettiva di efficienza e sostenibilità crescenti.

In quest'ottica l'industria italiana gioca un ruolo di primo piano inaugurando la prima bioraffineria avanzata, in grado di produrre bioetanolo da residui agricoli.

Al potenziale applicativo delle biotecnologie, l'Europa associa un modello di crescita intelligente, sostenibile e inclusiva, chiamato Bioeconomia, basato sull'uso di risorse biologiche rinnovabili, in grado di rilanciare il proprio sistema industriale e creare nuova occupazione. In termini di produzione, la Bioeconomia vale in Italia più di 240 miliardi di euro, pari al 7,6% del valore totale della produzione nazionale, così come rilevato da un recente studio condotto dal Centro Studi Intesa Sanpaolo, in collaborazione con Assobiotec e con il nova-Institut tedesco.

Rilevazione al 31.12.2014	Totale imprese		Pure biotech italiane	
Numero di imprese	76	+8,57%	40	+8,11%
Fatturato	183.375	+2,74%	132.824	+5,38%
Investimenti	63.796	+10,78%	34.148	+6,01%
Addetti in R&S	732	+11,36%	352	+6,02%

FIG. 129 – VALORI ECONOMICI IN MIGLIAIA DI EURO €/000
Le percentuali riportate si riferiscono agli scostamenti rispetto alla rilevazione precedente, su campioni omogenei

Anche se il mercato del Venture Capital rimane ancora poco sviluppato nel nostro Paese (1% sul totale degli investimenti VC in Europa di 864 milioni di $), negli ultimi due anni alcune delle pure biotech italiane hanno generato accordi per un valore complessivo di oltre 5 miliardi di euro, a fronte un investimento di qualche centinaia di milioni, dimostrando ancora una volta, di avere le carte in regola per partecipare all'affermazione della Bioeconomia e al rilancio del sistema dell'innovazione nel Paese.

Con un accesso relativamente contenuto al capitale di rischio, tra le diverse opportunità di finanziamento cui le pure biotech italiane attingono per finanziare le proprie attività di R&S, l'incidenza maggiore (40% dei casi) è quella del finanziamento pubblico.

A tal proposito, risultano fondamentali le misure varate dal Governo volte a fare dell'innovazione la chiave della competitività del nostro sistema industriale, tra cui il riconoscimento dello status di Start up innovativa, l'introduzione di un Credito d'imposta sulla ricerca, l'adozione di un regime di tassazione agevolata sui redditi da proprietà intellettuale (Patent Box) e il riconoscimento dello status di PMI innovativa.

TECNOLOGIE PRIORITARIE

1. Genomica
2. Proteomica e metabolomica
3. Nuove tecnologie applicate al Drug Discovery
4. Diagnostica in vitro
5. Nanotecnologie
6. Produzione di Biomolecole
7. Imaging molecolare
8. Tecnologie Mini-Invasive
9. Tecnologie per le Terapie Avanzate
10. Applicazioni e tecniche di impiego dell'azoto liquido in campo industriale ed a supporto dell'attività di ricerca & sviluppo

RISORSE ECONOMICHE TOTALI

Circa 280-350 milioni di euro.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 1

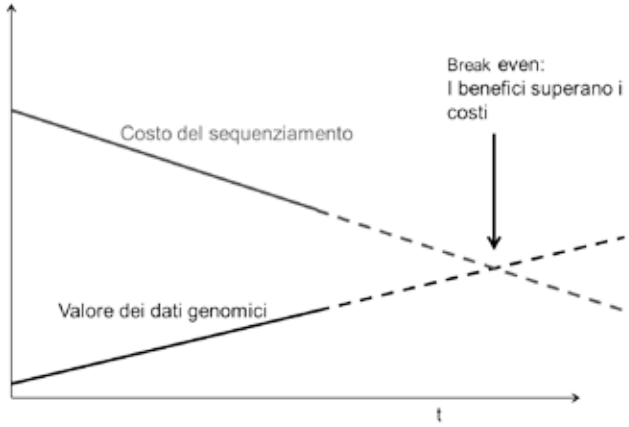
GENOMICA

DESCRIZIONE

Sequenziamento del DNA

Da quando nel 1953 è stata scoperta la struttura del DNA, l'obiettivo principale della biologia molecolare è stato quello di decifrare le informazioni in esso contenute per capire in profondità i meccanismi di funzionamento degli organismi viventi. In questo percorso scientifico, ancora lontano dal compiersi pienamente, uno dei traguardi più importanti che sono stati raggiunti finora è stato lo sviluppo di tecniche che permettono di tradurre completamente i dati che sono scritti nel DNA come sequenze ordinate delle quattro basi A-T-G-C, in una forma facilmente leggibile e manipolabile.

Le prime tecniche che hanno reso di fatto possibile questo passaggio sono state sviluppate da Frederick Sanger sul finire degli anni '70 e da allora sono state continuamente perfezionate, aumentando la velocità, la precisione e la quantità di dati sequenziati, ma soprattutto diminuendo i costi. Questo ha permesso di arrivare nel 2000, con lo "Human Genome Project", a sequenziare completamente il DNA di un essere umano, in dieci anni di lavoro e ad un costo complessivo di 3 miliardi di dollari. Da allora, l'automazione del metodo ha permesso la riduzione del costo di un fattore 10 in sei anni, passando da 100M$ del 2001 ai circa 10M$ del 2007. L'introduzione dei metodi di seconda generazione ha poi ridotto i costi di un fattore 1000 in soli 4 anni, arrivando nel 2011 a 10K$ per intero genoma. Da allora però, la discesa è rallentata ed il costo del sequenziamento si è assestato poco sotto i 5k$ per genoma nel 2014.



Parallelamente, grazie soprattutto all'applicazione della tecnologia dei microarray è stato via via possibile scoprire correlazioni tra sequenze presenti nel DNA e informazioni utili per la salute. Queste due tendenze, schematizzate nella figura precedente, lasciano facilmente prevedere che in un breve futuro si raggiungerà un "punto di rottura": quando il valore dell'informazione genetica sarà molto superiore al costo necessario per ottenerla, sarà così conveniente che il sequenziamento del proprio genoma potrebbe diventare un fatto comune per tutti.
Uno scenario ipotizzato da molti, prevede che ogni individuo abbia il proprio genoma sequenziato in giovane età, o perfino prima della nascita (in fase fetale) e i dati raccolti divengano disponibili per tutta l'esistenza, per ogni esigenza terapeutica. In questo modo si andrebbero a sostituire tutti i singoli test genetici specifici della vita con un solo singolo sequenziamento.

Nutrigenetica

La scienza che studia i rapporti tra il patrimonio genetico e alimenti è nota con il nome di **nutrigenetica**. Essa studia come particolari geni siano in grado di interagire con i metaboliti, cercando di individuare le varianti genetiche che sottendono alla risposta individuale a specifici nutrienti. Grazie alle recenti tecnologie di biologia molecolare è stato possibile dimostrare una diretta correlazione tra alimenti e geni. L'interazione tra DNA e alimenti è stata scientificamente dimostrata: persone diverse rispondono in modo molto diverso agli stessi alimenti. Capire come queste interazioni interindividuali siano geneticamente definite è stata un'importante sfida della biologia molecolare degli ultimi anni.
La popolazione umana presenta un elevato numero di varianti geniche note come **polimorfismi.** Essi possono determinare alterazioni nell'espressione di un gene o modificazioni funzionali a livello della relativa proteina. Nel caso di geni coinvolti nel **metabolismo** essi possono quindi influenzare il modo in cui un nutriente viene metabolizzato, determinando importanti differenze metaboliche. La presenza di specifiche varianti geniche non determina di per se' una malattia, tuttavia, se associate a una scorretta introduzione di particolari nutrienti (**interazione DNA/ambiente**), possono riflettersi in una diversa **predisposizione** verso specifiche situazioni patologiche. Analisi su larga scala hanno evidenziato che particolari varianti geniche sono associate a predisposizione a malattie quali diabete, malattie cardiovascolari, osteoporosi e addirittura alcune forme di cancro. Alcuni di queste varianti possono anche determinare una maggiore suscettibilità verso alcune **intolleranze alimentari** (es lattosio, glutine ecc.).
L'osteoporosi è un esempio di patologia la cui predisposizione risulta legata ad una interazione DNA/ambiente. La vitamina-D gioca un ruolo cruciale nell'omeostasi del calcio e del fosfato. In questo caso, un polimorfismo localizzato sul gene per il recettore della vitamina D presenta una variante genica che determina un ridotto assorbimento del calcio a livello intestinale. In donne che assumono poco calcio (<680mg/d), la presenza di tale variante incrementa del 132% il rischio di osteoporosi.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Sequenziamento del DNA

Le tecniche attuali di sequenziamento più avanzate fanno parte della cosiddetta "seconda gene-

razione" che ha reso possibile l'enorme abbattimento dei costi attorno al 2007. Queste tecniche sembrano ormai mature e non ci si aspetta che possano portare ad ulteriori significativi risparmi nel costo di sequenziamento. Inoltre hanno alcune limitazioni che vanno superate, legate alla enorme necessità computazionale necessaria e a caratteristiche intrinseche del metodo stesso.
Per tutti questi motivi, e favorita dalla spinta legata allo sviluppo delle nanotecnologie, è partita una corsa allo sviluppo delle tecnologie di sequenziamento cosiddette di "**terza generazione**", che promettono il superamento dei limiti della seconda generazione e soprattutto la discesa del costo del sequenziamento dell'intero genoma al di sotto del limite simbolico dei 1000$.
Tra la miriade di tecniche proposte non ne è ancora emersa una chiaramente predominante, e lo stato di sviluppo non le rende ancora competitive con le più mature tecniche di seconda generazione, ma tutte presentano alcuni tratti comuni che le unificano:

- Innanzitutto, l'utilizzo di strutture di dimensioni nanometriche, realizzate con tecnologie di fabbricazione fotolitografiche mutuate dalla microelettronica. Queste strutture soprattutto microfluidiche e micromeccaniche, sono spesso affiancate da componenti elettronici attivi e ottici, realizzati sullo stesso substrato con precisioni altissime.
- Il DNA di partenza è rappresentato da una singola molecola intera e non frammentata né amplificata. Questo permette di eliminare il processo di shotgun, risparmiando tempo e aumentando la qualità preservando le informazioni epigenetiche.

Cominciano ad essere presenti sul mercato delle tecnologie che vanno oltre la seconda generazione. La più promettente fra queste, nonostante introduca elementi nuovi che vanno verso la terza generazione, mantiene molti aspetti tipici della seconda generazione, rendendo controversa la sua precisa collocazione.
Per contro, tecnologie che sono inequivocabilmente classificabili come di terza generazione sono quelle basate sui nanopori, ovvero delle strutture che permettono il passaggio di una singola molecola di DNA attraverso una membrana e misurano elettricamente l'effetto delle singole basi, permettendo una lettura diretta della sequenza.
I primi prototipi basati su questo principio sono stati presentati solo recentemente e resi disponibili ad alcuni laboratori selezionati per le validazioni preliminari sul campo. Contemporaneamente, aziende competitors stanno apportato miglioramenti alla tecnica base dei nanopori per migliorarne le prestazioni e differenziarne le applicazioni. La tecnologia è però ancora in fase di sviluppo e i primi prodotti non appariranno sul mercato ancora per alcuni anni.

Nutrigenetica

L'associazione di polimorfismi ad una diversa suscettibilità verso specifiche patologie, suggerisce come lo studio della nutrigenetica possa rappresentare, nel vicinissimo futuro, un'applicazione indispensabile per uno screening dei singoli individui. La parola chiave è **PREVENZIONE**. Per ciascuna patologia il momento in cui si interviene infatti è cruciale. Se il profilo genetico di una persona viene analizzato con un certo anticipo, le contromisure avranno una maggiore possibilità di successo.
I principali obiettivi dell'analisi genetica nutrizionale riguardano:

- Stabilire raccomandazioni dietetiche in grado di minimizzare il rischio associato all'assunzione non corretta di determinati alimenti, prevenire l'insorgere di malattie o ripristinare in

tempi brevi un equilibrio metabolico
- Identificare le varianti geniche coinvolte in patologie quali obesità, diabete ecc., allo scopo di sviluppare regimi dietetici per il controllo di **malattie croniche**

Il focus ultimo della nutrigenetica è quello di introdurre pannelli di **screening metabolici** sempre più completi e "mirati" che porteranno infine alla maggior diffusione di una "**nutrizione individualizzata**".

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Sequenziamento del DNA

Relativamente alle opportunità di sviluppo economico create dall'affermazione delle tecnologie di sequenziamento, se consideriamo il business primario dei sistemi di sequencing, le prospettive per l'Italia sono molto limitate. Il mercato oggi è dominato da pochissime aziende che, anche a fronte di acquisizioni e consolidamenti, sono arrivate a controllare completamente il mercato. Con l'espansione del mercato ci sarà sicuramente spazio per l'ingresso di nuovi players, ma in questo momento non sembra che esista una realtà industriale nelle condizioni di affrontare l'entità degli investimenti necessari e il grado di rischio associato.

Nutrigenetica

La nutrigenetica rappresenta una nuova e promettente area di sviluppo.
Da una esame della letteratura scientifica emerge come più di 200 studi siano stati pubblicati in America nel solo anno 2013, con l'Italia come settimo paese (fig. 94). La maggior parte di queste pubblicazioni riguardano gli ambiti della medicina, della genetica, della biologia molecolare e delle scienze agricole dimostrando il forte interesse per queste aree.
Le aziende che offrono servizi di nutrizione personalizzata basata sulla nutrigenetica sono in crescente aumento soprattutto all'estero mentre in Italia la sua diffusione è iniziata più recentemente. È ipotizzabile che il mercato legato alla nutrigenetica vada incontro nei prossimi anni ad una rapida crescita, soprattutto grazie allo sviluppo di pannelli sempre più completi e sensibili.

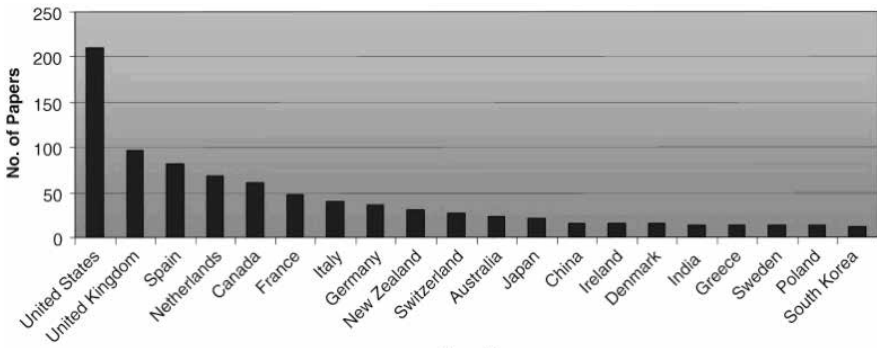


FIG. 94 – NUMERO DI LAVORI SCIENTIFICI SULLA NUTRIGENETICA NEL 2013

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 2
PROTEOMICA E METABOLOMICA

DESCRIZIONE

Proteomica

Le proteine sono gli attori biochimici nei processi cellulari di conseguenza le malattie o gli stati patologici quasi sempre si manifestano a livello di proteine. Inoltre le proteine sono il target della maggior parte dei farmaci disponibili. Per questo l'analisi di specifiche proteine di interesse farmacologico è prassi comune nella ricerca biologica e medica. Le tecniche tradizionalmente usate sono basate su gel di separazione e anticorpi per riconoscere e/o identificare le proteine in studio. Nell'era dell'analisi di interi genomi e della "systembiology" è importante poter determinare come la totalità delle proteine espresse, cioè il proteoma, varia nel sistema biologico di interesse. In pratica, questa possibilità, trasforma il tradizionale approccio della ricerca biomedica dall'analisi "proteina per proteina" all'esplorazione dell'intero proteoma cellulare. Di fatto, la caratterizzazione accurata su larga scala delle proteine di un sistema biologico ha dovuto attendere lo sviluppo di metodi di analisi potenti, il più importante dei quali si basa sulla spettrometria di massa, un metodo di misura praticamente universale, altamente specifico e sensibile fino al livello della singole molecole. È bene sottolineare che la proteomica è idealmente complementare ai metodi usati in genomica, come ad esempio ai microarrays, che sono molto potenti nel generare dati a livello di DNA o RNA, ma che per loro natura non possono interrogare direttamente il proteoma.

A differenza del genoma, il proteoma ha un ampio range dinamico e varia in funzione del tempo e della condizione. Se consideriamo modificazioni post-translazionali e isoforme proteiche, la definizione della composizione proteica di un determinato sistema biologico può essere soggetta a diverse interpretazioni. In maniera più restrittiva si può pensare al proteoma come a tutte le proteine identificabili in un dato sistema biologico, utilizzando le migliori metodologie disponibili. Alternativamente, il proteoma può essere inteso come l'identificazione di una o più proteine rappresentative di ognuno dei geni che codificano per proteine. In una visione ancora più ampia, il proteoma può anche essere inteso come la caratterizzazione di tutte le possibili isoforme e stati di modificazione post-trasduzionale di tutte le proteine espresse. Dal punto di vista biologico, l'identificazione e la quantificazione di almeno una proteina per ogni gene espresso in un sistema biologico sarebbe già sufficiente a fornire un elevato numero di informazioni utili.

Le fasi più importanti nello studio della proteomica che hanno subito in pochi anni una rapida evoluzione e ottimizzazione sono:

1. **La preparazione del campione per l'analisi mediante tecniche di spettrometria di massa**: le tecniche di preparazione del campione sono progressivamente migliorate e attualmente tutte le classi di proteine possono essere studiate, comprese quelle poco abbondanti, come i fattori di trascrizione, o difficili da estrarre come le proteine di membrana.

2. **La quantificazione delle proteine che costituiscono il proteoma del sistema biologico in studio**: i principali miglioramenti in questo ambito hanno riguardato gli spettrometri di massa che sono diventati molto veloci nell'acquisizione dei dati, molto sensibili e in grado di misurare contemporaneamente proteine presenti nel campione a concentrazione molto diversa.
3. **L'analisi dei dati**: parallelamente all'evoluzione hardware degli spettrometri di massa si è sviluppata la cosiddetta "proteomica computazionale" per permettere la gestione, l'elaborazione e l'interpretazione dell'enorme massa di dati acquisiti negli esperimenti di proteomica.

I metodi più accurati per la comparazione quantitativa di due o più proteomi sono basati sulla incorporazione metabolica di isotopi leggeri e pesanti nei proteomi che devono essere confrontati. Un metodo alternativo molto usato è quello della marcatura chimica con reagenti contenenti isotopi stabili; marcando due proteomi con reagenti che differiscono di poco in termini di massa è possibile confrontare l'abbondanza delle proteine dei proteomi, andando a ricercare lo shift di massa indotto dalla marcatura sulle singole proteine.
Un altro approccio è quello denominato quantificazione "label-free", in cui vengono paragonati direttamente i segnali di massa delle proteine di due differenti proteomi. Questo metodo è meno accurato del metodo basato sull'incorporazione metabolica di isotopi leggeri e pesanti.

Metabolomica

Se gli acidi nucleici (DNA e RNA) rappresentano l'inizio della catena di causa-effetto di tutti i meccanismi biochimici a livello cellulare, l'ultimo evento è la creazione dei metaboliti, cioè i prodotti finali delle reazioni chimiche della cellula. Una loro misura precisa è, quindi, altrettanto utile ai fini diagnostici, soprattutto per il fatto che i metaboliti sono presenti in campioni facilmente acquisibili (es. sangue o urina). Il pattern metabolico è rappresentato da un numero notevole di molecole semplici, la cui analisi può essere fatta singolarmente con tecniche classiche di chimica analitica, pertanto tradizionalmente l'indagine è limitata a poche molecole più comuni. Negli ultimi tempi questo scenario sta subendo dei cambiamenti radicali. La possibilità di misurare contemporaneamente un numero sempre più elevato di metaboliti con un test semplice e unico permette di aumentare la molteplicità e, quindi, il livello informativo del test. Questo tipo di approccio viene chiamato metabolomica. La metabolomica descrive il profilo chimico in termini dei metaboliti a basso peso molecolare presenti in cellule, tessuti, organi e fluidi biologici. I metaboliti possono essere visti come il prodotto finale dell'espressione genica o dell'attività proteica (enzimi), che definiscono così il fenotipo biochimico di un sistema biologico nel suo insieme. Diversi studi hanno focalizzato la metabolomica come indagine per lo sviluppo di metodi per la diagnosi di stati patologici, per lo studio della loro progressione e per la valutazione dell'efficacia terapeutica attraverso la conoscenza dei meccanismi molecolari delle patologie. La metabolomica e in grado di studiare la complessità metabolica delle cellule, dei tessuti, come anche di interi organismi.
Questa tecnologia si avvale di due fasi sequenziali principali:

1) una fase sperimentale, basata su analisi effettuate con i metodi spettroscopici di analisi metabolica. I principali metodi spettroscopici sono: NMR per valutare composti a basso peso molecolare, la gascromatografia spettrometrica di massa (*gas chromatography-mass spec-*

trometry, GC-MS) e la cromatografia liquida spettrometrica di massa (*liquidchromatography-mass spectrometry*, LC-MS);

2) l'analisi multivariata dei dati e la loro interpretazione; quest'ultima fase prevede anche la consultazione di apposite librerie di dati.

Dopo le due fasi sequenziali principali, la fase successiva è rappresentata dall'estrazione e dall'interpretazione delle informazioni in un contesto biologico complesso, caratterizzato dalla grande quantità di dati prodotta dalle tecnologie viste sopra.

Esistono almeno tre differenti approcci concettuali in metabolomica:

1) l'*analisi target* è applicata da molto tempo e comprende la determinazione e la quantificazione di un piccolo insieme di metaboliti noti (obiettivi), utilizzando una particolare tecnica analitica specifica;
2) il *profilo metabolico* mira all'analisi di un grande set di composti, sia pre-identificato sia sconosciuto rispetto alla loro natura chimica;
3) l'*impronta metabolica*, la "firma" o il profilo di massa del campione di interesse viene generata e quindi confrontata in un ampio campione di popolazione per valutare le differenze tra i dati. Quando i segnali in grado di discriminare in modo significativo i campioni vengono rilevati, i metaboliti sono identificati e la rilevanza biologica di tali composti può essere chiarita notevolmente.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Proteomica

Lo studio del proteoma umano offre enormi potenzialità. La prima e più generale è la possibilità di capire la correlazione tra genoma e fenotipo. La proteomica può essere utilizzata in diversi ambiti, come la comprensione della patologia del cancro o altre patologie o la diagnostica o più specifici come per esempio la proteomica delle cellule staminali o altre linee cellulari o tessuti. Altre importanti potenzialità, riguardano l'utilizzo di questa tecnologia per lo sviluppodi diagnostici e di farmaci, con nuove opportunità nella ricerca biomedica e i futuri sistemi sanitari.Ad esempio, le informazioni ricavate dai progetti di proteomica possono essere utilizzate nell'ambito dell'identificazione di biomarker, che possono essere impiegati nella clinica medica per diagnosticare l'insorgere di una malattia, monitore il suo progredire e l'effetto di una terapia. Da non trascurare è l'importanza dell'integrazione dei dati tra proteomica, genomica e metabolomica che fornisce maggiore confidenza nella scelta del biomarker. L'area dello studio dei biomarker è molto importante nella moderna medicina, perchè permette diagnosi certe e precoci di malattie e di conseguenza ne favorisce la prognosi.

Lo sviluppo di una "road map" per la traduzione delle tecnologie proteomiche in strumenti clinici richiede la stretta collaborazione tra ricercatori di diversa estrazione, con una forte partnership tra pubblico e privato. Attualmente le tecnologie necessarie per un laboratorio di proteomica si basano sull'utilizzo di spettrometri di massa ad alta risoluzione in strutture con personale altamente qualificato. Questo rappresenta il punto più debole della moderna proteomica. Infatti, i mezzi a disposizione dei laboratori leader nel settore sono difficilmente accessibili all'intera comunità

scientifica biomedica. Considerato l'enorme potenziale della moderna proteomica, è fondamentale che più risorse vengano investite per rendere le tecnologie disponibile a una più vasta comunità scientifica.

Metabolomica

Negli ultimi anni, gli sviluppi tecnologici hanno incrementato notevolmente l'acquisizione di nuove conoscenze nel campo della metabolomica. Lo studio del metabolismo cellulare sta emergendo come un campo di assoluta importanza in svariati campi di ricerca biomedica, come le malattie neurologiche, autoimmuni e nelle patologie tumorali. Studi recenti dimostrano una relazione stretta fra i sistemi di trasduzione del segnale e i meccanismi di regolazione del metabolismo cellulare. Questo, di fatto, mette in luce la rilevanza crescente dell'alimentazione corretta come disciplina di prevenzione e cura delle malattie. Emerge perciò la necessità di promuovere e sostenne la ricerca in questo campo, allo scopo di incentivare la conoscenza delle alterazioni dei processi metabolici che si verificano nelle malattie. Lo studio del metabolismo a livello sistemico, cioè in grado di quantificare e analizzare la dinamica di decine o centinaia di metaboliti in contemporanea (approccio ad alto rendimento), è oggi reso realistico grazie a nuove tecnologie e all'accoppiamento con metodologie di analisi bioinformatiche.

È quindi necessario promuovere:

1) la realizzazione di una rete di servizi tecnologici in grado di fornire un servizio per l'analisi metabolomica ad alto rendimento di campioni biologici;

2) mettere a disposizione fondi specifici per lo sviluppo di progetti di ricerca di ampio respiro focalizzati sullo studio del metabolismo nelle malattie umane. L'integrazione fra laboratori di servizi e laboratori sperimentali di ricerca è necessaria per creare un'infrastruttura non più dipendente da servizi esterni, spesso internazionali, assai costosi e non sempre efficienti. Inoltre, il coinvolgimento dei clinici è essenziale per avere accesso a campioni biologici derivati dai pazienti e per contestualizzare i progetti. È, infine, necessario promuovere la ricerca in campo bio-informatico, allo scopo di mettere a punto le procedure necessarie all'analisi della massa di dati derivata dalle quantificazioni sperimentali.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA ED ALL'ESTERO

Le ricerche proteomiche e metabolomiche hanno dato un grande impulso allo sviluppo di tecnologie, che permettono lo studio delle proteine e dei metaboliti senza necessità di una loro purificazione e/o isolamento. Tali tecnologie "omiche" (o "omics") stanno rendendo possibile lo studio su vasta scala (high through put) di campioni complessi e la definizione a livello molecolare di un quadro d'insieme dei processi e dei sistemi biologici. Tali dati, insieme con quelli derivati dalla genomica, costituiscono la base per una rapida espansione delle conoscenze sul funzionamento del singolo gene, sulle complesse interazioni multigeniche, sui processi e le interazioni tra le varie molecole, eventi che nell'insieme determinano i comportamenti biologici osservabili su varia scala. Più recentemente, l'applicazione delle tecnologie omiche si è estesa ulteriormente, comprendendo anche lo studio di interazioni complesse (ad esempio interazione tra proteine e farmaci). Tutto questo risulta di particolare interesse nell'ottica della tematica salute, sia per gli

aspetti medici sia per quelli nutrizionali ed ambientali, in quanto la definizione a livello molecolare e supramolecolare degli stati fisiologici e patologici nell'uomo e delle loro variazioni a seguito di modifiche indotte, sembra poter costituire una solida base per la realizzabilità di una "Medicina di precisione o personalizzata".

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 3

NUOVE TECNOLOGIE APPLICATE AL DRUG DISCOVERY

DESCRIZIONE

L'identificazione e la caratterizzazione di nuovi prodotti farmaceutici e diagnostici, più selettivi ed efficaci, rappresenta una priorità di enorme interesse industriale. Infatti, la disponibilità di farmaci sempre più attivi è uno dei fattori che maggiormente contribuiscono ad elevare la qualità della vita e a contrastare patologie ad alto impatto sociale. In quest'ambito, lo sviluppo di nuove tecnologie applicate al "Drug Discovery", con ricadute in chimica farmaceutica, devono necessariamente accogliere le nuove sfide della ricerca e fornire ai ricercatori di raggiungere gli obiettivi strategici fissati a livello nazionale e comunitario, come riportati nei documenti nazionali delle programmazioni PON e POR, e del Programma HORIZON 2020 della Comunità Europea per il periodo 2014-2020. Tali obiettivi sono prevalentemente rivolti al trattamento di patologie croniche, quali diabete, tumori, patologie cardiovascolari e neurologiche che, insieme alle patologie rare e alle patologie dell'anziano, rappresentano i principali bisogni di cura della popolazione europea sia per il loro effetto sulla morbilità e sulla mortalità, che per la conseguente riduzione della qualità di vita. Analogo discorso vale per la ricerca mirata ad individuare nuove strategie di cura per disordini gravi quali l'obesità e le patologie infettive, globalmente diffuse.

Nel considerare l'impulso dato dallo sviluppo tecnologico alla chimica farmaceutica, il progresso nelle tecniche di disegno razionale di molecole, di chimica combinatoriale e lo sviluppo dell'High Throughput Screening (HTS) ha dimostrato che l'uso integrato di nuove tecnologie è in grado di accelerare il processo di identificazione di nuovi composti candidati allo sviluppo farmaceutico. Tra le tecnologie rilevanti nel settore farmaceutico, nel prossimo futuro, l'HTS riveste un ruolo chiave. Parallelamente, lo sviluppo di software avanzati per la bioinformatica, i miglioramenti della automazione e della strumentazione, porteranno ad ulteriori sviluppi in ambito di High Content Screening (HCS): una tecnologia innovativa che permette un'analisi multiparametrica su cellula singola, permettendo l'imaging simultaneo di diverse cellule viventi. L'analisi dei dati di HCS è un processo complesso rispetto ad altri saggi biologici in quanto l'effetto che si misura non è direttamente correlato all'effetto su un unico target ma è la combinazione di molti effetti cellulari che agiscono contemporaneamente, tenendo conto anche che molti di questi effetti sono più qualitativi e morfologici che quantitativi. Quindi l'implementazione delle tecnologie di Systems Biology e data mining sarà necessaria per mettere a disposizione dei ricercatori nuovi strumenti per l'identificazione dei pathways maggiormente coinvolti e per la valutazione degli effetti fenotipici osservati e combinare queste informazioni con l'effetto che le molecole inducono nel sistema studiato.

Il processo di scoperta del farmaco, che origina dallo screening massivo di librerie chimiche, va' integrato con ulteriori approcci per l'identificazione e l'ottimizzazione delle molecole. L'approccio razionale alla progettazione del farmaco (structure-based-drug design, BDD) è vincolato alla di-

sponibilità della struttura tridimensionale del bersaglio biologico, ottenuta principalmente mediante cristallografia a raggi X, o attraverso tecniche avanzate di risonanza magnetica nucleare (NMR). La conoscenza della struttura tridimensionale delle macromolecole coinvolte nei processi biologici è un passaggio fondamentale per comprendere la loro funzione e per sviluppare strategie in grado di modularne l'attività. Solitamente dopo una prima selezione di collezioni di molecole mediante HTS, è fondamentale potersi avvalere della struttura tridimensionale del target biologico, in modo da poter utilizzare tecniche di docking molecolare nelle successive fasi di ottimizzazione. Nel caso in cui non sia nota la struttura del bersaglio biologico, ma sia nota quella di un suo ligando, è possibile utilizzare tecniche di "ligand-based drug design" (LBDD) per identificare molecole con un profilo migliore. Un'altra tecnologia di drug discovery in pieno sviluppo si basa su tecniche di screening virtuale (virtual screening) per l'individuazione di composti capostipite. Queste metodiche di screening di tipo HTS *in silico* permettono di valutare l'interazione di librerie di molecole reali o virtuali, con un farmacoforo, o con un ligando a struttura nota, o con il modello sperimentale o teorico di una proteina bersaglio. Un ulteriore approccio innovativo è quello del "fragment-based drug design" (FBDD) che consente la progettazione di farmaci mediante l'analisi strutturale di frammenti chimici legati al target proteico. Questo approccio permette di vagliare un numero molto limitato (poche migliaia) di piccole molecole, I frammenti chimici così identificati vengono poi elaborati per ottenere nuovi composti guida per lo sviluppo di farmaci innovativi.

L'innovazione tecnologica per il drug discovery deve anche fornire dati per identificare nuovi *target* molecolari. Oltre ai bersagli già noti quali le chinasi, le fosfatasi e le proteasi in generale, vi sono importanti target molecolari terapeutici, che sono ignorati poiché difficili da perseguire secondo i dettami classici dello sviluppo di farmaci. Tra questi vi sono le proteine di membrana, i complessi macromolecolari multimerici, le proteine "scaffold" ed i target non proteici come l'RNA, di cui si conosce la rilevanza biologica ma si hanno limitate conoscenze strutturali e di "*druggability".* Nuove tecnologie, unite a competenze specifiche presenti in laboratori di ricerca non industriali, possono fornire le conoscenze per superare le difficoltà dell'industria a sviluppare farmaci contro *target* atipici, ad alto rischio. È necessaria quindi una forte spinta innovativa per la maggior condivisione di conoscenze, competenze e risorse per lo sviluppo di farmaci contro *target non convenzionali.*

Un altro approccio di forte rilevanza per la ricerca farmaceutica dei prossimi anni riguarda il riposizionamento di farmaci già in fase avanzata di sviluppo. Ad oggi, infatti, più di 7000 molecole sono in fase di sviluppo 2 e 3; per le quali la sicurezza in uomo è già stata dimostrata da studi di fase 1. Di questi candidati farmaci solo una minima parte supera le fasi di valutazione di efficacia e arriva sul mercato per una precisa indicazione terapeutica. Le principali cause di fallimento dello sviluppo dei farmaci dipendono non solo da problematiche di tollerabilità e tossicità che si palesano nelle prime fasi di sviluppo clinico, ma anche e soprattutto dalla mancanza di efficacia osservata nei pazienti relativamente ad un'indicazione specifica. L'errata definizione degli end point clinici per l'indicazione terapeutica proposta, la mancata dimostrazione dell'efficacia o la non significatività statistica dei risultati, portano ad un blocco nello sviluppo di molecole potenzialmente di grande valore scientifico ed economico, in quanto il loro sviluppo clinico ha un costo che va da milioni a centinaia di milioni di euro. In mancanza di strategie di riposizionamento questo enorme capitale

è inevitabilmente sprecato. La strategia del riposizionamento dei farmaci richiede un approccio interdisciplinare razionale, basato sulla comprensione del meccanismo d'azione e integrato alle conoscenze dei processi della malattia e degli specifici agenti terapeutici. I metodi computazionali esistenti partono o da una prospettiva chimica, basata sul farmaco, o da una prospettiva clinica, basata sulla patologia. Per integrare i due approcci sono necessari algoritmi innovativi da applicare in analisi computazionali per l'identificazione e lo sviluppo di "vecchi" farmaci per nuove indicazioni.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'industria farmaceutica del prossimo futuro sarà sottoposta a una pressione crescente derivante da diversi fattori ambientali, che includono le perdite economiche dovute alla scadenza dei brevetti, ai costi sempre più elevati dei sistemi sanitari nazionali e alle richieste sempre più stringenti delle agenzie regolatorie. Quindi, il numero di farmaci approvati negli ultimi anni ha subito un leggero aumento solo nel 2014 (35 farmaci approvati dall'FDA nel 2012, 27 nel 2013 e 41 nel 2014). Il costo stimato per lo sviluppo di un nuovo farmaco sul mercato è valutato intorno a 1.8 miliardi USD ed è un valore in crescita. Da queste premesse si comprende che, per poter sviluppare e potenziare i prodotti e i processi avviati negli ultimi anni nell'ambito della chimica farmaceutica, sono cruciali nuovi investimenti in moderne tecnologie.

Siamo nel mezzo di una transizione che vedrà il passaggio dall'utilizzo di modelli locali, basati su analisi statistiche, a modelli dinamici, che terranno conto della specifica fisiologia del paziente. In questa direzione si stanno muovendo le tematiche di alcune linee di ricerca europee, per esempio nell'ambito del Programma Horizon 2020. Infatti, alcuni progetti europei sono focalizzati su tematiche del tipo 'in silicoclinical trials" con l'evidente scopo di creare massa critica e di promuovere ricerca ed innovazione in questo settore emergente della modellistica di dati.

Forte impulso sarà dato allo sviluppo delle piattaforme scientifiche e tecnologiche, che permettano un approccio interdisciplinare per il trattamento di patologie ad elevato impatto sociale, e saranno incentivati studi finalizzati alla comprensione dei meccanismi molecolari delle malattie. Infatti, l'uso di tecnologie di screening più avanzate, applicate a collezioni di molecole meglio caratterizzate permetterà di ridurre i tempi di sviluppo e di limitare il rischio di fallimento associato alla scoperta di un nuovo farmaco. Tra le tecnologie a maggior impatto nel prossimo periodo, l'HTS ha un ruolo chiave. Le implementazioni future dovranno avere i seguenti obiettivi: lo sviluppo di saggi HTS (microHTS) ancor più miniaturizzati; lo sviluppo di screening HTS *in silico* sufficientemente accurati per vagliare a livello computazionale nuove molecole per il drug discovery; la *"target end point selection",* e lo sviluppo di nuove tecnologie cosiddette "label-free", già usate in formato non HTS per screening secondari su "hit compounds" selezionati e in fase di ottimizzazione del "lead compound".

La creazione e lo sviluppo di tecnologie computazionali interdisciplinari, focalizzate sulla comprensione del meccanismo della patologia, permetterà di trovare gli agenti terapeutici appropriati in tempi contenuti, grazie alle informazioni già disponibili sulle molecole in termini di farmacocinetica, safety e tossicologia.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Gli elevati investimenti necessari per sviluppare nuove tecnologie in campo chimico-farmaceutico, sia in termini di costose e sofisticate strumentazioni che in termini di risorse umane, rendono evidente la necessità, in Italia, di uno sforzo congiunto pubblico-privato per superare il gap con i paesi tecnologicamente più all'avanguardia, europei ed extra-europei, nei quali è sempre più forte e consolidata è la presenza di multinazionali farmaceutiche che, grazie alle risorse a disposizione, danno un forte impulso all'innovazione tecnologica del settore. Gli orientamenti tecnologici del prossimo periodo si focalizzeranno su nuovi target, quali i canali ionici, i trasportatori e le interazioni proteina-proteina. Sarà quindi essenziale la predisposizione di nuove tecnologie per drug design, per la corretta interpretazione dei dati e l'assemblaggio di librerie di molecole adeguate ai nuovi target, nell'ambito delle quali l'approccio combinatoriale e multi parallelo, insieme al rispetto dei principi di diversità e di mantenimento delle proprietà di "drug-likeness", sarà un prerequisito chiave per il successo dell'approccio.

In questi settori la maggior parte delle aziende farmaceutiche sta facendo investimenti sia autonomamente che, soprattutto, nell'ambito di collaborazioni strategiche con altre aziende e/o enti di ricerca o accademici, che possano contribuire con specifico know-how, sia in campo biologico che chimico di sintesi, dalla scala di laboratorio fino alla produzione industriale. A tale proposito, l'innovazione tecnologica si espleterà migliorando la sostenibilità dei processi produttivi, che abbiano un minimo impatto ambientale e che garantiscano all'industria italiana e europea un grado di competitività, nel campo della produzione di materie prime, che si è andata perdendo.

Anche le collaborazioni scientifiche sono in aumento grazie alla partecipazione ad iniziative europee nell'ambito de VII Programma Quadro e a iniziative finanziate dalle aziende quali l'IMI. In particolare, una delle più rilevanti iniziative IMI è la creazione della European Lead Factory, PPP progettata per promuovere l'innovazione, in drug discovery garantendo strette collaborazioni e miglior comunicazione tra i soggetti impegnati. L'Italia, a causa della sua frammentazione, non fa parte del Consorzio, né a livello di grandi né a livello di medio-piccole industrie farmaceutiche. Analoghe iniziative sono state implementate in Italia, quali il consorzio "Collezione Nazionale di Composti Chimici e Centro Screening (CNCCS)", consorzio pubblico-privato costituito nel 2010 dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e da IRBM Science Park, ed il gruppo di lavoro Italian Drug Discovery Group (IDDG) che, mettendo insieme istituti di ricerca, aziende farmaceutiche e CRO attive in drug discovery, promuove attività precompetitive. Altre iniziative europee da segnalare e che dovrebbero costituire i primi esempi di progetti di ampio respiro nel campo della drug discovery del prossimo futuro sono: a) lo Human Brain Project, progetto scientifico nel campo dell'informatica e delle neuroscienze che mira a realizzare, entro il 2023, attraverso un supercomputer, una simulazione del funzionamento completo del cervello umano; b) il Virtual Physiological Human (VPH), una sofisticata simulazione al computer che confronta i dati di uno specifico paziente con un database di dati sperimentali e simulati con l'obiettivo di poter prevedere la risposta di uno specifico paziente al trattamento somministrato. Nei prossimi 5 anni ci sarà un cambio sostanziale nella capacità di calcolo dei computer di prossima generazione; a tal fine la Commissione Europea, in ambito di programma H2020, ha finanziato con quasi un miliardo di euro i progetti capaci di sfruttare pienamente le opportunità che il calcolo exascale per-

metterà, a totale vantaggio di progetti innovativi in campo di drug discovery. L'Italia, pur avendo il centro di calcolo CINECA, che è secondo in Europa per potenza di calcolo, è ancora molto arretrata nello sfruttamento del super calcolo a favore di innovazione e vantaggio competitivo. Poiché nel mondo nel solo 2014 sono stati inaugurati 4 nuovi centri di calcolo per drug discovery, la creazione in Italia della massa critica di competenze e di progetti mediante il finanziamento di progetti mirati, permetterebbe all'intero sistema paese di giocare un ruolo di primo piano nel settore della ricerca di base nel drug discovery.

È evidente, quindi, che risulta importante per la competitività dell'Italia nel campo della chimica farmaceutica del prossimo futuro, garantire la continuità dell'investimento per finanziare il consolidamento di collaborazioni pubblico-privato esistenti e l'attivazione di nuove, anche mediante la partecipazione a consorzi di ricerca.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 4
DIAGNOSTICA IN VITRO

DESCRIZIONE

La diagnostica in vitro esegue test diagnostici all'interno di una provetta. Esempi ben noti sono l'analisi nelle urine o nel sangue dei livelli di glucosio. Il termine in vitro deriva dal fatto che storicamente le provette erano appunto in vetro.

Il concetto di diagnostica in vitro si contrappone a quello di diagnostica in vivo, nella quale i test diagnostici sono condotti direttamente nell'organismo vivente, mediante metodiche di visualizzazione di tessuti o di molecule specifiche, come la Risonanza Magnetica Nucleare o la Positron Emission Tomography.

I test in vitro ricoprono un ruolo fondamentale nel processo di diagnosi, prognosi e impostazione della condotta terapeutica. Inoltre, sono essenziali per il monitoraggio del decorso della patologia e quindi per verificare se la terapia sta ottenendo i risultati sperati o se deve essere cambiata.

La diagnostica in vitro deve individuare e spesso quantificare in maniera accurata, sensibile e specifica molecole di natura endogena (metaboliti, vitamine, ormoni) ma anche di natura esogena (proteine di origine virale).

Per definizione, la diagnostica in vitro viene effettuata in fluidi biologici del paziente, tessuti o cellule prelevati dal paziente stesso. Il fluido biologico più frequentemente utilizzato è il sangue, sia esso intero o sotto forma di plasma o siero. Nel sangue è normalmente possibile individuare e misurare la gran parte dei marker diagnostici di cui disponiamo. Un'altra ovvia matrice è rappresentata dalle urine. Per motivi specifici si utilizzano anche altre matrici, come il liquidocefalorachidiano (ad es. Infezioni virali del Sistema Nervoso Centrale).

La natura molecolare della molecola che si vuole identificare determina il metodo utilizzato per la diagnostica in vitro. La gran parte delle molecole di origine proteica si prestano alla generazione di anticorpi specifici in grado di legarsi in maniera specifica e ad alta affinità. In questi casi, il metodo più semplice è un test di immunodiagnostica, nel quale Il marker in questione è "catturato" da un anticorpo che viene a sua volta rilevato mediante tecniche radioisotopiche o più semplicemente fluorescenti o chemiluminescenti.

Alcuni marker tuttavia non hanno una struttura chimica adeguata per generare anticorpi. La Chimica Clinica è l'insieme delle tecniche che mediante reagenti opportuni che interagiscono con il marker in questione ne possono determinare la presenza in fluidi biologici.

La Diagnostica Molecolare ha invece il compito di rilevare e quantificare molecole di DNA e RNA, siano esse ancora una volta endogene (alterazioni genetiche congenite o acquisite come quelle del cancro) o esogene (sequenze di acidi nucleici specifiche di microorganismi). La maniera più semplice per rilevare gli acidi nucleici sono acidi nucleici sintetizzati in laboratorio la cui sequenza nucleotidica sia complementare al marker di DNA o RNA in questione. La Diagnostica Molecolare è

oggi costituita da un insieme complesso e in continua evoluzione di metodiche, che vanno dalle tecniche di amplificazione, al sequenziamento del DNA ai microarray.
I microRNA (miRNA) sono brevi filamenti di RNA che agiscono come regolatori post-trascrizionali svolgendo un ruolo essenziale nella patogenesi di numerose malattie. Possono quindi essere utilizzati sia come **biomarcatori** sia come **agenti terapeutici**. I miRNA sono ideali come biomarcatori perchè:

a) sono indicatori tessuto-specifici e patologia-specifici;
b) correlano con il grado di severità della patologia;
c) hanno un'elevata stabilità nei fluidi biologici.

Importanti pubblicazioni e brevetti dimostrano la diretta correlazione fra miRNA e patologie rare o di larga diffusione. Specifici miRNA (miR-1, miR-133 e miR-206), ad esempio, sono presenti all'interno di un brevetto italiano che correla il loro aumento nel siero alla progressione della Distrofia Muscolare di Duchenne. Pubblicazioni nell'ambito dell'oncologia, mostrano invece come i livelli dei miRNA risultino alterati in patologie tumorali. Inoltre recentemente sono stati sviluppati analoghi sintetici (mimic) o inibitori di alcuni miRNA in grado di agire come nuovi farmaci.
Un ulteriore ambito di interesse nel contesto della diagnostica in vitro è rappresentato dall'imaging molecolare.
Fin dalla realizzazione del primo microscopio alla fine del sedicesimo secolo, l'osservazione morfologica è stata il principale strumento di indagine in campo biologico. Nell'ambito della diagnostica clinica lo sviluppo di una nuova generazione di strumenti e procedure operative ha permesso un salto di qualità in termini di alta risoluzione, specificità e quantificazione del segnale. L'obiettivo di questo approccio è quello di visualizzare la presenza di molecole (molecular imaging) che agiscano da indicatori dell'insorgenza di uno stato patologico, con grande anticipo sulle trasformazioni anatomiche che caratterizzano i protocolli diagnostici correntemente utilizzati nella pratica clinica.
L'imaging molecolare si orienta verso l'identificazione di specifici eventi che avvengono a livello molecolare (ad esempio l'espressione di un gene) come indicatore della presenza o meno di una patologia e del suo stato di avanzamento. A tal fine si utilizzano opportuni "probes" molecolari come sorgente di contrasto per l'immagine. Questi sono solitamente ottenuti a partire da un composto affine che interagisce con il target di interesse (sia esso ad esempio un tessuto o un determinato percorso metabolico) con l'aggiunta di una componente che produce un segnale.
Uno dei campi di applicazione dell'imaging molecolare in vitro è rappresentato dall'imaging molecolare ottico in cui la sorgente di segnale può essere una molecola bioluminescente o fluorescente, Le tecniche di microscopia svolgono un ruolo complementare nella nanomedicina e permettono di effettuare analisi di imaging topografico e funzionale su materiali biologici di diversa natura in condizioni fisio-patologiche. Nello specifico, le microscopie a sonda hanno una risoluzione sulla scala del nanometro e lavorano su scale di tempo piuttosto lunghe, mentre le microscopie ottiche sono limitate nella risoluzione, ma permettono di seguire processi su scale relativamente brevi. Tra le microscopie a sonda, la più rilevante è la Microscopia a Forza Atomica (AFM), che permette di avere immagini di biomolecole quali proteine o acidi nucleici (DNA, RNA) mostrando dettagli su

scala nanometrica. Mediante tale tecnica è inoltre possibile analizzare la morfologia delle cellule scendendo a dettagli su scale analoghe. L'AFM permette anche di effettuare analisi di "imaging funzionale" di biomolecole misurando con estrema accuratezza (10-50 pN) le forze di interazione tra molecole; in questo modo è possibile mappare la presenza e la localizzazione di un determinato recettore sulla superficie di una cellula o studiare le interazioni proteina/proteina al variare di specifiche condizionali ambientali.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Numerose realtà sia accademiche che industriali stanno lavorando attivamente nel campo della miniaturizzazione e ottimizzazione di saggi di immunodiagnostica nell'ottica del POC.

Una delle principali sfide del settore è riuscire a coniugare competenze molto diverse tra loro, egualmente indispensabili per raggiugere l'obiettivo. In particolare si tratta di coordinare competenze che vanno dalla miniaturizzazione HW e dalle nanotecnologie, al disegno e industrializzazione di micro-chip compatibili con la chimica delle reazioni antigene-anticorpi, ideazione di sistemi di generazione del segnale (chemiluminescenza, risonanza plasmonica, etc.) sufficientemente sensibile e affidabile, reale capacità di industrializzare la soluzione identificata in tutte le sue componenti, ideazione e implementazione del SW necessario non solo per l'elaborazione dei dati ma anche per rendere rapidamente fruibile l'informazione al paziente e al medico.

Un aspetto altrettanto critico, sul quale molte delle esperienze condotte fino ad ora hanno in realtà mostrato tutti i loro limiti sino in buona sostanza al fallimento dell'obiettivo di generare un POC competitivo, è quello della capacità di disegnare strumento, chimica, HW e SW che siano industrializzabili a un costo finale contenuto. Si prenda ad esempio le enormi difficoltà incontrate sino ad ora a generare un micro-chip il cui processo produttivo sia realmente automatizzato (e non semi-manuale come spesso è stato proposto) e tale da avere un costo per ciascun chip inferiore a pochi centesimi di Euro. Costi superiori renderebbero il concetto inapplicabile nell'attuale contesto socio-sanitario.

In Italia esistono certamente singole realtà di eccellenza per ciascuna delle competenze critiche richieste (a partire dalle nanotecnologie di cui in Italia esiste un'ampia rete di competenze) per l'ideazione e l'implementazione di un POC competitivo e a prezzi accettabili. La sfida sarà riuscire a mettere insieme tali competenze, in un'ottica di coordinamento efficiente e attento ai tempi di realizzazione.

L'interesse verso i miRNA sia nell'ambito della ricerca sia a livello industriale come marcatori e agenti terapeutici sta avendo una crescita esponenziale e questo ha portato ad un'evoluzione nel mercato dei **tool molecolari**. Diverse sono, infatti, le aziende impegnate nella produzione di kit per l'analisi dei miRNA o di mimic e inibitori dei miRNA. Negli ultimi anni, inoltre, le società biotecnologiche in grado di fornire servizi avanzati per l'analisi di miRNA si stanno notevolmente affermando sul mercato.

Nell'ambito clinico, molti studi risentono della mancanza di marcatori molecolari altamente specifici. Tali marcatori potrebbero essere utilizzati come strumento prognostico/diagnostico in grado di affiancare il medico nelle scelte terapeutiche. Dal punto di vista industriale, invece, molte sono le Pharma a livello internazionale alla ricerca di **biomarcatori** in grado di valutare l'efficacia di un

farmaco. Queste sono le motivazioni alla base del recente inserimento dei miRNA, come biomarcatori stabili e specifici, all'interno di trial clinici.

L'imaging molecolare è una disciplina della ricerca biomedica caratterizzata da un notevole sviluppo negli ultimi 25 anni, diventando uno strumento diagnostico essenziale. Si può definire come la rappresentazione visuale, la caratterizzazione e la quantificazione dei processi biologici che avvengono in un essere vivente a livello cellulare e sub-cellulare. Le immagini ottenute riflettono quindi i percorsi cellulari e molecolari, nonché i meccanismi di evoluzione di una patologia. Per raggiungere questo ambizioso obiettivo, l'imaging molecolare necessita della convergenza in un contesto multidisciplinare di varie metodologie di imaging, di biologia cellulare e molecolare, chimica, medicina e farmacologia, fisica medica, matematica e informatica. Il mercato legato all'imaging molecolare applicato alla diagnostica molecolare è un segmento ad alta crescita nell'ambito dell'industria per la diagnostica e presenta previsioni di crescita molto interessanti. In questo settore, le tecnologie che potrebbero condizionare lo sviluppo di questa tematica sono: (i) tecnologie ottiche, (ii) lo sviluppo di specifiche sonde come biomarkers selettivi.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Point of Care di Immunodiagnostica

Come accennato, l'Immunodiagnostica sfrutta l'intrinseca specificità e affinità degli anticorpi per rilevare e quantificare marker specifici di natura proteica. È anche ben noto come l'avvento degli anticorpi monoclonali e lo screening in vitro di librerie anticorpali (ad esempio, ma non solo, in fagi) ha dato un impulso fondamentale allo sviluppo dell'Immunodiagnostica.

Nonostante quindi l'Immunodiagnostica si basi fondamentalmente su una reazione che conosciamo molto bene sin nei dettagli molecolari e persino atomici, cioè la reazione antigene-anticorpo, il campo è tutt'altro che maturo e non ha certamente esaurito gli spazi di innovazione.

Gli spazi di innovazione in Immunodiagnostica vanno ricercati nell'interazione complessa tra lo sviluppo di nuove tecnologie e l'evoluzione del mercato della diagnostica in vitro.

Partendo dall'evoluzione del mercato della diagnostica in vitro, si assiste ad una progressiva polarizzazione del mercato. Ad un estremo troviamo una forte domanda di concentrazione dell'esecuzione dei saggi di immunodiagnostica in pochi centri sui quali, fondamentalmente per ridurre i costi, convergono gli esami diagnostici da centri periferici nei quali sarebbe inefficiente mantenere una struttura sub-ottimizzata di diagnostica in vitro.

All'altro estremo troviamo una tendenza in rapida evoluzione che vuole portare l'esecuzione dei test diagnostici sempre più vicino e alla portata dei pazienti, consentendo al paziente stesso di eseguire in maniera rapida e immediata esami diagnostici senza per questo dover andare in ospedale o nello studio del medico, lungo la linea di quanto già oggi si fa con il monitoraggio da parte del paziente stesso del glucosio.

La tendenza a portare alcuni esami di diagnostica in vitro al paziente è solo un aspetto di una tendenza più ampia di evoluzione del mercato della Salute, nel quale appare assai probabile che, in un futuro non molto distante, si assisterà ad un'autentica rivoluzione del concetto stesso di Salute nel quale i parametri che definiscono lo stato di salute del paziente saranno a portata di smartphone e verranno inviati via web alle strutture sanitarie per una medicina sempre più pre-

ventiva e personalizzata.
La polarizzazione del mercato ha forti implicazioni tecnologiche, che al momento sono solo in parte risolte. La centralizzazione spinge la tecnologia verso la rapidità del risultato, l'automazione e la riduzione dei costi. La diagnostica a portata del paziente implica una tecnologia di facile esecuzione, che fornisca il risultato quasi in tempo reale, integrabile con l'utilizzo di strumenti personali per il ricevimento dei dati e la trasmissione immediata al medico mediante per esempio il proprio smartphone o altri personal devices.
Le implicazioni tecnologiche necessarie per dare una risposta alla polarizzazione del mercato dell'immunodiagnostica sono formidabili e complesse.
Le direzioni lungo le quali si dovrebbe dunque investire per dare una risposta alla centralizzazione del mercato della diagnostica in vitro sono:

- Sistemi HW e SW in grado di supportare rapidità di esecuzione dei test di immunodiagnostica e la più completa automazione, dalla gestione del campione del paziente all'integrazione del dato nella rete di Laboratorio, al fine di rendere i sistemi sempre più semplici, rapidi e automatici.
- Nuovi sistemi di segnale. I test attuali di immunodiagnostica utilizzano sistemi diversi per rilevare la reazione antigene-anticorpo, basati in genere su molecole chemiluminescenti. L'intensità del segnale influenza in maniera determinante sensibilità e specificità del saggio. Il miglioramento della qualità dei saggi e dell'automazione passa certamente anche attraverso la possibilità di disegnare nuovi sistemi di segnale, più potenti degli attuali senza tuttavia aumentare il rumore di fondo, compatibili con una chimica di coniugazione efficiente ed economica. Una delle tecnologie più promettenti in tal senso è certamente la risonanza plasmonica associata alle nanotecnologie.
- Sistemi HW, SW e di segnale integrati tra loro per l'esecuzione di saggi automatizzati in multiplex, per la determinazione di parametri multipli sullo stesso campione in un unico test.

L'investimento per aggredire la polarizzazione del mercato verso il paziente appare molto più complesso, dovendo risolvere problematiche ancora in larga parte tecnologicamente irrisolte, che richiedono un livello di rischio legato all'innovazione particolarmente significativo.
Le principali direzioni lungo le quali investire per il mercato vicino al paziente sembrano essere:

- ideazione e realizzazione di sensori in grado di rilevare in maniera non invasiva (cioè senza prelevare fluidi biologici) la presenza di marker specifici proteici o chimici nel sangue o in fluidi biologici di facile ottenimento per il paziente stesso, come urine e saliva.
- Sistemi di comunicazione tra sensori e personal devices per l'acquisizione e trasmissione dei dati mediante App dedicate in tempo reale al proprio medico
- Miniaturizzazione dei sistemi di rilevazione ed elaborazione del dato diagnostico.

L'analisi dei miRNA in ricerca e in clinica si è notevolmente affermata. Tuttavia, le diverse metodologie di analisi hanno portato a risultati spesso discrepanti. Per un corretto confronto dei risultati ottenuti da studi diversi, dovrà essere definita una **standardizzazione dei saggi** e dei **metodi di normalizzazione dei dati** utilizzati. La tecnica attualmente riconosciuta come gold standard

per l'analisi dei miRNA è la Real-time PCR che permette di effettuare una valutazione dei livelli di miRNA in modo semiquantitativo o quantitativo. Un metodo di analisi dei miRNA basato sulla Real-time PCR è stato recentemente introdotto all'interno di un trial clinico volto alla valutazione dell'efficacia di un farmaco, essendo stato validato per i parametri di specificità, linearità, precisione ed accuratezza. I dati prodotti da questa analisi sono stati inoltre sottoposti ad una rigorosa **procedura di normalizzazione** anch'essa validata. La robustezza, la precisione e la riproducibilità di questa metodica sono i presupposti che permetteranno all'analisi dei miRNA di diffondersi all'interno di trial clinici e di **protocolli clinici ospedalieri**.

Sviluppo di tecniche avanzate di microscopia per applicazioni di Molecular Imaging in vitro

Circa l'Imaging Molecolare, l'ottenimento di sonde innovative per l'imaging è un passo importante per lo sviluppo di metodiche diagnostiche sempre più selettive e meno invasive. Di grosso interesse sono lo sviluppo di sistemi fluorescenti in grado di colorare e distinguere simultaneamente diverse aree in campioni biologici e creare una mappa dettagliata di eventi biochimici. Questo settore è importante in diagnostica medica e biologia molecolare. I sistemi attualmente disponibili hanno caratteristiche ottiche e chimiche che ne limitano severamente le prestazioni analitiche. La sfida è quella di produrre una classe di 'marker universali' per un balzo in avanti nell'uso di tecniche diagnostiche fluorescenti. Produrre cioè famiglie di molecole e nanoparticelle fluorescenti caratterizzate da elevata efficienza e stabilità nel tempo, colori di emissione in tutto il visibile e nel vicino infrarosso, che siano biocompatibili, capaci di legarsi a biomolecole con metodologie semplici e standardizzabili e capaci di essere utilizzate per la colorazione omogenea del citoplasma di cellule viventi.

Un altro aspetto di sviluppo tecnologico è quello legato alle tecniche di microscopia ottica a fluorescenza e confocale che possono essere impiegate per la visualizzazione e quantificazione di macromolecole biologiche (i.e. proteine, acidi nucleici, lipidi, etc.) in fluidi biologici e sistemi cellulari mediante saggi di immunoistochimica e immunocitochimica. Tali approcci possono quindi essere applicati per la diagnosi di proteine e altre biomolecole la cui funzionalità e/o struttura è alterata in condizioni patologiche.

Grazie a tecniche di nanostrutturazione di materiali e controllo delle superfici è possibile disegnare e sviluppare substrati nanostrutturati per la crescita e selezione di tipologie cellulari diverse; effettuare modificazione chimica delle superfici nanostrutturate tramite funzionalizzazione con film sottili e/o biomolecole per lo sviluppo di biosensori. Inoltre, è possibile disegnare e sviluppare dispositivi microfluidici, per la misurazione di parametri biologici in singoli sistemi cellulari utili per analisi diagnostiche e/o tossicologiche.

Le microscopie a sonda e ottiche sono necessarie per caratterizzare le proprietà di superfici appositamente disegnate come supporto per le cellule. Essendo le scale di lunghezza rilevanti per i processi di crescita e di differenziazione comprese tra le decine di micron e le decine di nanometri, si rende necessaria la complementarità già illustrata tra le tecniche ottiche e quelle a sonda. Con le microscopie ottiche, infatti, si possono analizzare i pattern microfluidici e le strutture micrometriche realizzate per ospitare e guidare lo sviluppo di colonie cellulari, mentre la Microscopia a Forza Atomica è utile per stimare la rugosità e i dettagli fini che influenzano i punti di adesio-

ne della singola cellula. Le interazioni cellule/scaffolds nano-strutturati possono essere seguite tramite imaging ottico; in particolare l'utilizzo di marcatori fluorescenti consente di seguire sia lo stato di vitalità delle cellule nelle diverse parti del tessuto artificiale, sia la distribuzione ed il delivery dei nutrienti necessari per assicurare lo sviluppo del tessuto una volta impiantato nell'organismo.

Questo tipo di attività costituisce un passo fondamentale per lo sviluppo di nuove tecniche di indagini non invasive. Oltre ad inseguire l'obiettivo di produrre sistemi che possano abbassare il limite di rilevabilità, e quindi aumentare la precocità della diagnosi, questi studi rappresentano una sfida tecnologica molto importante richiesta dall'evoluzione delle analisi cliniche attualmente in corso.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 5
NANOTECNOLOGIE

DESCRIZIONE

Le nanotecnologie comprendono le tecniche ed i processi che consentono di osservare, misurare e manipolare la materia su scala nanometrica, applicando in modo sinergico le conoscenze derivanti dalla scienza dei materiali, la chimica macromolecolare, la biologia molecolare e l'ingegneria dei materiali.

In ambito farmaceutico, le nanotecnologie trovano impiego nel migliorare la solubilità dei principi attivi (es. micelle e nanocristalli), nel trasporto (*delivery systems*) e direzionamento (*drugtargeting and delivery)* verso organi o tessuti bersaglio, nel promuovere o favorire l'attraversamento di barriere biologiche, e come sistemi per il rilascio modificato (ritardato o prolungato). Le nanotecnologie permettono quindi una migliore biodisponibilità dei principi attivi, un maggior controllo della farmacocinetica a favore di una elevata efficacia e maggiore sicurezza dei protocolli terapeutici. I prodotti nanotecnologici hanno ricadute in molteplici settori farmaceutici inerenti la diagnostica, le terapie a base di principi attivi biologici (biofarmaceutici), terapie personalizzate e nuove applicazioni teranostiche (diagnosi-terapia). Questi prodotti sono i protagonisti della nanomedicina, in cui l'impiego di veicoli *smart* multifunzionali consente una diagnosi precoce *in vivo* associata ad una simultanea terapia mirata e circoscritta al tessuto patologico. Oltre alla diagnosi *in vivo*, le nanotecnologie hanno forte impatto anche nello sviluppo di biosensori e dispositivi integrati miniaturizzati e multifunzionali per la diagnostica *in-vitro* (e.g. MEMS, Lab-On-a-Chip) capaci di fornire misure accurate con ridotte quantità di campione fisiologico, riducendo l'invasività dei prelievi e spingendo l'implementazione della diagnostica *point-of-care* (POC), caratterizzata da analisi veloci, in *real-time*. Tutto questo sta avendo un impatto evidente sui tempi di diagnosi e quindi sul miglioramento della prognosi del paziente, gettando le basi della medicina personalizzata. Il principale campo di applicazione di queste tecniche riguarda l'oncologia, ma è facilmente estendibile alle patologie infiammatorie, degenerative, di natura infettiva. In particolare, negli ultimi anni si è assistito da un crescente interesse verso l' impiego delle nanotecnologie per lo sviluppo di nuove terapie per patologie antibiotico-resistenti. Un ruolo fondamentale è quindi svolto dall'impiego e lo studio di materiali sensibili a stimoli ambientali (pH, temperatura, luce, campi elettromagnetici etc.) e a sistemi biochimici di tipo *key-lock* utili per la biofunzionalizzazione dei veicoli.

Le tecniche attualmente in uso per l'ottenimento di prodotti nanostrutturati comprendono lo *spray-drying*, la coacervazione, l'elettrofilatura, il *cross-linking* e gelificazioni.

Altre metodologie ad elevato potenziale ed attualmente studiate per l'ottenimento di risoluzioni a carattere nanometrico comprendono le tecniche innovative di manifattura additiva (es. elettrofilatura da fuso e filatura ad umido automatizzate).

I prodotti ottenuti dall'applicazione delle nanotecnologie in ambito farmaceutico comprendono:

farmaci polimerici, dendrimeri, nanoparticelle, nanogeli, micelle, liposomi, vettori virali, nanoparticelle lipidiche, nanocomplessi, nanocristalli, nanoemulsioni, nanofibre, nanotubi etc. Questi possono ritrovarsi come ingrediente o componente principale della forma farmaceutica finale.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'impiego di nanotecnologie per la realizzazione di forme farmaceutiche nanostrutturate offre nuove opportunità di somministrazione per principi attivi farmacologicamente potenti ma con scarsa farmacocinetica e per nuove applicazioni di molecole già in uso.

Quindi, dal punto di vista industriale lo sviluppo e l'applicazione di nanotecnologie mira alla realizzazione di prodotti innovativi con un minor carico di principio attivo (sostanziale abbattimento dei costi in caso di prodotti biofarmaceutici), maggiore stabilità della forma farmaceutica finale e riformulazione di principi attivi già in uso (ampliamento del settore di applicazione). Per quanto riguarda il sistema sanitario, i prodotti nanotecnologici portano un miglioramento della qualità del servizio dovuto principalmente alla maggiore efficacia e sicurezza dei trattamenti farmacologici, minor frequenza di applicazioni e quindi una minore permanenza nelle strutture ospedaliere. Chiaramente, come già dimostrato dall'avvento dei primi prodotti nanotecnologici, i pazienti mostrano una maggiore *compliance* verso questi farmaci, in grado di offrire prospettive terapeutiche superiori, minori effetti collaterali, protocolli terapeutici più snelli tramite procedure semplificate e mini-invasive. Le nanotecnologie sono necessarie per le emergenti strategie diagnostiche e terapeutiche quali la termoterapia, la terapia fotodinamica, le terapie geniche e a base di biofarmaci (peptidi, proteine, nucleotidi, aptameri etc.).

L'immediato futuro nell'ambito delle nanotecnologie riguarda l'ottimizzazione di processi nanotecnologici per la realizzazione di prodotti su scala industriale e la loro caratterizzazione. Lo sviluppo di nuovi nanoformulati non potrà prescindere dall'adeguamento delle tecnologie e dei processi atti all'ottenimento di lavorazioni efficienti per prodotti ad elevata qualità. Data la giovane storia dei prodotti nanotecnologici, la regolamentazione e gli standard procedurali adottati per la loro caratterizzazione chimico-fisico e biologica sono stati e sono attualmente oggetto di discussione. Organismi nazionali ed internazionali hanno intrapreso un processo di armonizzazione degli aspetti valutativi al quale farà seguito l'accelerazione dei tempi di autorizzazione per i prodotti nanotecnologici.

Lo sviluppo e l'applicazione delle nanotecnologie consente l'impiego di materiali innovativi spesso riconducibili a risorse rinnovabili o di origine naturale, come pure di agenti biotecnologici, a vantaggio di una più concreta sostenibilità ambientale. Inoltre, lo sviluppo di applicazioni nanotecnologiche in ambito farmaceutico offre concrete opportunità terapeutiche e di prevenzione di malattie infettive, nell'era in cui la resistenza agli antibiotici desta crescente preoccupazione a livello nazionale ed internazionale, genera soluzioni per la somministrazione mucosale, transdermica e orale di agenti biofarmaceutici (es. vaccini), facilita la realizzazione di protocolli terapeutici personalizzati (es. teranostica). La crescita delle nanotecnologie deve essere garantita a vari livelli in modo che l'integrazione tra ricerca, sviluppo e produzione possa agevolare il passaggio dal *proof of concept* all'adeguamento tecnologico e commercializzazione del prodotto derivante.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Negli ultimi 15 anni lo sviluppo delle nanotecnologie ha determinato grandi progressi nell'affinamento delle tecniche di lavorazione per la preparazione di prodotti nanostrutturati, la loro caratterizzazione chimico-fisica e biologica. In base a indagini e previsioni di mercato prodotte da BCC Research, le aspettative per il mercato dei prodotti nanotecnologici in ambito farmaceutico sono molto positive. In particolare, il documento pubblicato a Gennaio 2012 e riguardante l'analisi del mercato globale (Stati Uniti, Giappone, Germania, Francia, Regno Unito, Italia e Spagna) delle nanotecnologie per applicazioni farmaceutiche per terapie oncologiche, cardiovascolari, di malattie del sistema nervoso centrale ed infezioni, riporta $43.2 miliardi per il 2010 e $50.1 miliardi per il 2011 e una previsione di crescita a $96.9 miliardi per il 2016. Ulteriori dati pubblicati a luglio 2013 (BCC Reserch) e riguardanti il mercato globale dei nanomateriali in applicazioni di medicina personalizzata (in particolare per teranostica), riferiscono $106 miliardi per il 2011 e $112 miliardi per il 2012, con una crescita stimata a $188 miliardi per il 2017. I prodotti nanotecnologici analizzati (metallici, polimerici e ceramici) sono compresi nelle categorie del "*drug delivery*" usati per terapia e diagnosi *in vivo,* nel settore oncologico, cardiovascolare, delle immunodeficienze e per i disordini neuronali. Un ulteriore documento pubblicato ad agosto 2014 e inerente il dettaglio del mercato delle nanoparticelle nei settori del *drug development*, del *drug delivery* e biotecnologici, considera $25.0 miliardi per il 2013 con una crescita a $29.6 milardi per il 2014 e $79.8 miliardi per il 2019. I dati riguardano prodotti già in commercio o in *pipeline* per le maggiori ditte farmaceutiche e la stima è proposta valutando anche la crescente consapevolezza in termini di salute per le classi medie emergenti di Paesi quali India, Cina, Brasile e Russia.

In Italia, le nanotecnologie interessano in modo trasversale le istituzioni pubbliche e private. In base al Terzo Censimento Italiano delle Nanotecnologie, pubblicato da AIRI/Nanotec IT nel giugno 2011, risultano circa 200 soggetti italiani, pubblici e privati, con attività specifica di R&S nelle nanotecnologie di cui 25% in ambito medicale. Con il supporto pubblico sono stati creati centri di eccellenza per le nanotecnologie e distretti tecnologici, ai quali si affianca l'attivazione di nuovi corsi di laurea, master e dottorati di ricerca volti alla formazione di personale specializzato per il settore delle nanotecnologie. In ambito industriale, il settore interessa soprattutto le PMI, in prevalenza *spin off* e *start up*. Le grandi imprese però, hanno prodotti nanotecnologici in *pipeline* e molti dei sistemi presenti sul mercato sono prodotti da multinazionali.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 6
PRODUZIONE DI BIOMOLECOLE

DESCRIZIONE

Nuove biomolecole

Le biotecnologie permettono di ottenere in **quantità elevate e con un' altissima purezza** proteine, naturali o ingegnerizzate, di interesse farmaceutico. Queste proteine comprendono principalmente tre classi, **anticorpi monoclonali** e loro derivati, **enzimi e proteine ricombinanti** e, di più recente comparsa nello scenario della ricerca farmaceutica, i **vaccini ricombinanti**.

Produzione di biomolecole in bioreattori disposable

La produzione di biomolecole è stata effettuata fin dai primi anni '80 in fermentatori di diverse dimensioni, tradizionalmente usati per le colture di microorganismi. Le prime biomolecole commercializzate negli anni '80-'90, l'ormone della crescita, l'insulina, l'eritropoietina, l'interferone, sono state tutte prodotte in fermentatori tradizionali di acciaio, scalabili linearmente fino ai 10.000 L di volume. Già da allora era noto il problema dell'adattamento di questi fermentatori alle esigenze delle linee cellulari di mammifero, molto diverse dai microorganismi. Sono stati quindi progettati e messi sul mercato fermentatori sia per microorganismi che per cellule di mammifero, scalabili da 1 a 5-10.000 litri, perfettamente automatizzati e conformi alle vigenti GMP. In parallelo, sia per contenere gli investimenti che per avere impianti più flessibili, è iniziata la progettazione di bioreattori monouso di plastica ad alta superficie rispetto al volume, con la caratteristica peculiare di essere facili da usare ed eliminabili alla fine della produzione. Vengono introdotti quindi le hollow fibers (Amicon-Grace) e le cell factories (Costar, Nunc) per la produzione di anticorpi monoclonali. Le criticità relative alla possibilità di disporre di veri e propri impianti "usa e getta" con volumetrie elevate (dai 1000 L in su), è stata in parte superata dal riconoscimento degli evidenti vantaggi legati al loro utilizzo. Infatti i bioreattori, ideali per produrre biofarmaci in linee cellulari di mammifero e cellule per terapia cellulare e genica, richiedono investimenti limitati sia economici che di spazi e di personale necessario, non richiedono operazioni lunghe e costose come la "clearing validation" a fine processo, riducono i rischi di cross contaminazione, pur rimanendo conformi alla regolamentazione vigente. L'evidenza di questi fattori positivi, insieme alla riduzione dei costi di produzione e all'implementazione della qualità e affidabilità dei prodotti, sta espandendo la progettazione di **bioreattori disposable** anche ai batteri (Wave-GE).

Produzione di biomolecole in piante

La storia della produzione in pianta di proteine esogene risale ai primi anni '80; il successivo sviluppo delle biotecnologie vegetali e l'applicazione di nuove strategie molecolari hanno reso il processo una valida alternativa alle piattaforme tradizionali.

La tecnologia, nota come "molecular farming" o "pharming", è caratterizzata da una serie di punti di forza, tra i quali:

- maggiore sicurezza intrinseca, per l'assenza di patogeni umani nel sistema vegetale;
- l' utilizzo degli stessi segnali e meccanismi molecolari per la produzione e maturazione delle proteine ricombinanti dei sistemi eucarioti;
- ampia scelta di strategie di produzione grazie all'uso di varie piante, organi e tessuti;
- capacità di adeguare in tempi brevi la produzione alle specifiche fluttuazioni quantitative del mercato grazie alla facile scalabilità del processo;
- possibilità di rendere il biofarmaco direttamente somministrabile al paziente, sfruttando l'uso di piante edibili.

Nonostante il forte slancio della ricerca e l'iniziale entusiasmo, è stato molto complesso passare dalla prova di principio alla realtà commerciale, sia per limiti tecnici, inizialmente sottovalutati, sia per l'assenza di normative adeguate.
La piattaforma vegetale offre una grande flessibilità e permette, creando strategie "ad hoc", la produzione anche di biomolecole "difficili" che non si possono ottenere a costi accettabili con le piattaforme tradizionali.
Tecnicamente il DNA codificante per il biofarmaco viene clonato in un opportuno vettore che permette la produzione nel sistema vegetale. La scelta del vettore dipende dalla strategia scelta. Le principali opzioni sono:

- **Inserimento del DNA in forma stabile** a ottenere una pianta transgenica che produce il biofarmaco e trasmette tale capacità alla progenie. L'utilizzo di piante transgeniche rappresenta la piattaforma più adatta alla produzione di biofarmaci in grandi quantità, non esistendo un limite teorico alla scalabilità. Inoltre la pianta transgenica è attualmente la sola piattaforma riconosciuta dalle linee guida di EMA in Europa per la produzione industriale di biofarmaci da sistemi vegetali.
- **Inserimento del DNA in forma transiente** attraverso un virus vegetale disarmato, privato cioè delle sequenze patogeniche, che transfetta le piante che produrranno la proteina in modo "transiente" (il transgene non è ereditabile dalla progenie). Con questo approccio si ottengono rese molto alte in tempi brevi, anche solo 10 giorni per raggiungere il massimo livello di produzione, e questo elemento è molto importante per la produzione massiva di vaccini in caso di pandemie emergenti o di attacco bioterroristico (ad esempio le produzioni in corso dell'anticorpo anti-Ebola e anti-antrace presso MAPP Biopharmaceutical, San Diego, CA, USA, e i vaccini contro la SARS e altre pandemie influenzali presso Medicago Inc, Quebec, Canada).

Indipendentemente dal sistema prescelto, le successive fasi di estrazione, purificazione del biofarmaco, caratterizzazione e controllo del prodotto finale completano il processo, con l'attestazione che il farmaco ottenuto ha una completa identità con l'analoga molecola prodotta in altri sistemi ed è privo si contaminanti potenzialmente pericolosi.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

I progressi della Biologia Molecolare hanno rivoluzionato la produzione di proteine ricombinanti. Allo stesso tempo le tecniche analitiche hanno fatto progressi tali da richiedere, per una migliore caratterizzazione, sempre meno tempo e materiali. Questo cerchio virtuoso permette di ottenere prodotti biotecnologici di qualità, con buone probabilità di successo clinico ed iter di sviluppo accelerati. La disponibilità di nuove tecnologie è stata cruciale per lo sviluppo di nuovi farmaci e di nuovi kit diagnostici, strumenti innovativi e altamente tecnologici per la diagnosi e la cura sempre più precoce di molte patologie. Inoltre, l'individuazione di nuovi biomarcatori abbinati alla **produzione di biomolecole** ha accelerato lo sviluppo della medicina personalizzata. Tale approccio è particolarmente rilevante nel trattamento dei **tumori** per la cura dei quali sono stati studiati e sviluppati numerosi anticorpi ricombinanti. La tipizzazione dei tumori è sempre più importante in quanto permette di **selezionare** con largo anticipo la popolazione di pazienti sui quali la terapia anticorpale potrà essere applicata con un'elevata probabilità di successo. In questo modo è possibile razionalizzare l'uso dei farmaci biologici che, a causa dei costi ancora elevati, hanno un impatto notevole sui sistemi sanitari nazionali.

Per rispondere alla nuova domanda di caratterizzazione e pre-screening dei pazienti, le aziende farmaceutiche stanno focalizzando l'attenzione sullo sviluppo di nuove biomolecole con scaffold alternativi, in grado di fornire vantaggi rispetto al classico approccio degli anticorpi interi, quali i diversi formati e dimensioni che permettono di modulare e ottimizzare alcune delle caratteristiche del farmaco, quali la cinetica di distribuzione o l'affinità recettoriale. Questi vantaggi rendono le nuove biomolecole anche adatte all'utilizzo nell'imaging grazie, ad esempio, alla possibilità di ridurre la taglia molecolare che permette una migliore penetrazione tissutale e un tempo di emivita ridotto per una più veloce eliminazione dall'organismo e unwashout in tempi più brevi; il risultato finale è un effetto di imaging a migliore contrasto e risoluzione. Queste nuove biomolecole sono, ad esempio, frammenti anticorpali ottenuti attraverso ingegnerizzazione di immunoglobuline sia di origine umana che animale, anche di specie fino a qualche tempo fa non utilizzate in campo medico/diagnostico, come il cammello o il lama. Infatti questi mammiferi possiedono immunoglobuline con caratteristiche particolari, come la capacità di riconoscere qualunque epitopo, di essere molto solubili e di essere facilmente isolabili, sia *in vivo* che *in vitro*.

Per tutti questi motivi, lo sviluppo di anticorpi monoclonali ha registrato, in questi ultimi anni, una importante accelerazione. Notiamo infatti che su ***47*** anticorpi approvati dall FDA dal 1984 ad oggi ben **12** sono stati approvati nel **2014**. Tra questi ci sono nuovi prodotti, come ad esempio un anticorpo bispecifico (tandem ScFv) caratterizzati da meccanismi d'azione altamente innovativi per il trattamento di tumori finora incurabili.

Non vanno infine trascurate altre classi di molecole di origine biologica in forte trend di sviluppo come, ad esempio, gli **enzimi** biocatalitici, le proteine strutturali o i **mediatori** di alcuni segnali intra o extracellulari spesso responsabili di eventi critici per la vita. Infatti, è ormai noto che l'assenza, totale o parziale, di una proteina è causa di patologie molto gravi, spesso invalidanti e croniche, che possono essere curate solo con la somministrazione della molecola deficitaria. Un esempio importante di questo è l'insulina, somministrata a dosaggi tali da garantirne i livelli naturali nell'organismo.

Infine, un'altra classe di biomolecole emergenti è quella dei **vaccini ricombinanti**, creati grazie all'integrazione delle tecnologie di computer modelling, per la mappatura di epitopi chiave, con la biologia molecolare. Il risultato di questo approccio integrato sono vaccini per l'immunizzazione efficiente di specifiche popolazioni. Infine, tra i vantaggi legati allo sviluppo di queste tecnologie ci sono da annoverare il maggior livello di sicurezza degli operatori di produzione e dei pazienti e, molto importante, la possibilità di ridurre, se non eliminare completamente, il ricorso alla classica produzione di vaccini in uova di gallina che, come è ben noto, è delicata, di costi elevati e bassa redditività, spesso causa di problemi correlati a reazioni avverse di tipo allergico sviluppate da una parte della popolazione. Altri evidenti vantaggi, quali la maggiore stabilità e la semplicità di manipolazione, e il notevole risparmio economico dell'intero processo di sviluppo e produzione dei vaccini ricombinanti permettono l'abbattimento dei costi del farmaco e quindi il potenziale allargamento della popolazione di pazienti che possono trarre vantaggio dal loro utilizzo. A conferma di ciò, ad oggi, **più di 150** proteine ricombinanti sono state approvate dalla FDA e/o dall'EMA.
Tuttavia, anche se questi numeri sono in continuo aumento, persistono alcune difficoltà nella **produzione** di biomolecole legati soprattutto alla messa a punto di sistemi di espressione proteica robusti e ad alta resa per superare le principali limitazioni della produzione biotecnologica legati agli elevati costi di realizzazione e gestione degli impianti e di caratterizzazione dei prodotti.
Considerando quanto descritto, sarebbe raccomandabile investire nella creazione di **centri specializzati** nella produzione e la caratterizzazione di proteine ricombinanti per uso umano. Inoltre, considerando i dati attuali sulla produzione di biomolecole l'investimento deve essere ugualmente ripartito tra produzione in cellule procariotiche ed eucariotiche. Tali centri di eccellenza potrebbero sviluppare i diversi progetti messi a punto su piccola scala nei laboratori di ricerca di enti pubblici o privati, per produrre i **quantitativi** necessari per poter eseguire **le prime fasi cliniche**. Purtroppo si evidenzia in Italia una certa carenza di strutture adeguate, di infrastrutture e di know-how per uno sviluppo adeguato di progetti biotecnologici a partire dalle prime fasi di ricerca in laboratorio fino alla sperimentazione nell'uomo.
Lo sviluppo di sistemi disposable è in continua evoluzione e i benefici sono molteplici. Uno dei più rilevanti è la disponibilità di impianti produttivi a misura di produzione e terapia, in linea con l'avvento della medicina personalizzata che richiede dosaggi "a misura di paziente"; di conseguenza anche la produzione farmaceutica dovrà sostenere produzioni mirate e dedicate a nicchie di popolazioni. L'altro punto a favore è sicuramente l'impatto ambientale contenuto tipico dei bioreattori "usa e getta" e dei nuovi modi di produzione, non più a campagne, ma solo quando è necessario. Questa è un vera rivoluzione nel manufacturing farmaceutico alla quale hanno contribuito i farmaci biotecnologici che richiedono produzioni dedicate.
Nel campo della produzione di biofarmaci in piante, il "molecular farming" offre rispetto alle piattaforme tradizionali così tanti vantaggi che il suo sviluppo in Italia sarebbe auspicabile. Piuttosto che considerarlo come un'alternativa alle piattaforme tradizionali, l'attenzione si è concentrata su alcuni settori di nicchia in cui il valore aggiunto del sistema piante si rivela determinante e su processi tecnologici che permettono lo sfruttamento delle proprietà edibile, la possibilità di inserimento di glicani specifici, la scalabilità veloce e la scalabilità agricola. Un altro motivo che rende questa tecnologia rilevante è stato la dimostrazione dell'equivalenza sostanziale del prodotto

derivato da pianta rispetto alla molecola naturale, in particolare relativamente alla glicosilazione. Ad esempio è stato dimostrato che a volte le prestazioni di biofarmaci da pianta sono migliorati rispetto alle glicoforme umane, come nel caso dell'anticorpo anti-linfoma non-Hodgkin prodotto da Synthon BV che, usando specifici profili di glicani, è 10 volte più affine al suo recettore e 20 volte più citotossico verso le cellule tumorali target.
Il cammino è solo all'inizio, ma la strada è tracciata verso la realizzazione di biofarmaci a costi ridotti, quindi accessibili alla maggior parte della popolazione umana.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA ED ALL'ESTERO

Nuove biomolecole

Esistono attualmente in Italia **pochissime strutture** in grado di produrre proteine ricombinanti per uso umano soprattutto per le prime fasi di sviluppo clinico in quanto i processi necessitano ancora, in questo stadio, di ottimizzazione costante. Tali strutture per essere competitive e di bassi costi di gestione, dovrebbero essere provviste di una **moderata capacità di fermentazione**, in linea con gli obiettivi di sperimentazione clinica. A livello internazionale esistono, sia in Europa che in America e in Asia, numerose Contract Research Organisations in grado di produrre biomolecole su scale variabili, da laboratorio all'impianto industriale, fino a offrire capacità produttive elevate, con fermentatori di decine di metri cubi, per la produzione dei blockbusters commerciali. È quindi essenziale per il sistema Italia investire nella creazione di **centri di eccellenza** per la produzione e caratterizzazione di biomolecole. In parallelo, la produzione dei farmaci da studio per l'esecuzione delle prime fasi di sviluppo clinico dei progetti è un altro tema sul quale sarebbe importante veicolare una parte delle risorse e definire nuove strategie per l'implementazione da parte di chi è preposto alla definizione delle linee guida per le future politiche di Ricerca e Sviluppo nazionali.

Produzione di biomolecole in bioreattori disposable

Ad oggi sia in Europa che negli USA esiste una situazione diversificata per quanto riguarda gli impianti di produzione per farmaci biotecnologici. Esistono ancora impianti con fermentatori tradizionali di acciaio a scale up lineare, dai 50 ai 5000 L, impianti tradizionali convertiti a "usa e getta" (nel fermentatore viene inserito un bioreattore di plastica dove avviene la fermentazione che viene eliminato a fine processo) e impianti in cui la tecnologia disposable viene utilizzata solo per gli inoculi. Ci sono poi impianti totalmente disposable, dove la capacità produttiva viene raggiunta fino ad un certo volume in modo lineare e poi attraverso l'aumento dei moduli. In Italia la produzione farmaceutica è ancora basata molto sui farmaci tradizionali di sintesi (l'Italia oscilla tra il terzo e il quinto mercato al mondo per produzione di API), ma si registra anche la presenza di alcuni impianti per produzione di biofarmaci con fermentatori tradizionali e l'inserimento recente di bioreattori disposable (tipo Wave) da parte di alcune realtà che fin dall'inizio hanno puntato su queste tecnologie.

Produzione di biomolecole in piante

La ricerca ha superato molti dei limiti tecnici iniziali legati alle basse rese e alla purificazione, an-

che se non si è registrato il parallelo adeguamento alle GMP linee-guida. Inoltre, la natura frammentata di questa tecnologia, dispersa su diverse piattaforme biologiche ha spesso scoraggiato l'interesse industriale. Le normative, in particolare quelle Europee, sono arrivate in ritardo e si sono sviluppate in modo disarmonico tra paesi. Solamente nel 2009 EMA ha terminato il complesso iter che ha portato alla formulazione di linee guida europee per le GMP relative ai biofarmaci prodotti in pianta: esclusivamente piante transgeniche stabili a contenimento totale sono oggetto della normativa, con esclusione esplicita dei sistemi transienti e delle cellule vegetali, a prescindere dai vantaggi che queste o altre scelte tecniche e tecnologiche possano fornire. La ricerca italiana ha partecipato attivamente e con notevoli risultati anche in termini di IP (nel 1991 ENEA, primo laboratorio di ricerca in Italia e in Europa, produsse in pianta un anticorpo ingegnerizzato), ma il clima sociale nei confronti delle piante transgeniche e l'assetto industriale non hanno favorito un adeguato sviluppo tecnologico. Il progetto pubblico-privato europeo Pharma-Planta (2004-2011, 33 partners tra cui ENEA) ha rappresentato il momento più alto d'organizzazione tra le parti e fu strumentale alla definizione delle GMP europee. Tra i biofarmaci prodotti in pianta più rappresentati si annoverano anticorpi e vaccini. Sono stati ottenuti a livello sperimentale molti anticorpi efficaci contro importanti patologie umane. Attualmente, solo alcuni anticorpi sono arrivati alla sperimentazione clinica, fase I e II, tra cui l'anticorpo BLX-301 e l' anticorpo ingegnerizzato anti-linfoma non-Hodgkin per la terapia personalizzata (Bayer/ICON – piattaforma transiente basata sul tabacco), entrambi anti-linfoma non-Hodgkin. Anticorpi destinati ad uso topico hanno raggiunto l'approvazione molto prima, come per esempio CaroRx™, un anticorpo contro un antigene di un batterio responsabile della carie dentale, prodotto in tabacco, approvato come "medical device" per uso umano in Europa nel 2005. Di particolare interesse è l'anticorpo P2GI2, neutralizzante il virus HIV, risultato del progetto Pharma-Planta, parte di un cocktail microbicida per prevenire l'infezione da HIV. Presso strutture specializzate, la produttività ha raggiunto 500 kg di biomassa al giorno ed, ad esempio presso Fraunhofer è prevista per il 2015 la costruzione di un impianto verticale (skyscraper greenhouse) totalmente automatizzato. Questa tecnologia è particolarmente adatta alla produzione di vaccini per la sua facile scalabilità; la produzione in piante può infatti raggiungere 100 milioni di dosi in un mese, quantità non ottenibili con nessuna delle piattaforme tradizionali. Anche i biofarmaci specifici per malattia rare trovano nella produzione in pianta una reale prospettiva di produzione. È il caso della taliglucerase alfa, enzima ricombinante, appena approvato dalla FDA-USA con il nome ELELYSO™ (UPLYSO™per l'America Latina) per il trattamento di pazienti con la malattia di Gaucher di tipo 1. Il biofarmaco è realizzato con la piattaforma ProCellEx, basata su cellule di carota dalla Protalix Biotherapeutics – Carmiel, Israele.

Anche la diagnostica annovera prodotti in sviluppo avanzato, tra cui allergeni, test di gravidanza, immunocomponenti per la diagnosi dell'HIV-1, una serie di citochine (ORF Genetics, Islanda) approvate in Europa e, da ultimo, l'ormone della crescita per applicazioni cosmetiche (distribuito da SifCosmetics, Islanda).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 7
IMAGING MOLECOLARE

DESCRIZIONE

L'Imaging*in vivo* è un insieme di procedure diagnostiche (ad es. radiografia, TAC, risonanza magnetica, ecografia, ecc.) che consentono di visualizzare dettagli interni dell'organismo (imaging morfologico) e talvolta anche di trarre informazioni su determinate funzioni e processi (imaging funzionale).

L'Imaging Molecolare si realizza quando ad una procedura di imaging come sopra descritto si associa un composto in grado di concentrarsi preferibilmente in corrispondenza di uno specifico bersaglio molecolare, caratteristico di una certa patologia. Questi composti, definiti anche sonde diagnostiche, consentono quindi di identificare organi e tessuti affetti da una specifica patologia. Ogni sonda diagnostica è destinata ad un'applicazione specifica, sia per la tecnologia di imaging impiegata, sia per l'alterazione fisiologica in esame. Lo sviluppo di tali sonde richiede un approccio multidisciplinare, basato su chimica, biologia molecolare e cellulare, proteomica, genomica, fisica declinate anche attraverso tecnologie particolarmente trasversali quali micro e nanotecnologie ed informatica. Basilare è la conoscenza della fisiologia e dell'anatomia patologica con particolare riferimento ai fenomeni metabolici associati.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Al fine di comprendere le motivazioni per lo sviluppo di questa tecnologia prioritaria è importante considerare che l'Imaging *in vivo*, inteso nel modo più tradizionale, ha contribuito in maniera determinante al miglioramento della qualità della vita e dalla razionalizzazione della spesa sanitaria. Oggi le comuni modalità di Imaging sono la base della diagnostica e sono ampiamente utilizzate sia per definire le terapie, sia per verificarne costantemente l'efficacia.

I notevoli progressi conseguiti nel settore delle macchine per l'imaging, consentono di generare immagini di valore diagnostico anche senza l'utilizzo di un mezzo di contrasto (tranne che per l'Imaging Nucleare), tuttavia è universalmente riconosciuto il valore aggiunto fornito dai mezzi di contrasto, che permettono al radiologo una più rapida e sicura risposta al quesito diagnostico.

Le tecniche di Imaging Molecolare rappresentano l'evoluzione delle attuali tecniche di imaging e si pongono come la controparte diagnostica ai trattamenti di medicina personalizzata. Infatti, come si ricercano trattamenti sempre più selettivi ed efficaci, così è necessario disporre di nuove tecniche diagnostiche in grado di indirizzare tali trattamenti e di monitorarne l'efficacia.

L'Imaging Molecolare si pone come un nuovo ambito di ricerca capace di migliorare ulteriormente il rapporto qualità/prezzo dell'informazione attraverso l'uso di sonde specifiche che operano a livello cellulare e molecolare. L'utilizzo di tali sonde già permette, e sempre più permetterà, di entrare nello specifico dei processi della vita cellulare, evidenziandone le alterazioni patologiche

anche attraverso un sempre più specifico riconoscimento del metabolismo associato.
Non tutte le modalità diagnostiche attualmente in clinica hanno i prerequisiti per essere considerate idonee all'Imaging Molecolare.
L'Imaging clinico con Raggi X richiederebbe un aumento della sensibilità oggi ancora non raggiungibile, mentre stanno comparendo applicazioni di notevole importanza a livello preclinico su animali di laboratorio. In questo ambito recenti studi di microtomografia condotti su piccoli animali con luce di sincrotrone hanno dimostrato la potenzialità delle tecniche radiografiche di contrasto di fase per lo sviluppo di protocolli che combinano l'imaging morfologico e quello funzionale ad alta risoluzione. A titolo di esempio si possono citare le tecniche di cell-tracking messe a punto per seguire l'evoluzione dei tumori cerebrali in un modello animale di ratto o per visualizzare l'infiammazione sui polmoni di topi asmatici.
L'Imaging con Risonanza Magnetica potrebbe essere applicato solo nella particolare modalità dell'Imaging Metabolico con substrati iperpolarizzati; siamo ai primi risultati incoraggianti che vedono alcune realtà italiane, sia industriali che accademiche, coinvolte in progetti e reti internazionali.
L'Imaging Nucleare vede sempre più consolidarsi il ruolo della PET e SPECT con traccianti specifici, in grado di riconoscere particolari recettori sulle cellule tumorali o di evidenziare alcune particolarità del loro metabolismo.
L'ecografia con sonda diagnostica sta conquistando ampi spazi a livello clinico e, grazie all'elevata sensibilità, giocherà un ruolo importante anche nell'Imaging Molecolare, soprattutto per patologie intravascolari.
L'Imaging Ottico, in particolare nelle frequenze del vicino infrarosso (NIR), rappresenta una nuova frontiera, applicabile soprattutto per lesioni superficiali oppure come ausilio intraoperatorio, per consentire al chirurgo una visione che distingue i tessuti patologici da quelli sani.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

A livello accademico sono numerosi i gruppi che utilizzano l'Imaging Molecolare *in vivo* e ne sviluppano il potenziale, soprattutto a livello preclinico. Oltre a riconoscere l'insorgere e lo sviluppo di patologie su modelli animali, è possibile utilizzare tali modelli per verificare l'efficacia dei farmaci innovativi.
Già si assiste, nell'ambito dello sviluppo di nuovi farmaci, al sempre maggiore impiego dei cosiddetti "Diagnostic Companion", spesso sviluppati da piccole imprese limitatamente all'uso *in vitro*. Si tratta di reagenti che consentono di individuare nei campioni prelevati dal paziente la presenza o meno di quelle caratteristiche che rendono utile un certo trattamento terapeutico. È chiaro che in termini di costi il test *in vitro* è decisamente più competitivo rispetto un test *in vivo*, tuttavia l'informazione, "l'immagine" acquisita *in vivo* ha un valore per il medico spesso di gran lunga più rilevante. In alcuni casi, come quello di biomarcatori non circolanti, diventa l'opzione preferibile, a meno di ricorrere ad invasivi prelievi bioptici.
In maniera abbastanza inattesa, quindi, proprio l'elevato costo delle nuove terapie sta facilitando l'introduzione di nuove tecnologie diagnostiche, quali appunto quelle dell'Imaging Molecolare. Grazie a queste, infatti, è e diverrà sempre più possibile individuare con esattezza i pazienti in

grado di beneficiare di una certa terapia (medicina personalizzata), evitando di utilizzarla invece per coloro che con molta probabilità non ne sarebbero avvantaggiati ed indirizzandoli verso altri approcci terapeutici. In questo scenario, il costo di una tecnologia diagnostica supplementare sarebbe ampiamente compensato dai risparmi derivanti dal fatto di poter selezionare i pazienti a cui somministrare una certa terapia, aumentandone così decisamente l'efficacia.

Parallelamente, esistono già esempi applicativi di tecnologie di Imaging Molecolare applicate durante gli interventi chirurgici (Imaging intraoperatorio), condotti anche con tecniche chirurgiche mini-invasive. Grazie a queste tecnologie, il chirurgo può vedere su uno schermo che i tessuti patologici assumono una colorazione diversa perché captano selettivamente una sonda per l'Imaging Molecolare in fluorescenza (o imaging ottico), ed è così molto facilitato nell'intervento di asportazione. Casi recenti dimostrano che tali tecnologie riducono la frequenza di nuovi interventi, spesso resi necessari dall'incompleta asportazione del tessuto patologico nel primo intervento.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 8
TECNOLOGIE MINI-INVASIVE

DESCRIZIONE

La chirurgia che oggi viene praticata è molto diversa da quella di alcuni anni or sono, spesso si tratta di chirurgia endoscopica o laparoscopica ed il *trend* è quello di una sempre maggiore riduzione dell'invasività dell'atto chirurgico, resa possibile dalle nuove tecnologie.

Il termine chirurgia mini-invasiva (MIS – *Minimally Invasive Surgery*) oggi comprende un insieme di tecniche anestesiologiche, chirurgiche (spesso video-guidate) ed assistenza post-operatoria (derivanti dalle innovazioni scientifiche e dalle nuove comprensioni della fisiopatologia), che permettono la riduzione del disagio dei pazienti consentendone una rapida ripresa delle attività.

La chirurgia mini-invasiva è un settore ancora in grande evoluzione, sin dal 1985 anno in cui è stato effettuato il primo intervento mini invasivo: asportazione di una colecisti con calcoli. Da un lato, i chirurghi chiedono alle Imprese nuovi strumenti per rendere più rapido, meno doloroso e molto più preciso l'intervento (si pensi alla tecnica HIFUS – *High Intensity Focused Ultrasound*) dall'altro, sono le Aziende stesse a proporre nuovi strumenti (bisturi armonico ad ultrasuoni, TAVI...) ritagliandosi così delle quote di mercato.

Riassumendo, col termine **"tecnologie mini-invasive"** vengono quindi raggruppate tutte le tecnologie necessarie per lo sviluppo di materiali e *delivery system* (sistemi che permettono il posizionamento di dispositivi medici) utilizzati per la chirurgia mini-invasiva.

La Commissione Europea considera come prioritaria la ricerca/miglioramento dei materiali necessari per lo sviluppo della chirurgia mini-invasiva, così da poter non solo migliorare i risultati, ridurre i costi per i sistemi sanitari ed i problemi per i pazienti, ma soprattutto poter aumentare il numero dei pazienti che possono accedere a tali trattamenti, migliorandone la qualità della vita (*Material Summit*, Brussels, 23 Maggio 2013).

La vita media si sta allungando sempre di più (79,2 media nei 28 Stati membri EU – aumentata di 5,1 anni dal 1990) e nella prossima decade la sanità Europea dovrà confrontarsi con l'aumento delle patologie correlate a tale cambiamento demografico che richiederà lo sviluppo di un sistema sanitario più efficiente ed equo. L'idea è di non solo "aggiungere anni alla vostra vita" ma di "aggiungere vita ai vostri anni". Ci sono tecnologie disponibili ed altre dovranno essere sviluppate per poter raggiungere questo obiettivo, per es. il "*medical imaging*" è fondamentale sia per migliorare la diagnosi sia per i trattamenti mini-invasivi (*Visions for Horizon 2020 from Copenhagen Research Forum 2012* e *Health at a Glance: Europe 2014 – OECD Publishing*).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Sviluppare tecnologie mini-invasive può apportare benefici a vari livelli.

Per il **paziente**, si ha una riduzione del dolore ed un miglioramento della cosmesi (cicatrici meno

visibili. Inoltre il tempo di intervento diventa minore: si possono così trattare pazienti sempre più "complessi" e/o anziani. Grazie alla diminuzione del tempo dell'operazione e dei rischi connessi (come le emorragie), il paziente e la sua famiglia soffrono di meno dello stress pre- e post- operatorio, e ciò consente un più rapido recupero con ritorno all'attività lavorativa in tempi brevi. Il paziente beneficia quindi, nel complesso, di **un miglioramento della qualità della propria vita**.

Per il **Sistema Sanitario Nazionale**, l'avvento della chirurgia mini-invasiva ha portato ad una **riduzione dei costi associati agli interventi**, fra cui una riduzione significativa dei costi di ospedalizzazione (grazie anche alla riduzione della lunghezza del ricovero stesso) e la riduzione dei trattamenti farmacologici (*follow-up* farmacologico).

Le **Imprese e la Società civile** stanno beneficiando di una innovazione continua, che porta conseguentemente alla creazione di posti di lavoro. In particolar modo, l'acquisizione di quote di mercato e l'ottenimento di maggiori profitti spingono le Imprese ad investire maggiormente nella ricerca e sviluppo, che porta quindi all'immissione sul mercato di tecnologie, tecniche e prodotti che innescano un circolo virtuoso di miglioramento continuo e quindi di benessere per la Società.

In Europa nel 2012 più di 575.000 persone, di cui 52.700 in Italia, lavoravano nell'industria delle tecnologie medicali (*MedTech* = dispositivi medicali, diagnostica in vitro, attrezzature per *imaging* e soluzioni *e-health*) ed il corrispondente mercato è stimato essere di circa 100 miliardi di Euro (30% del mercato mondiale), dimostrando come questo settore sia molto importante per l'economia europea e nazionale (*The European Medical Technology industry in figures. MedTech Europe February 2014*).

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

A livello mondiale, a far la parte del leone sono soprattutto aziende Statunitensi; a livello Europeo, vi sono diverse grandi aziende che si dedicano alla diagnostica ed all'*imaging* mini-invasivo, mentre per quanto riguarda le tecnologie per la cardiochirurgia, al momento, ci sono solamente poche imprese, tra cui una grande azienda italiana e diverse PMI, perché questo settore richiede un **grado di interdisciplinarietà molto elevato** ed ingenti investimenti in R&S.

In questi ultimi anni le tecnologie mini-invasive sono diventate sempre più importanti per il trattamento di molteplici patologie.

Nel settore ortopedico, le patologie sulle quali vi è stata una maggiore concentrazione sono quelle relative al ginocchio e all'anca. In particolare, per le protesi d'anca sono comparse sul mercato protesi di nuova generazione, unitamente a strumenti chirurgici dedicati, in grado di agevolare l'impianto di una protesi in MIS. Tali protesi permettono una minor "sacrificio" delle strutture muscolari, capsulo-legamentose e di tessuto osseo con potenziali minori complicanze post-operatorie, riduzione della durata di degenza ed un più rapido recupero nei pazienti.

In questo settore, si cercano principalmente **materiali** che siano maggiormente biocompatibili, e tecnologie che permettano di non aprire completamente la zona interessata dalla sostituzione, consentendo un inserimento tramite una **micro incisione**. In questo senso, sono stati sviluppati nuovi supporti robotici, per permettere una maggiore precisione a livello microscopico, e nuove tecnologie di *imaging*, per poter verificare il posizionamento del dispositivo.

Lo sviluppo delle tecniche mini-invasive e di nuove tecnologie di navigazione assistita intra-ope-

ratoria (*navigation systems, computer-assisted surgery*) contraddistinguerà la ricerca scientifica in campo ortopedico dei prossimi anni.

Nel caso del settore cardiovascolare, dovendo operare al limite delle "possibilità fisiologiche", la chirurgia cardiaca si è sempre avvalsa delle più avanzate innovazioni. Dopo il successo della terapia di *Interventional Cardiology* (in quanto gli *stent* coronarici hanno permesso di trattare un maggior numero di pazienti e di ridurre il numero di operazioni a cuore aperto) vi è una ferma attenzione sia sulla **biocompatibilità** e sulla **durata dei dispositivi** (per evitare un nuovo intervento) sia sullo **sviluppo di materiali e tecnologie per gli interventi mini-invasivi** (comprendenti anche l'approccio percutaneo).

Le tecnologie TAVI (*Transcatheter Aortic Valve Implant*) si sono da poco affacciate sul mercato: è ora possibile sostituire la valvola aortica tramite un intervento mini-invasivo, ma è un settore in cui c'è ancora spazio per il miglioramento e l'innovazione.

Per esempio ancora molto deve essere fatto per ottimizzare una protesi valvolare cardiaca utilizzando innovative tecnologie e materiali che permettano di ripiegarla (*crimping*) sul *delivery system*, così da poterne ridurre notevolmente l'ingombro al momento dell'inserimento, ed essere in grado di ritornare alle dimensioni originali mantenendo le proprie caratteristiche di resistenza e biocompatibilità nel tempo. Nell'ambito cardiaco si punta quindi verso tecnologie che permettano **interventi a cuore battente**, che evitino la circolazione extra corporea e che non richiedano una convalescenza molto lunga. Oggi viene inoltre definita come "mini-invasiva" anche una cardiochirurgia che non comporta l'uso della macchina cuore-polmone, che consente l'accesso al cuore attraverso accessi limitati. Normalmente tali interventi sono di mini-sternotomia, toracotomia anteriore destra e toracotomia destra. Queste tecniche permettono una minore perdita di sangue, un impatto ridotto dell'anestesia ed una cicatrice più piccola rispetto alle tecniche tradizionali a cuore aperto.

Un intervento mini-invasivo tipicamente richiede l'uso di strumenti laparoscopici e strumenti di manipolazione controllati da remoto, con l'osservazione indiretta del sito operatorio. Aree di futuro sviluppo nelle quali utilizzare le tecnologie mini-invasive potrebbero essere principalmente:

- **miniaturizzazione** dei dispositivi attuali (cateteri con diametro minore);
- **dispositivi e sistemi di rilascio per il rimodellamento** della valvola mitrale;
- sistemi per la **rimozione della valvola** aortica nativa danneggiata/malata (che attualmente viene lasciata in loco in caso di interventi percutanei).

Nell'otorinolaringoiatria l'uso delle tecniche mini-invasivive è indirizzato all'utilizzo della "*biosurgery*" (procedure chirurgiche che rispettano la fisiologia degli organi interessati che mirano alla conservazione della funzione ed a cercare una rapida guarigione) come la *Functional Endoscopic Sinus Surgery* (FESS). La FESS si esegue attraverso uno strumentario miniaturizzato motorizzato e fibre ottiche che permettono di accedere a tutte le aree chiavi dei seni paranasali evitando l'anestesia generale ed il tamponamento nasale.

La chirurgia funzionale del naso, la settoplastica e la decongestione dei turbinati utilizzano oggi il laser e le radiofrequenze permettendo di trattare tali patologie in *day hospital*.

In urologia, diverse patologie vengono trattate utilizzando tecnologie mini-invasive. Un esempio è l'asportazione di calcoli renali tramite Microperc (evoluzione della litotrissia percutanea) che per la frantumazione utilizza una microfibra laser introdotta tramite un foro le cui dimensioni sono simili a quelle della punta di un ago da siringa.
Ancora poco diffusa (anche se promettente) è l'asportazione tramite laser dell'adenoma prostatico per l'ipertrofia prostatica benigna, in quanto i laser di ultima generazione sono in grado di isolare ed estrarre l'adenoma senza doverlo distruggere, permettendo così l'esecuzione di tutti gli accertamenti necessari.

In ambito oncologico, le procedure per l'ablazione o il trattamento chirurgico delle lesioni si sono grandemente avvantaggiate delle tecnologie di *imaging*, sia tradizionale, per la guida nell'accesso alle lesioni, sia endoscopico, per una valutazione *de visu* dello stato patologico. A questo scopo, si stanno rivelando utili anche specifici traccianti in grado di concentrarsi preferenzialmente all'interno dei tumori, consentendo così una più sicura e rapida individuazione. L'utilizzo di tecnologie in fluorescenza nel vicino infrarosso (NIR) consente di ottenere immagini prive di *background*, per visualizzare con elevate sensibilità anche piccoli ammassi cellulari e permettere così al chirurgo l'asportazione completa e pulita dei tessuti compromessi.
Globalmente, il mercato della MIS è stato valutato in 25,03 miliardi di dollari, e ci si aspetta una crescita annua del 10,5% fra il 2013 ed il 2019, anno in cui raggiungerà il valore di 50-60 miliardi di dollari. Tale crescita è dovuta principalmente all'aumento di malattie quali l'artrite, il cancro o cardiovascolari. L'aumento della popolazione anziana è anche un fattore di crescita di tale mercato poiché le MIS assicurano un minore trauma ai pazienti più delicati (*Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast*, 2013-2019).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 9

TECNOLOGIE PER LE TERAPIE AVANZATE

DESCRIZIONE

I prodotti medicinali per terapie avanzate (ATMPs) sono farmaci e trattamenti emergenti costituiti da cellule o da acidi nucleici ricombinanti e sempre più utilizzati nella ricerca clinica. Questa categoria di prodotti si configura come estremamente eterogenea includendo sia prodotti basati unicamente su cellule (eventualmente geneticamente modificate), sia prodotti costituti da acidi nucleici (virus ricombinanti o RNA), sia prodotti che combinano una componente cellulare con una componente non biologica.

Gli ATMP vengono divisi in 3 categorie in base alla loro funzione: 1) Prodotti da ingegneria tissutale, 2) Prodotti per terapia cellulare somatica e 3) Prodotti per terapia genica. Questa classificazione, proprio perché non basata su specifiche proprietà chimico/farmacologiche, ma semplicemente sulla funzione fisiologica, presenta molti limiti e sono frequenti i casi in cui uno specifico prodotto possa ricadere in più di una delle categorie elencate, rendendone quindi incerta l'attribuzione.

Nonostante l' eterogeneità, gli ATMP presentano, oltre alla loro costituzione, altri aspetti che ne marcano la peculiarità rispetto ai farmaci tradizionali. Questi includono un processo produttivo generalmente complesso e soggetto ad una elevata variabilità (dovuta all'uso di cellule come materiale di partenza e di reagenti di origine biologica non sempre reperibili col necessario grado qualitativo) e la preparazione di lotti di farmaco specifici per il singolo paziente (come ad esempio nel caso di cellule autologhe).

Il settore dell'ingegneria dei tessuti si dedica alla ricostruzione, riparazione e/o sostituzione di tessuti danneggiati in seguito ad una patologia o ad un trauma. Tramite l'ingegneria dei tessuti, ci si propone di ricostruire *in vitro* una struttura la cui integrità e funzionalità sono venute a mancare nel paziente, per poi procedere al reimpianto e prendersi cura di monitorare e promuovere l'integrazione del nuovo tessuto all'interno dell'organo. Legata alla loro funzione biologica, i prodotti da ingegneria tissutale possono essere costituiti da una aggiuntiva componente non biologica (strutturale), oltre alla componente cellulare, che li pone al confine tra i farmaci ed i dispositivi medici.

I prodotti per terapia cellulare si differenziano da quelli per ingegneria tissutale sia per l' assenza di componenti non biologiche sia per la diversa funzione terapeutica, non essendo mirati alla ricostruzione o riparazione di un tessuto / organo, ma bensì intesi ad espletare una funzione biologica in grado di limitare il danno fisiologico sottostante la condizione patologica. I prodotti per terapia cellulare possono essere costituiti da cellule terminalmente differenziate (come ad esempio i condrociti) o da cellule staminali estensivamente manipolate in modo da acquisire diverse caratteristiche biologiche e funzioni al termine del processo produttivo.

La terapia genica ha l'obiettivo di trattare e curare le patologie intervenendo a livello dell'espressione dei geni in un tessuto bersaglio o a livello dell'intero organismo. I prodotti da terapia genica possono comprendere sia virus modificati e somministrati in modo tale da favorire l'infezione della cellula bersaglio o cellule modificate geneticamente durante il processo di produzione. Sebbene storicamente la terapia genica sia legata alle patologie monogeniche, ad oggi approcci terapeutici legati a modifiche del genoma trovano applicazione anche in patologie diverse e non monogeniche, come nel caso dei tumori. La modifica del genoma della cellule ospite può avvenire attraverso l'uso di virus modificati o carrier non biologici complessati con l'acido nucleico. Diversi tipi di virus sono stati sviluppati e vengono correntemente utilizzati a seconda della strategia terapeutica e delle caratteristiche della cellula target. Questi possono essere o non essere in grado di integrarsi nel DNA della cellula ospite. Alternativo all'uso dei virus, soluzioni lipidiche o nanoparticelle possono essere utilizzate come carrier per il trasporto di acidi nucleici all'interno della cellula bersaglio. Sebbene queste tecnologie offrano alcuni vantaggi in termini di sicurezza, tuttavia presentano severe limitazioni in quanto possono formare complessi con acidi nucleici di limitate dimensioni, e risulta problematico il trasporto degli stessi sino alla cellula bersaglio ed al suo interno, dove sono attivi sistemi endogeni di degradazione.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Data l'eterogeneità degli ATMP, è possibile individuare sia motivazioni allo sviluppo specifiche per ognuna delle tre classi sopra menzionate, sia aree di sviluppo comuni alle tre categorie. A scopo meramente esemplificativo si riportano di seguito le principali sfide legate alla terapia genica, e, successivamente, quelle motivazioni allo sviluppo che possono considerarsi comuni alle tre categorie.

Nonostante la continua evoluzione tecnologica, la sicurezza del prodotto è, probabilmente, uno dei maggiori limiti che fino ad oggi ha rallentato lo sviluppo clinico di questi farmaci, e, quindi, una delle principale motivazioni a sviluppare prodotti di terapia genica.

L' uso di vettori derivati da virus implica lo sviluppo di tecnologie in grado di controllare la potenziale patogenicità del virus parentale. In particolare è fondamentale il controllo della replicazione virale nella cellula target impedendo la stessa nei vettori virali disegnati come replicazione incompetenti, o limitandola in quei vettori disegnati come condizionali per la replicazione. La necessità di uno stringente controllo della replicazione richiede perciò di sviluppare costrutti genici selettivamente deleti (rispetto al virus parentale) al fine di attenuare la capacità replicativa senza, o limitando al massimo, perdita della capacità infettante. Tra i virus più comunemente usati per la preparazione di vettori vi sono quelli in grado di integrarsi (in modo semi casuale) nel genoma della cellula ospite. I virus integranti (retro e lentivirus) vengono usati quando si desideri ottenere una espressione permanente del transgene. Sebbene la capacità integrante sia una caratteristica indispensabile in molte strategie terapeutiche, i vettori integranti possono dare luogo, in particolar modo in cellule non terminalmente differenziate, a fenomeni di de-regolazione dell'espressione genica potenzialmente risultanti in una crescita cellulare incontrollata e, in ultima analisi, a patologie linfoproliferative. Lo sviluppo di costrutti genici in cui sia possibile il controllo del sito di inserzione è quindi di fondamentale importanza anche in considerazione del fatto che l'insorgenza

di leucemia è stata osservata in passato in pazienti trattati con cellule staminali geneticamente modificate con un retrovirus. L' uso di vettori codificanti per zinc finger endonucleasi sono effettivamente in grado di integrarsi in modo sito specifico permettendo, almeno in via di principio, la sostituzione del gene difettivo con il corrispondente transgene. Sebbene questo tipo di vettori siano ancora in una fase di studio molto preliminare, essi appaiono come una promettente area di sviluppo.

I vettori lentivirali, essendo capaci di infettare cellule quiescenti in modo molto efficiente, risultano in grado di superare i limiti imposti dalla biologia dei retrovirus murini, che invece necessitano di cellule in attiva replicazione. I vettori lentivirali, in particolare quelli derivati da HIV, rappresentano quindi una delle aree di più intenso sviluppo e ad oggi con un crescente numero di studi clinici in corso. Il loro sempre maggiore utilizzo implica però lo sviluppo di sistemi produttivi più efficienti e standardizzati. In particolare emerge pressante la necessità di sviluppare sistemi, analoghi a quelli già in uso per i vettori murini, basati su linee cellulari stabili (e sicure) che incorporino i costrutti plasmidici necessari per la produzione del vettore virale ed in questo modo consentano processi produttivi maggiormente standardizzabili.

La somministrazione diretta di vettori virali, in particolare, ma non esclusivamente, implica la selettività del vettore stesso verso la cellula target. Vettori chimerici, vale a dire codificanti per ligandi in grado di riconoscere e legare selettivamente recettori specificatamente espressi sulla cellula target (come ad esempio i CAR utilizzati per terapie antitumorali), così come vettori codificanti per promotori tessuto specifici in grado attivare selettivamente la trascrizione unicamente nelle cellule dove l'espressione del transgene sia desiderata, sono ad oggi già in sperimentazione clinica e in continua evoluzione. Un'ulteriore area di particolare interesse è rappresentata da costrutti codificanti per RNAi, in grado di conferire al vettore un ulteriore livello di controllo dell' espressione genica durante lo step post-transcrizionale.

Nonostante le rispettive specificità, i prodotti da terapia avanzata nel loro insieme presentano anche motivazioni allo sviluppo comuni relativi alla produzione e controllo del farmaco, alla sua formulazione ed alla sicurezza pre-clinica.

Produzione

I processi produttivi attualmente utilizzati per la preparazione di ATMP sono caratterizzati da un'elevata manualità e da una scarsa automazione. La necessità di sviluppare sistemi produttivi in grado di soddisfare il potenziale aumento della domanda è la diretta conseguenza del crescente interesse verso questa tipologia di prodotti ed il progressivo aumento di pazienti che potranno usufruire di prodotti da terapia avanzate. In particolare, la produzione su larga scala di vettori virali e di tessuti ingegnerizzati potrà richiedere lo sviluppo della produzione in bioreattori che garantiscano, da una parte un più controllato e standardizzabile flusso dei nutrienti e delle condizioni chimico-fisiche della cultura cellulare, e, dall'altra, volumi produttivi adeguati ad un crescente numero di pazienti per i prodotti che entrano nelle ultime fasi dello sviluppo ed in commercio. Occorre inoltre considerare che, sebbene questi approcci terapeutici siano stati storicamente indirizzati verso patologie rare o rarissime (vale a dire con un numero di pazienti basso o bassissimo), gli incoraggianti risultati clinici ottenuti ed il susseguente forte impulso allo sviluppo tecno-

logico stanno via via spostando il loro campo applicativo verso malattie caratterizzate da un più alto numero di pazienti. La tecnologia dei bioreattori disposable è ideale per i prodotti ATMP. Dalle fiasche per le colture di cellule ai sistemi multipiano, multipli di vassoi monouso, alle Roller, bottiglie rotanti, e negli ultimi anni ai Waves, sacche basculanti, sul mercato c'è oggi un'ampia gamma di bioreattori in grado di soddisfare la produzione "in compliance" con la normativa europea e nazionale GMP. Questi bireattori, fatti di plastica, ad alta superficie rispetto al volume, facili da usare, che alla fine della produzione vengono eliminati, presuppongono investimenti limitati sia in termini economici che di spazi e personale impiegato, evitano le operazioni di clearing validation alla fine del processo, evitano cross contaminazione.

Per i prodotti da ingegneria tissutale è poi fondamentale sviluppare i sistemi di coltura dedicati alla produzione di tessuti tridimensionali *in vitro* controllabili onde evitare situazioni di stress per le cellule che potrebbero causarne una modificazione in termini di proprietà e di profilo di sicurezza per il paziente. A tal fine è necessario sviluppare sistemi a biosensori (integrati nel bioreattore e capaci di fornire un feedback rapido al variare delle condizioni), sistemi di microfluidica (capaci di fornire una perfusione uniforme in tutto il tessuto), o di imaging (per il controllo della corretta crescita e distribuzione cellulare) e componentistica monouso. Inoltre, la componente non biologica (strutturale) combinata nei prodotti da ingegneria tissutale richiede una ricerca nel campo dei biomateriali che devono raggiungere un alto grado di biocompatibilità (onde evitare il rigetto) ed in grado sia di soddisfare le necessità delle cellule in termini di adesione, flessibilità e caratteristiche fisico/chimiche, sia i requisiti richiesti per la certificazione come dispositivo medico.

Prodotti a base cellulare possono inoltre essere specifici per il singolo paziente. Questa caratteristica implica un approccio alla produzione totalmente innovativo rispetto al farmaco tradizionale. La generazione di un elevato numero di lotti, infatti, non beneficia dell'economia di scala in modo sensibile poiché ogni prodotto richiede una linea di produzione indipendente e l'esecuzione di tutti i controlli di sicurezza prima dell'utilizzo sul paziente. L'incremento di scala non passa perciò in questo caso attraverso il classico modello dell'aumento dei volumi produttivi (scale up), bensì attraverso modelli incrementali di scala basati su un aumento delle singole unità produttive (scale out).

I processi produttivi che coinvolgono le cellule staminali o primarie sono generalmente complessi e di difficile riproducibilità. Questi infatti richiedono condizioni che limitino il differenziamento cellulare laddove si voglia preservare la staminalità o, alternativamente, indirizzino lo stesso verso la linea di differenziamento richiesta. Inoltre, l'uso di cellule staminali ad un più elevato grado di totipotenzialità, non reperibili tramite il sistema ematopoietico, implica l' adozione di fonti alternative, tra cui anche quella basata sull'uso di embrioni, estremamente controverso da un punto di vista etico.

Poiché gli ATMP vengono per lo più, somministrati per via endovenosa/parenterale, la sterilità del prodotto è un requisito necessario, come per ogni farmaco iniettabile. Tuttavia, essendo questi molto comunemente basati su cellule, non possono in alcun modo essere sottoposti ad un procedimento di sterilizzazione terminale (quale ad esempio la filtrazione o l'irradiamento). Risulta pertanto importante lo sviluppo e l'ingegneria di processi produttivi che garantiscano nella maggiore misura possibile l'isolamento del prodotto, limitando in questo modo la possibilità di contamina-

zione microbiologica. D'altro canto, le strutture produttive non solo devono garantire il massimo isolamento del prodotto durante le manipolazioni, ma anche il contenimento necessario per la manipolazione di virus e microorganismi geneticamente modificati. Inoltre la variabilità intrinseca ai processi di manipolazione e la necessità di coesistenza di manipolazioni / processi anche molto diversi all' interno della stessa struttura implica una richiesta di flessibilità dei sistemi produttivi e una conseguente adattabilità dei sistemi di qualità che devono garantire l'aderenza alle normative. Infine, i processi produttivi adottati per la coltivazione di cellule spesso ricorrono all' uso di reagenti non facilmente reperibili sul mercato e con il grado qualitativo richiesto per la produzione farmaceutica. Particolare attenzione quindi deve essere posta all' utilizzo di tale reagenti e lo sviluppo / produzione di materiali di grado adeguato si configura come un'ulteriore area di possibile sviluppo.

Controllo qualità ed "end product testing"

Prodotti basati su cellule sono di difficile caratterizzazione. In particolar modo risulta problematica sia la definizione qualitativa che la misura quantitativa di specifiche caratteristiche cellulari, e la loro associazione con l'attività biologica/farmacologica del prodotto stesso. Inoltre, assai comunemente questi prodotti hanno una bassa stabilità, rendendo necessaria la somministrazione immediatamente al termine del processo produttivo e quindi impedendo il completamento dei test analitici prima della somministrazione stessa. Da questo punto di vista risulta quindi critico perseguire uno sviluppo di metodiche analitiche, da un lato per raggiungere una più approfondita conoscenza del prodotto e delle sue caratteristiche biologiche, dall' altro per ottenere metodiche standardizzabili (quindi facilmente trasferibili da operatore a operatore o da sito a sito) e dotate di tempi di risposta compatibili con i tempi di somministrazione.

Formulazione / Conservazione / Logistica

I prodotti a base di cellule sono caratterizzati da una forte sensibilità alla temperatura e richiedono una manipolazione idonea per garantirne la corretta conservazione. Inoltre, come in precedenza riportato, essi possono essere formulati come sospensioni congelate o somministrate immediatamente al termine del processo produttivo. Nel primo caso è rilevante lo studio delle formulazioni più adatte al congelamento delle cellule e l'utilizzo di sostanze criopreservanti senza tossicità per il paziente. Inoltre, le condizioni stringenti in cui i prodotti a base di cellule possono essere conservati (siano esse in forma congelata o come cellule vitali) implica la messa punto di condizioni di trasporto su larga scala del tutto specifiche e che siano in grado di garantire la funzionalità del prodotto.

Gli ATMP possono essere dedicati ad uno specifico paziente. È pertanto indispensabile in questi casi garantire la completa tracciabilità donatore / ricevente attraverso tutta la filiera produttiva sino al sito di somministrazione. Lo sviluppo di sistemi di tracciabilità automatici ed integrati (ad esempio mediante codici a barre), che parta dall'acquisizione del materiale di partenza, prosegua lungo tutto il processo produttivo e giunga sino alla preparazione del prodotto finito ed alla sua consegna presso il sito di somministrazione, rappresenta quindi un'ulteriore area di sviluppo nonché uno strumento per aumentare la sicurezza del prodotto limitando la possibilità di errori.

Pre-clinica

I prodotti a base cellulare sono altamente specie specifici. Questa caratteristica rende la maggior parte dei modelli animali correntemente utilizzati negli studi di tossicologia pre-clinica inutilizzabili per la valutazione della loro sicurezza. Sorge pertanto l'esigenza di sviluppare nuovi modelli animali in cui la barriera immunitaria non rappresenti un ostacolo ed in grado di mimare in modo efficace la condizione patologica. Tali modelli possono essere utilizzati sia per studi predittivi di efficacia del farmaco sia per gli studi tossicologici e di farmacocinetica / biodistribuzione.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Tra le categorie di ATMP, i prodotti da ingegneria dei tessuti o da terapia cellulare, sono sicuramente quelli allo stadio più avanzato di sviluppo rispetto ai farmaci basati su approcci di terapia genica.

Prima dell'entrata in vigore della nuova normativa in materia, che obbligava i produttori di ATMP ad ottenere dall' Agenzia Europea del Farmaco (EMA), entro la fine del 2012, una nuova autorizzazione (centralizzata) che consentisse la commercializzazione su base continentale, una serie di prodotti da terapia cellulare / tissutale venivano già commercializzati su base nazionale (vale a dire con autorizzazione rilasciata dalla singola autorità locale competente). Ad oggi sono 4 i prodotti a base di cellule che hanno ricevuto l'approvazione da parte dell'EMA. Dopo 6 anni dall'entrata in vigore della nuova normativa e dopo due dalla scadenza dei termini per la conversione delle autorizzazioni nazionali in centralizzate, sono state presentate ad EMA 12 richieste di autorizzazione al commercio; di queste 5 si riferiscono a prodotti già legalmente in commercio su base nazionale, di cui 3 hanno con successo completato l'iter registrativo. A titolo di confronto, ad oggi sono 9 i prodotti di questa tipologia approvati da FDA negli Stati Uniti. Molti dei prodotti registrati sono costituiti da cheratinociti o condrociti indicati per la riparazione di tessuti ossei o vascolari, o cellule staminali ematopoietiche utilizzati come trattamento adiuvante post-trapianto. Per quanto riguarda la terapia genica, ad oggi nessun prodotto è stato registrato in USA mentre in Europa è stato approvato il primo prodotto nel 2012 (Glybera®) consistente in un virus adeno-associato modificato e indicato per una rara forma di dislipidemia (iperlipoproteinemia di tipo E). Un ulteriore prodotto è stato approvato in Cina nel 2005 ed è costituito da un vettore adenovirale codificante per p53 ed indicato per tumori a testa e collo. Ad oggi sono in corso numerose sperimentazioni cliniche che utilizzano prodotti di terapia genica (RNA interference, vettori virali, vaccinazione a DNA, cellule geneticamente modificate). Sul database pubblicato on line da Wiley – "Journal of Gene medicine" (http://www.abedia.com/wiley/index.html) si riportano (aggiornamento a giugno 2014) 44 studi clinici approvati worldwide per l' anno corrente e 120 studi per l' anno 2013. In totale 2,076 studi clinici sono stati aperti dal 1989 ad oggi, di cui il 78% di Fase I e Fase I/II ed il restante 22% di Fase II e fase III.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 10

APPLICAZIONI E TECNICHE DI IMPIEGO DELL'AZOTO LIQUIDO IN CAMPO INDUSTRIALE ED A SUPPORTO DELL'ATTIVITÀ DI RICERCA & SVILUPPO

DESCRIZIONE

L'azoto è uno dei gas più comuni in natura (costituisce circa il 79% dell'atmosfera terrestre) ed in virtù delle sue caratteristiche chimico-fisiche – in particolare del suo basso punto di ebollizione [77,35 K ovvero -195,80 °C], allo stato liquido è da considerarsi indubbiamente uno dei più versatili ed efficaci refrigeranti che ha trovato crescente impiego in numerosi campi tecnico-scientifici, quali: la ricerca medica, il settore farmaceutico e del "Drug Discovery", la biologia molecolare ed il suo sviluppo in ambito delle biotecnologie, ecc.

In virtù della sua abbondanza -e conseguentemente del suo basso costo – e soprattutto per via della sua inerzia chimica, le applicazioni e le tecniche di impiego dell'azoto liquido sono davvero molteplici, in particolar modo:

- **in campo analitico-strumentale,** *ad esempio per la microscopia elettronica, nelle trappole criogeniche, nei sistemi di adsorbimento ed in abbinamento all'elio liquido nelle tecniche di spettrometria a risonanza magnetica per immagini (MRI) ed a risonanza magnetica nucleare (NMR);*
- **nelle tecniche di crioconservazione** *di materiali biologici, organi, cellule, proteine, tessuti, a temperature molto al di sotto del punto di congelamento- in grado di interrompere i processi biochimici del metabolismo cellulare, assicurando comunque il mantenimento della vitalità cellulare per un tempo prolungato sebbene in uno stato di assoluta quiescenza.*

Tenuto conto del suo ruolo cruciale che svolge nelle diverse applicazioni in cui trova impiego, l'azoto liquido viene messo a disposizione di enti pubblici ed imprese tramite un servizio denominato **SERVIZIO CRYOSERVICE,** ovvero un servizio puntuale che prevede il riempimento di contenitori criogenici di stoccaggio dell'azoto liquido di piccola-media capacità (30LT-240LT) denominati ***dewar/evaporatori*** oppure di contenitori di capacità decisamente superiore (1.000LT-2.000LT) denominati ***microbulk***, direttamente presso l'utenza mediante cisternetta mobile.
Su chiamata dell'utente il servizio viene attivato generalmente entro 24-48 ore, assicurando in questo modo questo modo rifornimenti di azoto liquido – direttamente presso il cliente finale – rapidi ed efficaci.
Nell'ottica di offrire **sistemi di misurazione efficaci ed innovativi** del residuo di azoto liquido all'interno dei dewar ed evaporatori criogenici -in sostituzione alle tradizionali aste di livello graduate da immergere all'interno dei dewar, trovano sempre maggior impiego innovativi sistemi di lettura denominati "Cryogenic Monitoring Systems", in grado cioè di quantificare con buona precisione il livello di prodotto contenuto all'interno dei recipienti criogenici, assicurando in questo

modo un monitoraggio efficace ed affidabile delle scorte residue.
Tali dispositivi, tramite semplice interfaccia filettata da implementare direttamente sulla testa di travaso dei dewar, sono costituiti da:

- un lettore rimovibile digitale dotato di un display per la lettura in continuo della ***pressione*** e ***quantità di prodotto*** interna al dewar;
- giunzioni filettate per **connessione del lettore al tubo pescante** interno al dewar/evaporatore;
- **sistema di allarme** audio-visivo di segnalazione di basso livello
- sistema opzionale di lettura ad ALTA PRECISIONE della pressione interna al dewar tramite apposito **trasduttore di pressione**

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Sebbene l'impiego dell'azoto liquido, quale "vettore criogenico", sia ormai ben conosciuto e capillarmente diffuso sia a livello produttivo, sia in ambito di R&D (attività di ricerca e sviluppo), il rapido progredire delle tecnologie avanzate in campo analitico-strumentale e della crioconservazione presuppone la necessità di offrire servizi di fornitura e di assistenza tecnica sempre più efficienti ed all'avanguardia, tesi a garantire la massima praticità operativa ed elevati standard di sicurezza nella gestione del riempimento dei contenitori.
In particolare, lo sviluppo delle tecniche e delle tecnologie che riguardano l'impiego dell'azoto liquido deve costantemente orientarsi alla ricerca di:

- **servizi flessibili, modulabili e adeguati alle nuove tecnologie in costante sviluppo,** *in grado cioè di assicurare riserve di prodotto garantite e rifornimenti puntuali ed affidabili grazie ad una programmazione flessibile degli approvvigionamenti;*
- **contenitori, apparecchiature e sistemi di conservazione sicuri,** *progettando e mettendo a disposizione sistemi che rispondano ai più restrittivi requisiti di qualità e sicurezza e, contestualmente, minimizzando la movimentazione dei dewar/evaporatori/microbulk, allungandone in questo modo l'efficienza e la loro capacità di isolamento;*
- **esporre al minimo gli operatori ai rischi** *connessi con la manipolazione di gas criogenici (ustioni da freddo, sotto-ossigenazione, etc.) durante le operazioni di travaso, ed aumentando la sicurezza sul corretto funzionamento delle apparecchiature grazie ad una pronta tempestività del servizio di assistenza a far fronte ad una richiesta di rifornimento di azoto liquido e/o segnalazione di eventuali malfunzionamenti.*

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Sia in Italia, sia all'estero, la domanda di servizi "custom" ed innovativi, in grado cioè di sostituire le tecnologie convenzionali di impiego dell'azoto liquido basate sulla "sola e semplice" messa a disposizione di prodotto e di apparecchiature criogeniche a supporto, è in costante crescita ed è sempre più rivolta a ricercare la massima fruibilità ed affidabilità dai sistemi di erogazione/stoccaggio di azoto liquido più "tecnologicamente" evoluti esistenti ad oggi sul mercato.

- Sistemi "controlled rate freezing", a gradiente controllato di crescita e/o diminuzione delle temperature, in grado cioè di ridurre rischi di danno ai materiali biologici,

- Sistemi provvisti di contenitori robotizzati ed alimentati in modo indipendente, con raffreddamento ad azoto liquido, controllo elettronico delle temperature e sistema di allarme,
- Sistemi che assicurino il rispetto di protocolli accreditati di criocongelamento e/o dedicati all'impiego all'interno di camere bianche in classe A, sono solo alcuni esempi dei principali target ad oggi più diffusi e richiesti.

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore 5 – Farmaceutica e Biotecnologie

NCNBIO	Maria Luisa Nolli (coordinatore)
BRACCO	Fulvio Uggeri
	Federico Maisano
DIASORIN	Francesco Colotta
DOMPÈ	Marcello Allegretti
	Candida Cesta
ELETTRA SINCROTRONE	Paola Storici
ENEA	Patrizia Galeffi
FARMINDUSTRIA	Giuseppe Caruso
IC-CNR – Univ. Napoli	Michele Saviano
INSTM – Univ. Pisa	Federica Chiellini
	Anna Piras
PRAXAIR	Pierangelo Scoero
	Mario Alloatti
SORIN GROUP	Silvia Pascale
STMICROELECTRONICS	Andrea Pagni
	Marco Bianchessi

con la collaborazione di:

ASSOBIOTEC/FEDERCHIMICA	Leonardo Vingiani
MOLMED	Germano Garganico
	Sergio Fracchia

SETTORE 6

>TRASPORTI<

PROFILO DEL SETTORE

Nel settore dei Trasporti, l'Unione Europea, promuovendo lo sviluppo di cluster tecnologici di dimensione continentale e nazionale, si propone di migliorare il mercato interno, rafforzando contestualmente la coesione economica e sociale tra Stati, mediante il conseguimento di obiettivi specifici:

- l'ammodernamento delle infrastrutture (multimodali, interoperabili, di qualità elevata);
- il completamento della copertura di tutto il territorio comunitario;
- una efficiente mobilità di persone e merci con un uso ragionevole delle risorse e migliori condizioni sociali, ambientali e di sicurezza;
- l'uso ottimale delle capacità esistenti, la sostenibilità economica della rete e la creazione di nuovi posti di lavoro, crescita economica, coesione territoriale e sociale in tutta l'Unione Europea.

Nel 2014 si è costituito formalmente il "Cluster Trasporti Italia 2020", con la missione di favorire il recupero della competitività del "made in Italy" nelle filiere della mobilità su gomma, su rotaia, su vie d'acqua e dei "trasporti intelligenti". Gli associati, al momento di scrivere, sono quasi un centinaio, in rappresentanza dei maggiori player italiani, industriali e scientifici, tra cui, solo per citarne alcuni, Fiat, Ansaldo Breda ed Ansaldo STS, Rete Ferroviaria Italiana, Fincantieri, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Politecnico di Milano e di Torino.

La spinta iniziale alla costruzione del Cluster è venuta dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca che, con il "Bando Cluster tecnologici", ha voluto sostenere, per la prima volta su scala nazionale, nelle aree strategiche per il Paese, la nascita e lo sviluppo di aggregazioni organizzate pubblico-private "da

identificare quali propulsori della crescita economica sostenibile dei territori e dell'intero sistema economico nazionale", con particolare riferimento allo sviluppo innescato dalle attività di Ricerca e Innovazione.

Le sinergie fra Industria, Enti di ricerca e Pubblica Amministrazione, così come il trasferimento di best practice e di tecnologie e la formazione specialistica a tutto campo, sono i cardini su cui il Cluster Trasporti Italia 2020 farà leva per perseguire livelli superiori di concorrenzialità in un settore strategico per il Paese, all'insegna della sostenibilità (ambientale, economica e sociale), facendo entrare in gioco nelle proprie traiettorie di innovazione alcune tematiche prioritarie che avranno un sicuro rilevante impatto sulla competitività del Sistema Paese.

Il Cluster Trasporti Italia 2020, insieme agli altri sette cluster approvati dal bando Miur nelle aree tecnologiche strategiche per il sistema Paese, rappresenta un nuovo strumento per lo sviluppo della competitività industriale, dell'innovazione e della crescita del comparto della mobilità italiana.

TRASPORTO STRADALE

Nel 2013 la domanda mondiale di autoveicoli[1] ha riguardato complessivamente 87,3 mln di unità, con una crescita del 3,7% rispetto al 2012, che aveva già registrato un 5% di incremento sul 2011. Il 75% delle vendite complessive riguarda le autovetture. Il mercato degli autoveicoli nel 2013 è stato sostenuto in particolare dalle vendite in Cina e Nafta. L'area più in difficoltà è risultata l'Unione Europea. La domanda di autoveicoli in Cina ha rappresentato oltre un quarto dell'intero mercato mondiale di autoveicoli, mentre l'intero continente asiatico equivale al 43% della domanda globale. Si tratta di un continente che ospita quasi il 60% della popolazione mondiale, oltre 4 mld di abitanti su 7 mld (dati Nazioni Unite), con tassi di crescita economica del 7,7% per Cina, 5% India e 5,2% ASEAN (dati Ottobre 2014, FMI[2]).

La domanda continuerà a crescere, soprattutto nei paesi emergenti e in via di sviluppo, rappresentando una grande opportunità per l'industria automotive, che andrà ad aumentare i propri livelli produttivi proprio in quei paesi: ne consegue un rischio per i mercati maturi, che invece soffrono di un eccesso di capacità produttiva rispetto alla sola domanda di sostituzione. C'è infatti una stretta correlazione tra la ricchezza di un paese e lo sviluppo della sua motorizzazione: nel 2014 il numero di immatricolazioni di autoveicoli nei Paesi BRIC sarà di 2,3 volte superiore a quello dell'UE, mentre si attestava a 1,8 nel 2011 e a 0,8 nel 2007. I dati preliminari dei primi 9 mesi 2014 evidenziano una

1 Gli autoveicoli includono autovetture, veicoli commerciali e industriali, autobus

2 FMI Fondo Monetario Internazionale

crescita del mercato degli autoveicoli del 3,1% sull'analogo periodo del 2013, con 64,09 milioni di vendite. I mercati più dinamici risultano essere quelli delle aree di NAFTA e ASIA, leggera crescita del mercato europeo e flessione del mercato sudamericano. Nel 2014 la domanda mondiale di autoveicoli è prevista aumentare tra il 3 e il 4%.

La produzione mondiale di autoveicoli, sostenuta dall'andamento positivo della domanda, ha totalizzato oltre 87 mln di unità nel 2013, pari ad una crescita di circa il 3,7% sul 2012.

L'industria autoveicolistica rappresenta il volano della crescita per le economie delle principali aree di produzione, che attraverso essa hanno creato valore e generato effetti positivi sulle bilance commerciali, trainando tanti altri settori industriali e creando occupazione diretta e indiretta. Questo sviluppo tuttavia non solo presenta disomogeneità, ma è caratterizzato da continui cambiamenti e contraddizioni. Di fatti dal punto di vista geografico si è delineato uno spostamento dei volumi produttivi dalle aree di più antica tradizione automobilistica, condizionate dalla saturazione dei mercati e dall'eccesso di capacità produttiva, verso aree nuove, a favore delle quali giocano fattori demografici e di sviluppo economico generale oltre che bassi costi di produzione. Il 52,5% degli autoveicoli è ormai prodotto in Asia-Oceania, il 22,6% in Europa e il 19% circa nell'area Nafta, il 6% nel Resto del Mondo. La Cina è il primo paese produttore del mondo (25% della produzione mondiale), seguita da Stati Uniti (il 12,7%), il Giappone (l'11%), seguono Germania, Sud Corea, India, Brasile, Messico; nel 2013 la Tailandia ha conquistato una posizione, superando il Canada. I paesi del BRIC[3] con 31,9 mln di autoveicoli (+9,6% sul 2012) rappresentano il 36,5% della produzione mondiale (era il 34,5% nel 2012). I paesi BRIC condividono una grande popolazione (Russia e Brasile oltre un centinaio di milioni di abitanti, Cina e India oltre un miliardo di abitanti), un immenso territorio, abbondanti risorse naturali strategiche. Una delle principali conseguenze della crescita e del consolidamento dei BRIC è stato l'emergere di una nuova classe media, il che costituisce un dato di grande rilevanza poiché si tratta di quattro paesi molto popolosi (principalmente Cina e India).

Le previsioni per il 2014 spingono verso un nuovo record di produzione (91 milioni, +4% sul 2013), sostenuto dai paesi asiatici e dall'area Nafta. L'Europa Occidentale totalizzerà a fine 2014 una produzione in leggera crescita, grazie ai volumi di Germania, Spagna, Francia e Regno Unito. L'area dei nuovi Paesi membri vede l'affermarsi soprattutto delle produzioni in Repubblica Ceca e Slovacchia, con volumi quasi doppi rispetto all'Italia.

3 BRIC include Brasile, Russia, India, Cina

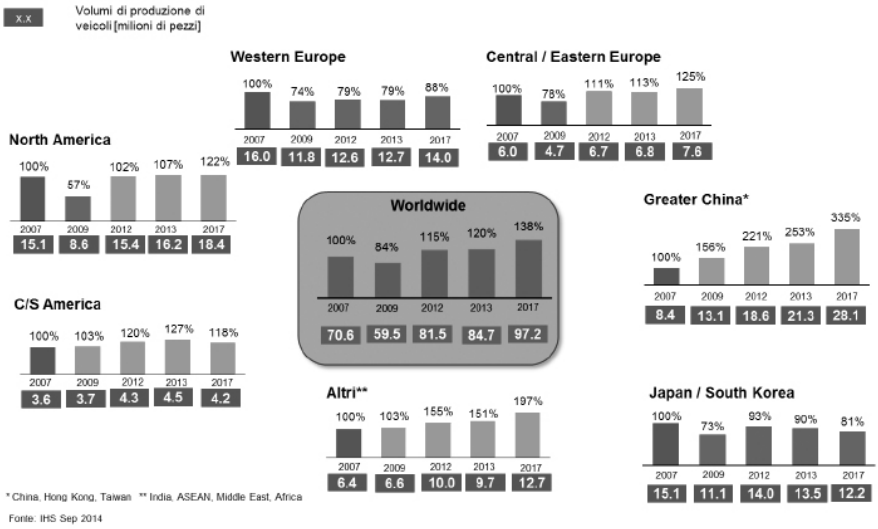


FIG. 95 – VOLUMI DI PRODUZIONE DI VEICOLI A LIVELLO GLOBLE

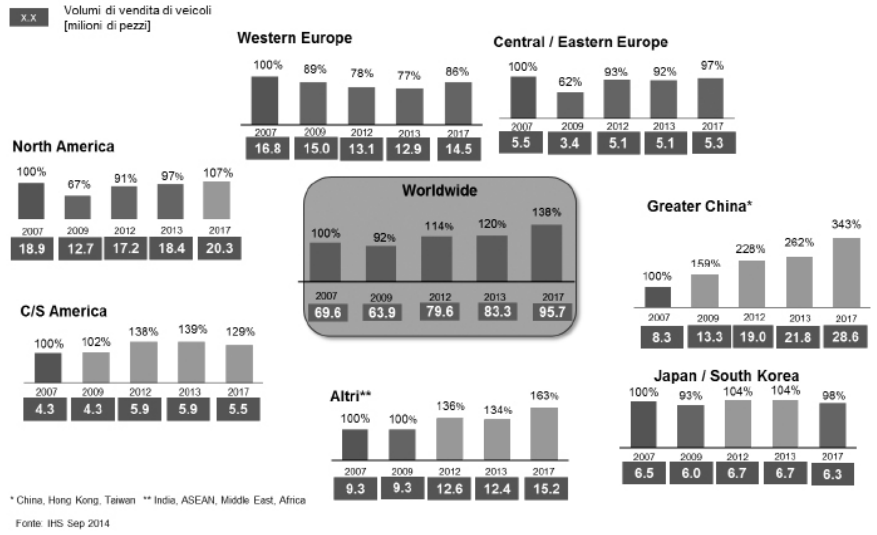


FIG. 96 – VOLUMI DI VENDITA DI VEICOLI A LIVELLO GLOBLE
(NOTA: LIGHT VEHICLES INCLUDONO AUTOVETTURE+LIGHT TRUCKS)

FIG. 97 – L'INDUSTRIA AUTOMOTIVE IN EUROPA, FONTE: ACEA, VDA, IHS, EUROSTAT
DATI INDUSTRIA AUTOMOTIVE

PRODUZIONE	MONDO	AUTOVEICOLI	2013	87,3	mln di unità	
	UE27	autoveicoli	2013	16,2	mln di unità	= 19% della produzione mondiale
	Mondo	autovetture	2013	65,4	mln di unità	
	UE27	autovetture	2013	14,6	mln di unità	= 22% della produzione mondiale
	Produzione in valore		2012	681,5	mld di euro	
Nuove immatricolazioni	Mondo	autoveicoli	2013	85,6	mln di unità	
	UE27	autoveicoli	2013	13,6	mln di unità	= 16% del mercato mondiale
	Mondo	autovetture*	2013	73,1	mln di unità	
	UE27	autovetture	2013	11,9	mln di unità	= 16% del mercato mondiale
	Diesel (UE15)	autovetture	2013	53%		
Manodopera	Addetti diretti produzione		2011	2,2	mln di addetti	= 7,4% della manodopera del settore manifatturiero in UE
	Addetti diretti e indiretti produzione		2011	3,1	mln di addetti	= 10,3% della manodopera del settore manifatturiero in UE
	Totale (addetti+indiretti)		2011	12,7	mln di addetti	= 5,8% degli occupati in UE
Fatturato	Costruttori di autoveicoli (UE27)		2012	843,4	mld di euro	= 6,6% del Pil in UE
R&S	Costruttori aderenti ACEA		2012	32,3	mld di euro	= 3,8% del fatturato
Valore aggiunto	UE27		2011	154,3	mld di euro	= 9% del fatturato del settore manifatturiero
Exports	Extra-UE27		2013	123,1	mld di euro	
Imports	Extra-UE27		2013	27,9	mld di euro	
Trade balance			2013	95,1	mld di euro	
Parco circolante	Autoveicoli		2012	281,4	mln di unità	
	Autovetture		2012	246,3	mln di unità	
	Tasso di motorizzazione (vetture)		2011	487	per 1000 abitanti	
Entrate fiscale dalla motorizzazione	UE15		2013	388,8	mld	

* incluso light trucks Nafta

Nel 2013 la domanda di autoveicoli in Unione Europea si è ridotta di circa un quarto rispetto ai volumi del 2007. Il calo risulta più pesante per il comparto dei veicoli commerciali e industriali, che subiscono un ridimensionamento del 35%; secondo i dati di Eurostat, il trasporto merci su strada in mld di t/km nel 2012 si è ridotto del 12% rispetto al 2007. Nel 2014 il mercato delle autovetture dell'UE28+ Efta potrebbe chiudersi con volumi vicini ai 13 milioni di unità, con un incremento attorno al 4,9% sul 2013, anche se il suo raggiungimento dipenderà dalla temuta frenata del mercato spagnolo per i prossimi mesi di Novembre e Dicembre, in assenza di una proroga del Plan Pive 6, andato ad esaurimento alla fine di Ottobre e dalla debolezza del mercato francese. La previsione di crescita del mercato per il 2015 è contenuta per ora al 2,6% rispetto al 2014. Di riflesso nel 2013 i volumi della produzione di autoveicoli sono scesi del 18% in UE rispetto al 2007, pari a 3,5 milioni di unità in meno. Nel 1° semestre 2014 la produzione di autoveicoli registra un recupero di oltre il 5% rispetto a gennaio-giugno 2013 (dati OICA).

È ormai noto che i tassi di motorizzazione automobilistica e i livelli di mercato sono direttamente connessi gli uni agli altri e il mercato europeo è ormai diventato un mercato ampiamente contraddistinto dai cicli di rinnovo. Nei Paesi dell'Europa occidentale la sostituzione dell'automobile avviene principalmente per usura o per incidente e nell'area dei Nuovi Paesi Membri la domanda non è in grado di assorbire il surplus produttivo dell'intera area UE. Il mercato autovetture in UE è contraddistinto dall'introduzione di norme regolatrici in materia di ambiente sempre più stringenti. Dal 2015 la media delle emissioni di CO_2 delle nuove vetture vendute non dovrà superare i 130 g/km, con una ulteriore riduzione a 95 g/km entro il 2021.

Le innovazioni tecnologiche applicate ai veicoli, ai servizi e ai sistemi di trasporto e gestione del traffico, in Europa possono però creare nuovi posti lavoro, compensando le perdite determinate dal ridimensionamento di siti produttivi. L'industria automotive dell'Unione Europea dà lavoro a 12,7 milioni di persone tra addetti diretti e indiretti, pari al 5,8% di tutti gli occupati (dati 2011, Eurostat); la bilancia commerciale del comparto autoveicoli è positiva per oltre 95 miliardi di euro; i costruttori di autoveicoli investono in ricerca e sviluppo oltre 32 miliardi di euro, pari al 3,8% del loro fatturato e al 25% dell'intera spesa in R&D, l'industria automotive è il settore che investe di più. L'Ufficio Europeo Brevetti (EPO-European Patent Office) ha registrato nel 2013 oltre 10.500 nuovi brevetti applicati all'autoveicolo.

Il mercato degli autoveicoli, con oltre 1,42 milioni di unità, ha registrato nel 2013 un calo complessivo del 7,4% sul 2012, che risultava già in calo del 21% sul 2011.

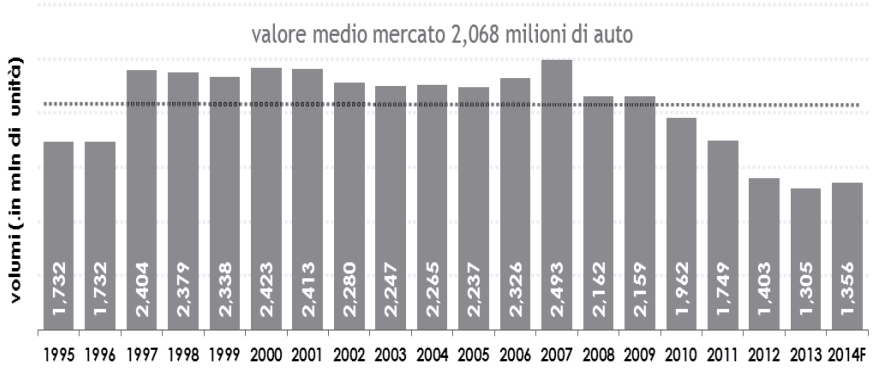


FIG. 98 – TREND MERCATO AUTOVETTURE

Dal 2007, anno record delle vendite con circa 2,5 milioni di autovetture nuove, il mercato ha subìto una costante contrazione dei volumi, fino ad arrivare a 1,3 milioni di registrazioni nel 2013 (sui livelli di 30 anni fa). Rispetto al 2007, la perdita ammonta a circa 1,2 mln vetture (-48%), con riflessi pesantissimi sulla produzione industriale e sull'occupazione. Il consuntivo dei primi 10 mesi 2014 totalizza oltre 1,16 milioni di nuove immatricolazioni, in aumento del 4,2% rispetto a gennaio-ottobre 2013. Il mercato nel 2014 dovrebbe chiudersi con il segno positivo, dopo anni di domanda in continua contrazione, a 1,356 milioni di autovetture (+3,6% / 4% sul 2013). Se si considerano gli ultimi 20 anni, risulta un valore medio annuo di mercato pari a 2,068 milioni di auto. Gli anni con volumi decisamente superiori a questo valore (1997-2007), hanno consentito lo svecchiamento del parco autovetture, i volumi degli anni di crisi che sono stati molto al di sotto del valore medio (2011-2014) hanno contribuito invece all'innalzamento dell'età media del parco, che è passato da 7,5 anni del 2003 a 9,5 del 2013.

L'Italia ha il mercato auto a trazione alternativa più grande d'Europa, sia in termini di volumi (circa 200 mila vetture nel 2013) che di quota (13,5% del totale mercato), seguita a distanza dall'Olanda (48.600 unità e una quota del 6,9%). Nei primi 10 mesi 2014 vetture "ecofriendly" superano le 181mila immatricolazioni (+7%) e pesano per il 15,7% sul totale venduto.

Più volte è stato denunciato che a fronte della perdita di capacità di spesa da parte degli italiani si è risposto in questi anni di pesante recessione con l'inasprimento delle imposizioni fiscali sull'auto, giunte a livelli tali da generare una profonda contrazione del mercato, con conseguenze gravi sia a livello industriale, sia sul parco circolante sempre più obsoleto, poco sicuro e inquinante. Nel 2013, la percentuale del gettito fiscale derivante dal comparto automotive sul PIL sale al 4,5% (era 4,4% nel 2012), mantenendo il primato tra i maggiori

Paesi europei[4], che hanno una media del 3,2%. Il carico fiscale sulla motorizzazione è stato di 70,5 miliardi di euro nel 2013, un'imposizione fiscale in crescita del 6,3% in cinque anni, a fronte di un mercato degli autoveicoli nuovi calato del 39,8%. Dal 2009 al 2013 i consumi di carburanti sono calati del 25% per la benzina senza piombo e del 12% per il gasolio auto, mentre sono cresciuti del 38% per il GPL. Nonostante il calo dei consumi, il gettito per l'erario dalle imposte sui carburanti è cresciuto nello stesso periodo del 21,9%. Tale gettito risulta in calo solo nel 2013 sul 2012 (-2,1%). Al mezzo "automobile" non sempre esiste un'alternativa di trasporto pubblico adeguata (autobus/metro e treno). In ambito urbano si collaudano nuove formule per la mobilità per esempio attraverso la condivisione dell'auto (car sharing e car pooling), fuori dall'ambito urbano invece sia il TPL che il car sharing non sono ancora così efficienti e capillari da permettere la rinuncia dell'auto tout court.

Sul fronte del trasporto merci, in Italia nel 2012 rispetto al 2007 si è assistito ad un crollo del 31% del trasporto merci in t/km, mentre in Unione Europea il calo è stato del 12%. La Germania si conferma il primo Paese dell'Unione per volumi di merci trasportate su strada, seguita dalla Polonia, che ha sperimentato la crescita maggiore, vicina al 40% nel periodo 2007-2012, contribuendo insieme a Bulgaria, Slovenia e Repubblica Ceca a spostare il baricentro del trasporto merci europeo verso oriente. L'Italia è il paese invece che registra la contrazione più pesante nel 2012 (-13,2%), dopo quella già drammatica nel 2011 (-18,7%), seconda solo alla Grecia. I dati preliminari per il 2013 denunciano finalmente un lieve recupero per l'Italia. C'è una stretta correlazione tra i trend delle immatricolazioni di autocarri (>3,5 t di ptt) e i volumi trasportati su strada misurati in mld di tkm. La media delle vendite di autocarri medi-pesanti negli anni 2000-2008 ammontava a 36.700 unità/anno, negli anni 2009-2013 è scesa a 16.600.

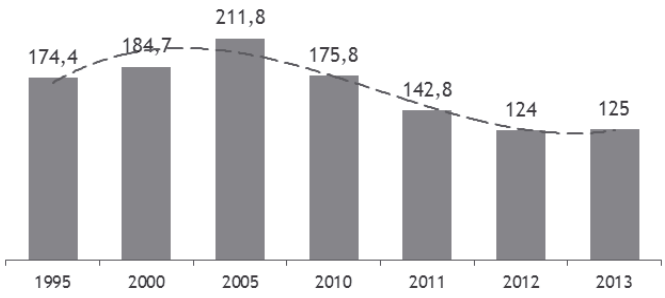


FIG. 99 – TRASPORTO COMPLESSIVO DI MERCI SU STRADA IN ITALIA
(FONTE ELABORAZIONI ANFIA SU DATI CNT DEL MINISTERO DEI TRASPORTI)

4 Francia, Germania, Spagna, UK

Per quanto riguarda il mercato degli autobus, il comparto dei finanziati registra ormai un pesante ridimensionamento, con gravi conseguenze per il trasporto pubblico locale in termini di qualità di servizio offerto ai passeggeri, di sicurezza stradale e di impatto ambientale (mezzi vecchi e inquinanti non aiutano l'ambiente). La media annua degli autobus finanziati negli anni 2008-2013 è scesa a 1.300 unità, contro le 2.600 del periodo 2002-2007.

Sul fronte della produzione domestica di autoveicoli il calo è costante dall'anno 2000, la crisi economica e il conseguente calo dei consumi, in particolare di beni durevoli quali le automobili, sia in Italia che in Europa, ne ha accentuato la contrazione a partire dal 2008. Nel 2013 complessivamente sono stati prodotti 658.207 autoveicoli, con un calo contenuto al 2%.

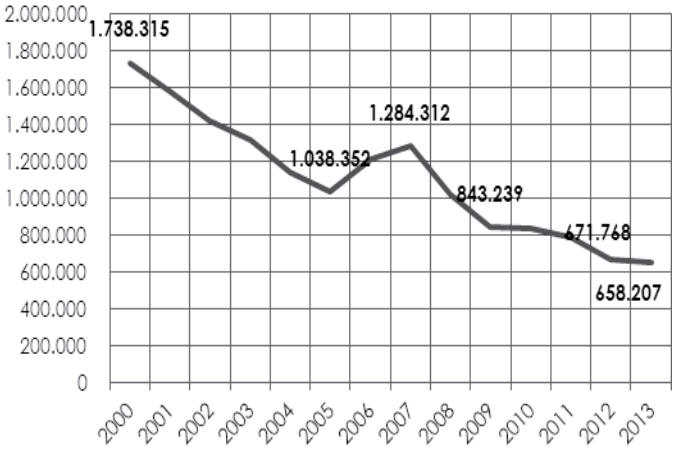


FIG. 100 – PRODUZIONE DOMESTICA DI AUTOVEICOLI

Si registra il dato positivo della produzione di Maserati: dalle linee di Ghibli e Quattroporte dello stabilimento di Grugliasco sono usciti da gennaio 2013 a settembre 2014 oltre 41.000 esemplari, destinati per il 97% ai mercati esteri.

Nei primi 9 mesi del 2014, il totale degli autoveicoli prodotti in Italia è aumentato dell'1,1%, passando da quasi 506.000 veicoli prodotti nei primi nove mesi del 2013 a poco più di 511.000. FIAT Chrysler Automobiles (FCA) inizierà a produrre nello Stabilimento di Mirafiori il primo SUV di Maserati, il Levante, che sarà venduto a fine 2015. Oltre il SUV Maserati, FCA potrebbe avviare la produzione di un altro nuovo modello a Mirafiori col marchio Alfa Romeo.

Componentistica

Nonostante il ridimensionamento dell'industria domestica degli autoveicoli, reso ancora più evidente dal confronto con la Germania e in particolare con

il Regno Unito (vedi grafico), che ha saputo attrarre Costruttori esteri e fronteggiare il pericolo di veder scomparire la propria industria, in Italia le aziende della componentistica hanno fatto leva sui fattori di competitività, dirottando una parte crescente delle loro produzioni alle commesse estere. Il fatturato del comparto nel 2013 (stima) è stato di 39 miliardi di euro (dato dell'Osservatorio della Componentistica).

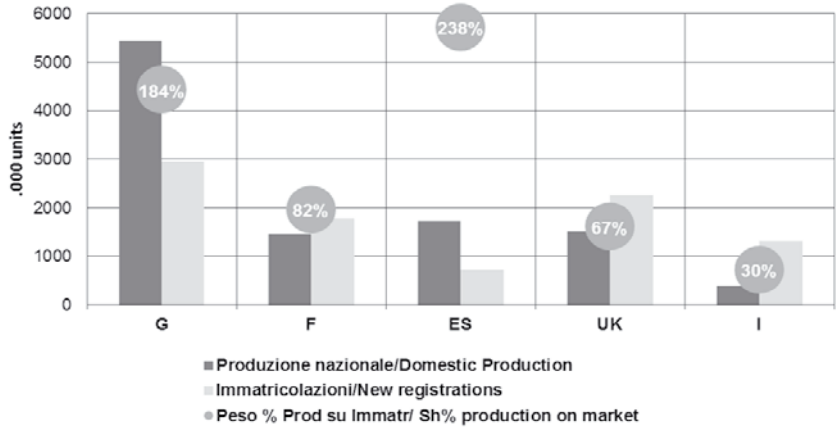


FIG. 101 – RAPPORTO TRA PRODUZIONE/MERCATO AUTOVETTURE NNEI MAJOR MARKETS EUROPEI NEL 2013

Il comparto rappresenta da più di vent'anni una realtà positiva della bilancia commerciale, dal 2004 al 2008 sopra i 6 miliardi di euro all'anno. Solo nel 2009 il saldo commerciale è sceso a poco meno di 4 miliardi, riportandosi ai livelli del 1995.

Nel 2010 il saldo positivo ha raggiunto i 5,8 mld di euro e nel 2011, grazie all'ottimo andamento dell'export, ha toccato i 7,3 mld di euro (+25,9% sul 2010).

Nel 2012 il valore delle esportazioni di componenti per autoveicoli è stato di 18,2 mld di euro, in calo del 5% rispetto all'anno precedente, ma il saldo rimane attivo e pari a 7,58 mld di euro, grazie alla flessione delle importazioni del 10%. Nel 2013 l'export della componentistica raggiunge i 19,27 mld di euro (+5,7% sul 2012) e realizza un avanzo di 8,17 mld di euro.

Nei primi 6 mesi del 2014 l'export registra ancora un aumento del 5%, ma crescono anche le importazioni del 6,4%, il saldo della bilancia commerciale raggiunge i 4,2 miliardi di euro.

RICERCA E SVILUPPO

Le attività di ricerca e sviluppo in ambito automobilistico, con particolare riferimento agli attori industriali, sono articolate principalmente lungo tre assi tematici:

- Lo sviluppo di motopropulsioni sostenibili: attraverso motori e trasmissioni più puliti ed efficienti durante l'intero ciclo di vita (produzione, utilizzo e smaltimento) garantendo le prestazioni attese dagli utenti.
- Lo sviluppo di un sistema di mobilità sicura e integrata: attraverso veicoli sempre più sicuri per gli occupanti e per gli utenti della strada, con particolare attenzione a quelli più vulnerabili, e inseriti in un sistema integrato di gestione del traffico abilitato dalle tecnologie della comunicazione.
- La ricerca di soluzioni competitive e sostenibili economicamente: attraverso lo sviluppo di nuovi sistemi e componenti con attenzione alla sostenibilità economica come garanzia di applicabilità su grandi volumi, attraverso lo sviluppo di nuovi processi di fabbricazione più efficienti e meno energivori e l'utilizzo di metodologie avanzate di progettazione e sperimentazione virtuale.

TRASPORTO FERROVIARIO

Fin dal 1990 la comunità europea si è impegnata con la definizione di successive direttive atte a definire un programma di riforma del settore ferroviario al fine di renderlo competitivo ed integrabile rispetto al trasporto su gomma ed aereo.

Questa spinta in atto da decenni diventa ai giorni attuali ancora più importante vista la necessità di garantire un trasporto merci e passeggeri il più efficiente, efficace e sostenibile possibile.

Considerando il settore ferroviario europeo, gli stati membri coprono il 95% del mercato, quindi l'applicazione delle direttive europee è effettivamente in grado di rendere efficace il programma di rinnovamento attuato a partire dagli anni 90 (Figura 102).

Uno dei punti fondamentali della competitività del settore ferroviario è rappresentato dalla liberalizzazione del mercato, fortemente voluta dalla comunità Europea con i 4 pacchetti di liberalizzazione avviati a partire dal 2001. Queste direttive non solo hanno imposto, in quei paesi che fin da subito si sono adeguati alle richieste, una profonda riorganizzazione del settore ferroviario, ma anche un notevole sviluppo del settore con un significativo incremento del mercato. Ad oggi solo una parte degli stati membri ha effettivamente aderito alla liberalizzazione del mercato, è chiaro però che per perseguire gli obiettivi e le sfide che vengono proposte a livello europeo, la liberalizzazione rimane un punto chiave.

È, infatti, con la liberalizzazione che è possibile il progetto di realizzazione di nodi di interscambio intermodali dove la ferrovia rappresenta l'interconnessione con gli aeroporti e i porti, agevola il trasporto delle merci, permettendo l'individuazione e lo sviluppo di grandi assi, e svolge un ruolo importante nel trasporto combinato.



FIG. 102 – DISTRIBUZIONE DEI PRINCIPALI ATTORI DEL MERCATO FERROVIARIO EUROPEO [AMADEUS RAIL – EUROPEAN RAIL TRAVELS TREND 2020]

In quest'ottica una delle maggiori sfide del settore ferroviario è lo sviluppo di una rete ferroviaria Trans-Europea (TEN), in grado di favorire la mobilità di merci e passeggeri su tutto il territorio, attraverso la realizzazione di corridoi di trasporto preferenziale in grado di connettere i punti nevralgici per il mercato europeo (Figura 103).

Ciascuno degli stati membri negli ultimi decenni ha quindi investito nella connessione di hub importanti con linee ferroviarie a lunga distanza, nello sviluppo di nuove reti AV/AC, e infine sia nell'interconnessione dei servizi ferroviari con quelli aereoportuali. Il settore ferroviario Italiano ha accolto la sfida proposta dalla Comunità Europea adottando in toto le direttive europee e provvedendo ad una completa riorganizzazione del settore su ferro nazionale, nel rispetto delle direttive di trasparenza, equità e non-discriminazione

La riorganizzazione del settore ferroviario in Italia si è completata con l'istituzione dell'ANSF (Agenzia Nazionale per la Sicurezza Ferroviaria), organo che si rende garante della sicurezza del sistema ferroviario dal punto di vista sia de-

gli operatori che dei gestori. La presenza dell'organismo indipendente ANSF ha permesso, all'interno del settore ferroviario lo sviluppo di numerose società di certificazione/omologazione, arricchendo quindi la filiera, ma soprattutto incentivando lo sviluppo e l'innovazione.



FIG. 103 – CORRIDOI FERROVIARIA TEN

La sostanziale modifica apportata all'organizzazione del settore, e l'introduzione della liberalizzazione sia sul trasporto passeggeri che merci hanno avuto una diretta ricaduta sul mercato favorendo la competitività e la crescita delle imprese coinvolte.

La liberalizzazione del mercato, come precedentemente accennato, ha portato a significative modifiche nel settore con l'introduzione di nuovi attori privati in particolare nei settori: lunga distanza (servizio AV/AC) e merci, soprattutto, in corrispondenza delle zone dei valichi dove si è registrato anche il 40% di market share con esterni. L'avvento di nuovi operatori ha permesso a Trenitalia, che permane azienda pubblica, di migliorare il proprio servizio, incrementare la propria competitività anche con Joint Venture di successo come quella con FERROVIE NORD, operatore lombardo di traffico regionale, per assicurarsi gli accessi ai nodi aereoportuali di maggiore interesse.

Inoltre RFI ha oggi completato una struttura AV/AC che collega i più impor-

tanti nodi commerciali/turistici del paese, favorendo gli interscambi e garantendo un servizio quasi metropolitano sul trasporto delle lunghe distanze. I tempi di percorrenza tra Milano-Roma di 3 ore rendono il trasporto su ferro estremamente competitivo non solo rispetto al trasporto su gomma, ma soprattutto rispetto al trasporto aereo. A quanto sopra si aggiunga che la rete AV/AC realizzata garantisce un trasporto door – to – door essendo le stazioni della linea collocate nel centro città.

Il settore è estremamente dinamico ed in continua evoluzione: in base alle esigenze prioritarie di riorganizzazione e fluidificazione dei traffici, vi sono continui piani di sviluppo dell'infrastruttura ferroviaria italiana con importanti interventi di riorganizzazione trasportistica e di riqualificazione delle aree attraversate (nuove stazioni, servizi ferroviari regionali e metropolitani, itinerari dedicati alle merci, …).

Quanto sopra poiché a livello sovranazionale, il sistema AV/AC italiano costituisce un tassello fondamentale delle Transeuropean Networks – Transport (TEN-T), le reti di trasporto trans-europee definite a partire dall'inizio degli anni '90 dalla Commissione Europea che ne sta individuando ulteriori obiettivi di sviluppo.

Parte fondamentale del settore ferroviario è anche il trasporto regionale ed urbano, infatti per rendere competitivo il settore ferroviario è necessario integrare nelle lunghe distanze i grandi nodi urbani: le grandi città devono essere dentro la rete, connesse tra loro e qualificate. Dal punto di vista del trasporto urbano su rotaia vi è un notevole sforzo per rendere capillare questo sistema rinnovando e potenziando reti esistenti, le flotte di veicoli, incrementando la sicurezza. Nel settore ferroviario un ruolo importante è rappresentato dalle filiere di produzione del materiale rotabile, del segnalamento e dell'elettrificazione che annoverano aziende di respiro europeo come Ansaldo Breda, Ansaldo STS, Contact, etc.

La filiera produttiva è caratterizzata tipicamente dal ruolo centrale del costruttore finale, l'azienda leader, che presidia direttamente determinate funzioni a monte, quali la Ricerca e Sviluppo, il design e la progettazione, realizza direttamente la produzione di determinati sotto-sistemi principali. Le aziende leader della filiera si interfacciano direttamente con il committente che detta in genere le indicazioni, le specifiche funzionali del prodotto, ma la progettazione e l'organizzazione della produzione della filiera vengono svolte internamente e autonomamente dal costruttore.

È evidente come da questo mutuo trasferimento di know-how vi sia la possibilità di rendere estremamente competitivo il settore ferroviario essendo i costruttori ed operatori impegnati insieme alla definizione di standard di prodotto che possano competere non solo a livello nazionale ma anche a livello internazionale.

È possibile quindi ottenere delle eccellenze interessanti come ad esempio:

- nel campo del design industriale, che, seppur mantiene come mercato dominante di sbocco il settore automobilistico, opera nel materiale rotabile, con nomi come Pininfarina, primo grande designer industriale ad operare nel ferroviario e a cui si associa per esempio il treno ETR 500, o come Giugiaro e Bertone, designer del nuovo ETR1000 entrato in circolazione a maggio 2015.
- nel campo del segnalamento attraverso il sistema europeo ERTMS/ETCS livello 2 (supportato dal sistema tlc GSM-R), prodotto e messo in opera per la prima volta sulla rete AV italiana, che ha consentito all'industria nazionale di acquisire ordini in diversi paesi stranieri e di raggiungere livelli di primazia tecnologica a livello europeo e mondiale;
- nel campo del segnalamento con i sistemi integrati per le metropolitane automatiche e semiautomatiche si sono ottenuti livelli di primazia tecnologica nel campo dei rotabili con soluzioni innovative che vanno dalle soluzioni pendolanti di Alstom ex Fiat Ferroviaria all'ultimo ETR1000 di BT ed Ansaldo Breda.

MERCATO

La struttura del mercato italiano in campo ferroviario è strettamente connessa all'organizzazione del settore.

Si può identificare un mercato di operatori e gestori ed un mercato di produttori che segue e sviluppa idee innovative per rispondere alle esigenze del trasporto su ferro.

A seguito della liberalizzazione richiesta dalla Comunità Europea in Italia il mercato degli operatori/gestori del sistema ferroviario è costituito da aziende private e statali sia Italiane che Estere. La presenza di differenti realtà ha favorito la competitività delle aziende spingendole a migliorare il servizio e l'offerta.

Un esempio evidente di quanto sopra è l'esercizio sulla linea AV/AC, che viene effettuato sia da Trenitalia, gruppo FS ed azienda pubblica che da NTV, azienda privata al 20% di SNCF. La presenza della competitività ha permesso un aumento significativo di passeggeri trasportati (Fig. 104).

Inoltre, grazie a quanto sopra, la dinamica del mercato ferroviario è sempre più competitiva. Un solo esempio per tutti è rappresentata dalla tratta Milano – Roma dove il trasporto su ferro ha eroso la supremazia che per anni ha avuto il trasporto aereo.

La dinamicità del settore ferroviario e lo sforzo effettuato dalle industrie del settore per innovare i servizi, le infrastrutture sfruttando nuove tecnologie ha garantito che nell'ultimo decennio la domanda di mobilità passeggeri soddisfatta si è incrementata con un tasso di crescita annuale medio dello 0,80 per cento; la percorrenza media complessiva di un passeggero, nello stesso arco tempo-

rale, è passata da 75 km del 2001 a circa 97 km del 2011 per effetto dei volumi crescenti del trasporto regionale e a media/lunga percorrenza.

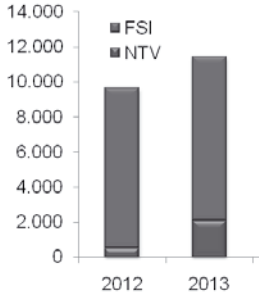


FIG. 104 – LINEA AV- MPASSEGGER/KM TRASPORTATI [PIANO INDUSTRIALE 2014 GRUPPO FS]

Per quanto riguarda il trasporto merci invece, seppur vi siano stati investimenti importanti ha risentito della crisi economica registrando negli ultimi anni una leggera flessione. Analogamente al trasporto a media/lunga percorrenza, il trasporto urbano, che presenta anch'esso in alcune regioni una coesistenza tra aziende municipalizzate e private straniere, ha registrato un aumento di posti offerti.

TAB. 1 – TRAMVIE URBANE ED ESTRAURBANE – DATI RELATIVI ALL'OFFERTA DEL SERVIZIO

	2000	2005	2007	2008	2009	2010	2011(*)	2012(**)
Materiale rotabile (n)	866	940	1.013	1.035	1.044	1.072	1.075	1.078
Vetture-km (migliaia)	39.259	36.490	39.114	38.295	38.738	38.439	39.862	39.133
Posti-km offerti (migliaia)	5.190.599	5.374.228	5.691.840	5.639.155	5.729.753	5.930.623	6.188.047	6.156.544

(*) dati non definitivi (**) Stima
Fonte: Ministero Infrastrutture e Trasporti

TAB. 2 – METROPOLITANE – DATI RELATIVI ALL'OFFERTA DEL SERVIZIO

	2000	2005	2007	2008	2009	2010	2011(*)	2012(**)
Materiale rotabile (n)	1.009	1.261	1.266	1.272	1.278	1.222	1.381	1.381
Vetture-km (migliaia)	82.667	88.517	98.040	102.100	103.256	103.095	108.721	110.489
Posti-km offerti (migliaia)	17.700.967	19.169.170	21.086.650	21.743.076	22.015.616	22.125.696	22.944.581	23.135.891

(*) dati non definitivi (**) Stima
Fonte: Ministero Infrastrutture e Trasporti

Non si dimentichi inoltre che le aziende italiane che operano nel settore ferroviario sono attive sul mercato internazionale in diversi settori del materiale rotabile, dell'infrastruttura, del segnalamento, attività realizzate anche attraverso la presenza su alcuni importanti mercati europei delle Società partecipate FS: gruppo Netinera Deutschland GmbH, che opera nel settore del trasporto passeggeri regionale prevalentemente in Germania; TX Logistik AG, presente nel mercato del trasporto merci in Germania, Danimarca, Svizzera e Svezia; e Thel-

lo SAS (ex Trenitalia Veolia Transdev), avviata nel 2011, che ha visto entrare nel 2012 in pieno esercizio il collegamento Venezia – Parigi.

Accanto alla richiesta di mobilità efficiente e rapida di un consumatore sempre più esigente, il settore ferroviario italiano ha dovuto, attraverso l'innovazione dei produttori, rispondere ad una domanda di mercato sempre più importante legata alla necessità di incremento, in stazioni e sui treni stessi, di facilities come ICT e connettività, nonché di miglioramento del comfort per i passeggeri, di servizi all'utente.

La filiera produttiva italiana del settore ferroviario assume una rilevanza economica ed occupazionale considerevole. Inoltre anche a livello internazionale il ruolo non è marginale, infatti la perfomance a partire dal 2005 ha visto un considerevole aumento dell'export, come mostrato in Figura 105.

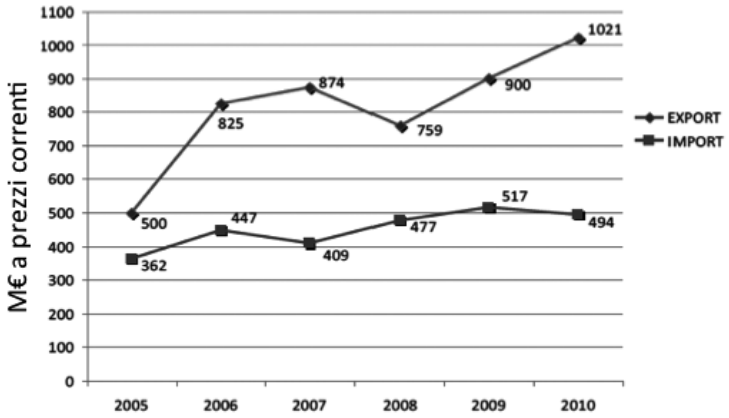


FIG. 105 – DATI DI EXPORT/IMPORT DELLA FILIERA PRODUTTIVA DEL SETTORE FERROVIARIO – MILIONI DI EURO A PREZZI CORRENTI [GRUPPO CLAS – LA FILIERA ITALIANA GLOBALE NELLA COMPETIZIONE GLOBALE]

RICERCA E SVILUPPO

L'attuale sistema di ricerca del settore ferroviario è caratterizzato da una forte integrazione a livello europeo tramite diversi organismi, tra i quali l'ERRAC (European Rail Research Advisory Council) gioca un ruolo fondamentale interponendosi tra la Commissione ed il mondo della ricerca ferroviaria coordinato a livello comunitario. In campo industriale si segnala l'attiva presenza di The european railway industry – UNIFE che raggruppa le industrie europee operanti nel settore dei trasporti su rotaia con lo scopo di promuovere azioni utili ad allargare il mercato del trasporto ferroviario.

Nell'ambito dei soggetti promotori di ricerca si segnala l'interesse precipuo

dei Gestori delle reti ad indirizzare gli studi verso le tematiche della sicurezza, della sostenibilità ambientale e della manutenibilità ed affidabilità dei sistemi ferroviari.

I costruttori sono attivi nel difendere la qualità dei propri prodotti incidendo, per quanto loro possibile, nelle linee di sviluppo dei diversi sistemi ferroviari. Un ruolo non marginale è costituito anche dalla presenza delle Agenzie nazionali per la sicurezza delle ferrovie e dall'omologa agenzia europea (ERA) che costituisce di fatto l'organo tecnico della Comunità Europea in termini della sicurezza del trasporto ferroviario.

A livello europeo SHIFT2RAIL**,** il nuovo programma di ricerca inserito nel periodo di Horizon 2020, rappresenta un'opportunità per sviluppare progetti di ricerca ed innovazione di ampio respiro, con una rapida ricaduta sui prodotti richiesti dal mercato. Lo scopo principale è quello di dimostrare alla Comunità Europea la coesione del settore ferroviario e la volontà di collaborare in ricerca e innovazione, per promuovere l'integrazione di tecnologie avanzate in prodotti ferroviari nuovi. Si prevede che almeno il 25 per cento dei fondi sia destinato esclusivamente a PMI, Centri di ricerca e Università, affinché possano apportare il loro contributo nel campo degli sviluppi innovativi da lanciare sul mercato ferroviario, con un miglioramento del traffico non solo a lunga percorrenza, ma anche regionale e urbano.

Sono cinque, in particolare, le aree di innovazione che saranno al centro dei progetti di ricerca, assolutamente in linea con le aspettative europee:

- Energy & Mass Efficient Technologies for High Capacity Green Trains;
- Advance Traffic Management and Control Systems;
- Cost efficient – High Capacity Green Infrastructure;
- IT Solutions for a Seamless Attractive Railway Transport System;
- The Technologies for Sustainable & Attractive European Freight Transport.

A livello nazionale, invece, le aziende si sono mosse per apportare innovazione attraverso centri di ricerca congiunti, si cita ad esempio il Joint Research Center (JRC) i cui fondatori sono Politecnico di Milano, Trenitalia, Ansaldo Breda, RFI, Bombardier e ABB. Il JRC è un centro di ricerca congiunto università-impresa per affrontare i temi di maggiore rilievo nel settore dei trasporti (i.e manutenzione, sicurezza, comfort), avviato nel 2009 dal Politecnico di Milano e la Fondazione Politecnico di Milano. Il JRC nasce da finanziamenti provenienti esclusivamente dalle imprese con l'obiettivo principale di accrescere le competenze nel settore dell'Alta Velocità e realizzare soluzioni innovative per aiutare gli operatori a progettare in modo competitivo, manutenere le linee e il materiale rotabile. Nel 2012 inoltre si sono rese partecipi del CLUSTER TRASPORTI ITALY 2020, con la missione di favorire il recupero della competitività del "made in Italy" nelle filiere della mobilità su gomma, su rotaia, su vie

d'acqua e dei "trasporti intelligenti". Sono oltre sessanta, ad oggi, gli associati al Cluster, in rappresentanza dei maggiori player italiani, industriali e scientifici, tra cui, solo per citarne alcuni, Fiat, Ansaldo Breda ed Ansaldo STS, Rete Ferroviaria Italiana, Fincantieri, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Politecnico di Milano e di Torino.

L'obiettivo è quello di sostenere, su scala nazionale, nelle aree strategiche per il Paese, la nascita e lo sviluppo di aggregazioni organizzate pubblico-private "da identificare quali propulsori della crescita economica sostenibile dei territori e dell'intero sistema economico nazionale", con particolare riferimento allo sviluppo innescato dalle attività di Ricerca e Innovazione.

Le sinergie fra Industria, Enti di ricerca e Pubblica Amministrazione, così come il trasferimento di best practice e di tecnologie e la formazione specialistica a tutto campo, sono i cardini su cui si fonda il cluster per perseguire livelli superiori di concorrenzialità in un settore tanto strategico per il Paese quale quello dei trasporti.

TRASPORTO NAVALE

Per l'Europa, il trasporto marittimo è sempre stato un catalizzatore di sviluppo economico, canale di scambi e contatti tra tutti i popoli europei. Questo settore industriale garantisce l'approvvigionamento di energia, cibo e materie prime, ed è lo strumento principale per le importazioni europee e le esportazioni verso il resto del mondo. Quasi il 90% dello scambio di merci con l'esterno dell'UE avviene via mare. L'efficienza dei servizi di trasporto marittimo influenza in modo essenziale la qualità della vita nelle isole e nelle regioni marittime.[5]

I passeggeri imbarcati e sbarcati nei porti europei (EU-27) nel 2012 sono stati oltre 371 milioni. I principali paesi in termini di numero di passeggeri sono Italia e Grecia, che insieme hanno movimentato oltre il 40% del totale passeggeri imbarcati e sbarcati nel 2012. Le merci movimentate nei porti europei (EU-27) nel 2012 sono state oltre 3.700 milioni di tonnellate, con una minima riduzione dell'1% rispetto all'anno precedente e più marcata (5%) rispetto al 2008. I principali paesi per quantità di merce trasportata nel 2012 sono: Olanda (14,6%), Regno Unito (13,5%), Italia (12,8%), Spagna (11,4%), Francia (8,2%).[6]

L'importanza delle vie d'acqua è confermata dai numeri. Nei Paesi Bassi ed in Italia oltre l'80% delle merci vengono scambiate via mare, percentuale che sale a circa il 90% per il Regno Unito ed al 91,6% per la Spagna. L'Unione europea

5 Fonte: Commissione Europea, Mobilità e Trasporti, Trasporto Marittimo [http://ec.europa.eu/transport/modes/maritime/].

6 V. Stancati, A. Zanoli, M.R. Ippoliti, A. Sciarretta, Il Trasporto Marittimo, ISTAT, 2014.

comprende la strategicità del comparto e rinnova l'impegno nella costituzione delle cosiddette "Autostrade del mare" attraverso il programma TEN-T (Rete tran-europea di trasporto). Nato negli anni '90, è tuttora in fase di sviluppo e mira alla costituzione di una rete di trasporto intermodale europea.[7]

MERCATO

Con riferimento alla flotta mercantile, il naviglio battente le bandiere dell'Unione Europea si è incrementato del 10% in un anno e ad inizio 2011 era composto da 15.851 unità, per circa 262 milioni di dwt (Dead Weight Tonnage), pari a circa il 20% della flotta mondiale. Al primo posto, con oltre il 27% del totale del naviglio europeo, troviamo la Grecia; l'Italia è al 4° posto, con oltre 19 milioni di dwt, pari al 7,3% del dato complessivo europeo.

È in corso un rinnovamento della flotta. L'Italia vanta un'età della propria flotta particolarmente bassa, infatti il 46% delle navi è in servizio da al massimo 4 anni. Lo stesso dato, al livello mondiale si attesta attorno al 39%.

La cantieristica navale sta vivendo un periodo di ripresa dopo anni difficili. Nel 2013 è stata registrata una significativa ripresa degli ordinativi. La domanda ha, infatti, superato i 50 Mil.Tslc, valore più alto dal 2008, anno di avvio della crisi, e più che doppio rispetto ai 24.7 Mil.Tslc del 2012. In tale quadro gli ordini di navi da trasporto standard, in particolare bulk-carrier e portacontainer, hanno rappresentato quasi i due terzi del totale, mentre nel comparto high-tech va registrato il buon andamento degli ordinativi legati al comparto offshore, a quello del gas (LNG e LPG) e dei prodotti chimici.

La cantieristica italiana è in gran misura rappresentata da Fincantieri cui si affiancano Nuovi Cantieri Apuania ed alcuni cantieri privati di minore dimensione. Fincantieri è focalizzata sulla produzione di navi complesse e ad alto contenuto tecnologico sia in campo mercantile, dove è leader nei comparti delle navi passeggeri, che in campo militare, ove si connota come uno dei maggiori player a livello europeo. È altresì presente nei settori dei mega yachts, dell'attività di riparazione e trasformazione navale e dei marine systems.

La cantieristica navale italiana mantiene posizioni di leadership mondiale nel settore delle navi passeggeri, in particolare da crociera. L'anno 2013 ha segnato la via verso la ripresa con 9 ordinativi (di cui in Italia 4) e nel 2014 gli ordini si sono stati ben 16 (di cui in Italia 8) attestandosi sui valori superiori al periodo pre-crisi (13 ordini per anno nel periodo 2004-2007). La storica e continuativa presenza nel comparto delle navi da crociera ha posto le premesse per la crescita qualitativa e quantitativa dell'indotto, costituito da numerosissime aziende

7 Panorama of transport, EUROSTAT, *2009*.
White paper on transport, European Commission, *2011*.

(oltre 5.000 di cui il 90% in Italia), molte delle quali di dimensione media e piccola e/o artigianali.

Per quanto riguarda il comparto nautico, dove l'Italia mantiene una posizione di leadership in particolare nel settore dei maxi e mega yacht, si riportano alcuni dati forniti da UCINA. Il fatturato della cantieristica italiana per l'anno 2013 è pari a 1,3 milioni di euro di cui più dell'80% relativo alla produzione nazionale di imbarcazioni a vela e motore, accessoristica e componentistica e motori, cui si aggiunge la quota dei servizi di rimessaggio e manutenzione.

Dall'analisi di UCINA emerge che il mercato dello yachting, dopo la sfavorevole congiuntura che ha colpito l'economia mondiale è in via di assestamento ma, la situazione rimane ancora fluida. Fermo restando che i grandi del settore, ad iniziare da Azimut-Benetti e Ferretti, reagiscono alla crisi aumentando le vendite all'estero, per gli altri la congiuntura è ben lungi dall'essere superata. Ormai circa il 90% del fatturato del settore nautico viene realizzato dall'export.

OCCUPAZIONE

Analizzando gli aspetti occupazionali emerge che il settore, sia pure indebolito dalla crisi che si è manifestata negli ultimi anni, supporta oltre 18.000 lavoratori, di cui 16.293 dipendenti diretti e 2.476 indiretti.[8]

Più in generale resta importante la capacità di generare occupazione dell'intero settore marittimo nel nostro Paese. Nel comparto delle attività marittime e manifatturiere si registrano in totale oltre 167.000 occupati. Nel 2004 la Federazione del Mare stimava per i cinque comparti considerati la disponibilità di poco più di 122.000 mila unità di lavoro dirette. I dati relativi al 2009 riportano circa 45.000 occupati in più.

Dati relativi al trasporto marittimo a fine 2010 stimano 36.995 posti di lavoro a bordo della flotta italiana, con 7.400 unità occupate a terra (fonte: Confitarma, 2011).

Le diverse attività legate al settore marittimo presentano elevati livelli di integrazione interna ed esterna, generando pertanto effetti moltiplicativi di un certo rilievo. Gli effetti di crescita indotti dalle attività marittime industriali, manifatturiere e terziarie sono evidenti sia per quanto concerne la creazione di reddito, ossia la capacità di questo comparto di spingere lo sviluppo del contesto economico nazionale, sia per quanto concerne la creazione di posti di lavoro. Partendo da questi presupposti, la Federazione del Mare ha stimato un effetto moltiplicativo del reddito pari a 2,49, ciò significa che ogni 100 euro di domanda di beni o servizi marittimi, o di spesa per investimenti o di esportazioni si attivano 249 euro di spesa in tutto il sistema economico. Il moltiplicatore

8 La nautica in cifre, UCINA Confindustria Nautica, 2014

dell'occupazione è invece stato stimato pari a 1,81, ciò significa che 100 nuovi occupati nel sistema marittimo generano in media 181 nuovi occupati nel sistema economico generale.

RICERCA E SVILUPPO[9]

Sullo scenario europeo il 2014 ha segnato il passaggio dal programma settennale di ricerca europea FP7 (2007-2013) a Horizon 2020 (2014-2020). Per quanto riguarda il settore marittimo, le tematiche e le competenze dei sistemi di ricerca nazionale trovano una naturale collocazione all'interno delle attività previste dalla "Strategic Research Agenda" e dalla "Vision 2025" della piattaforma Tecnologica Europea WATERBORNE^{TP}. [10] Tra le novità portate da Horizon 2020 si annovera la possibilità di instaurare partenariati pubblico-privato (PPP). In quest'ottica è stata recentemente costituita l'associazione "Vessels for the future", che raccoglie 55 aziende, enti accademici e istituti di ricerca legati all'industria marittima inquadrandosi nella strategia comunitaria volta ad aumentare la concorrenzialità delle tecnologie marittime europee. È inoltre attiva l'iniziativa "JPI Oceans – Healthy and Productive Seas and Oceans" (Joint Programming Initiative), piattaforma di coordinamento, aperta agli Stati membri dell'UE e ai paesi associati che investono in ricerca marina e marittima. L'iniziativa si propone di affrontare grandi sfide sociali che non possono essere risolte solo a livello nazionale. Le attività principali riguardano lo sviluppo di un'economia marittima sostenibile, il mantenimento del buono stato ecologico dei mari, la pianificazione di iniziative nello spazio marino, il miglioramento della risposta ai cambiamenti climatici e la mitigazione degli impatti umani sull'ambiente marino.

Inoltre la Comunità Europea sostiene l' "economiadel mare", nella sua interezza, attraverso le attività "Blue Growth"[11] e lo sviluppo di programmi dedicati alla crescita di macro-regioni trans-nazionali. In base alla posizione geografica della regione, questi provvedimenti impattano anche sul settore marittimo, come, per esempio, nel caso della regione adriatico-ionica (EUSAIR – European Union Strategy for the Adriatic and Ionian Region).[12]

In ambito europeo la ricerca italiana è parte attiva presso organismi tecnico-scientifici internazionali (International Towing Tank Conference, ITTC), presso reti europee di esperti per temi marino-marittimi (SEAS-ERA, ecc.) e fornisce supporto tecnico ai ministeri competenti presso l'International Marittime Orga-

9 CTN Trasporti Italia 2020, Progetto Tecnologia e Ricerca Industriale per la Mobilità Marina (TRIM).

10 WATERBORNE Strategic Research Agenda, WATERBORNE, 2011

VISION 2025, WATERBORNE, 2012

11 Blue Growth: Opportunities for marine and maritime sustainable growth, European Commission, *2012*

12 EUSAIR: Action plan – SWD(2014) 190 final, European Commission, *giugno 2014*

nizzation (IMO), agenzia delle Nazioni unite per la sicurezza della navigazione e la prevenzione dell'inquinamento dell'ambiente marino.

L'Italia occupa da moltissimi anni una posizione di assoluto rilievo nel settore della cantieristica navale, risultando ad esempio leader mondiale nella produzione di grandi navi da crociera ed uno dei maggiori produttori al mondo di unità da diporto e di navi ad alto valore aggiunto. In alcuni settori della nautica, quali quello degli yacht e dei mega-yacht, il paese detiene un'avanguardia tecnologica a livello mondiale, una circostanza che acquista maggiore importanza alla luce del fatto che il segmento delle unità di taglia medio grande è quello che ha subito il rallentamento meno pronunciato nel contesto della recente crisi globale che non ha risparmiato il mercato delle costruzioni navali.

Il mantenimento di queste posizioni di mercato e della leadership tecnologica in condizioni di sempre maggior concorrenza a livello internazionale richiede un miglioramento costante e continuo del livello tecnologico del prodotto, non solo per quanto riguarda le prestazioni più tipiche richieste ad un'unità navale (robustezza strutturale e resistenza del prodotto nel tempo, velocità, stabilità, tenuta al mare, fruibilità degli spazi, comfort…) ma anche in termini di efficienza energetica complessiva ed eco-sostenibilità. È chiaro che l'obiettivo precedente può essere ottenuto solo attraverso un impegno innovativo fatto di continui affinamenti e modifiche dei prodotti e dei processi produttivi, di padronanza dei materiali e di miglioramento del design. Innovare e studiare nuovi sistemi sul territorio nazionale permette inoltre di contribuire a trasferire know-how e potenzialità d'impresa sul territorio.

Nel 2012 il MIUR ha emesso un primo bando per lo sviluppo e il potenziamento di Cluster Tecnologici Nazionali (CTN), finanziando 30 grandi progetti di ricerca e sviluppo e formazione di valore prossimo a 300 Milioni di Euro, in piena coerenza con le priorità di ricerca individuate dal Programma Quadro per la Ricerca Europea Horizon 2020 e rappresentativi dei migliori modelli di collaborazione pubblico – privato. Il MIUR ha individuato il tema dei Trasporti ("Mezzi e sistemi per la mobilità di superficie terrestre e marina") rilevante al punto da dedicare un CTN a questa area.

All'interno del CTN Trasporto, denominato Trasporti Italia 2020, le attività del Working Group "Mobilità per le vie d'acqua", hanno condotto all'elaborazione di un contributo all'Agenda Strategica nazionale per la Ricerca. Il lavoro del inizia ora a relazionarsi, al livello Europeo, con la piattaforma WATERBORNE, la JPI Oceans e la *PPP "Vessel for the Future"* (CPPP VftF), che ha lo scopo di concentrare la ricerca tecnologica verso i due temi fondamentali del settore: (i) zero emissioni, ossia navi energeticamente efficienti, (ii) zero incidenti, con l'obiettivo finale di stimolare la competitività globale del settore europeo.

Il Programma Nazionale della Ricerca (PNR) 2011-2013 ha identificato la Mobilità sostenibile di superficie tra i bisogni nazionali di ricerca che presup-

pongono lo sviluppo di progetti atti a garantire qualità, innovazione tecnologica ed eco-compatibilità dei prodotti. Soprattutto il concetto di sostenibilità ambientale e socioeconomica va considerato come caratterizzante ed unificante per tutte le azioni da mettere in atto.

Quanto sopra descritto si traduce, adottando la terminologia coniata per la programmazione finanziaria 2014-2020 degli stati e delle regioni, nel fatto che la Mobilità di superficie è una delle *smart specialisation* nazionali e, in particolare, di alcune regioni italiane. Il CTN Trasporti Italia 2020 è l'ambito di raccordo tra le specifiche vocazioni (specializzazioni) regionali e la complessiva vocazione del sistema paese. Il Cluster è strutturato per mobilitare congiuntamente il sistema industriale, quello della ricerca e della pubblica amministrazione, sviluppando strategie di ricerca, sviluppo e formazione del capitale umano. Il CTN, tramite estese consultazioni, è in grado di effettuare analisi di scenario e valutazioni orientate all'individuazione delle esigenze di innovazione del Paese, sviluppando una visione integrata di medio e lungo periodo delle tematiche strategiche presidiate, sia per gli aspetti tecnico-scientifici che territoriali. [13]

Il Cluster considera i Distretti ad Alta Tecnologia lo strumento prioritario di sviluppo delle proprie iniziative. Nel settore dell'economia del mare i Distretti tecnologici di riferimento sono:

- *Sicilia Navtec* – Distretto Tecnologico Trasporti Navali Commerciali e da Diporto Sicilia;
- *Ditenave* – Distretto tecnologico navale e nautico del Friuli Venezia Giulia;
- *DLTM* – Distretto Ligure delle Tecnologie Marine;
- *SIIT* – Distretto Tecnologico Ligure sui Sistemi Intelligenti Integrati;
- *IMAST* – Distretto tecnologico sull'ingegneria dei polimeri e materiali compositi;
- *NAVIGO* – Centro per l'innovazione e lo sviluppo della nautica toscana.

TECNOLOGIE PRIORITARIE

Nel seguito, l'elenco delle tecnologie selezionate per questa edizione.

Trasporto stradale

1. Combustibili
2. Sistemi di motopropulsione
3. Sicurezza integrata
4. Materiali innovativi
5. Tecnologie dell'auto connessa per una mobilità efficiente, ecologica e sicura
6. Soluzioni e tecnologie per l'interazione uomo macchina (HMI)
7. Efficienza energetica

13 Progetto Tecnologia e Ricerca Industriale per la Mobilità Marina (TRIM), CTN Trasporti Italia 2020

Trasporto ferroviario

8. Metodologie e tecnologie innovative per la diagnostica predittiva del sistema ferroviario e metropolitano a guida autonoma tramite veicoli commerciali
9. Tecnologie e materiali innovativi per l'incremento della capacità in ambito Ferroviario
10. Tecnologie per la tracciabilità e diagnostica dei carri merci
11. Tecnologie per lo sviluppo di veicoli ferroviari ad alta efficienza energetica

Trasporto navale

12. Soluzioni e tecnologie innovative per aumentare la sicurezza in mare
13. Soluzioni e tecnologie innovative per una maggiore sostenibilità ambientale
14. Soluzioni e tecnologie innovative per l'efficienza energetica a bordo
15. Soluzioni e tecnologie innovative per la comunicazione e la connettività
16. Soluzioni e tecnologie innovative per migliorare il comfort dei passeggeri e dell'equipaggio
17. Soluzioni e tecnologie innovative per la realizzazione di nuovi mezzi marini
18. Soluzioni e tecnologie innovative per il processo produttivo ed il life-cycle del prodotto
19. Soluzioni e tecnologie innovative per infrastrutture, logistica e portualità

RISORSE ECONOMICHE TOTALI

Circa 650 milioni di euro.

TEMI STRATEGICI A MEDIO-LUNGO TERMINE

I temi strategici a medio lungo termine sono di fatto in perfetta sincronia con gli obiettivi europei e riguardano aspetti importanti come sicurezza, sostenibilità ambientale e competitività.

Sicurezza

- Evoluzione di sistemi di ausilio alla guida per il controllo del veicolo, il monitoraggio del contesto di guida e delle condizioni stradali.
- Soluzioni per la protezione degli utenti vulnerabili.
- Sistemi e servizi di comunicazione navigazione a supporto della sicurezza stradale.
- Studio e implementazione di unmanned vehicles per il controllo delle infrastrutture ferroviarie per la gestione del trasporto pubblico in sede propria per l'attività in zone a rischio (e.g. rimozioni di beni e persone in edifici non agibili).
- Prevenzione e contenimento dei rischi derivanti da marcia dei veicoli su rotaia in condizioni operative degradate o in condizioni di infrastruttura degradata.
- Gestione delle emergenze a bordo treno e in stazione.

Sostenibilità ambientale

- Sviluppo di combustibili a basso contenuto carbonico e di bio-combustibili prodotti senza impattare sulla filiera alimentare.
- Progettazione di motorizzazioni ad alta efficienza.
- Progressiva elettrificazione della mobilità su gomma con soluzioni sostenibili economicamente.
- Sviluppo di materiali innovativi e bio-materiali per l'alleggerimento del veicolo e per la sostituzione di sostanze pericolose o provenienti da aree di conflitto o preoccupazione geopolitica.
- Sistemi e servizi di navigazione eco-efficiente.
- Sistemi ausiliari ad alta efficienza per la gestione e il recupero dell'energia a bordo veicolo.
- Ottimizzazione energetica del sistema ferroviario.
- Riduzione dell'emissione sonora e di vibrazione del sistema ferroviario .
- Sviluppo di sistemi innovativi di accumulo dell'energia in reti ferroviarie metropolitane.
- Ottimizzazione dell'efficienza della trasformazione e distribuzione dell'energia nel sistema ferroviario urbano/extraurbano.
- Ottimizzazione dell'economia generale di sistema ferroviario con l'impiego di materiali compositi per la riduzione del peso.
- Ottimizzazione dell'eco-design del veicolo ferroviario.
- Sviluppo di carrelli innovativi per ridurre l'aggressività e l'usura ruota/binario.
- Sviluppo di approcci di manutenzione predittiva applicabili sia al veicolo ferroviario che all'infrastruttura con lo scopo di ridurre i fermo treno/linea.
- Sviluppo di sistema diagnostico idoneo a monitorare lo stato del binario e della linea aerea.

Competitività

- Studio e sviluppo di tecnologie di comunicazione per la connessione veicolo-veicolo, veicolo-infrastruttura e veicolo-dispositivi portabili.
- Sistemi evoluti di interazione uomo-veicolo.
- Soluzioni innovative per il comfort dei passeggeri.
- Realizzazione e integrazione di reti e veicoli ibridi: tram/metro/treno.
- Utilizzo di sistemi attivi per il miglioramento della dinamica di marcia e l'interazione treno-struttura, per l'incremento della velocità e della capacità di servizio.
- Ottimizzazione dello stile di condotta del treno (anche in ottica driverless – CBTC) in relazione ai diversi profili di missione.
- Adozione di sistemi ad alto contenuto tecnologico per la riduzione della motion sickness e per il miglioramento del comfort in campo ferroviario.
- Infrastruttura urbana, di trasporto multimodale, pubblico e privato, per persone e merci.

- Sistemi di diagnostica di linea e veicolo sia merci che passeggeri finalizzati alla manutenzione predittiva.
- Mezzi di trasporto merci di nuova concezione con minimizzazione del rumore e dell'impatto sull'infrastruttura.

Per il settore marittimo in particolare, si propongono le seguenti tematiche strategiche.

Sicurezza globale

La sicurezza, nel settore del trasporto marittimo, è da sempre un argomento complesso ed è tornato di particolare attualità dopo i recenti incidenti. Le tematiche d'interesse riguardano la capacità di prevenire situazioni pericolose, l'intrinseca resilienza della nave in caso d'incidenti, ma anche l'adeguatezza del mezzo e del personale a seguire, in caso di emergenza, l'appropriato processo decisionale e di eventuale abbandono nave.

Altro elemento di particolare interesse riguarda aspetti legati alla "security" quali identificazione, localizzazione ed azioni anti-pirateria.

Gli obiettivi in materia di "Safety & Security" andranno perseguiti ponendo attenzione alla gestione integrate delle informazioni, basandosi su una connettività estesa tra mezzo di trasporto ed infrastrutture.

Sostenibilità ambientale

La ricerca si focalizzerà, con approcci integrati tra costruttori dei mezzi di trasporto, fornitori dei sistemi di alimentazione/combustibili, gestori delle infrastrutture, sulla riduzione degli inquinanti emessi in aria (CO_2, NO_x, SO_x, etc.) ed in acqua (gestione di acque nere, grigie, di sentina, di zavorra, ma anche rumore e moto ondoso irradiato in mare) oltre che sulla corretta gestione di altre fonti d'inquinamento (rifiuti, vernici, etc.). La sostenibilità ambientale sarà anche ricercata attraverso la progettazione e l'ottimizzazione di piattaforme multifunzionali offshore per la generazione di energia.

Efficienza energetica

L'intera filiera energetica necessita di studi e ricerche, a partire dalla generazione (motori/generatori, turbine, fuel cell, etc.), alla trasformazione (isolazioni, recupero calore, etc.) fino all'immagazzinamento (energy storage).

Attualmente l'applicazione nel settore marittimo di energie rinnovabili, è piuttosto oggetto di dibattito che non di ricerca. Salvo in applicazioni nautiche o su flotte di mezzi minori, ad esempio pescherecci, non sembra ad oggi che vi siano significative volontà di applicazione delle tecnologie fotovoltaiche o eoliche, oppure l'uso di carburanti da fonte riciclabile o soluzioni full-electric.

Inoltre dovranno essere continuamente ottimizzate le prestazioni complessive

della nave, a parità di potenza assorbita. Saranno così necessari studi d'idrodinamica di carena, utilizzo di nuove vernici a bassissimo coefficiente d'attrito, la riduzione generale del peso e l'introduzione di sistemi di supporto decisionale in esercizio (ottimizzazione della rotta, dell'assetto, etc.)

Comunicazione, Connettività

La comunicazione è un elemento sempre più fondamentale della vita quotidiana. La necessità di avere a disposizione a bordo gli stessi standard terrestri è sempre più forte. Diversi aspetti della comunicazione richiederanno approfonditi studi: comunicazione ship-to-shore, ship-to-ship, comunicazione a bordo, interazione uomo-macchina. Questi studi avranno ricadute su tematiche molto differenti, dal comfort (domotica), all'intrattenimento, fino alla logistica e alla sicurezza (localizzazione di persone e merci).

Comfort di passeggeri ed equipaggio

Tematica imprescindibile sarà il comfort dei passeggeri e dell'equipaggio, da perseguirsi a tutto tondo. Saranno necessari ulteriori approfondimenti per migliorare la qualità vibro-acustica dei mezzi, il comfort termico. Inoltre saranno condotte ricerche in materia d'illuminotecnica e miglioramento della qualità percepita grazie alle finiture.

Mezzi diversi

Il comparto navale presenta sempre più frequentemente la necessità di mezzi nuovi e molto tecnologici per abilitare lo sfruttamento delle risorse offerte dall'ambiente marino. Le nuove frontiere di sviluppo stanno rendendo necessario lo studio di nuovi concept, e delle conseguenti sfide tecnologiche che si proporranno, per la realizzazione di mezzi capaci di operare in ambienti particolari (regioni artiche, regioni con condizioni di mare estreme, etc.) o svolgendo operazioni complesse in mare aperto (offshore, deep-sea mining, etc.).

Altra frontiera tecnologica è rappresentata dalla possibilità di creare mezzi autonomi (Unmanned Vehicles) da sfruttare in diversi ambiti, dall'esplorazione scientifica, fino all'ispezione e manutenzione di zone difficilmente accessibili o pericolose (casse, carene, etc.)

Altre possibili applicazioni di mezzi diversi possono essere allestiti per il trasporto marittimo in aree urbane, per disinquinamento e servizi ecologici, per supporto in caso di calamità, per impieghi afferenti alla security.

Processo produttivo e life-cycle del prodotto

Lo sviluppo di nuovi materiali e/o l'integrazione di materiali già esistenti, come i materiali compositi, sarà abilitante per raggiungere obiettivi diversi, dalla riduzione peso fino al contenimento delle problematiche legate alla corrosione

e alla fatica. Parallelamente all'introduzione di nuovi materiali sarà necessario adeguare i processi produttivi e ottimizzare quelli attuali. Gli ambiti principali di ricerca riguarderanno saldature, incollaggi e trattamenti dell'acciaio. Inoltre, dato il veloce sviluppo della tecnologia, si cominciano a delineare le possibilità dell'utilizzo di tecniche di 3D printing in ambito navale.

Altra tematica d'interesse è legata al miglioramento del life-cycle del prodotti, in ottica di ridurne i costi a vita intera e limitarne l'impatto ambientale in fase di smaltimento (ship recycling). Quest'ultimo aspetto è stato recentemente normato, in ambito navale, con la Convenzione di Hong Kong.

Infrastrutture, logistica e portualità

Si prevede un notevole impegno dell'intero comparto sull'area di ricerca riguardante le infrastrutture, la logistica e la portualità in particolare per quanto riguarda gestione e monitoraggio del traffico, inter-modalità dei trasporti, rifornimento e bunkeraggio, in particolare per abilitare l'utilizzo e la diffusione di nuovi carburanti.

SINTONIA CON LE LINEE EUROPEE

Il Programma Nazionale della Ricerca (PNR) 2011-2013 identifica la Mobilità sostenibile di superficie tra i bisogni nazionali di ricerca che presuppongono lo sviluppo di progetti atti a garantire qualità, innovazione tecnologica ed ecocompatibilità dei prodotti. Soprattutto il concetto di sostenibilità ambientale e socioeconomica va considerato come caratterizzante ed unificante per tutte le azioni da mettere in atto.

Il PNR, considera la mobilità come interazione fra mezzi di trasporto, infrastrutture e ambiente; i settori industriali connessi alla mobilità (mezzi di trasporto su gomma, rotaia e vie d'acqua e relativi servizi di trasporto) costituiscono un elemento chiave per la competitività nazionale ed europea.

Dal punto di vista della qualità dei prodotti e del livello tecnologico, inoltre, l'industria italiana dei mezzi di trasporto ha conquistato a livello mondiale posizioni di eccellenza, essendo molto competitiva in segmenti di prodotto ad elevato contenuto tecnologico. Circostanza che deriva anche dal peso relativo, rispetto alla media nazionale, degli investimenti privati in Ricerca e Sviluppo sostenuti dalle imprese di settore.

Quanto sopra si traduce, adottando la terminologia coniata per la programmazione finanziaria 2014-2020 degli stati e delle regioni, nel fatto che la Mobilità di superficie è una delle smart specialisation nazionali e, nel dettaglio, di alcune regioni italiane. Il Cluster Tecnologico Nazionale (CTN) Trasporti Italia

2020[14] è l'ambito di raccordo tra le specifiche vocazioni (specializzazioni) regionali e la complessiva vocazione del sistema paese. Il Cluster è strutturato per: mobilitare congiuntamente il sistema industriale, quello della ricerca e della pubblica amministrazione, sviluppando strategie di ricerca, sviluppo e formazione del capitale umano. Il CTN, tramite estese consultazioni, è in grado di effettuare analisi di scenario e valutazioni orientate all'individuazione delle esigenze di innovazione del Paese, sviluppando una visione integrata di medio e lungo periodo delle tematiche strategiche presidiate, sia per gli aspetti tecnico-scientifici che territoriali.

Nell'ambito del **trasporto su gomma**, parallelamente alla coerenza con gli obiettivi indicati nel libro bianco dei Trasporti 2011, gli indirizzi del presente rapporto sono allineati alle finalità del programma Horizon 2020 della Commissione Europea. In particolare si fa riferimento ai seguenti sotto programmi:

- Energia sicura, pulita ed efficiente – Entro il 2020 l'UE intende ridurre le emissioni di gas ad effetto serra del 20% rispetto ai livelli del 1990, con un'ulteriore riduzione di emissioni dell'80-95% entro il 2050.
  Il rapporto presenta, infatti, tecnologie per la riduzione dei consumi energetici dei veicoli, lo sviluppo e l'utilizzo di combustibili a basso contenuto carbonico, la riduzione delle emissioni e l'elettrificazione delle propulsioni.
- Trasporti intelligenti, verdi e integrati – L'obiettivo è di realizzare un sistema di trasporto europeo efficiente sotto il profilo delle risorse, rispettoso dell'ambiente, sicuro e regolare a vantaggio dei cittadini, dell'economia e della società.
  Nel rapporto sono contenute le tecnologie per aumentare l'efficienza, anche economica, dei veicoli su gomma, per diminuire il loro impatto ambientale, nelle diverse fasi di produzione, utilizzo e smaltimento, e per sviluppare ulteriormente la connettività del veicolo con l'ambiente che lo circonda a supporto della costruzione di un sistema di trasporti integrati.
- Azione per il clima, efficienza delle risorse e materie prime – L'obiettivo specifico è di garantire un'economia efficiente sotto il profilo delle risorse e capace di reagire ai cambiamenti climatici nonché un approvvigionamento sostenibile di materie prime, per rispondere alle esigenze di una popolazione mondiale in crescita.
  Nel rapporto è stato dato un grande rilievo alle tecnologie relative ai materiali, per il contributo che l'innovazione in questo campo può portare alla gestione sostenibile delle risorse.

Nei documenti ERRAC VISION 2050 ed ERRAC ROADMAPS 2030, nonché nel libro bianco dei Trasporti 2011 si forniscono gli obiettivi per il **settore ferroviario**, che si riportano nel seguito e che appaiono in diretta sintonia con quelle

14 CTN *Italia Trasporti 2020*, Piano di Sviluppo Strategico.

che sono le tecnologie prioritarie e le tematiche a lungo e medio termine proposte dal settore:

- entro il 2030 rendere pienamente operativa in tutta l'UE una *"rete essenziale" TEN-T multimodale e nel 2050 una rete di qualità e capacità elevate con una serie di servizi di informazione connessi.* La Rete transeuropea di trasporto TEN-T prevede la costituzione di una rete di trasporto combinato ove i progetti riguardano la realizzazione e ristrutturazione di infrastrutture ferroviarie o di vie navigabili al fine di rendere possibile il trasporto di unità di carico intermodali (e.g. Corridoio Rotterdam – Genova);
- trasferire nel caso di percorrenze superiori a 300 km il 30% del trasporto di merci attualmente su strada verso altri modi entro il 2030. Nel 2050 questa percentuale dovrebbe passare al 50% grazie a corridoi merci efficienti ed ecologici (vedi la rete di trasporto TEN-T). Per questo dovranno essere messe a punto infrastrutture ferroviarie adeguate;
- conseguire nelle principali città un sistema di logistica urbana a zero emissioni di CO_2 entro il 2030 con il potenziamento del sistema su ferro;
- ridurre entro il 2030 di circa il 30% e del 50 % nel 2050, il consumo di energia in campo ferroviario in confronto a quanto stabilito nel 1990;
- integrare entro il 2030 misure di mitigazione del rumore nel sistema ferroviario sia urbano che a lunga distanza, offrendo soluzioni sostenibili e pratiche che sfruttino tecniche e tecnologie innovative. Tale obiettivo si sposa con la necessità di rendere vibrazione e rumore accettabili dal punto di vista sociale ed economico entro il 2050 così da permettere un servizio di 24 ore;
- completare entro il 2050 la rete ferroviaria europea ad alta velocità. Triplicare entro il 2030 la rete ferroviaria ad alta velocità esistente e mantenere in tutti gli Stati membri una fitta rete ferroviaria. Entro il 2050 la maggior parte del trasporto di passeggeri sulle medie distanze dovrebbe avvenire per ferrovia;
- posto che il settore ferroviario è attualmente il più sicuro, l'obbiettivo al 2050 è quello di mantenere al minimo l'occorrenza delle fatalità intensificando il servizio grazie anche allo sviluppo ed adozione di sistemi di segnalamento come ERTMS;
- ridurre del 50% l'incidenza della manutenzione dell'infrastruttura ferroviaria sviluppando metodi e sistemi innovativi di manutenzione che minimizzino gli interventi ed automatizzino i processi.

Per il **settore marittimo**, il quadro complessivo evidenzia una previsione di contributi importanti che potrebbero permettere al settore nazionale una risposta competitiva di ottimo rilievo, sebbene risultino margini di miglioramento, nei settori concernerti le seguenti sfide:

- il contenimento delle emissioni di CO_2, per ottenere il quale vengono principalmente proposte soluzioni indirette, ossia come ricaduta di minori con-

sumi grazie ad una migliore efficienza energetica; questo può anche essere messo in relazione con il progressivo ridimensionamento della posizione nazionale nel settore della produzione di motori primi navali, a seguito di fenomeni di concentrazione industriale;
- l'uso di energie rinnovabili, la cui possibile applicazione in campo marittimo è piuttosto oggetto di dibattito che non di ricerca; infatti, salvo in applicazioni nautiche o su flotte di mezzi minori, ad esempio pescherecci, non sembra ad oggi che vi siano significative volontà di applicazione delle tecnologie fotovoltaiche o eoliche, oppure l'uso di carburanti da fonte riciclabile o soluzioni *full-electric*.

Come già descritto in precedenza, il CTN *Trasporti Italia 2020* è l'ambito di raccordo tra le specifiche vocazioni regionali (*Smart Specialization*) in materia di Mobilità di superficie e la complessiva vocazione del sistema paese. Quanto riportato in queste pagine è in piena sintonia con la visione integrata offerta dal CTN sulle tematiche strategiche presidiate sul territorio.

La seguente tabella riporta, per ogni macro-obiettivo individuato in precedenza (in riga), le tecnologie abilitanti (KETs, in colonna). Appare evidente lo stretto legame tra le due categorie e come il mondo settore navale dovrà avvalersi di tutte le categorie di tecnologie per evolvere correttamente e rispettare le aspettative e le richieste del mercato.

	NANOTECHNOLOGY	ADVANCED MATERIALS	BIO-TECHNOLOGY	ADVANCED MANUFACTURING
Sicurezza globale				●
Sostenibilità ambientale	●	●	●	
Efficienza energetica		●	●	●
Comunicazione, Connettività				●
Comfort di passeggeri ed equipaggio		●		●
Mezzi diversi				●
Processo produttivo e life-cycle del prodotto				●
Infrastruttura, logistica e portualità				●

TAB. 3 – MACRO-OBIETTIVO E TECNOLOGIE ABILITANTI

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 1
COMBUSTIBILI

DESCRIZIONE

La Commissione Europea, al fine di migliorare la qualità dell'aria e ridurre gli inquinanti e la CO_2, impone limiti di emissione sempre più severi alle autovetture e ai motori e inoltre definisce specifiche di qualità più elevate per i carburanti e combustibili. A seguito di queste scelte si devono sviluppare nuove tecnologie motoristiche e nuove tecnologie formulative per i combustibili che, oltre a rispettare le nuove specifiche ed utilizzare stream da fonti rinnovabili, devono garantire le migliori prestazioni a tutti i veicoli. Questa esigenza è espressa dalle associazioni dei costruttori nel World Wide Fuel Charter[15] dove sono riportate le caratteristiche dei combustibili ritenute idonee alle varie tecnologie motoristiche presenti sul mercato. Anche le tecnologie legate al metano e al bio metano stanno riscuotendo interessi a livello mondiale come fuel autotrazione alternativi anche grazie alla tecnologia di estrazione dello shell gas utilizzata negli USA per il metano fossile.

Tecnologie per la benzina

Le Specifiche europee sulla qualità dei carburanti hanno puntato principalmente sulla riduzione delle emissioni inquinanti ponendo un limite, nel caso della benzina, sul contenuto di aromatici, benzene e zolfo. La nuova direttiva sui carburanti (FQD) pone inoltre l'accento sul controllo delle emissioni di CO_2 favorendo e incentivando l'utilizzo di composti da fonti rinnovabili da impiegare nei carburanti.

La benzina è un articolato blending di componenti che deve garantire il perfetto funzionamento del motore ed una pronta risposta ai comandi dell'utente. Le nuove tecnologie motoristiche come il Controllo Elettronico delle Valvole e il Turbocharging possono avere specifiche richieste di qualità dei carburanti e questo ricade sulle tecnologie formulative e di blending dei carburanti. Lo stesso avviene quando tra i composti che compongono il blending benzina si introducono ETBE (Etil tert butil etere) o etanolo che possono far parte delle tecnologie da fonti rinnovabili.

I nuovi componenti da fonti rinnovabili devono essere integrati nel blending e non peggiorare le emissioni e le prestazioni generali del veicolo, incluse le perdite evaporative. Il mantenimento nel tempo delle prestazioni del sistema di alimentazione e di aspirazione del motore benzina richiede lo sviluppo di una tecnologia di additivazione di pacchetti detergenti.

15 Worldwide Fuel Charter – Fifth Edition – September 2013
http://www.acea.be/uploads/publications/Worldwide_Fuel_Charter_5ed_2013.pdf

Tecnologie per il gasolio

Le specifiche europee sulla qualità dei carburanti hanno puntato principalmente sulla riduzione delle emissioni inquinanti in particolare quelle di particolato definendo dei limiti a parametri quali il numero di cetano, l'indice di cetano, il contenuto di IPA (idrocarburi policiclici aromatici), la densità e lo zolfo. Quest'ultimo è stato limitato a valori inferiori ai 10 ppm in quanto interferisce in modo negativo anche sui sistemi di abbattimento delle emissioni.
Il basso tenore di zolfo riduce anche l'acidità dei gas ricircolati in camera di combustione dall'EGR. La nuova FQD ha riconfermato l'importanza di ridurre le emissioni allo scarico del motore abbassando il tenore di IPA dal 11% peso al 8% peso ed ha incentivato l'uso di composti da fonti rinnovabili. Questo ha portato allo sviluppo di tecnologie di idrogenazione nel settore dei combustibili di origine fossile e rinnovabile, quali HVO, e a tecnologie di trans esterificazione per quel che riguarda le sole fonti rinnovabili.
Anche per il gasolio la tecnologia formulativa e di blending è molto delicata e l'inserimento di prodotti da trans esterificazione, quali il FAME, va gestito in modo adeguato per prevenire problemi di instabilità dovuti a insaturazioni nella molecola.

Metano: Compressed Natural Gas (CNG) e Liquified Natural Gas (LNG)

Il gas naturale, metano, o il bio metano possono essere utilizzati nel settore trasporti in veicoli opportunamente adattati per l'uso di metano ed usati o come CNG (gas naturale compresso) o LNG (gas naturale liquefatto).

La tecnologia LNG è da preferire a quella CNG su Heavy Duty destinati a lunghe percorrenze poiché ha una maggiore densità energetica.
Nel caso di utilizzo di sistemi di tipo DDF (Diesel Dual Fuel) l'LNG presenta anche il vantaggio di avere mediamente una resistenza più alta all'auto accensione (a causa di più alto contenuto di metano); inoltre, nel caso in cui si adotti un sistema di iniezione diretta del metano in fase liquida in camera di combustione, l'evaporazione del combustibile iniettato porta ad un raffreddamento dell'aria che è gradito ai motori di tecnologia DDF.
La tecnologia DDF per i motori Heavy Duty, nata inizialmente nell'ottica after-market, si sta ora affiancando a quella dei motori dedicati ad accensione comandata con l'obiettivo di utilizzare il ciclo Diesel, termodinamicante più favorevole rispetto al ciclo Otto. Tuttavia, l'approccio DDF va valutato in funzione del profilo di missione del mezzo: infatti, se utilizzato in condizioni di elevato carico motore (tipico delle applicazioni, ad esempio, su bus urbani) tale approccio non consente tassi di sostituzione del gasolio molto elevati; allo stesso modo, sulle applicazioni Euro V / Euro VI, la necessità di ricorrere ad un sistema di aftertreatment equivalente a quello adottato sulle motorizzazioni Diesel porta ad un incremento significativo dei costi aggiuntivi del sistema rispetto al più semplice sistema catalizzatore 3-way utilizzato nel caso delle motorizzazioni ad accensione comandata.
Legato a questo sviluppo tecnologico c'è poi quello legato al sistema logistico e delle stazioni di servizio che dovrebbero sviluppare delle tecnologie di stoccaggio e ri-gassificazione per fornire sia il LNG che il CNG.

Bunker fuel marina

Nelle specifiche qualitative relative ai combustibili per uso marina secondo la normativa ISO 8217:2012(E) si fa riferimento alla revisione del MARPOL Annex VI, che ha lo scopo di controllare l'inquinamento delle emissioni in atmosfera da parte delle navi, e a tal fine introduce e definisce nuovi limiti di specifica sul contenuto di zolfo sul prodotto fornito, oppure l'impiego di alternative equivalenti (adozione di scrubber sulle navi).

In Aprile 2008 il comitato per la protezione marittima ambientale, (Marine Environment Protection Committee – MEPC) della Organizzazione Marittima Internazionale (International Maritime Organization – IMO), ha approvato un amendment all'Annex VI della Convenzione Internazionale per la prevenzione dell'inquinamento marittimo (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships – MARPOL). Tale amendment ha fissato limiti più severi sulle emission di SOx e NOx delle navi e ha aperto la possibilità di designare limiti speciali nelle aree di controllo ambientale (Environmental Control Areas – ECA) su emissioni di SOx, NOx e particolato. Sono aree SECA il Mar Baltico, il Mare del Nord e la costa Nord Americana.

Il MARPOL Annex VI rivisto ha ora fissato limiti più stringenti sul contenuto di zolfo nei bunker fuel:

- Riduzione sul valore massimo a 3,5% dal 1 Gennaio 2012, seguito da un'ulteriore riduzione allo 0.5% m/m dal 1 Gennaio 2020, a valle di uno studio di fattibilità.
- Riduzione nelle aree SECA all'1% dal 1 Luglio 2010 e ulteriore riduzione allo 0,1% dal 1 Gennaio 2015.

Secondo uno studio IMO l'uso di heavy fuel oils dovrà essere largamente abbandonato man mano che il limite di specifica sullo zolfo diminuirà sotto l'1% m/m.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La Commissione Europea si è data un obiettivo di ottimizzare il consumo di energia rendendo obbligatorio l'uso del 20% di energia proveniente da fonti rinnovabili sostenibili sul consumo di energia complessivo della Comunità entro il 2020. Tra le quote di energia da ottimizzare c'è quella destinata ai trasporti che dovranno incamerare nei prodotti tradizionali benzina e gasolio l'uso di biocarburanti. Le direttive che direttamente coinvolgono la ricerca e la qualità dei carburanti sono la Renewable Energy Directive (RED) e la Fuel Quality Directive (FQD) emanate nel 2009. La direttiva RES (2009/28/EC) impone a partire dal 2020, la distribuzione di carburanti che contengano il 10 %, calcolato su base energetica, di componente rinnovabile. La direttiva definisce inoltre dei criteri di sostenibilità per i bio-componenti in relazione al saving sulle emissioni di gas serra che questi consentono rispetto ai componenti non rinnovabili. La riduzione di gas serra dovrà essere del 35% fino al 31/12/2016; dovrà salire al 50% dal 1/1/2017 e a partire dal 1/1/2018 per bio-componenti ottenuti da impianti costruiti dopo il 1/1/2017 dovrà salire al 60% la direttiva dà indicazioni su come calcolare questi valori ponendo l'accento sulla sostenibilità delle materie prime.

La direttiva FQD (2009/30/EC) richiede che al 31/12/2020 i carburanti trazione consentano una riduzione di gas serra del 10% rispetto alle emissioni medie da carburanti fossili calcolate al 2010. Di queste, il 6% di riduzione dovrà venire dal contenuto rinnovabile del carburante, il 2% da azioni di stoccaggio e cattura della CO_2 e da veicoli elettrici e il 2% dall'acquisto di crediti in accordo al protocollo di Kyoto.

Per rispettare gli obblighi sarà necessario garantirsi la disponibilità di bio-componenti di 2ª generazione prodotti da scarti, materiali non edibili, cellulosa, ligno-cellulosa, e alghe, il cui contributo in termini energetici viene calcolato doppio, rispetto ai bio-componenti di 1ª generazione oggi disponibili (bio etanolo bio ETBE, FAME ecc.).
La diminuzione di fonti fossili e le sempre più severe norme ambientali spingono a sviluppare tecnologie che convertano in benzina e gasolio la maggior parte di greggio lavorato. Oggi la ricerca deve essere orientata a sviluppare tecnologie per sfruttare le fonti rinnovabili da materia prima di seconda e terza generazione provenienti cioè dall'utilizzo di parti di scarto, della cellulosa e della lignina, o da altre colture quali le alghe. Queste devono essere correlate allo sviluppo di tecnologie di processo e nuove tecnologie di blending o produzione per i carburanti e combustibili.
Lo sviluppo della tecnologia dei carburanti e dei combustibili va quindi implementata a 360 gradi considerando sia le fonti fossili che quelle rinnovabili, e includendo anche quelle del metano e biometano che contribuiscono alla diversificazione delle fonti di approvvigionamento energetico.
Inoltre diversi fattori incideranno sulla futura domanda di bunker, a partire dalla crescita nel commercio mondiale, dalla decisione degli armatori di utilizzare combustibili alternativi (LNG) o dotarsi di sistemi di depurazione dei gas di scarico sulle navi (scrubbers).
Cionondimeno il quadro normativo in evoluzione risulta sfidante per l'industria petrolifera: a causa della prevista ripida caduta della domanda di prodotti derivanti dal fondo del barile è necessario incrementare la capacità di conversione e di idrogenazione dei residui, al fine di traguardare le nuove specifiche sul contenuto massimo di zolfo dei combustibili marina.

Si sta inoltre valutando la possibilità di rivedere la normativa ISO 8217 includendo anche processi "unconventional", come ad es. GTL, BTL e HVO nel pool combustibili marina, a patto che il blend finale rispetti le specifiche.
Sarà inoltre necessario tenere conto delle problematiche che le formulazioni dei nuovi combustibili porteranno con sé, prima fra tutte la diminuzione del potere lubrificante (lubricity) dovuta alla netta diminuzione dei composti solforati. Occorrerà pertanto utilizzare tipologie di oli lubrificanti studiate ad hoc e rivedere le composizioni dei chemical da additivare alla base del combustibile.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Benzina e gasolio per i prossimi anni rimarranno ancora le principali fonti di energia per il settore autotrasporti. La qualità di benzina e gasolio dovrà tener conto e incamerare una quantità di componenti da fonti rinnovabili (prima e seconda generazione) tali da rispettare le Normative europee RED e FQD.
Per traguardare i limiti obiettivo delle emissioni di CO_2 dai veicoli i Costruttori tendono a privilegiare motori Diesel in quanto il ciclo termodinamico di questi è favorito rispetto ai corrispondenti motori a Ciclo Otto con conseguenti riduzioni delle emissioni di CO_2.
Come conseguenza nel 2009, nei paesi della EU-27, le vendite delle autovetture Diesel hanno continuato la loro crescita contribuendo ad uno sbilanciamento della capacità di raffinazione delle raffinerie europee. Sempre nel 2009 la domanda di benzina nei Paesi EU-27 è stata pari a 93 Mt/y mentre la domanda di gasolio è stata pari a 258 Mt/y. Questo ha fatto si che la EU-27 ha dovuto importare 17 Mt/y dalla ex Repubbliche Sovietiche e 7,3 Mt/y da Asia e Paesi Arabi. Allo stesso

tempo sono state esportate più di 40 Mt/y di benzina di cui più del 50% negli USA e il resto tra Africa, India e Paesi Arabi.

I margini di raffinazione in Europa sono tendenzialmente bassi e le raffinerie "semplici" non dotate di impianti di conversione come i cracking sono mediamente in perdita[16]. In questo scenario l'Italia dal 1980 al 2010 ha perso il 37% di capacità di raffinazione considerando la produttività degli impianti in grado di produrre benzina e gasolio a specifica[17]. Dal 2010 al 2014 il trend sui carburanti e combustibili per quel che riguarda l'Europa e l'Italia non è cambiato.

L'introduzione massiccia di prodotti da fonti rinnovabili in raffineria impatta in modo significativo sulla produzione di benzina e gasolio a specifica di legge.

Per quel che riguarda i biocombustibili i più diffusi oggi disponibili sul mercato sono etanolo e biodiesel (FAME). I maggiori produttori di etanolo sono gli USA e il Brasile, mentre l'Europa e il primo produttore di biodiesel. L'etanolo prodotto negli USA deriva principalmente dal mais, mentre quello prodotto in Brasile deriva dalla canna da zucchero. Dall'etanolo si ricava il bio-ETBE un ottimo componente benzina penalizzato rispetto all'etanolo per il costo e per la bassa % di prodotto bio presente nella sua molecola. In Europa il biodiesel è ottenuto per la maggior parte dall'olio di colza (Canola) o dall'olio di girasole[18].

Dagli oli vegetali in opportuni impianti di idrogenazione è possibile ottenere degli idrocarburi con buone caratteristiche per essere impiegati come componenti blending in gasolio e definiti HVO (Hydrogenated Vegetable Oil).

Per quel che riguarda la tecnologia LNG in Europa all'interno del 7° Programma Quadro è inserito il progetto "LNG Blue Corridors"; obiettivo del progetto è quello di valutare se LNG può essere un'alternativa al gasolio per i veicoli heavy duty sulle medie e lunghe distanze prima come combustibile complementare e poi come sostituzione completa. Nel progetto sono coinvolti 11 paesi europei con 27 partners inclusa l'Italia. In Italia, zona di Piacenza, è stata inaugurata la prima stazione di servizio con LCN tal quale o rigassificato a CNG.

La coltivazione dei prodotti vegetali spesso è in competizione con la coltivazione di prodotti destinati all'alimentazione, ad esempio il mais è esso stesso un prodotto commestibile. Questo fa capire che l'utilizzo di queste materie prime potrebbe non essere sostenibile nel lungo periodo e quindi non si potranno usare per soddisfare le richieste della RED e della FQD.

Ecco perché è importante poter sfruttare le fonti rinnovabili definite di seconda generazione quali la cellulosa, la lignina ecc. che possono essere recuperati da scarti di lavorazione. Inoltre la coltivazione di queste piante non deve sottrarre terreno alle coltivazioni di prodotti commestibili e non devono alterare le caratteristiche idrogeologiche della zona in cui vengono coltivati. Per sfruttare i composti di seconda generazione bisogna investire nella ricerca per la coltivazione, per i processi di lavorazione e per la conversione di questi composti in combustibili.

Infine vanno implementare le tecnologie formulative e di blending al fine di produrre carburanti e combustibili adatti alle più avanzate tecnologie motoristiche.

16 Europia – *Annual report 2010*

17 Unione Petrolifera – *Data Book 2011*

18 Anselm Eisentraut – Sustainable Production of second-generation Biofuels – IEA – 2010

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 2
SISTEMI DI MOTOPROPULSIONE

DESCRIZIONE

A fianco della progressiva elettrificazione dei sistemi di motopropulsione con soluzioni che dovranno essere sempre più capaci di coniugare l'impatto prestazionale atteso con extra costi accettabili, l'evoluzione delle tecnologie legate ai motori a combustione interna unitamente alla maggior diffusione di sistemi di trasmissione in grado di ottimizzare la gestione della coppia alle ruote (cambi a doppia frizione con attuazione meccanica automatizzata o cambi automatici) contribuirà in un orizzonte temporale di corto-medio termine al raggiungimento dei target comunitari relativi alla riduzione dei gas a effetto serra.
I principali assi di sviluppo saranno declinati attorno alle seguenti tecnologie:

Propulsori ad accensione comandata a benzina ad elevata efficienza

Grazie alle sue caratteristiche di comfort, potenza e basse emissioni acustiche e grazie anche alle ridotte emissioni di gas inquinanti ottenibili con la tecnologia dei catalizzatori a tre vie, consolidata e disponibile a costi competitivi, il motore ad accensione comandata a benzina continuerà ad essere ampiamente presente sul mercato nei prossimi anni. Le tecnologie in grado di migliorarne il rendimento e diminuirne il consumo specifico saranno basate principalmente su:

- l'ottimizzazione del rapporto di compressione e ricircolo dei gas di scarico (EGR) per mantenere la dosatura stechiometrica della miscela aria/benzina (e quindi diminuire il consumo) specie in condizioni di guida reale (utilizzo "Real Life");
- l'integrazione di dispositivi efficienti di sovralimentazione (meccanica ed eventualmente in combinazione con compressori elettrici) al fine di incrementare la coppia del motore ai bassi regimi;
- la disattivazione dei cilindri, di particolare utilità per un'ulteriore riduzione dei consumi ai carichi parziali;
- l'evoluzione dei sistemi di iniezione: si prevede una più ampia diffusione degli impianti a iniezione diretta di benzina al fine di garantire una più elevata resistenza alla detonazione del motore ed un maggior controllo del processo di combustione capace di ridurre la formazione di particolato.

Propulsori Diesel a bassissime emissioni

L'inseverimento dell'attuale normativa Euro6 comporterà l'entrata in vigore di un nuovo ciclo omologativo (WLTP – Worldwide Light duty Test Procedure) affiancato da un'estensione del controllo delle emissioni inquinanti anche in condizioni di guida reale – Real Driving Emissions, rendendo particolarmente impegnativo lo sviluppo delle future motorizzazioni Diesel nell'ottica di un conte-

nimento delle emissioni di NOx senza penalizzare le emissioni di CO_2.
In questa prospettiva sarà fondamentale l'evoluzione della tecnologia di post-trattamento dei gas di scarico per massimizzare l'efficienza di abbattimento degli inquinanti contenendone, allo stesso tempo, i costi variabili e di esercizio, utilizzando soluzioni innovative quali, ad esempio, l'integrazione del catalizzatore SCR nel DPF (Diesel Particulate Filter) con l'iniezione di Urea e l'utilizzo di un SCR passivo in abbinamento al sistema NSC (NOx Storage Catalyst).
Tale sviluppo sarà accompagnato in parallelo dall'evoluzione delle tecnologie più dedicate al miglioramento del motore Diesel, in particolare focalizzandosi sui seguenti aspetti:

- aumento della pressione di iniezione in camera fino a valori superiori a 2000 bar;
- ottimizzazione del design della camera di combustione per massimizzare il rendimento termodinamico del ciclo contenendo, allo stesso tempo, la formazione di NOx;
- sviluppo di nuovi materiali e lubrificanti per la riduzione dei fenomeni di attrito;
- miglioramento del comportamento motore in termini di rumorosità e vibrazioni, con l'obiettivo di ridurre l'inquinamento acustico e migliorare la Sound Quality percepita dal cliente.

Motorizzazioni a bassissimo impatto ambientale con alimentazione a metano

Il metano per autotrazione ha conosciuto, nel corso degli ultimi anni, una stagione di significativo sviluppo grazie al crescente numero di modelli immessi sul mercato da parte dei costruttori automobilistici, all'aumento, seppur graduale, degli impianti di distribuzione e al riconoscimento, da parte delle Autorità nazionali che ne hanno promosso la diffusione, come elemento strategico nel mix energetico nazionale, grazie alle sue proprietà ecologiche, al potenziale di riduzione di emissioni della CO_2 e degli agenti inquinanti oltre che alla ridotta rumorosità dei propulsori rispetto alle omologhe versioni Diesel. Il metano, infatti, abbinato a motorizzazioni ottimizzate per tale applicazione, è attualmente la soluzione più immediata ed efficace già disponibile sul mercato in quanto, oltre ad essere un combustibile sicuro ed economico, risulta particolarmente interessante perché permette una riduzione di emissioni di CO_2 di circa il 23% rispetto alla benzina ma con vantaggi anche in termini di minimizzazione del particolato, degli idrocarburi più reattivi, degli NO_x e delle emissioni acustiche. Inoltre, il metano, grazie alla stabilità della sua molecola, non tende a formare composti tossici con le altre sostanze nocive presenti nell'atmosfera.
Il metano ha pertanto un ruolo strategico nel porre le basi tecnologiche per lo sviluppo e la diffusione di soluzioni ecologicamente ancora più sostenibili basate sull'utilizzo delle fonti rinnovabili: in quest'ottica il biometano, prodotto per digestione anaerobica di composti organici o per gassificazione termica di biomasse, si presenta oggi come un candidato importante per consentire di raggiungere l'obiettivo della quota prevista per il settore trasporti del 10% di combustibili da fonte rinnovabile entro il 2020, come previsto dalla Direttiva 2009/28/EC sulle Fonti Rinnovabili. Il biometano, infatti, derivato dalla produzione di biogas ed opportunamente purificato, è un combustibile totalmente sostituibile al suo omologo di origine fossile risultando equivalente in termini di composizione finale ed offrendo, per questo, un'estrema flessibilità di gestione.
In questa prospettiva, lo sviluppo di motorizzazioni dedicate al solo utilizzo del metano come combustibile (monofuel) consentirà di realizzare motori con migliori prestazioni e ridotti consumi. Tali motorizzazioni, infatti, potranno beneficiare dell'evoluzione tecnologica dei motori ad

accensione comandata sviluppati per le applicazioni benzina, ottimizzandone il rendimento attraverso un più elevato rapporto di compressione abbinato ad una sovralimentazione in grado di offrire prestazioni addirittura superiori a quelle ottenute con funzionamento a benzina.
Infine, non è da trascurare l'opportunità di poter incrementare, nei prossimi anni, l'utilizzo del metano liquido (LNG) per i mezzi di trasporto medi e pesanti, grazie alla maggior diffusione dei sistemi di distribuzione del LNG sia in Europa sia in Italia.
Per tutti i propulsori elencati, l'ibridizzazione elettrica (da stop&start a 12 V fino a full hybrid e plug-in HEV ad elevata tensione) aprirà nuove prospettive. L'accoppiamento tra motore a combustione interna e propulsori elettrici, grazie alla loro complementarità, permetterà di ottimizzare la gestione energetica a bordo veicolo e stimolerà lo sviluppo di nuove motorizzazioni termiche dedicate all'impiego su powertrain ibridi, in particolar modo nel caso di configurazioni di tipo "range extender" nelle quali il motore termico ha esclusivamente la funzione di generazione dell'energia elettrica e non di trazione.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La gestione dei cambiamenti climatici e dei suoi effetti sul nostro pianeta è oggi una delle sfide globali più complesse da affrontare: nella comunità scientifica e nell'opinione pubblica cresce la consapevolezza dei cambiamenti climatici in atto e dell'incidenza che l'aumento dei gas a effetto serra (GHG, Green House Gases) in atmosfera esercita sul clima e il progressivo aumento delle emissioni di CO_2 causato dalle attività dell'uomo ha indotto molti governi a mettere in atto misure di regolamentazione e di controllo al fine di limitarne gli effetti negativi.

D'altro canto, i trasporti sono fondamentali per la nostra economia e la mobilità svolge un ruolo vitale per il mercato interno e per garantire ai cittadini la libertà di viaggiare: i trasporti sono funzionali alla crescita economica e dell'occupazione e devono essere sostenibili in vista delle nuove sfide che si presenteranno negli anni futuri, quando si ridurrà la disponibilità di petrolio e le fonti di approvvigionamento saranno meno sicure.
In questo contesto, il futuro del motore termico potrà essere garantito grazie ad una ricerca in grado di migliorarne la competitività, l'efficienza e la sostenibilità, anche attraverso un'approfondita analisi dei seguenti temi:

- lo scenario energetico del futuro, indicando una previsione del costo e della disponibilità del petrolio;
- le prospettive per una più ampia diffusione dei combustibili alternativi, inclusi i combustibili gassosi e i biocombustibili avanzati di seconda generazione;
- la realizzazione di nuove infrastrutture di distribuzione e la possibilità di produrre specifici biocombustibili in loco;
- il già menzionato processo di progressiva elettrificazione del motopropulsore e del veicolo, che, per le applicazioni plug-in (ibride e puro elettriche), richiederà ingenti investimenti per supportare la realizzazione di una rete per la ricarica elettrica standard e veloce in aree pubbliche e per incrementare la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

Questa evoluzione del mercato toccherà tutti i segmenti nel mondo dei trasporti e dovrà tenere

conto delle numerose esigenze legate ai diversi profili di missione che richiederanno diversi valori di autonomia.
I veicoli con motori a combustione interna tradizionali continueranno pertanto a svolgere un ruolo fondamentale, nel breve e medio termine, per i trasporti sia di passeggeri sia di merci, se in grado di dimostrare un significativo miglioramento in termini di prestazioni e una forte riduzione delle emissioni, ad un costo competitivo.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In base ai dati forniti dall'ultimo rapporto TERM (*Transport and Environment Reporting Mechanism)* dell'EEA (Agenzia Europea per L'ambiente) per l'anno 2010, nell'EEA-32 emerge l'importanza del settore del trasporto stradale sia per quanto riguarda il movimento di passeggeri sia il trasporto delle merci: per il primo il mezzo più utilizzato è l'automobile (84%), seguita da autobus (9%) e ferrovia (7%). Riguardo al trasporto merci, il trasporto su strada riveste una quota pari al 77%, seguito da quello su rotaia (17%) e dalle via d'acqua interne (6%).
Considerando il trend di evoluzione previsto nel medio-lungo termine, che prevede uno sviluppo importante della domanda legata al settore del trasporto/distribuzione delle merci, appare essenziale assicurare lo sviluppo di tecnologie che contribuiscano, da un lato, a valorizzare un maggior quantitativo di fonti energetiche rinnovabili e alternative al petrolio e, dall'altro, a proporre sistemi di motopropulsione altamente efficienti.
In base allo stesso studio, i *trasporti* contribuiscono alle emissioni totali di NOx, CO, PM2.5, PM10, SOx e VOC rispettivamente per il 58%, 30%, 27%, 22%, 21% e 18%. Il focus dell'evoluzione tecnologica dei sistemi di motoproulsione, sotto la guida dell'evoluzione normativa, si concentra maggiormente sulla riduzione delle emissioni gassose di ossidi di azoto (obiettivo principale dello standard Euro 6) e sull'abbattimento del particolato (già negli obiettivi delle normative Euro 4 e Euro 5). In particolare, le motorizzazioni Diesel dovranno far ricorso a sistemi di post-trattamento dei gas di scarico sofisticati e costosi, capaci di garantire la corretta riduzione degli NOx sull'intero campo di funzionamento motore. Questo comporterà un'attenta valutazione delle scelte tecnologiche in funzione della taglia e del profilo di missione del veicolo considerato e potrà decretare, in futuro, una diversa ripartizione delle quote di mercato tra motorizzazioni Diesel e benzina che, attualmente, in Europa, si attesta attorno al 54% a favore dei Diesel (dato ACEA per l'anno 2013).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 3
SICUREZZA INTEGRATA

DESCRIZIONE

L'obiettivo prevede un intervento sinergico ed integrato sui tre fattori che incidono sulla sicurezza stradale, *veicolo, conducente e infrastruttura stradale*. La finalità è di ottenere un significativo miglioramento della sicurezza stradale complessiva sia in termini di riduzione e mitigazione dei danni in caso di incidente (sicurezza passiva), sia di prevenzione delle situazioni di rischio di incidente (sicurezza preventiva), sia di controllo attivo del veicolo (sicurezza attiva). L'approccio integrato delle tre linee di sviluppo per la sicurezza risponde quindi alla duplice esigenza di riduzione del numero e della gravità stessa degli incidenti.
In particolare, in linea con le linee guida e i principali obiettivi definiti dai Programmi di Ricerca e Sviluppo della Commissione Europea, particolare attenzione è inoltre dedicata alla sicurezza e protezione dei Vulnerable Road Users (Pedoni, ciclisti,€).

Le aree considerate riguardano i seguenti principali aspetti complementari:

- Interventi sul veicolo e sui suoi sistemi, sul guidatore e sull'infrastruttura.
- Sviluppo di soluzioni cooperative, basate sulla comunicazione veicolo–veicolo e infrastruttura–veicolo.

Per quanto riguarda la prima area, lo sviluppo tecnologico e metodologico interessa la struttura del veicolo, i suoi sistemi di ritenuta, la biomeccanica degli occupanti, l'analisi e ricostruzione degli incidenti ed infine l'ambito del Testing sia reale (cioè le prove sperimentali) che virtuale (il CAE ovvero la simulazione numerica).

Struttura del veicolo

In ambito struttura veicolo i principali interventi riguardano:

- Il miglioramento della compatibilità in urto frontale e laterale tra veicoli, attraverso architetture che favoriscano l'allineamento dei principali componenti strutturali preposti alla dissipazione dell'energia sviluppata durante gli impatti e come conseguenza della definizione di appropriati metodi di misura/valutazione della compatibilità, vale a dire nuovi crash test di riferimento e/o metriche di valutazione degli output misurabili sperimentalmente. L'allineamento che va perseguito è quello in termini di geometrie e carichi trasmessi dalle strutture del veicolo, con prescrizione di aree di interazione comuni, sia in verticale che in orizzontale, in modo che un adeguato livello di interazione strutturale negli urti frontali e laterali tra veicoli differenti sia comunque garantito. Questo comporta anche la definizione di nuovi criteri per il dimensionamento strutturale dell'abitacolo.

- L'alleggerimento spinto con mantenimento e/o miglioramento della capacità della struttura di gestire l'assorbimento dell'energia dell'impatto (crashworthiness), nelle varie configurazioni di urto di riferimento e per veicoli tradizionali e con propulsioni alternative.
- L'utilizzo di soluzioni strutturali in grado di variare le loro caratteristiche di resistenza e/o configurazione a seconda del tipo di impatto in cui il veicolo può venirsi a trovare (switchable stiffness and active structures), quali ad esempio i sistemi attivi per la riduzione delle conseguenze dell'impatto con gli utenti vulnerabili della strada (pedoni, ciclisti, motociclisti): cofano attivo, paraurti mobile, airbag fronte veicolo, tergicristalli integrati, airbag in zona parabrezza, etc.
- La ricerca di soluzioni per lo stoccaggio dell'energia a bordo veicolo che prevedano strutture leggere ed allo stesso tempo in grado di reggere alle sollecitazioni tipiche degli urti, per i nuovi veicoli con sistemi di propulsione alternativi (la cosiddetta storage system crashworthiness per pacchi batterie dei veicoli elettrici/ibridi e per i serbatoi innovativi in composito per metano ed idrogeno).
- L'utilizzo di materiali innovativi con migliorate caratteristiche di assorbimento energetico ed in grado di garantire che la prestazione in urto, testata sperimentalmente, non degradi nel tempo.

Sistemi di ritenuta

Per i sistemi di ritenuta i principali includono:

- Sviluppo di componenti innovativi per i sistemi di ritenuta intelligenti (o smart restraint systems) e loro integrazione.
- Sviluppo della *Sensoristica Crash* e di processing.
- Nuove tipologie di airbag, caratterizzati da strategie di gonfiaggio più controllabili ed adattabili al tipo di occupante presente in abitacolo al momento dell'incidente, realizzate attraverso soluzioni semplici, efficaci e di costo contenuto, in grado di abilitare eventualmente anche soluzioni innovative su altri componenti interni all'abitacolo o anche esterni, se si è in presenza di bag per la protezione del pedone.
- Nuove tecnologie di fabbricazione degli airbag (senza cuciture e senza punti deboli a queste legate, nuovi schemi di piegatura, etc.).
- Maggiore integrazione/sinergia delle funzioni di ergonomia, confort e sicurezza per i componenti degli interni abitacolo, con sviluppo di soluzioni innovative.
- Nuovi sistemi di rilevamento della tipologia di occupanti in abitacolo per gestione ottimale e adattativa della protezione (es. per particolari categorie di occupanti quali bambini, anziani, disabili,..)
- Nuovi sistemi di rilevamento della posizione degli occupanti in abitacolo, per gestione ottimale e personalizzata della prestazione di ritenuta (sempre verso sistemi di ritenuta 'intelligenti' capaci di interventi differenziati in funzione del grado di severità e della tipologia di urto, nonché delle caratteristiche antropometriche e posturali degli occupanti, ovvero sistemi di ritenuta specifici ed adattativi per particolari categorie di occupanti quali bambini, anziani, disabili).

- Algoritmi decisionali con migliorate prestazioni per le centraline di controllo dei sistemi di ritenuta (ECU), caratterizzati da nuove logiche con approcci innovativi.

Biomeccanica

Per le tematiche inerenti gli aspetti di biomeccanica si evidenzia in particolare:

- Lo sviluppo di nuovi manichini per occupanti adulti e bambini, armonizzati (per uso worldwide) e con aumentata biofedeltà.
- La definizione di nuovi criteri di lesione, che tengano conto, oltre che delle tipologie di danno cui si va incontro nei veicoli tradizionali, anche di quelle legate ai veicoli futuri molto innovativi (ad esempio veicoli urbani a propulsione elettrica molto leggeri e di architettura particolare).
- Impattori evoluti per urto pedone, con maggiore biofedeltà della risposta (ad es. legform flessibile con aggiunta di una upper body mass, headform con porzione di collo o massa equivalente aggiunta, etc.).
- Nuovi manichini per urto pedone (standing pedestrian dummies, articulated dummies).
- Cyclist dummies per urto ciclisti (in relazione all'evoluzione dei sistemi Autonomous Emergency Braking previste dalle roadmap EuroNCAP).
- Modelli numerici di corpo umano (human body models, vedi anche parte di testing virtuale).

Analisi e ricostruzione degli incidenti

L'analisi statistica degli incidenti (scenari, modalità, dinamiche dei veicoli coinvolti, ℇ), costituisce un fondamentale tassello e input di partenza per la definizione degli sviluppi dei sistemi veicolo. In particolare l'analisi è focalizzata sui seguenti principali aspetti:

- Generazione di database incidentologici armonizzati caratterizzati da una costante/continua manutenzione e miglioramento.
- Nuove metodologie di ricostruzione degli incidenti (con uso di simulazione numerica avanzata e realtà virtuale, abilitanti anche la valutazione a priori delle nuove safety function che si intende introdurre sul veicolo in ottica sicurezza integrata, nonché valutazioni costi/benefici più oggettive a supporto delle decisioni relative all'introduzione di nuovi standard di crash).

Testing

Per le fasi di test e validazione si evidenzia in particolare:

- Incremento dell'utilizzo del testing virtuale (risultati delle simulazioni numeriche) come mezzo per conseguire omologazioni e/o assegnare dei rating, in aggiunta al testing reale tradizionale o in sua completa sostituzione, con estensione delle configurazioni di crash esaminate senza un aggravio dei costi delle prove sperimentali o con una loro riduzione, con riflessi positivi sui livelli di sicurezza raggiunti e sulle tempistiche di sviluppo dei veicoli.
- Incremento del livello di predittività della simulazione numerica, con sviluppo dei codici di calcolo e delle relative metodologie e procedure di utilizzo (algoritmi, formulazione elementi, leggi di materiale e criteri di rottura, etc.), con associato sviluppo di opportuni criteri di correlazione/metriche/standard internazionali che consentano un'oggettiva comparazione

numerico-sperimentale nella fase di verifica e validazione dei modelli numerici da usare per il testing virtuale.
- Miglioramento delle procedure di testing reale, grazie ad una forte integrazione con il testing virtuale.

Sistemi di ausilio alla guida

Circa lo sviluppo e l'introduzione dei nuovi sistemi di ausilio alla guida (Advanced Driver Assistance Systems), sono di seguito elencati le principali tematiche prioritarie.

- Sviluppo di sensori innovativi (radar, visione artificiale, ecc.), capaci di monitorare l'ambiente esterno e di riconoscere precocemente l'incipiente incidente, anche in scenari complessi quali ad esempio quello di traffico urbano, inviando informazioni di preallerta al guidatore e dati utili ai sistemi presenti sul veicolo di controllo attivo del veicolo (es. per freno e sterzo) o di mitigazione dell'urto.
- Studio di sistemi sensoriali per il monitoraggio dello stato del guidatore: grado di attenzione/distrazione, affaticamento/sonnolenza. Sistemi per impedire l'uso del veicolo a guidatori sotto l'effetto di alcool o droghe.
- Studio e sviluppo di modelli comportamentali del guidatore nelle normali situazioni di guida (naturalistic driving), finalizzati alla ottimizzazione dei benefici possibili delle soluzioni tecnologiche sviluppate e per la personalizzazione, laddove opportuno, dei sistemi di assistenza per la sicurezza preventiva.
- Soluzioni per promuovere comportamenti di guida orientati alla sicurezza, attraverso il monitoraggio del comportamento di guida.
- Sviluppo di sistemi di ausilio alla guida "intelligenti", capaci cioè di aiutare il guidatore a prevenire e gestire situazioni critiche, attraverso opportuni avvisi, suggerimenti sulle azioni da adottare (ad es. attraverso un'azione attiva sullo sterzo) sino ad arrivare, laddove necessario ad attivare manovre autonome per evitare l'incidente o ridurne le conseguenze.
- Studio dell'interazione tra sistemi di ausilio alla guida e guidatore, per migliorarne l'efficienza e la facilità di utilizzo.
- Sviluppo di modelli comportamentali delle azioni/reazioni guidatore in situazioni critiche di guida attraverso l'utilizzo di veicoli laboratorio, laboratori di Realtà Virtuale, dispositivi per il monitoraggio dello stato del guidatore e la misura del cosiddetto carico cognitivo durante la guida.
- Adozione di sistemi attivi per il controllo della dinamica del veicolo, basati sulla gestione dell'interazione veicolo-strada, a partire dalla stima puntuale dell'aderenza ruota strada ottenuta attraverso modelli o grazie a sensori intelligenti integrati nelle ruote.
- Studio della dinamica degli incidenti con particolare attenzione a:
  - Incidenti che coinvolgono i Vulnerable Road Users (pedoni, ciclisti,£).
  - Incidenti agli incroci stradali.
  - incidenti "secondari", gli incidenti che avvengono dopo il primo urto che ha causato l'incidente, finalizzati a individuare quali soluzioni debbano essere adottate per minimizzarne gli effetti.

- Studio dell'impatto che le nuove soluzioni tecnologiche possono avere sulla sicurezza stradale, con l'obiettivo di accelerare la penetrazione sui veicoli circolanti delle soluzioni maggiormente efficaci o con un elevato rapporto benefici/costi.
- Sviluppo di soluzioni ad elevata automazione di guida, finalizzate a ridurre la fatica, incrementare il comfort, ma garantendo una costante attenzione del guidatore e una pronta risposta a situazioni di emergenza (guida automatica supervisionata).
- Studio di architetture veicolo ad elevata sicurezza intrinseca sfruttando le libertà e le potenzialità di layout offerte dalla tecnologia by-wire, che prevede l'adozione di attuatori elettrici a controllo elettronico anche per i comandi primari (sterzo, freni), sostituendo quindi le connessioni di natura meccanica con cablaggi e reti elettriche.
- Studio e sviluppo di soluzioni per migliorare il livello di sicurezza delle infrastrutture stradali (forgiving road, self explaining road), in grado di ridurre i possibili errori di guida e anche contribuire a ridurre il danno in caso di incidenti.
- Sviluppo di criteri e norme per la certificazione della sicurezza delle reti stradali, finalizzate all'adozione di limiti di velocità e relativi enforcement basati su aspetti oggettivi di pericolosità.
- Studio e sviluppo di soluzioni per l'interazione tra veicolo e guidatore ad elevata sicurezza, bassa distrazione ed in grado di adeguarsi al suo specifico stato.

La realizzazione dei *Sottosistemi*, per dotare i veicoli di maggiore sicurezza preventiva, richiede in particolare lo sviluppo di:

Sensori

- sensori anticollisione radar, a microonde o laser, in grado di ricostruire con elevata accuratezza lo scenario stradale e di traffico, inclusi eventuali ostacoli fermi sulla traiettoria del veicolo;
- sistemi di visione artificiale per il riconoscimento della geometria della corsia/strada (mono camera, stereo camera, night vision, ε);
- sensori per il monitoraggio dell'area di manovra del veicolo (incluso il rilievo di pedoni e ciclisti);
- Sensori (non invasivi) per il monitoraggio stato guidatore, ad esempio attraverso il rilevo e analisi dei comportamenti di guida e/o dei suoi parametri biofisici.

Attuatori

- sistemi freno e sterzo attivi ad elevata dinamica e capacita di risposta, garantendo al tempo stesso appropriati livelli di sicurezza.

sistemi di attuazione con feedback aptico verso il guidatore.

Controlli

- sistemi di controllo integrato motore/cambio/autotelaio;
- sistemi di controllo "intelligenti" per l'ausilio alla guida;
- architetture di comunicazione e logiche funzionali fault-tolerant;

- sistemi di controllo ad elevate prestazioni;
- sistemi di fusione dati multisensoriali.

Interazione con il guidatore

- HVI (Human Vehicle Interface) innovative a bassa distrazione;
- Riconoscimento vocale naturale;
- Riconoscimento visivo e/o gestuale.

Per quanto riguarda lo sviluppo di soluzioni cooperative, occorre affrontare in particolare i seguenti temi:

- Sviluppo di sensori intelligenti finalizzati ad una nuova strategia di controllo del traffico, che utilizzi sia l'infrastruttura che i veicoli come sorgenti e destinatari di informazioni.
- Sensori di basso costo e wireless per l'infrastruttura.
- Sviluppo delle comunicazioni veicolo-infrastruttura e veicolo-veicolo: standard, protocolli, architetture.
- Soluzioni per la localizzazione relativa precisa dei veicoli.
- Soluzioni che integrino la comunicazione con i dispositivi nomadici di pedoni, ciclisti, motociclistiЄ al fine di identificarne anzitempo la presenza e posizione rispetto al veicolo in transito o in manovra.
- Costituzione di reti dinamiche di comunicazione tra veicoli e con l'infrastruttura.
- Mappe locali aggiornate dinamicamente con informazioni dettaglio circa la strada, la segnaletica, le condizioni di traffico o la presenza di eventuali pericoli, delle condizioni di aderenza, meteo e di visibilità, etc.
- Soluzioni modulari ed adattative, in grado di massimizzare i benefici derivanti dalla cooperazione anche nelle fasi iniziali di limitata diffusione dei dispositivi.
- Servizi personalizzati ed intelligenti, in grado di fornire agli utenti informazioni affidabili correlate ai livelli di sicurezza, su scala temporale e territoriale più estesa rispetto a quanto possibile con soluzioni chiuse sul solo veicolo e non cooperative.
- Approfondimento degli aspetti legali e normativi, con l'indispensabile coinvolgimento delle pubbliche amministrazioni.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il problema della sicurezza stradale continua ad imporsi con sempre maggiore insistenza nei confronti dell'opinione pubblica, per i suoi altissimi costi umani e sociali. L'Europa si era posto l'ambizioso obiettivo di ridurre del 50% i morti per incidente stradale nel periodo 2001-2010. Nel 2010 tale obiettivo ambizioso non è stato mediamente raggiunto (circa 40% medio), sebbene in diversi Paesi l'obiettivo sia stato anche superato, a testimonianza dei notevoli progressi raggiunti ma, al contempo, della necessità di ulteriori sforzi e sfide tecnologiche. Per il decennio fino al 2020 l'Europa ha rinnovato l'impegno rilanciando il nuovo obiettivo di riduzione del 50%, tra il 2010 e il 2020. Si sta inoltre pensando di introdurre anche un ulteriore obiettivo sulla riduzione dei feriti gravi, e non quindi soltanto sulla mortalità.

La necessità di ridurre drasticamente gli incidenti stradali o di limitarne le loro conseguenze richiede un approccio integrato, tra i sistemi veicolo (sicurezza preventiva, attiva, passiva e cooperativa) e tra veicolo, guidatore e infrastruttura stradale, il ricorso a diverse tecnologie innovative e complessi sviluppi interdisciplinari.
Nel settore della sicurezza passiva, il cui obiettivo consiste nella limitazione dei danni alle persone derivanti da una collisione (occupanti o pedoni), il progressivo inseverimento delle normative e la diversificazione crescente di tipologie di veicoli rende ancor più critico il problema della convivenza sicura tra i diversi soggetti del traffico stradale: mini-vetture, maxi-fuoristrada, ciclisti, pedoni. Ciò determina la necessità di nuove risposte architetturali e tecnologiche per le strutture ed i sistemi di ritenuta (o protezione) nei confronti dell'impatto, per i quali sono in sviluppo soluzioni atte a minimizzare le conseguenze degli urti (sensori di pre-crash per la predisposizione all'intervento dei dispositivi, sistemi di ritenuta ad azione differenziata in funzione della severità dell'urto e delle caratteristiche antropometriche e posturali degli occupanti ecc.).
Il livello di sicurezza complessiva garantito dallo sviluppo e dall'applicazione sul veicolo di tutti i dispositivi precedentemente descritti, ivi compresi tutti quelli rivolti all'incremento della sicurezza attiva e preventiva, può essere ulteriormente accresciuto da un opportuno scambio informativo che realizzi una cooperazione per la sicurezza tra veicolo/veicolo e veicolo/infrastruttura, concepiti come sorgenti e destinatari di informazioni da ridistribuire opportunamente.
Benefici in caso di successo:

- sul piano economico: rafforzamento sul mercato della componentistica (sensori, attuatori, sistemi di ritenuta, sedili,€) e dell'azienda automobilistica nazionale, basato sull'innovazione di prodotto;
- sul contesto ambientale e sul piano sociale: riduzione del numero di morti o di feriti con danni permanenti in conseguenze agli incidenti stradali, e riduzione dell' impatto ambientale causato dagli incidenti. In Italia, il danno complessivo è valutato in oltre 8 miliardi di euro/anno;
- sull'occupazione: incremento dell'occupazione con particolare riferimento ai settori della componentistica ad elevata tecnologia.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

L'industria automobilistica nazionale possiede ottime conoscenze in termini di analisi, simulazione, progettazione delle strutture per l'assorbimento dell'energia in caso di urto, e buona capacità di integrazione verso la sicurezza dei diversi sistemi ad essa afferenti (sistemi di ritenuta, sensori anticollisione, sistemi attivi di controllo del veicolo e di ausilio e supporto alla guida e alle manovre, es. sistemi di ausilio al Parcheggio, di mantenimento corsia, di frenata di emergenza, ecc.).
A livello europeo alcune aziende automobilistiche (es. Volvo, VW, Daimler, BMW) stanno esplicitamente utilizzando la sicurezza come caratteristica distintiva del prodotto, anticipando soluzioni innovative, in quanto supportati da centri eccellenti di ricerca e dalla componentistica. Tutte le principali industrie automobilistiche europee sono stimolate ad impegnarsi nella ricerca sulla sicurezza, sino ad occupare un ruolo dominante a livello mondiale in tale settore.
L'industria italiana ha partecipato attivamente fin dallo sviluppo del pionieristico programma

PROMETHEUS (*Program for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety*) ed in molti progetti del V Programma Quadro. Si è avuta una consistente presenza nei progetti del VI e VII Programma Quadro.
In particolare si segnalano di seguito alcuni dei programmi e progetti europei integrati in tale ambito che hanno visto un'attiva partecipazione dell'industria italiana con ruoli anche di leadership:

- *PREVENT (Preventive and Active Safety Applications- sviluppo di sistemi integrati)*,
- *GST* (*Global System for Telematics*),
- *APROSYS* (Advanced PROtection Systems)
- *INTERACTIVE* (per lo sviluppo di soluzioni per il supporto alla guida)
- *EUROFOT* (valutazione obiettiva dell'impatto dei sistemi di ausilio alla guida sulla sicurezza stradale)
- *ARTRAC* (sviluppo di nuovi sensori radar a basso costo per il rilievo di pedoni)
- Adaptive (sviluppo di sistemi a parziale guida automatica)

Inoltre, progetti quali *SAFESPOT* (*Co-operative Systems for Road Safety "Smart Vehicles on Smart Roads"*) e *CVIS* (*Co-operative Vehicle Infrastructure Systems*) anticipano lo sviluppo di soluzioni cooperative.
Altri progetti trasversali con impatto su questa tematica riguardano le architetture elettroniche (*EASIS*), l'interfaccia con il guidatore (*AIDE*), l'informazione sui trasporti (ImagineIT, Highway) e sulle infrastrutture (*EURAMP*). Si registra anche un'attiva partecipazione nei progetti relativi agli aspetti di sicurezza passiva, come ad esempio FIMCAR (Frontal IMpact and Compability Assessment Research) ed IMVITER (IMplementation of VIrtual TEsting in safety Regulations).
Inoltre le aziende italiane sono presenti in numerose iniziative trasversali a livello Europeo volte all'applicazione di telematica per la sicurezza a partire dal programma *DRIVE* (*Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe*), l'iniziativa *i-Mobility* (in precedenza chiamata e-Safety), ed il *Car-to-Car Communication Consortium* (volto alla standardizzazione della comunicazione tra veicoli).
Notevole anche lo sforzo di contribuire alla definizione delle Roadmap di ricerca strategiche a livello Europeo, in particolare in relazione alle sfide tecnologiche che occorre affrontare nell'evoluzione verso i sistemi di autonomous driving. L'Italia partecipa a tutti i gruppi di lavoro della piattaforma tecnologica *ERTRAC* (European Road Transport Research Advisory Council).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 4
MATERIALI INNOVATIVI

DESCRIZIONE

Qualsiasi sia il tipo di propulsione e il tipo di vettore per il trasporto, qualsiasi incremento di efficienza nello sfruttamento dell'energia primaria, sintetizzato molto spesso con l'acronimo anglosassone WTW (*Well To Whell* ovvero efficienza dal pozzo alla ruota), passa *dall'alleggerimento dei vettori* per il trasporto ad allo *sviluppo delle tecnologie di produzione* ad esso correlate.

L'obiettivo, quindi, è quello di creare le condizioni affinché nuovi materiali e nuovi processi di Produzione possano essere utilizzati in applicazioni Automotive per migliorare l'efficienza energetica complessiva e le prestazioni del veicolo e possano essere integrati in modo competitivo nel contesto delle filiere e dei sistemi produttivi esistenti.

La riduzione del peso è certamente il metodo più diretto per ridurre il consumo di carburante e di conseguenza le emissioni dei mezzi di trasporto. Si stima che una riduzione del 10% di peso porti ad una riduzione di carburante di circa il 7% e questo comporta che per *ogni kg di peso risparmiato si riduca di circa 20 kg l'emissione annua di* CO_2.

Questo legame, ben noto ai costruttori di automobili, ha portato in questi anni alla sostituzione, dove possibile in termini tecnici ed economici dei componenti in acciaio in componenti in alluminio, magnesio, compositi e schiume. L'applicazione di nuovi tipi di materiali necessita di una riprogettazione dei componenti e lo sviluppo delle necessarie tecnologie per il loro impiego in modo economico, sicuro, considerando anche le problematiche di riciclabilità a fine vita dei materiali utilizzati. Andrebbero quindi parallelamente ingegnerizzati e testati nuovi materiali fibro-rinforzati inorganici, per ottenere alleggerimento e al contempo, aumentare la protezione del passeggero. Le attuali tecnologie permettono di ottenere componenti in composito termo-strutturale resistente al fuoco, con capacità di coibentazione termica almeno due ordini di grandezza superiore al corrispondente componente metallico e con peso specifico inferiore a 2 g/cm^3.

Anche i costi di una produzione di massa appaiono compatibili con un'applicazione su larga scala.

Nell'ambito dei materiali avanzati e delle nano-tecnologie i materiali plastici (polimeri – e loro derivati – sia termoplastici sia termoindurenti) sono sicuramente di grande interesse per le notevoli potenzialità di sviluppo, sia in nuovi ambiti applicativi, sia per il possibile miglioramento di quelli in cui sono già utilizzati. Di particolare rilevanza risulta essere anche lo sviluppo di "sandwich" di materiali di diversa origine, quali leghe leggere accoppiate con substrati polimerici semplici e/o rinforzati con fibre.

Alcuni dati relativi all'impiego di materiali leggeri nel settore dei trasporti sono[19]:

- Un sostanziale incremento continuo dell'impiego di materiali leggeri nel settore dei trasporti

19 MC Williams (2007), Advanced Materials, Lightweight Materials in Transportation, Report Code: AVM056A

a partire dalle 42,8 Mton del 2006 fino alle 68,5 Mton del 2011 con un incremento di circa il 10% annuo.

- I materiali più utilizzati in termini di peso sono gli *acciai ad elevata resistenza* seguiti dalle leghe di alluminio e dai materiali plastici. In termini di segmento di mercato, in realtà sono le materie plastiche seguite dagli acciai ad elevata resistenza e dalle leghe di alluminio.
- L'industria *Automotive* è il principale *end-user* dei materiali leggeri seguita in termini di peso dalla cantieristica *navale* e dal settore *aeronautico*. Quest'ultimo, tuttavia, in termini di valore risulta secondo in quanto i materiali utilizzati in questo settore hanno certamente un costo per unità di peso superiore a quelli impiegati nella cantieristica navale.

In differenti vie e puntando su diversi tipi di materiali leggeri (dagli acciai ad elevata resistenza fino ai materiali per interiors in schiume plastiche), i produttori di automobili stanno tutti mirando ad una *riduzione del peso che non comporti grosse variazioni di costi.*

Esperienze in tempi recenti dimostrano che i principali produttori di automobili guardano con rinnovato interesse a materiali compositi avanzati con nuovi processi automatizzati di produzione; gli esempi sono il gruppo VW con Lamborghini (Aventador, Huracan), Bugatti (Veyron), Audi (R8), Alfa Romeo (8C, 4C), Ferrari (la Ferrari), Porsche (918) ma il più eclatante è BMW con le vetture ibride i3 (numeri di produzione stimati molto elevati) e i8, che stanno rivoluzionando il mercato dell'automobile, progetti in cui il minimo comune denominatore è la volontà di sfruttare vantaggi prestazionali di materiali compositi con fibra di rinforzo in carbonio creando nuovi processi automatizzati che rendano il processo efficiente e limitino il costo del prodotto finale con benefici per performance e peso, anche su vetture di serie.

Ovviamente questo impone una riprogettazione dei componenti ed una *rivisitazione delle tecnologie di fabbricazione* che molto spesso necessitano di adeguato sviluppo. Uno studio della Lotus Engineering[20] conclude che una riduzione della massa di un veicolo del 38% potrebbe essere conseguita con un incremento di costo estremamente limitato valutato nel 3%.

Ad oggi, il 99,9% dei produttori Automotive realizza quello che viene definito come Body in White (BiW), ovvero la struttura principale degli autoveicoli in acciaio stampato e saldato.

Solo lo 0,1 % circa ha un BiW realizzato in Alluminio (Ferrari, Audi, etc.) mentre sono pochissimi (meno dello 0,01%) in materiali differenti che sono principalmente basati su compositi a base di fibre (Carbonio, Vetro, Kevlar).

Questo trend è in profondo mutamento tanto che vari produttori (Ferrari, Audi, BMW, ecc.) stanno rivedendo le strategie sul BIW per introdurre frazioni più rilevanti di materiale composito CFRP per limitare pesi e migliorare rigidezza/resistenza. BMW ha rivoluzionato il settore con le vetture "i" (ottenute con processi automatizzati di RTM "resin transfer moulding" e press moulding) e diviene ora vitale la ricerca di processi innovativi per rendere l'applicazione dei materiali compositi in vetture di serie sostenibile a livello economico.

Le ben note caratteristiche meccaniche (resistenza e rigidezza) e le relative tecnologie di forma-

20 Lotus engineering, co., (2010), An Assessment of Mass Reduction Opportunities for a 2017 –2020 Model Year Vehicle Program, March 2010

tura e saldatura degli acciai conserveranno la leadership nella realizzazione del BiW, che incide per il 20% sul peso complessivo delle automobili, mentre maggiori applicazioni di materiali leggeri sono previste per componenti di carrozzeria, dello chassis e dei motori.
Considerato che Alluminio, Magnesio o Schiume Metalliche hanno un costo di base certamente superiore al tradizionale componente in acciaio, è necessario sfruttare in modo ottimale questi nuovi materiali con lo sviluppo delle tecnologie di formatura e giunzione in grado di ridurre i costi di produzione in modo da compensare i maggiori costi delle materie prime.
Le tecnologie che necessitano certamente di sviluppo sono da un lato le tecnologie di produzione di nuovi materiali che portino ad una sostanziale riduzione di costo, dall'altro le tecnologie di formatura e di giunzione ad elevata efficienza che permettano il migliore sfruttamento possibile dei nuovi materiali per il trasporto ed una sostanziale riduzione dei costi di produzione. Ovviamente l'altra leva notevole per permettere la penetrazione di questi nuovi materiali è il miglioramento che questi permettono in termini di confort e sicurezza nei vettori per il trasporto. In sintesi possono essere individuate:

- Tecnologie di fabbricazione di materiali leggeri e a elevata riciclabilità;
- Tecnologia di assemblaggio a elevata efficienza (formatura, saldatura).

Tecnologie di fabbricazione di materiali leggeri e a elevata riciclabilità

Tra gli obiettivi primari d'interesse per il settore del trasporto su gomma, possiamo citare la riduzione di peso, la semplificazione del riutilizzo e dello smaltimento, la "funzionalizzazione", l'utilizzo di processi produttivi basati su tecnologie additive. Nano-tecnologie e materiali avanzati possono contribuire in modo significativo al raggiungimento di questi obiettivi.

Lo sviluppo di tecnologie per la fabbricazione di materiali leggeri strutturali per il settore dei trasporti è legato principalmente alle tecnologie per la produzione di materiali metallici cellulari a base di leghe leggere, in particolare di alluminio ma anche di acciai. Mentre, per l'allestimento la ricerca è mirata principalmente allo sviluppo di materiali polimerici e schiume termoplastiche rinforzate con fibre naturali in modo da massimizzare le proprietà di riparabilità e riciclabilità a fine vita.
I materiali metallici cellulari a celle chiuse per uso strutturale sono in pratica in mano ad un unico fornitore mondiale (Ecka-Granules). L'elevato costo di questi materiali non ha permesso una loro penetrazione a livello industriale con poche applicazioni di tipo strutturale. Le particolari proprietà di assorbimento di energia e delle vibrazioni, tuttavia, candidano questi materiali ad un ampio utilizzo in componentistica per *Crashworthiness* in micro car o come materiale strutturale collaborativo con main frame in alluminio per i grossi vettori del trasporto navali e terrestri. Questo tipo di materiali dà l'opportunità di garantire un elevato livello di confort, un'elevata sicurezza passiva intrinseca, schermatura elettromagnetica e leggerezza, con riduzione dei consumi e delle emissioni associate ad un'elevata riciclabilità.
Le tecnologie che vanno sviluppate per la riduzione dei costi sono legate ai processi di produzione per metallurgia delle polveri e fonderia.
In particolare, lo sviluppo delle tecnologie per la fabbricazione di schiume metalliche di alluminio nel panorama nazionale permetterebbe di rompere il monopolio con una riduzione dei costi del materiale base che porterebbe ad una maggiore applicazione grazie a maggiori economie di

scala. Lo sviluppo di tecnologie per la produzione di materiali metallici cellulari a base di acciaio permetterebbe di avere a disposizione tutta una nuova fascia di materiali per la componentistica di motori che avrebbe il duplice vantaggio, di ridurre il peso dei componenti motore ma di ridurre anche la conducibilità termica e aumentare le proprietà di damping, con effetti positivi in termini di rendimento termico e confort.

La tecnologia della metallurgia delle polveri sia a livello mondiale sia a livello italiano è concentrata principalmente nella realizzazione di componenti a geometria complessa in leghe di ferro e di cuscinetti autolubrificanti in leghe di rame.

Più del 50% di fatturato dell'industria della sinterizzazione Italiana viene assorbito dal mercato Automotive mentre a livello Europeo l'80% delle applicazioni complessive è destinato al settore Automotive per componenti che vanno dalla trasmissione, al motore e al telaio.[21]

Il settore della metallurgia delle polveri di alluminio è invece molto più limitato a livello Europeo e quasi inesistente in Italia[22] se non a livello di studi.

Considerando che anche la distribuzione delle polveri di alluminio è attualmente in mano a pochissimi fornitori mondiali è necessario un forte investimento sul settore industriale nelle Tecnologie di atomizzazione e produzioni di polveri anche a partire da trucioli di lavorazione meccanica per ridurre i costi.

Anche il Titanio con le relative polveri merita una giusta attenzione. Le tecnologie per la trasformazione del tetracloruro di Ti in Titanio CP (commercialmente puro), infatti, hanno avuto negli ultimi anni sviluppi molto interessanti sotto il profilo del costo del processo. Prendendo come riferimento il processo tradizionale (KroII) di produzione della spugna di titanio a partire da TiCl4, i processi innovativi di produzione di polveri di Titanio CP (basati su brevetto Armstrong) potrebbero potenzialmente abbattere il costo di produzione anche del 40-50%. La polvere di Ti così ottenuta può anche essere utilizzata come materia prima per una serie di processi di compattazione e sinterizzazione con l'obiettivo di fornire prodotti laminati, come lamiere, nastri, lastre, barre, fili e preforme da stampaggio massivo. Ulteriori sviluppi sono possibili sulle tecniche di utilizzo delle polveri e sue trasformazioni in semilavorati pronti per la trasformazione finale. L'adozione di leghe ottenute per combinazione di titanio CP e alliganti permette la produzione di leghe dalle caratteristiche meccaniche finali interessanti anche per usi strutturali. Questo abbattimento del costo di produzione della materia prima, rimette in gioco l'applicabilità del Titanio sul sistema autoveicolo. Il processo di produzione ha anche risvolti interessanti sulla eco-compatibilità. In modo complementare lo sviluppo di tecnologie di fabbricazione di compositi termoplastici rinforzati con fibre naturali, se da un lato non possono garantire la realizzazione di materiali a maggiore resistenza peso, dall'altra garantirebbero la disponibilità di materiali plastici ad elevata riciclabilità che possano sfruttare nel modo migliore la produzione di fibre vegetali autoctone (fibre di canapa, o di legno).

Per quanto riguarda i materiali polimerici, in Europa e negli Stati Uniti, la produzione dei compositi a matrice polimerica sta passando da una fase in cui le applicazioni erano principalmente orientate a nicchie di mercato ad elevato valore aggiunto (aerospaziale e aeronautico ecc.) ad un'altra in

21 http://www.assinter.it/Mercato_Metallurgia_Polveri.pdf

22 http://www.assinter.it/Componenti_in_Alluminio_Sinterizzato.pdf

cui i settori tradizionali affiancano, con applicazioni meno sofisticate e produzioni di massa, settori come quello automobilistico e dei beni comuni.
Questa fase è già molto attiva nel senso che nell'ultimo anno l'applicazione dei compositi termoindurenti a scopo strutturale rinforzati fibra di carbonio è passata dal settore aerospace (anche su prodotti per trasporto civile Boeing *787*, Airbus A-350) fino al settore automotive (seppur di nicchia, si sta allargando a macchia di leopardo in applicazioni per vetture di produzione di massa), al settore treni (ci sono già diverse applicazioni sia sulle carrozze che sugli interni), al settore eolico e ai settori industriali.
Le principali aree d'interesse sono:

- Sviluppo di processi automatizzati, ripetibili e sostenibili per materiali con matrici termoindurenti per applicazioni strutturali;
- Sostituzione delle matrici termoindurenti con quelle termoplastiche in settori di mercato attualmente non coperti;
- Tecnologie per il riciclo dei materiali compositi, fibre e resina;
- Produzione fibre e resine low cost per prodotti di produzione di massa;
- Utilizzo di resine e fibre da fonti naturali;
- Normative sostanze pericolose (Reach), riciclabilità, "Conflict minerals", "Critical raw materials"
- Nano-tecnologie per materiali polimerici e fibro-rinforzati;
- Tecnologie per il miglioramento delle proprietà dei materiali plastici;
- Tecnologie per il trattamento dei tessuti;
- Tecnologie di additive manufacturing per componenti metallici.

Gli obiettivi già più sopra citati, potranno essere perseguiti attraverso varie linee di ricerca su materiali polimerici innovativi e nano-tecnologie, quali ad esempio:

- Lo sviluppo e l'impiego su larga scala di materiali fibro-rinforzati a matrice termoplastica, consentirebbe di migliorare la processabilità e il recupero a fine vita rispetto ai tradizionali materiali fibro-rinforzati a matrice termoindurente.
- L'impiego di processi di trasformazione che consentano di ridurre la quantità, e quindi il peso, di materiale impiegato, senza influire negativamente sulle caratteristiche meccaniche.
- Il miglioramento delle caratteristiche dei materiali utilizzati nella trasformazione mediante processi di additivazione (la cosiddetta stampa 3D), permettendo di ridurre sensibilmente il costo di componenti prodotti in piccole serie e le pre-serie prototipali.
- La funzionalizzazione dei materiali plastici, utilizzati nella maggioranza dei casi come elementi di contenimento o di ricopertura, consentirebbe di realizzare, ad esempio, la trasmissione di segnali elettrici e/o di calore, piuttosto che un cambiamento di colore o una variazione delle proprietà ottiche – riflessione/trasparenza – del componente "funzionalizzato". A tal fine si immagini, ad esempio, un'analogia con l'epidermide umana che, oltre a "contenere" organi, muscoli, scheletro, ecc., è anche in grado di rilevare e trasmettere segnali al sistema nervoso, variare di colore, emettere e/o assorbire liquidi, ecc., analogamente il materiale plastico utilizzato prevalentemente come supporto o contenitore di altri componenti più

"nobili", potrebbe svolgere funzioni "sensoriali", consentendo ad esempio, la trasmissione di segnali elettrici senza la necessità di cavi, connettori, interruttori, ecc.

Le nanotecnologie applicate al settore dei polimeri riguardano prevalentemente la produzione di materiali contenenti cariche di dimensione nanometrica, capaci di conferire particolari caratteristiche e qualità alla matrice polimerica, sia in termini di miglioramento della processabilità, sia conferendole particolari caratteristiche funzionali. Esistono già numerosi studi al riguardo con l'utilizzo di nanocariche disponibili sul mercato (ad es. sepioliti), che confermano la possibilità di migliorare il processo e/o le specifiche caratteristiche del polimero.

Miglioramento del processo di trasformazione:
La tecnologia più diffusa per la realizzazione di componenti in materiale plastico è lo stampaggio con utilizzo di presse a iniezione e dei relativi stampi. Come già detto la riduzione di peso dei componenti stampati è uno degli obiettivi primari nel settore del trasporto su gomma, e la dispersione mediante compoundazione meccanica di cariche nanometriche è una delle tecnologie più promettenti per il miglioramento delle caratteristiche di base del materiale, che si traducono in un miglioramento delle sue proprietà meccaniche.
Il miglioramento delle prestazioni e/o la riduzione di peso possono essere ottenuti agendo su diversi fattori:

La tipologia di polimero utilizzato:
migliorando le caratteristiche meccaniche intrinseche del materiale, si ottengono, ovviamente, componenti più leggeri; oggi la scelta di polimeri ad alte prestazioni è molto vasta, ma l'additivazione con specifiche nanocariche consentirebbe di ottenere polimeri ottimizzati per uno specifico impiego.

L'ottimizzazione della progettazione del componente:
aumentando la quantità di materiale dove maggiori sono i carichi e riducendola dove non necessario, compatibilmente con la realizzazione fisica e con il processo impiegato nella produzione del componente, si ottengono prodotti più leggeri; in questo caso è necessario lo sviluppo di software di progettazione che siano in grado di tener conto con la massima precisione sia delle specifiche proprietà meccaniche del materiale (polimero base, nanocariche, fibre di rinforzo) che del processo di trasformazione.

L'impiego di tecnologie di stampaggio microcellulare:
queste tecnologie di processo consentono la realizzazione di una struttura microcellulare a celle chiuse che, opportunamente simulata in fase di progettazione e realizzata durante il processo produttivo, consente una riduzione di peso del componente anche dell'ordine del 30-40%, senza influire negativamente sulle sue proprietà di resistenza meccanica e partendo dallo stesso polimero di base;

L'impiego di tecnologie di stampaggio che migliorino il processo di riempimento e compattamento del materiale nello stampo:
tecnologie di processo che prevedano il condizionamento dinamico degli stampi (processo heat & cool), di modo da ridurre gli spessori e migliorare le linee di giunzione, consentono una riduzione della quantità di materiale utilizzato. In tal modo è anche possibile ottenere un aspetto estetico superficiale di altissima qualità, che consente in molti casi di eliminare i processi di verniciatura, con conseguente ulteriore miglioramento dell'impatto ambientale legato alla produzione del componente.

Compositi termoplastici:
questa tecnologia si riferisce alla realizzazione di componenti complessi, ottenuti da una "preforma" in tessuto di fibre ad alte prestazioni (es. fibre di carbonio), impregnato con resine termoplastiche e sovrastampato con la stessa resina che costituisce il legante del tessuto di rinforzo. In pratica la resistenza "strutturale" del componente è ottenuta con l'ausilio della fibra di rinforzo, mentre il "sovra-stampaggio" del polimero consente di realizzare, ad esempio, le giunzioni, gli aggraffaggi, alcune parti estetiche, ecc. Questo processo consente importanti riduzioni di peso del componente, dell'ordine in molti casi del 40-50%. Rispetto al più tradizionale utilizzo di materiali rinforzati a matrice termoindurente, il composito termoplastico presenta numerosi e importanti vantaggi in termini di velocità e ripetibilità del processo e di trattamento a fine vita del componente, che permette una più facile separazione e recupero della fibra di rinforzo e del polimero.

Biopolimeri:
lo sviluppo di nuovi polimeri da fonti rinnovabili che possa generare materiali con caratteristiche analoghe o superiori a quelle dei polimeri tradizionali, è una sfida importante nell'ottica della sostenibilità ambientale. Oggi i biopolimeri disponibili sono utilizzati in minima quantità nel settore del trasporto, soprattutto per il loro costo troppo elevato. Purtroppo il circolo vizioso legato ai "bassi volumi produttivi=elevati costi" è difficile da spezzare senza una precisa volontà politica che agevoli l'introduzione sul mercato dei polimeri da fonte rinnovabile. Ben inteso le tecnologie riferite ai punti precedenti sono in gran parte applicabili anche ai biopolimeri.

Miglioramento delle caratteristiche funzionali

Mediante l'utilizzo di nanocariche disperse nella matrice polimerica è possibile conferire al polimero specifiche caratteristiche funzionali, è noto da tempo, infatti, che si possono migliorare, ad esempio, le caratteristiche di resistenza al fuoco, le proprietà isolanti, ecc.
Di particolare interesse e fortemente innovativo è l'utilizzo di nanocariche (in particolare carbonanotubi – CNT) per il conferimento di caratteristiche funzionali al polimero e, di conseguenza, al componente che con lo stesso viene realizzato.
A titolo di esempio con questa tecnologia è possibile realizzare componenti che, mediante un successivo trattamento, detto di "attivazione", presentino localmente caratteristiche diverse (addirittura opposte) a quelle tradizionali dei materiali polimerici da cui derivano. Dal punto di vista pratico potrebbe significare la realizzazione di una plancia per autoveicolo con materiale caricato

con CNT; dopo lo stampaggio con una pressa ed uno stampo "tradizionali" è possibile mediante l'impiego di una sorgente laser, attivare un "percorso" all'interno del componente dove il materiale viene reso conduttivo alla corrente elettrica o al calore. Sarà possibile in tal modo eliminare i cavi e gli interruttori necessari al trasferimento e/o all'attivazione di un segnale elettrico, con grandissimi vantaggi in termini di semplificazione costruttiva, riduzione del numero di componenti, maggiore affidabilità, riduzione del peso, per citarne alcuni.

Materiali per produzione additiva:
Il limite attuale della produzione additiva (stampa 3D) è soprattutto legata alle prestazioni meccaniche del componente realizzato e al limitato numero di materiali disponibili per l'utilizzo con questo processo. Lo sviluppo di nuovi materiali polimerici per produzione additiva è elemento imprescindibile alla diffusione di questa tecnologia. Sulla base di alcune ricerche preliminari, si può ritenere che specifiche nano-cariche possano migliorare la resistenza meccanica di componenti realizzati con materiali polimerici mediante produzione additiva, ad esempio migliorando l'adesività tra i successivi strati depositati, che si traduce nel miglioramento delle proprietà meccaniche del componente.

Tecnologie per il miglioramento delle proprietà dei materiali plastici
Brillantezza e omogeneità del colore:
gli attuali trend di stile indicano che superfici plastiche opache ed uniformi vengono percepite di elevata qualità tecnica, elevata resistenza all'usura, robustezza e solidità. Lo stato dell'arte attuale prevede la verniciatura soft, ma sono allo studio nuove soluzioni alternative quali:

- Materiali a base PP con microdispersione di cariche EPDM.
- Trattamenti di opacizzazione per lavorazione dello stampo mediante laser o plasma e auspicabili altri spunti di ricerca in questo campo.
- Processi IMD e IML con layer ad alta robustezza meccanica/chimica e con:
  – caratteristiche ottiche specifiche in termini di riflettanza e trasmittanza;
  – effetti ottici che conferiscano 3D e profondità ai componenti.
- Superfici ad alto gloss sia per applicazioni d'interni sia per esterni: hanno un ottimo riscontro dal punto di vista della qualità percepita e diversi approcci alternativi alla verniciatura. Sono applicati e in fase di studio, basati sull'accoppiamento di materiali differenti per ottenere brillantezza abbinata a resistenza all'abrasione.

Effetti estetici eco
effetti stilistici che ricordino materiali naturali quali legno, cuoio, sughero sono molto richiesti per applicazioni interni. Miglioramento del mix di materiali plastici e fibre naturali e l'allineamento con le performance meccaniche e di resistenza a UV richieste, sono step molto importanti nello sviluppo di questi nuovi contenuti.

Comfort termico di contatto
i sistemi interni sottoposti alla radiazione solare, specie se di colore scuro, sono soggetti ad ac-

cumulo di calore per effetto dell'irraggiamento e conseguente condizione di comfort al contatto (oltreché in marcia a causa del rilascio di tale calore in abitacolo). Sono allo studio soluzioni in grado di migliorare il comfort termico di contatto attraverso la riduzione del contributo per irraggiamento in modo passivo:

- Materiali compositi ad elevata riflessione radiazione IR (Infra-Red).
- Rivestimenti e trattamenti superficiali ad elevata riflessione IR.
- Trattamento dei vetri per limitazione della trasmissione infrarossa.
- Processi PVD per conferire metallizzazione con effetto caldo.

Soft touch

l'effetto di morbidezza al tatto (cedevolezza) è in grado di conferire sensazione di qualità e sicurezza, ma attualmente limitato dagli alti costi dei corrispondenti processi produttivi. Si prevede un forte impulso alla ricerca sui cosiddetti processi "one-shot" per il conferimento dell'effetto soft-touch in un'unica stazione di stampaggio. I processi di modificazione dello stampo sono tramite laser etching ed etching fisico in modo da strutturare la superficie metallica in dimensione millimetrica e micrometrica.

Tecnologia alternativa è quella di processi IMD e IML con layer soft-touch in modo da includere direttamente nel componente un label funzionale.

Superfici ottiche

Gli attuali trend di stile indicano che superfici plastiche saranno usate per lenti di protezione per componenti contattabili sia in dispositivi HMI che in sensori integrati. Attualmente non esistono soluzioni che rispondano allo stesso momento a esigenze ottiche e di robustezza chimico/fisica. Nuove soluzioni alternative sono:

- Processi IMD e IML con layer ad alta robustezza meccanica e chimica e con caratteristiche ottiche specifiche in termini di riflettanza e trasmittanza.
- Processi di trattamento degli stampi metallici, nonché di cilindri nel caso della calandratura, in modo da controllare la rugosità superficiale e conferire specifiche caratteristiche ottiche.

Rigabilità e scrivibilità

I materiali polimerici utilizzati attualmente (PP) per componenti ad elevato contatto hanno il limite di essere sensibili all'usura e all'abrasione. Questi fenomeni causano la facile rigabilità e affioramento delle cariche minerali conferendo un aspetto di scarsa qualità. Sono allo studio soluzioni permanenti per il miglioramento della qualità nel tempo quali ad esempio il trattamento al plasma per la deposizione di coating e indurimento superficiale. Inoltre per alcuni componenti soggetti a urti per "scarpata" lo studio bilanciato di materiali e goffrature rappresenta uno step innovativo importante per ulteriormente migliorare la qualità percepita delle superfici plastiche.

Scricchiolii:

- Miglioramento caratteristiche superficiali per compatibilità vs. squeak&rattles
- Interposizione di materiali ad alta compatibilità relativa.

- Miglioramento caratteristiche morfologiche delle superfici a contatto.
- Miglioramento processi vs. stabilità dimensionale.

Riciclabilità materiali
Analisi delle caratteristiche intrinseche dei materiali, della separazione post frantumazione, del recupero energetico, della disponibilità filiere di trattamento e mercati di sbocco.

Adesione superficiale
L'adesione fra due superfici e l'incollaggio di due componenti plastici risulta essere spesso limitato dalla presenza di un promotore di adesione sia esso un primer sia un processo di modifica superficiale quale fiammatura o plasma. Le nuove soluzioni riguardano:

- Sviluppo di adesivi a presa rapida e facile dispensing (temperatura, dosaggio) per incollaggio plastiche e metalli (ad esempio policarbonato).
- Processi di plasma atmosferico in sostituzione della fiammatura standard per la riduzione della tensione superficiale di materiali plastici prima della verniciatura (e.g. polipropilene).

Trattamento dei tessuti
In particolare legati alla selleria dei sedili e dei pannelli porta, ma anche ai materiali acustici, tappeti e isolamenti e, in alcuni casi, alla ricopertura del modulo plancia. I tre effetti principali a cui verrà indirizzata la ricerca e innovazione possono essere sintetizzati nel modo seguente:

Usura e peeling
causate da sollecitazioni meccaniche ripetute di sfregamento, pressione dall'esterno e attrito interfibra a cui si sta cercando di porre rimedio attraverso tecnologie di trattamento del tessuto e direttamente del filato (trattamento al plasma dei tessuti, trattamenti a immersione,Ɛ).

Sporcabilità
i rivestimenti tessili Automotive di normale impiego sono soggetti a fenomeni di sporcamento, irreversibili nel caso degli agenti sporcanti più frequenti. Anche in questo caso la ricerca va indirizzata su tecnologie di trattamento dei tessuti (plasma, immersione, Ɛ) in grado di conferire proprietà di idro-oleo repellenza per il ripristino della superficie macchiata.

Battericità e odori
i rivestimenti tessili Automotive di normale impiego sono soggetti alla presenza di micro-organismi e la conseguente generazione di odori sgradevoli (muffe, umido,..) e l'attuale composizione chimica dei materiali utilizzati per tali tessuti e il relativo finissaggio non prevedono particolari caratteristiche antibatteriche. Allo studio tecnologie per la deposizione di sostanze chimiche batteriostatiche e igienizzanti.

Funzionalizzati
l'integrazione di sistemi attivi su tessuti mediante accoppiamento di film plastici e trattamenti

superficiali rappresenta un'interessante sviluppo per migliorare l'integrazione. Tecniche di deposizione a basso costo e di accoppiamento di film funzionalizzati sono oggetto di studio per raggiungere l'integrazione di diverse funzionalità quali sensori di posizione, attuatori, pulsanti e illuminazione su tessuti per sedili e rivestimenti.

Tecnologie di additive manufacturing per componenti metallici

Le tecnologie additive rapide (Rapid Additive Manufacturing) per materiali metallici si basano principalmente sull'impiego di laser selecting melting (LSM). Tale tecnologia permette la realizzazione di componenti 3D a forma complessa in differenti tipi di lega (alluminio, acciaio, titanio). La realizzazione di componenti in titanio e in generale di leghe ad elevata reattività con la tecnologia LSM impone tuttavia particolari accorgimenti in termini di contenuto di ossigeno sia nelle polveri utilizzate sia nell'ambiente di lavoro che necessariamente deve essere in atmosfera inerte controllata (argon).

Per tale ragione le tecnologie di produzione additive sotto vuoto promettono risultati migliori per cui a fianco alle tecnologie LSM che permettono una migliore finitura superficiale dei componenti sono state sviluppate tecnologie Electron Beam Melting in grado di lavorare con polveri di metalli altamente reattivi e materiali in generale non trattabili o difficilmente trattabili con il LSM.

Per quanto riguarda le tecnologie per la produzione di componenti mediante Electron Beam esistono due approcci principali, il primo legato all'impiego delle polveri, il secondo all'impiego di filo.

La prima tecnica sviluppata dalla Chalmers University permette la produzione di pezzi a geometria complessa a partire da modelli CAD è permette di realizzare componenti ad elevata densità mediante l'utilizzo di un cannone elettronico. Le parti sono fabbricate sotto vuoto ad una temperatura di preriscaldo di circa 1000°C per ridurre le tensioni interne al manufatto e migliorare quindi le caratteristiche meccaniche del componente finale. Anche con questa tecnica come per altre tecniche di prototipizzazione 3D rapida, il componente può richiede delle lavorazioni di finitura finali. Questo tipo di processo grazie alle particolari cinetiche di lavorazioni rese possibili dalla lavorazione sotto vuoto e dalla notevole efficienza energetica della EB, permette di realizzare componenti di maggiore qualità rispetto ad esempio alle tecniche che impiegano principi analoghi ma con fusione tramite laser.

Altra tecnica meno flessibile ma utilizzata già da un decennio dalla Sciaky, Inc. è la Electron Beam Free Form Fabrication (EBFFF) basata sulla deposizione sotto vuoto di forme a geometria meno complessa ma ad elevata produttività (18 kg/h). Questa tecnica è utilizzata anche per la riparazione di componenti. Le lavorazioni meccaniche necessaria all'ottenimento della forma finale sono certamente maggiori rispetto alla metodologia che impiega polveri.

Per quanto riguarda lo sviluppo di processi di produzione per Electron Beam selective Melting, attualmente risulta prevalere un monopolio sulla disponibilità di impianti EBM prototyping. Infatti, il processo sviluppato dalla Chalmers University è stato adottato industrialmente dall'ARCAM (Svedese) con un sistema EBW da 4 kW e attualmente risulta l'unico disponibile sul mercato. Il vantaggio rispetto ad altri sistemi come ad esempio quelli basati sulla tecnologia Laser Selective Melting è la possibilità di lavorare sotto vuoto materiali non trattabili o difficilmente trattabili con la tecnologia laser (vedi leghe di titanio e acciai ad elevata resistenza).

Per il settore trasporti navali, ferroviario e automotive, è possibile immaginare l'applicazione di tali tecnologie per particolari componenti di motori, chassis o a componenti di design per la personalizzazione. Inoltre, per il settore navale e ferroviario tali tecnologie possono avere un grande sviluppo anche nel settore delle riparazioni, di componenti quali eliche, assili etc. dove il substrato di deposizione diviene in componente danneggiato. In Italia, esistono realtà che impiegano "stampanti 3D" di metalli in particolare nel settore aerospaziale, tuttavia non esiste una filiera relativa ne alle materie prime, principalmente polveri, ne per lo sviluppo di apparecchiature.
Le tecnologie additive sono oggi considerate le tecnologie di produzione del futuro. Sarebbe necessario quindi uno sforzo nazionale al fine di recuperare il ritardo sia nello sviluppo di tecnologie simili alle esistenti sia di tecnologie nuove per consentire la riduzione dei costi d'impianto e lo sviluppo di nuove e appropriate materie prime specifiche per i vari settori del trasporto (automotive, ferroviario e navale) per differenti applicazioni dalla produzione a minor costo alla riparazione.

Nel seguito si riportano alcune finalizzazioni sul prodotto:

- Nuove lamiere in acciaio ultra-alto resistenziale per l'alleggerimento a costi sostenibili delle zone della scocca più sollecitate a resistenza, laddove l'incremento delle caratteristiche di snervamento del materiale consente di ridurre lo spessore del lamierato a pari prestazione del componente. Devono intendersi incluse anche le tecnologie per indirizzare localmente le proprietà del materiale in modo da ottimizzare le prestazioni e minimizzare il peso quali lamiere multispessore mediante saldatura e/o opportuni sistemi di laminazione, proprietà differenziate mediante trattamento termico.
- Lamiere, estrusi e fusioni di leghe leggere (alluminio, magnesio) con materiali e processi innovativi per il miglioramento del rapporto tra prestazioni e peso delle strutture del veicolo (scocca/parti mobili/componenti), privilegiando le soluzioni che offrono l'opportunità di integrare funzioni (fissaggi, proprietà NVH, assorbimento di energia, etc.) sia a livello di materiale sia a livello di componente/sottogruppo e quindi possono compensare almeno parzialmente il maggior costo rispetto alle soluzioni stato dell'arte. Sono incluse in questo capitolo i materiali sandwich, le combinazioni ibride con altri materiali (es. con compositi), le tecnologie Near Net Shape e le tecnologie di formatura a caldo di lamierati ed estrusi.
- Compositi termoindurenti ad elevate prestazioni: per alleggerimento del BIW e delle parti mobili, studiando appropriatamente la giunzione fra le parti metalliche e quelle composite. Per lo più materiali rinforzati con fibra di carbonio, con processi produttivi adatti a larghi volumi di produzione (vedi nuova Lamborghini Gallardo – Huracan con BIW alluminio – CFRP e nuova BMW i3 con BIW e carrozzerie in CFRP). Altri esempi parti semi strutturali come sedili prodotti con resine termoindurenti e rinforzo a fibra corta (non solo carbonio) con processo di stampaggio, strutture di assorbimento energia in CFRP che sfruttino le caratteristiche non paragonabili a materiali metallici tradizionali nell'assorbimento dell'energia durante gli urti. Numerosi produttori stanno anche commercializzando vetture con pannelli di carrozzeria in composito in ottica riduzione peso.
- Compositi termoplastici ad elevate prestazioni e alta riciclabilità primariamente per l'alleggerimento di parti mobili, nonché per componenti assemblati separatamente dalla scocca: qua-

li front-end, traverse paraurti, parafanghi, finizioni esterne. Sono inclusi i materiali compositi con fibra di carbonio allo studio per applicazioni su medi volumi. La scelta dei materiali terrà in conto l'impatto sulla gestione del fine vita veicolo in termini di separazione e riciclo, privilegiando le soluzioni più efficienti da questo punto di vista e l'esistenza di "proven technologies" per il percorso di riciclo.

- Compositi a basso impatto ambientale per migliorare la sostenibilità ambientale del ciclo vita del veicolo grazie al minor consumo di risorse e di emissioni (es. energia, carbon footprint, etc.) collegato alla loro produzione/trasformazione. Sono incluse le matrici biopolimeriche derivanti da coltivazioni no-food attraverso processi chimici di trasformazione naturali (la cosiddetta "chimica verde") e le fibre di rinforzo naturali derivate da coltivazioni no-food o da scarti di coltivazioni food o da coltivazioni di terreni marginali. I fattori abilitanti per l'introduzione di tali materiali sono la garanzia della costanza delle proprietà nel tempo e la necessaria diminuzione del costo, possibile grazie alle economie di scala innescate dalla dimensione economica del settore (possibili applicazioni automotive in ordine crescente di difficoltà: imbottiture, pannelli non a vista, componenti estetici, componenti semi-strutturali e strutturali).
- Un'altra tipologia di fibra ritenuta interessante per le sue potenziali applicazioni nel settore automotive è quella di basalto, in quanto di origine naturale, testata non tossicità e possibilità di applicazione in temperatura, garantendo rinforzo meccanico almeno fino a 600°C. In associazione a matrici inorganiche si può utilizzare per ottenere compositi ceramici termostrutturali fibrorinforzati utili per l'alleggerimento dei componenti soggetti a temperature non compatibili con compositi polimerici e leghe leggere.
- Particolato fine (PM10 e PM2.5):
  Le emissioni di particolato fine non derivante da processi di combustione (usura di pneumatici, freni e asfalto) non sono ancora soggette a regolamentazione, pur costituendo circa la metà delle polveri sottili emesse "allo scarico". È necessario adottare tecnologie volte al miglioramento della composizione chimica del materiale d'attrito, per lo sviluppo di materiali "green" che emettano meno polveri e/o di granulometria non critica; in quest'ottica, l'adozione di materiali innovativi nell'ambito dei rivestimenti anti-usura per il controllo dell'attrito, come ad esempio rivestimenti ceramici innovativi e trattamenti superficiali speciali, risulta essere la strada migliore da perseguire. A tutto ciò, si aggiunge l'importanza di implementare sistemi di raccolta e strategie di guida assistita.
- Materiali metallici con Nano Particelle a elevato rapporto rigidezza/densità e materiali a elevato rapporto di efficienza (ρ/r) sono stati già sviluppati nel corso degli anni (e.g. MMC, CFRP, ceramici, ecc.), ma ad oggi hanno avuto una diffusione di nicchia a motivo di vari vincoli di volta in volta diversi, fra i quali spesso gli elevati costi di produzione, i bassi volumi produttivi ottenibili con le attuali tecnologie di trasformazione e le scarse proprietà meccaniche di duttilità.

L'iniziativa include il trattamento di leghe leggere e la loro miscelazione con nano-particelle grazie all'applicazione di campi esterni (per es. campi magnetici, ultrasuoni, ecc.). Le soluzioni tecnolo-

giche oggetto di studio porranno particolare attenzione alle problematiche di fattibilità industriale e manterranno costi sostenibili rispetto ai volumi produttivi; una sensibilizzazione maggiore dell'utente finale sui vantaggi che questa tipologia di tecnologia apporta all'ambiente può aiutare a favorire la scelta di queste soluzioni, rispetto a soluzioni più economiche ma non eco-friendly ed energy saving.

- Componenti Automotive in Titanio sottoposti ad elevate temperature e ambienti corrosivi: grazie alla minor densità rispetto all'acciaio (4.5 t/m3 contro 7.8 t/m^3), l'adozione di componenti in titanio porta ad una riduzione di peso del veicolo e conseguente riduzione dei consumi e delle emissioni di CO_2 e di inquinanti.
  Gli ambiti di applicazione sono:
  - Sistemi di scarico: la riduzione di peso del sistema di scarico può arrivare anche a 10 kg su un veicolo di medie-grandi dimensioni. L'incremento delle prestazioni in termini di resistenza alla corrosione conduce ad un componente sostanzialmente "for life". Le case automobilistiche stanno puntando molto sull'affidabilità dei veicoli, avendo ciò una ricaduta diretta sull'immagine del prodotto e dell'azienda. In questo settore potrà essere particolarmente efficace per l'alleggerimento anche l'introduzione di nuovi compositi inorganici termostrutturali, sulla stregua delle tecnologie sviluppate per il settore aerospaziale e della Formula 1.
  - Componenti del propulsore: componenti in movimento come bielle, valvole, molle di richiamo. Grazie alla riduzione di peso dei componenti si ha una riduzione delle vibrazioni e delle sollecitazioni sugli elementi di sospensione.
  - Masse sospese e molle ammortizzatori: la riduzione di peso dei componenti migliora l'handling del veicolo.
  - Corpo vettura: parti mobili e fiancate.

Tecnologia di assemblaggio ad elevata efficienza (formatura, saldatura)

L'introduzione di nuovi materiali e l'esigenza di coniugare flessibilità, standardizzazione e produttività faranno da traino nei prossimi anni all'introduzione di *nuove tecnologie di giunzione* che siano idonee a garantire qualità e prestazioni di prodotto. Sono incluse le tecnologie di giunzione che possono, anche associate ai materiali convenzionali, contribuire a incrementare il livello prestazionale del prodotto. I fattori abilitanti per l'introduzione di tali tecnologie sono legati al costo, alla produttività e alla robustezza dei processi proposti.

Le tecnologie sviluppate in questi anni per la realizzazione di strutture leggere in acciai ad elevate resistenza vanno dalla tecnologia di *Saldatura Laser* all'*Idroformatura* di forme complesse associate a *Tailored Blanks*.

L'impiego sinergico di tecnologie di giunzione innovative e robuste e di tecniche di formatura come l'*Idroformig* o la *Gas-forming* permettono con opportune sequenze di produzione di ridurre i costi in termini di tempi di produzione e di materie prime riuscendo a sfruttare nel modo più opportuno anche differenti tipi di spessori e materiali.

La tecnologia di saldatura laser su acciai è ormai matura, mentre necessità di ulteriori investimenti lo sviluppo di tecnologie di saldatura ad elevata efficienza su leghe di alluminio e magnesio

che hanno problematiche di saldatura peculiari. Lo sviluppo di procedimenti di saldatura ibrida laser-arco, in particolare laser-TIG o laser-Plasma può portare notevoli vantaggi. La disponibilità di nuove sorgenti laser multi kW, con trasporto del fascio in fibra, permette di aprire scenari per l'applicazione di questa tecnologia anche su componenti di grande e grandissima dimensione impossibili da immaginare fino a qualche anno fa. Inoltre, l'incremento notevole dell'efficienza delle sorgenti laser associata all'incremento dell'efficienza di saldatura in termini di basso apporto termico necessario alla giunzione di un dato spessore di materiale permettono di avere dei benefici in termini di efficienza energetica del processo di saldatura e con conseguente riduzione di consumo primario di energia e quindi riduzioni di emissioni. A tutto ciò va associato l'incremento di produttività relativo alla riduzione delle distorsioni di saldatura.

Questi risultati già ampiamente conseguiti nel settore Automotive o dell'industria degli elettrodomestici e della carpenteria leggera non sono ancora maturi per i settori della carpenteria pesante (cantieristica navale e settore ferroviario). Tuttavia, l'ibridizzazione del processo di saldatura su componenti strutturali ha le potenzialità necessarie per il superamento di problematiche metallurgiche sia sulle più leggere leghe di alluminio e magnesio sia su acciai ad elevata resistenza permettendo di incrementare la qualità e la produttività del processo. Allo stesso tempo lo sviluppo di tecnologie per il controllo on line della qualità del giunto e di tecnologie di visione per l'auto adattamento alle condizioni del giunto (disallineamenti, gap, etc.) sono indispensabili per la realizzazione di "smart workstation" in grado di autoregolare entro certi limiti i parametri di saldatura grazie all'applicazione di tecnologie di autoapprendimento basati sullo sviluppo di reti neurali.

Lo sviluppo di processi di formatura innovativi in particolare sulle leghe di alluminio permette di sfruttare a meglio le doti di questo tipo di materiali. La realizzazione di componenti a forma complessa senza la necessità di utilizzare linee di discontinuità permette infatti di massimizzare lo sfruttamento del materiale con un incremento della vita del componente legato alla riduzione delle zone di intensificazione della tensioni. La saldatura delle leghe di alluminio induce infatti in ogni caso un softening del materiale con la necessità di incrementare gli spessori nella zona di saldatura.

La realizzazione di componenti a geometria complessa mediante tecnologie di Idroforming e gasforming portano ad una sostanziale riduzione del peso dei componenti ed una maggiore produttività che si traduce in minor impiego di energia sia durante la fabbricazione sia durante la vita utile del componente.

Per ultimo, ma non per questo meno importante, è da sottolineare la ricerca di Tecnologie di giunzione/protezione dalla corrosione/verniciatura per materiali dissimili. Infatti, l'utilizzo ottimale dei materiali strutturali ai fini dell'alleggerimento, porterà a mix di materiali dissimili per i quali sarà necessario, come detto, un profondo re-engineering dei processi di assemblaggio e anche di nuove tecnologie di verniciatura (allo stato dell'arte sono fortemente verticalizzati sull'utilizzo di leghe di acciaio stampate e saldate). Sono incluse, inoltre, le soluzioni che consentono la protezione dalla corrosione all'interfaccia tra materiali dissimili (es. incollaggio, rivestimenti). Fattori abilitanti sono il costo, la produttività e la robustezza delle soluzioni proposte.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Uno degli obiettivi chiave per l'industria manifatturiera sarà non solo quello di progettare prodotti ecologici, ma al tempo stesso ***produrli con un approccio sostenibile***. Il concetto di produzione sostenibile può definirsi in sintesi come la produzione di beni attraverso tecnologie e processi che non inquinano, limitando nel contempo il consumo di risorse (materie prime, energia, acqua, materie prime, ..) nel rispetto dei vincoli di salute dei lavoratori e sostenibilità. L'aspetto della sostenibilità dei costi di prodotto diventa cruciale nell'affrontare le sfide dei prossimi anni.
Diverse tecnologie contribuiscono alla realizzazione del nuovo sistema di produzione sostenibile e direttamente correlate alla riduzione dei costi di produzione:

- Utilizzo di materiali alternativi (utilizzo di materiali rinnovabili, controllo dei metalli pesanti), la gestione coerente dei materiali pericolosi (metodi di misurazione, gli standard di trattamento) e maggiore utilizzo di bio-materiali.
- Soluzioni tecnologiche di processo che consentano l'utilizzo ottimizzato dei flussi energetici, la riduzione dell'impatto ambientale e il miglioramento dell'efficienza delle risorse.
- Tecnologie per la lavorazione, riciclaggio e recupero di materiali ed energia dai rifiuti, produzione di materie prime secondarie con un alto grado di purezza e ri-lavorabilità a più basso consumo energetico.
- Sistemi di produzione agili caratterizzati da un elevato livello di automazione dei processi, ottenuti mediante metodologie di progettazione che includono simulazione e ottimizzazione, tecnologie di controllo e cooperazione avanzate tra sistemi robotici.

Le attuali soluzioni architetturali in uso per il veicolo sono in evoluzione in particolare per l'evoluzione della Normativa sulla Passive Safety che, al fine di incrementare le possibilità di protezione per gli occupanti degli autoveicoli e della cosiddetta Utenza debole della strada (pedoni & ciclisti), ha determinato una marcata differenziazione a livello strutturale tra zona anteriore/posteriore e cellula (Body). Il risultato di tali interventi – unito alle conseguenze di arricchimento di contenuti veicolo in seguito ad aspettative e richieste varie dell'utenza (Comfort, Riconfigurabilità, Abitabilità) ha determinato negli ultimi 15 anni una costante tendenza all'incremento di massa nella parte strutturale del veicolo, che si è tradotta in una contestuale ricerca di soluzioni per l'alleggerimento in grado di favorire sia il mantenimento delle prestazioni veicolistiche che – tematica più recente – la tutela dei contenuti di Fuel Economy e di mobilità sostenibile.
Anche se l'emissione della maggior parte degli inquinanti dell'aria è diminuita in modo significativo nel periodo 1990-2009, molti paesi europei non hanno rispettato i limiti per uno o più inquinanti specifici, fissati dall'accordo fra EU e Nazioni Unite (UN) per il 2010. In particolare ciò è vero per le polveri sottili (PM10 e PM2.5) che al momento sono in Europa gli inquinanti più problematici in termini di pericolosità e salute. Secondo la World Health Organization (WHO), fino all'80-90% della popolazione europea è esposta a concentrazioni di polveri sottili superiori a quella ritenuta dannosa per la salute. Secondo i limiti europei invece questa percentuale non supera il 18-40% dei cittadini. Tutto ciò si traduce in una diminuzione dell'aspettativa di vita all'interno dell'Unione Europea, pari a 8,6 mesi. All'interno dell'EU, fra i più grandi paesi esposti alle polveri sottili troviamo l'Italia e la Polonia. Per il settore dei trasporti, lo standard "Euro" regola le emissioni di CO, NOx,

NMVOC e di PM primario. Le emissioni non allo scarico, quali quelle dovute all'usura di pneumatici, freni e asfalto, non sono attualmente regolate. Esse ammontano a circa il 60% delle emissioni di PM10 "allo scarico" e il 30% di PM2.5. Alcuni studi valutano che una quota compresa fra il 10-20% delle poveri sottili in ambito urbano possano derivare da queste forme di usura: ci si può quindi ragionevolmente attendere un intervento legislativo in questo senso.
Il tema della riduzione dei consumi degli autoveicoli, quindi, sotto la spinta normativa (CAFE – riduzione CO_2) ed del mercato (costo del combustibile sempre crescente) e la continua richiesta di incremento delle prestazioni legate alla sicurezza, costituiscono due dei maggiori driver per l'evoluzione della progettazione delle vetture dei prossimi anni.
Queste esigenze possono essere soddisfatte solamente con un'attività che porti ad una progettazione aperta a nuove soluzioni innovative, ma che possa anche poter disporre di nuovi materiali più prestazionali.
Nell'ottica di mantenere la competitività nei confronti delle nuove realtà produttive internazionali, è fondamentale tenere in massima considerazione l'aspetto dei costi. In quest'ottica l'elemento innovativo di grande sfida è quello di ricercare nuove combinazioni di materiali e nuove tecnologie produttive che, con prestazioni incrementate rispetto agli attuali materiali, possano garantire dei costi inferiori agli attuali.
Gli obiettivi da raggiungere (trasformazione industriale verso prodotti e processi ad alto valore aggiunto) presentano un elevato livello di rischio imprenditoriale a causa della complessità degli aspetti produttivi e tecnologici, della necessità di una forte competenza e aggiornamento su tutti gli aspetti legati ai materiali, di un'efficace integrazione delle soluzioni individuate in architetture veicolistiche di grandi e piccole dimensioni, della necessità di attrezzamento specifico di infrastrutture e veicoli, della molteplicità degli attori coinvolti.

Benefici in caso di successo:

sul piano economico:

- rafforzamento sul mercato della componentistica (fusioni, estrusioni), della produzione di materiali (acciaierie) e dell'azienda automobilistica nazionale, basato sull'innovazione di prodotto.

sul contesto ambientale e sul piano sociale:

- riduzione delle emissioni di CO_2, dei consumi dei veicoli e del numero di morti o di feriti con danni permanenti in conseguenze agli incidenti stradali.

sull'occupazione:

- incremento dell'occupazione ad elevata specializzazione con riferimento ai settori della componentistica di componenti metallici. Al fine di assicurarsi una quota notevole di produzione manifatturiera della futura economia guidata dalla conoscenza.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

L'industria dei metalli, con ciò intendendo la produzione del metallo primario, la sua alligazione e tutti i processi a valle, fino al riciclo, costituisce il 46% di tutto il valore sviluppato dalla manifattura europea e contribuisce all'11% del prodotto interno lordo di tutta l'UE. L'industria sia nazionale

sia europea ha quindi tutte le capacità di ricerca, sviluppo e industrializzazione necessarie per raggiungere gli obiettivi per creare materiali innovativi e per sviluppare i processi relativi supportata, contestualmente, da ottime conoscenze di analisi, simulazione, progettazione di strutture garantendo le prestazioni richieste dalle normative e dalla Good Engineering (handling, consumi, crash, ecc.).

A livello europeo alcune aziende automobilistiche (es. Renault, VW, D.B.) stanno esplicitamente utilizzando la sicurezza, i consumi e le emissioni in atmosfera come caratteristiche distintive del prodotto, anticipando soluzioni innovative, in quanto supportati da centri eccellenti di ricerca e dalla componentistica. Tutte le principali industrie automobilistiche europee sono stimolate a impegnarsi nella ricerca sui temi sopra elencati, sino a occupare un ruolo dominante a livello mondiale in tale settore.

A questo fine lo stato dell'arte dei materiali compositi merita uno studio più approfondito: tutti i principali produttori di vetture in settore automotive non solo di nicchia ma anche di larga produzione hanno approcciato il materiale composito in qualche sua forma (termoplastico, termoindurente, con rinforzo carbonio, vetroЄ), facendo studi di fattibilità, prototipi, produzioni. Questo non solo in ambito automotive ma anche industriale, treni, energia, per cui si potrebbero trovare sinergie di ricerca di processi e materiali innovativi e sostenibili.

Lo stato dell'Arte del titanio merita una descrizione più approfondita. ITP (International Titanium Powder) ha ormai reso il processo di produzione di polveri di Titanio CP (basati su brevetto Armstrong) una realtà industriale. Case costruttrici di veicoli, come Toyota, stanno investendo molte risorse nello studio della fattibilità di componenti auto realizzati in Ti. Il settore ferroviario e dei trasporti su gomma (heavy truck), ha messo a punto ormai da tempo l'applicazione di pannelli in Al e Ti ottenuti per formatura superplastica. Alcuni esempi di applicazione sono le pareti laterali finestrate e di accesso della metro di Stoccolma, le 2600 poltrone dell'Heathrow Express, e tutto il cofano anteriore di un truck FORD (mercato statunitense). Il processo è vantaggioso e applicabile per relativamente bassi volumi di produzione: più il pezzo è complesso e integrato e più grande è la superficie e maggiori sono i vantaggi. Mutuando opportunamente la tecnologia da questi settori al settore automotive, su nicchie di mercato con volumi di produzione compatibili con la tipologia di processo, è possibile ottenere componenti di geometria complessa. Il vantaggio dell'applicazione della formatura superplastica risiede nella possibilità di integrare in un unico componente più elementi giuntati insieme ottenuti da processi tradizionali. Ne possono derivare vantaggi in termini di riduzione di peso, incremento della rigidezza dell'assieme, riduzione del numero di parti singole, riduzione di operazioni di assemblaggio. Dal punto di vista del costo attrezzatura, si può considerare che per un componente auto come uno sportello, e per serie di qualche migliaio di pezzi, la differenza di costo degli stampi per SPF non supera il 5% rispetto agli stampi a freddo, ma le forme ottenibili sono molto più complesse. Il costo di una pressa corredata del sistema di controllo della pressione per la formatura superplastica con una tavola da 1 m^2 ha un costo di circa 1-1.5m€.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 5

TECNOLOGIE DELL'AUTO CONNESSA PER UNA MOBILITÀ EFFICIENTE, ECOLOGICA E SICURA

DESCRIZIONE

Il piano d'azione nazionale sui sistemi intelligenti del trasporto (ITS) ha identificato le priorità della ricerca e dell'innovazione fino al 2017. Queste priorità includono l'uso ottimale dei dati relativi al traffico e alla mobilità, la continuità dei servizi ITS di gestione del traffico e del trasporto merci, le applicazioni ITS per la sicurezza stradale e per la sicurezza del trasporto e il collegamento tra i veicoli e l'infrastruttura di trasporto.

I sistemi per ITS (Intelligent Transport Systems) applicano le informazioni e le tecnologie di comunicazione al trasporto. Sistemi elettronici e di calcolo avanzati, connettività e sensori stanno giocando un ruolo di crescente importanza nel nostro sistema dei trasporti. Allo stesso tempo le tecnologie su cui sono basati gli ITS sono utilizzate in campi applicativi molto diversi fra loro, dal trasporto al medicale, alla domotica al mondo consumer, così come vengono applicati ad ogni modalità di trasporto, dal treno, all'aereo alle navi e ai veicoli. In ogni caso è il mondo consumer che ha guidato e sta guidando la straordinaria evoluzione tecnologica delle ultime due decadi, un'evoluzione tecnologica che ha i connotati di una vera rivoluzione che ha cambiato le vite di ogni giorno di tutti noi.

In parallelo a questo cambiamento i sistemi per la gestione della mobilità stradale hanno integrato tecnologie informatiche e di telecomunicazione sempre aggiornate non solo per migliorare le prestazioni delle funzionalità, ma soprattutto per creare le basi di una mobilità sicura, efficiente e a minimo impatto ambientale per le persone e per le merci.

I sistemi ITS possono essere classificati in modi diversi a seconda del punto di osservazione che può essere tecnologico, o dei servizi, o del settore di applicazione. Un modo per rappresentarli è quello di seguire l'ITS Action Plan della Commissione Europea che definisce gli ITS come integrazione fra le telecomunicazioni, l'elettronica e le tecnologie dell'informazione con l'ingegneria dei trasporti al fine di pianificare, progettare, rendere operativi, sottoporre a manutenzione e gestire i sistemi di trasporto. In particolare l'ITS Action Plan ha proposto una serie di azioni relative alla fornitura di servizi informativi sul traffico e sulla circolazione, servizi che comprendono:

- ITS paneuropeo per lo scambio in tempo reale di informazioni sul traffico merci e passeggeri,
- ITS nazionali multimodali per la programmazione degli itinerari,
- sistemi cooperativi da infrastruttura a infrastruttura (I2I), tra veicolo e infrastruttura (V2I) e tra veicoli (V2V),
- ITS a supporto del trasporto merci eFreight,
- sistemi di telepedaggio interoperabili,
- ITS avanzati di assistenza al conducente e per la sicurezza,

- eCall paneuropea,
- ITS per la sicurezza e il confort degli utenti vulnerabili,
- ITS per i parcheggi e per le aree di sosta.

Le azioni previste dall'ITS Action Plan comprendono, fra le altre cose, uno scambio di informazioni di carattere paneuropeo e in tempo reale sul traffico merci e passeggeri, la continuità dei servizi ITS per i passeggeri e le merci nei corridoi di trasporto e nelle aree urbane e interurbane, un'architettura quadro degli ITS europei, attualizzata e multimodale, un'architettura per una piattaforma telematica istallata nel veicolo per la fornitura dei servizi e applicazioni ITS, la raccolta e fornitura di dati relativi alla circolazione stradale e ai piani di circolazione del traffico, una garanzia sulla sicurezza e la protezione dei dati personali.
I servizi ITS possono essere realizzati come combinazione di alcune funzionalità di base che vengono opportunamente adattate per essere poi implementate in contesti differenti e per essere facilmente aggiornabili. In merito all'evoluzione dei sistemi ITS, un passo in avanti si sta facendo nell'integrazione di nuovi canali di acquisizione e distribuzione delle informazioni di mobilità. In questo contesto un ruolo fondamentale sta assumendo e sempre più assumerà l'auto connessa. In un contesto di mobilità connessa e cooperativa i veicoli, l'infrastruttura stradale e i centri di controllo del traffico possono scambiarsi informazioni che sono essenziali per migliorare la sicurezza sulle strade, ridurre la congestione del traffico e minimizzare i consumi energetici.
Il veicolo connesso è in grado di ricevere e/o trasmettere informazioni verso il mondo esterno. Le prime attività di ricerca relative ad auto connesse furono effettuate nell'ambito del programma del progetto EUREKA PROMETHEUS (1987-1995), dove per la prima volta i diversi costruttori di veicoli si sono trovati a discutere le potenzialità di una realizzazione di una rete connessa fra veicoli. L'attività fu di carattere investigativo in quanto le tecnologie coinvolte erano ancora molto primordiali. Ad esempio il sistema di posizionamento GPS è diventato pienamente operativo nell'Aprile del 1995 e dal 1996 disponibile anche per uso civile.
Le auto connesse di oggi sono dotate di sistemi telematici di bordo in grado di abilitare oltre che la ricezione di informazioni anche la trasmissione di dati verso centri di servizi utilizzando sistemi di telecomunicazione GSM (Global System for Mobile Communications) in modo interattivo con il cellulare personale del guidatore o di altri occupanti del veicolo o in modo indipendente.
Grazie alla crescente integrazione con il mondo consumer, le piattaforme telematiche odierne possono essere o diventare modulari dal punto di vista delle tecnologie di localizzazione e capacità di elaborazione e memorizzazione delle informazioni. Tali piattaforme telematiche sono quindi alla base dei sistemi di informazione e di mobilità (ovvero di infomobilità) in quanto permettono di integrare informazioni relative alla viabilità con una tempistica quasi continua e una copertura più capillare, permettendo allo stesso tempo l'accesso ai social network e ad altre applicazioni (o APP, come vengono chiamate nel mondo consumer) di interesse per il guidatore e per gli occupanti del veicolo.
Telefoni cellulari di ultima generazione, smart phone e tablet, consentono collegamenti a larga banda verso il mondo internet e sono pertanto in grado di offrire soluzioni di mobilità attraverso l'accesso a portali. Navigatori disponibili su smart phone o portatili (PND Personal Navigation

Devices) o integrati sui veicoli consentono di calcolare percorsi di navigazione basati su dati statistici e/o storici di traffico oppure sono in grado di aggiornare in tempo reale il percorso in quanto integrano un terminale di comunicazione.
Lo sviluppo in questo settore di elettronica consumer sempre più sofisticata e con interfacce sempre più performanti, diventa un'opportunità per utilizzare in modalità "remota" informazioni e applicazioni creando un unico ambiente integrato in cui interagire con il veicolo, un ambiente dove i dispositivi nomadici e l'unità telematica di bordo agiscono in rete locale e in rete connessa con gli attori esterni al veicolo in una modalità nuova, ovvero agiscono come se fossero "una cosa sola". L'intersezione fra la rete connessa di bordo veicolo e la connettività del veicolo verso il mondo esterno apre la strada al tema fondamentale della sicurezza cibernetica, tema che sta evolvendo in modo rapidissimo e di pari passo con l'evoluzione delle tecnologie.

Mobilità efficiente ed ecologica

Il concetto di mappe per la navigazione è in rapida evoluzione, si passa da mappe statiche a mappe dinamiche, alla possibilità di ricostruire in tempo reale e in modo molto affidabile quanto sta accadendo intorno ad un veicolo in movimento e in particolare prevedere gli eventi di traffico sulla traiettoria del veicolo. In questo modo il navigatore si trasforma in uno strumento dinamico utile non solo alla selezione della traiettoria più opportuna in quel momento e alla stima del tempo di percorrenza, ma usabile come un nuovo paio di occhi posti ben oltre l'orizzonte di visibilità del veicolo, introducendo così il concetto dell'orizzonte elettronico.

Naturalmente la robustezza degli orizzonti elettronici del futuro e la loro affidabilità dipenderanno dal livello di integrazione e di gestione dei dati che vengono generati dai veicoli, dall'infrastruttura stradale, dai centri di controllo del traffico e dalla loro gestione in locale e in rete, nonché dall'evoluzione dei sistemi di localizzazione che aumenta l'integrità della localizzazione.
Quindi il veicolo del futuro si muoverà in modo contestualizzato e potrà anche abilitare su richiesta la disponibilità di informazioni puntuali su specifici punti di interesse.
Veicoli che si muovono in modo "consapevole" rispetto allo scenario di traffico, al meteo, al contesto di guida, permetteranno a breve una rapida evoluzione dei sistemi per la guida a risparmio energetico. In questo contesto FCA ha già a disposizione sul mercato eco:Drive, che permette di visualizzare in tempo reale lo stile di guida sul display della vettura, come un personal trainer di guida virtuosa. Oggi eco:Drive monitora in tempo reale parametri di guida quali ad esempio l'accelerazione e la variazione della velocità, durante ogni viaggio assegna un punteggio relativo a ciascun parametro e calcola il corrispettivo eco:Index. Grazie a Uconnect LIVE questi valori sono caricati a fine viaggio nel profilo del guidatore, in modo che possa visualizzare i dati salvati a bordo veicolo o su smartphone e PC.
In generale l'evoluzione delle tecnologie relative al veicolo connesso stanno aprendo le porte alla realizzazione della nuova generazione di sistemi di guida-eco evoluti, ovvero in grado, ad esempio, di utilizzare mappe dinamiche sempre aggiornate e dotate di tutte le informazioni che sono essenziali per poter offrire i servizi che aiutano il guidatore ad adottare uno stile di guida efficiente dal punto di vista dei consumi.

Mobilità sicura

L'evoluzione dei sistemi di assistenza alla guida vede oggi sul mercato la disponibilità di diversi sistemi per la sicurezza preventiva che sono basati su sensori. L'integrazione delle informazioni derivanti dai sensori e dai sistemi cooperativi (di scambio dati fra veicoli e fra veicoli e infrastruttura) è oggi possibile dal punto di vista tecnologico.

Tuttavia il successo della comunicazione veicolare applicata alla sicurezza richiede notevoli investimenti e sforzi coordinati di tutte le parti interessate. In caso contrario, i vantaggi che possono derivare da questa tecnologia non possono essere realizzati. La chiave del successo è una tabella di marcia concordata, che definisce le misure necessarie per l'introduzione sul mercato. Al fine di raggiungere questo accordo, tutti i soggetti coinvolti necessitano di una visione chiara sui costi per l'implementazione del sistema, nonché sui benefici e i potenziali ricavi generati dalla comunicazione veicolare.

Sulla base dei dati ottenuti grazie a sperimentazioni sul campo effettuale con la tecnologia dei sistemi cooperativi su diversi siti di prova Europei, è stato possibile identificare i vantaggi dei sistemi cooperativi in materia di sicurezza stradale.

Roadmap wireless

La disponibilità di reti di comunicazione a corto-medio raggio con un canale dedicato ed efficiente, di reti cellulari a larga banda e di nuova generazione, l'integrazione con il mondo di internet, con mappe avanzate e con il mondo consumer apre un nuovo orizzonte per i servizi e le funzioni telematiche in generale, non solo per il guidatore e gli occupanti dei veicoli, ma per tutti gli attori coinvolti nella gestione e nella fruizione della mobilità, affrontando in modo sistematico e integrato le sfide legate all'ottimizzazione dei tempi di viaggio, sia esso mono- o multi-modale, di riduzione dei consumi energetici e di incremento della sicurezza per tutti gli utenti della strada.

Nella figura seguente è rappresentata la roadmap delle tecnologie wireless per l'auto, raggruppando le tecnologie per aree di azione, ovvero "l'area di rete personale", "l'area di rete locale" e "l'area di rete estesa". Tecnologie quali Bluetooth, NCF sono disponibili oggi nell'ambito della connettività di dispositivi nomadici e veicolo, e lo stesso vale ad esempio per tecnologie WiFi o DAB per le reti locali o estese. Mentre tecnologie quali ad esempio LTE direct sono previste con un orizzonte temporale dell'ordine dei cinque anni.

Se da una parte la rete connessa di bordo veicolo può comprendere tecnologie di comunicazione quali Bluetooth e In Car WiFi (nelle loro diverse versioni), la rete connessa della mobilità che si stabilisce fra i diversi attori del traffico prevede un approccio che potremmo definire come "ibrido", mediante l'utilizzo di tecnologie di comunicazione a corto raggio (quali ad esempio IEEE.802.11p, la cui standardizzazione per l'utilizzo in ambito mobilità sicura è in corso di finalizzazione presso l'ETSI TC ITS) e tecnologie cellulari, con un occhio attento alle nuove generazioni 4G/LTE, mentre 5G è previsto ma non prima del 2020.

La rete di mobilità dovrebbe essere realizzata in modo da abilitare sia lo scambio di dati essenziali per la sicurezza preventiva degli incidenti stradali sia per migliorare le condizioni di traffico, mentre ulteriori servizi personalizzati per gli utenti dovranno essere messi a disposizione generando un traffico dati che non solo dovrà avvalersi delle nuove tecnologie cosiddette di "big data"

(per la gestione di enormi moli di dati) e di "cloud computing" (per lo stoccaggio e lo scambio dei dati) ma dovrà anche prevedere, almeno in prima battuta, l'utilizzo di diversi canali di comunicazione a seconda delle esigenze specifiche delle applicazioni o dei servizi. Inoltre, facendo un uso ottimale di diversi canali di comunicazione sarà anche possibile gestire la rete di mobilità a livello centralizzato, ad esempio per mezzo di centri di controllo del traffico per evitare blocchi stradali o per ottimizzare l'intervento di veicoli di emergenza.

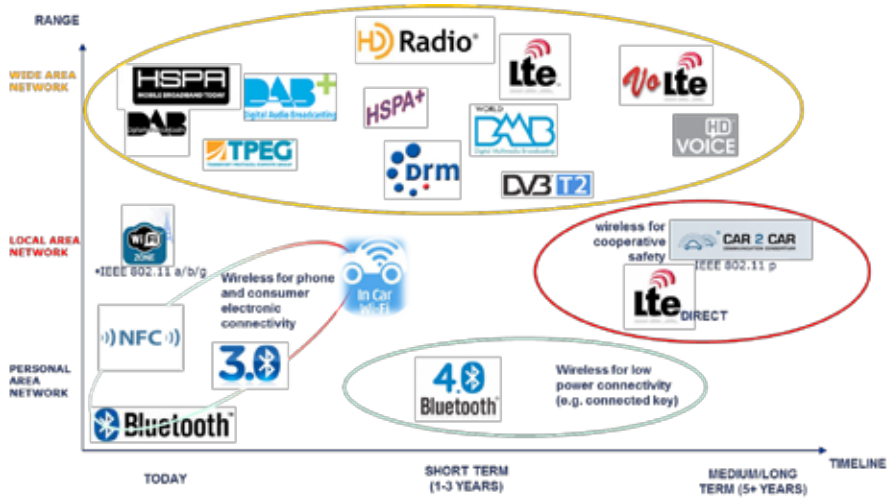


FIG. 106 – ROADMAP TECNOLOGIE WIRELESS PER L'AUTO

Oggi l'integrazione fra il mondo veicolo e il mondo consumer è avviata, numerose soluzioni sono disponibili per accoppiare smart phones e tablets con i sistemi telematici di bordo. Allo stesso tempo nuove frontiere tecnologiche si rendono disponibili sul mercato consumer, come ad esempio i dispositivi indossabili (un esempio sono i cosiddetti smart watch) o le tecnologie di realtà aumentata, tali tecnologie possono offrire nuove prospettive di integrazione nella rete di comunicazione interna al veicolo aprendo nuove possibilità di interazione uomo macchina e di funzioni quali ad esempio il monitoraggio dello stato del guidatore. È importante sottolineare che un ruolo chiave per l'introduzione di tecnologie wireless a bordo veicolo è la loro disponibilità a basso costo e a basso consumo energetico, nonché la possibilità di utilizzare una stessa tecnologia per offrire sul mercato diverse funzioni e nuovi servizi. FCA sta già operando nella direzione del veicolo connesso offrendo sul mercato l'unità di bordo Uconnect che offre tutta una serie di servizi connessi per la navigazione, la telefonia e l'intrattenimento. Ad esempio Uconnect sta collaborando con i leader sulla navigazione (quali TomTom in Europa) e SiriusXM per permettere ai guidatori dei veicoli di sapere dove si trovano, dove stanno andando, e quanto tempo ci vorrà per arrivarci. Mappe ben studiate consentono di muoversi in modo efficiente nel traffico, mentre indicazioni audio e messaggi vocali forniscono informazioni per la guida passo-per-passo e permettono di identificare i punti di interesse in modo rapido con una grafica 3D e con visualizzazioni dettagliate.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Come citato dalla Commissione Europea (Direttiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio sul quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto) i progressi realizzati nel campo dell'applicazione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione dovrebbero tradursi in sviluppi nel settore del trasporto stradale. In particolare questo documento della Commissione Europea sottolinea che in un certo numero di Stati Membri sono già in uso alcune soluzioni nazionali di tali tecnologie nel settore del trasporto stradale. Tuttavia, la loro diffusione frammentaria e non coordinata rende impossibile la continuità geografica dei servizi ITS in tutta l'Unione e alle sue frontiere esterne.

Sempre in contesto Europeo la strategia Europea per trasporti per il 2020 comprende in sintesi tre priorità fra loro intersecate:

- una "crescita intelligente" con lo sviluppo di una economia basata sulla conoscenza, sull'innovazione e sulla società digitale,
- una "crescita sostenibile" a basso impatto ambientale a risorse efficienti e ad alta competitività economica,
- una "crescita inclusiva" che preveda una economia a crescente tasso di occupazione.

In uno scenario di crescente domanda di mobilità e di crescita demografica, in particolare nelle grandi città che stanno diventando mega-città, una mobilità efficiente e sicura delle persone e delle cose è un target fondamentale su cui non può operare un singolo stakeholder pubblico o privato. Oggi i dati relativi al congestionamento delle strade e agli incidenti stradali sono ancora preoccupanti, per quanto importanti passi avanti siano stati fati nella scorsa decade. In questo scenario i sistemi ITS rappresentano un essenziale passo avanti che deve portare allo sviluppo di un paradigma di mobilità pan-Europea.

Specifici programmi regionali, nazionali ed Europei sono necessari per portare avanti attività di ampio respiro per garantire in primo luogo l'interoperabilità transfrontaliera dei sistemi ITS e una loro diffusione capillare. La partecipazione di attori industriali (quali ad esempio costruttori di veicoli, gestori del traffico, fornitori di tecnologie, E) della ricerca e della pubblica amministrazione è una condizione essenziale per creare piani di sviluppo e di business sostenibili e vantaggiosi per tutti, migliorando la competitività in Europea con importanti ricadute anche sull'occupazione.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La straordinaria rapidità con cui si evolve (ad esempio) la tecnologia consumer e in generale le tecnologie telematiche che afferiscono al veicolo e alla mobilità connessa fa sì che più che di stato dell'arte si possa parlare di direzioni verso le quali la ricerca e l'innovazione si stanno muovendo.

In questo scenario è importante menzionare che per quanto riguarda i servizi telematici relativi al traffico oggi l'attuale diffusione sul mercato è ancora limitata, un certo numero di soluzioni locali sono disponibili ma non ancora come sistemi integrati, nello specifico per quanto riguarda il sistema di chiamata di emergenza della eCall la sua implementazione è stata posticipata al 2017.

PROGETTI	MAIN FOCUS OBIETTIVO PRINCIPALE
CORRIDOIO ITS COLLABORATIVO: ROTTERDAM, FRANCOFORTE, VIENNA	Iniziativa congiunta dei Paesi Bassi, Germania e Austria che nel 2013 hanno firmato un protocollo d'intesa con i Ministri dei Trasporti per la realizzazione di servizi ITS quali la segnalazione della presenza di lavori stradali.
COMPASS4DCOMPASS4D	Deployment of the C-ITS services Red light violation warning, road hazard warning, and energy efficient intersection in 7 citiesServizi ITS per la gestione intelligente degli incroci realizzato in diverse città Europee.
DRIVE C2X	Field Operational Test Europei su sistemi ITS per la sicurezza stradale basati su sistemi cooperativi.
ECOMOVEECOMOVE	Servizi ITS per una gestione efficiente del traffico e per servizi di "guida eco" connessa. Enhance e nergy efficiency in road transport by eco driving use cases.SiSiSe
TEAMTEAM	The focus of TEAM is to provide a system for cooperation which enables collaboration between (all) road users on a broad level for optimal infrastructure use.Servizi Servizi ITS per abilitare l'integrazione tra gli utenti della strada e le infrastrutture al fine di facilitare una guida a basso consumo energetico e gli scambi co-modali.
MOBINETMOBINET	Servizi ITS interoperabili per Internet-based network linking travellers, transport users, transport system operators, service providers, content providers and transport infrastructurecollegare gli utenti della mobilità, i gestori dei sistemi di trasporto, i fornitori di servizi, i fornitori di contenuti e le infrastrutture di trasporto.

TAB 4 – PROGETTI A COLLABORAZIONE EUROPEA SUI SISTEMI DI NAVIGAZIONE

Per quanto riguarda i sistemi di navigazione la tendenza si muove nella direzione di una navigazione connessa per poter usufruire di mappe digitali aggiornate anche con dati che possono essere utili nel percorso di marcia. Allo stesso tempo, per quanto riguarda i sistemi di localizzazione, nel 2011 il programma Europeo Galileo ha lanciato i primi due satelliti per le fasi di validazione, la costellazione completa, prevista entro il 2020, comprenderà 30 satelliti permettendo ai sistemi di localizzazione di migliorare l'accuratezza della posizione. Per quanto riguarda i sistemi telematici per la mobilità, la tabella 4 riporta alcuni fra i più rilevanti progetti a collaborazione Europea, questo per dare un'idea delle attività di ricerca e innovazione che sono in corso in ambito Europeo o che sono appena terminate.

Per quanto riguarda le tecnologie per i sistemi cooperativi basati su comunicazione veicolo-veicolo e veicolo-infrastruttura (V2V e V2I, o V2X in breve), come menzionato, il processo di standardizzazione è in fase di finalizzazione presso l'ETSI TC-ITS, l'allocazione della banda di frequenza in Europa è stata effettuata anche grazie all'attività del consorzio Car-to-Car Communication, costituito da case automobilistiche e fornitori di sistemi, che ha contribuito alla specifica dello standard per la comunicazione su tecnologia wireless della famiglia Wi-Fi (IEEE.802.11.p). Secondo Frost&Sullivan un certo numero di costruttori di veicoli e di fornitori di tecnologia si stanno preparando per l'introduzione sul mercato a breve termine. È da notare che la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) negli USA ha di recente annunciato una proposta di regolamentazione in merito.

Questa tecnologia di comunicazione combinata con sensori installati sui veicoli (quali ad esempio radar o telecamera) potrà estendere il margine di sicurezza preventiva intorno ai veicoli permettendo la segnalazione di eventi legati al traffico, alla presenza di lavori stradali o altro.

Sul tema delle tecnologie telematiche dell'auto applicate ai sistemi di mobilità molto è stato fatto nell'ultimo decennio. Dati di navigazione, punti di interesse (ristoranti, stazioni di rifornimento, ε),

accesso ai social network, linee di traiettoria dinamica, veicoli che comunicano fra di loro e che accedono a tutta una serie di servizi utili per chi guida e per chi è nell'abitacolo, alleanze strategiche con partner quali Google e Apple, sono realtà che si stanno rapidamente espandendo sul mercato. Tecnologie telematiche avanzate, nuovi dispositivi di presentazione delle informazioni al guidatore che minimizzano i rischi di distrazione, soluzioni di sicurezza cibernetica e di trattamento dei dati, che tiene conto fra le altre cose di una gestione attenta della privacy, potranno presto essere una realtà di tutti i giorni, lo sono già in parte sui veicoli di oggi, lo saranno ancora di più sui veicoli del futuro.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 6

SOLUZIONI & TECNOLOGIE PER L'INTERAZIONE UOMO MACCHINA (HMI)

DESCRIZIONE

Nel settore trasporto si sta assistendo alla crescita di funzioni e sistemi che possono aiutare il guidatore nel compito di guida, ma anche essere una potenziale distrazione alla guida stessa:

- crescente ricchezza di informazioni sullo stato del veicolo, rese disponibili da sistemi di controllo del veicolo e diagnostici in continua evoluzione;
- sistemi di intrattenimento (radio, CD, MP3, web) ricchi e versatili, con possibilità di regolazione e personalizzazione;
- connessione a sistemi telematici, dalla telefonia cellulare a servizi e applicazioni (es. informazioni sul traffico, servizi ed esercizi commerciali, ecc.);
- servizi e applicazioni che consentono al driver di interagire con differenti funzioni proprie della connettività della Consumer Electronics (CE), quali Tablet, smatphone, smartwatch, ecc.;
- sistemi di navigazione evoluti che supportano il guidatore nell'effettuazione efficiente e confortevole del viaggio;
- sistemi di ausilio alla guida che intervengono o informano il driver in situazioni potenzialmente pericolose o lo supportano con l'automazione di alcune operazioni.

Questa crescita di funzioni e componenti richiede uno sviluppo che favorisca l'usabilità dei componenti e una progettazione che presidi la potenziale della distrazione del guidatore al fine di ridurre incidenti.
È quindi sempre più urgente passare da un approccio tradizionale, basato sull'aggiunta di funzioni a un approccio integrato, olistico dell'HMI, in cui, analogamente a quanto avvenuto nel mondo della consumer electronics, l'utente possa interagire nella maniera più usabile e naturale possibile.
Una sfida particolarmente rilevante è garantire l'usabilità, la funzionalità e la minima distrazione a tutta l'utenza, siano i driver giovani o anziani, più "tecnologici" e quindi abituati nella vita fuori dal veicolo ad usare dispositivi CE di ultima generazione ma anche utenti che rigettano la tecnologia, persone che possono avere criticità nell'interazione dovuta a problemi fisici o cognitivi.

Altri due aspetti particolarmente importanti riguardano:

- l'attenzione ai costi, in particolare per poter estendere l'applicazione di tecnologie avanzate di HMI alla fascia utilitaria;
- l'opportunità di utilizzare tecnologie emergenti o provenienti da settori diversi, se si dimostra che possono meglio contribuire agli obiettivi sopra descritti. Esempi rilevanti sono l'interazione vocale naturale e l'uso della comunicazione gestuale (movimenti delle mani, espressioni facciali, sguardo), nonché l'utilizzo di superfici touch, abbinato a feedback aptici o acustici.

La strategia vuole quindi garantire la flessibilità di prodotto e di modalità di interazione a seconda di quanto l'utilizzatore voglia avere un sistema dedicato sull'auto o utilizzare il suo dispositivo nomadico per controllare e comandare le funzioni. Nasce quindi l'opportunità di sviluppare una nuova generazione di dispositivi compatti nelle dimensioni ed economici nei costi, per affrontare in modo innovativo le problematiche di riconfigurazione, diagnostica, connessione nel settore auto. Il sistema sviluppato dovrà rispondere ai seguenti 3 pillar:

- deve essere portabile, scalabile e trasversale;
- deve essere dotato di un'elevata potenza di calcolo, ampia memoria e deve essere in grado di instaurare un canale di comunicazione bidirezionale tra macchina ed utilizzatore;
- deve essere "connesso" al cloud, e quindi consentire funzionalità e applicativi propri del mondo connesso.

Per questi motivi, aree prioritarie di sviluppo delle conoscenze e delle capacità dell'industria nazionale del settore appaiono essere:

- architetture modulari ed espandibili per consentire: l'implementazione di interfacce semplificate per prodotti della fascia utilitaria e l'integrazione di dispositivi personali, che possano essere utilizzati in modo sicuro anche durante la guida;
- sistemi di gestione adattativa delle informazioni da scambiare col guidatore, che selezionino e accodino le informazioni in termini di urgenza e priorità e siano in grado di selezionare il canale comunicativo, cosi da modulare la complessità in funzione della situazione di guida. La frontiera degli sviluppi dovrà portare all'adattamento dell'interazione in base allo stato psico-fisiologico dell'utente, tenendo conto anche dell'aspetto emozionale;
- sistemi di riconoscimento dei gesti, sia in termini di movimenti, sia in termini di semantica associata, in modo da consentire libertà nell'impartire i comandi, riducendo nel contempo il numero di dispositivi fisici;
- sistemi di interazione multimodale che possano consentire di impartire comandi e ricevere conferme o ulteriori richieste senza una grammatica predefinita, ma lasciando all'utente la libertà di attuare i comandi nella forma più usuale e preferita. L'idea è poter interagire con i sistemi nella modalità più utile ed efficace momento per momento, in analogia alla comunicazione interpersonale, non essendo quindi obbligati a iniziare e terminare un'azione complessa con una sola modalità;
- sistemi per il *feedback* attivo di forza su comandi o superfici (sistemi aptici), sia per fornire informazioni tramite il canale tattile e propriocettivo (ad esempio per l'ausilio al mantenimento della corsia), sia per fornire una retroazione corretta in caso di comandi virtuali (ad esempio realizzati mediante *touch screen);*
- nuovi sistemi per visualizzazione di informazioni –head up display con integrazione di soluzioni di augmented reality, per la rappresentazione di informazioni sovrapposte alla scena esterna e per la messaggistica di informazioni rilevanti nei differenti contesti di guida. Si pensi ad esempio a indicazioni di svolta "proiettate" direttamente sulla strada;
- nuove soluzioni per i comandi secondari, passando dall'attuale predominanza di sistemi elettromeccanici, a tecnologie quali ad esempio comandi a sfioramento, contatti capacitivi,

tessuti funzionali sensibili al tocco, che aprano opportunità di innovazione funzionale ed estetica.

Oltre a queste tecnologie, appare rilevante per abilitare l'eccellenza nell'integrazione di sistema la disponibilità di sistemi per la simulazione funzionale e lo sviluppo integrato HW / SW condiviso fra costruttore e fornitore, che includano:

- la possibilità di effettuare valutazioni con utenti in fase di sviluppo (*virtual prototyping*);
- vista la rilevanza della parte SW, la possibilità di esportare direttamente le logiche e la grafica dagli ambienti di sviluppo al sistema *target* (*rapid prototyping*);
- la possibilità di inserire regole e verifiche ergonomiche nell'ambiente di sviluppo, in modo da impedire o avvisare lo sviluppatore di problematiche e violazione di euristiche HMI.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le tecnologie HMI evolvono nel mondo consumer ad una velocità tale da rendere necessario nel mondo dei trasporti definire e gestire un modo innovativo di progettare, programmare e poi produrre dispositivi che riescano a riportare nel mondo automotive le modalità di interazione del mondo consumer.

Inoltre è necessario rispondere in modo efficace alla crescente ricchezza di funzioni e di necessità di interazione mediante un'offerta di prodotti e soluzioni per l'HMI, cogliendo le opportunità per valorizzare le capacità nazionali e la rete eccellente di aziende di conoscenza e manifatturiere italiane:

- evitando di accrescere la complessità del sistema HMI e del carico di lavoro del guidatore, anzi riducendola con l'applicazione di dispositivi e sistemi di gestione che consentano un'interazione naturale e intuitiva;
- facendo leva sulla capacità di sviluppare e commercializzare prodotti eccellenti e distintivi.

Per queste ragioni, si ravvisa l'opportunità di supportare la rete industriale nazionale ad acquisire e mantenere un presidio di eccellenza nel settore, favorendolo mediante lo sviluppo sia di prodotti e componenti distintivi, sia mediante le capacità di integrazione di sistema a livello di prodotto e di processo. In questo modo, oltre a ridurre la dipendenza dall'estero della nostra industria dei trasporti, si incrementa la competitività dei fornitori nazionali verso le maggiori nazioni costruttrici, in particolare europee.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le tecnologie HMI costituiscono un punto di distintività per i costruttori e una ragione di acquisto per i clienti.

I costruttori si dividono in innovatori dell'HMI ma con scelte non sempre convincenti dal punto di vista ergonomico e di usabilità, e "conservatori" che standardizzano soluzioni e le ripropongono trasversalmente sui loro prodotti di ogni segmento.

I costruttori extraeuropei, in particolare giapponesi, manifestano la tendenza a soluzioni ricche e tendenzialmente appariscenti, fortemente basate sulle tecnologie *touch* e sulla grafica.

I fornitori di sistemi e componenti, in gran parte europei o con forti basi nell'unione, sono sovente propositivi e ricchi di soluzioni innovative, che spesso sono frenate da considerazioni di costo e standardizzazione da parte del costruttore di veicoli.

In questo conteso l'industria italiana ha sempre manifestato un approccio di tipo *follower*, sia per i segmenti di massa, sia per le fasce *premium*, giocando la distintività principalmente sulle doti veicolistiche, stilistiche e di comfort.
Un'eccezione ragguardevole è costituita dalla telematica, in cui l'industria italiana ha realizzato e proposto dapprima il Blue & Me, primo sistema vocale per la comunicazione e l'intrattenimento, basato su standard industriali e completamente integrato nel veicolo e nella sua HMI. I sistemi più recenti (Uconnect nelle piattaforme VP) ora presenti hanno avuto inoltre l'apprezzamento degli utenti per la progettazione HMI e per la facilità di utilizzo, ma non integrano ancora la consumer electronics e le funzioni del mondo delle "app".
Inoltre, l'attività di ricerca in ambito europeo e nazionale da parte della realtà nazionale (progetti come SPARC, PREVENT, INTERACTIVE, GAIN) ha certamente abilitato alla prontezza nella messa in produzione dei sistemi HMI avanzati.

Per queste ragioni, è indispensabile per garantire la competitività del prodotto intraprendere iniziative che consentano all'industria nazionale di acquisire una leadership sistemistica e produttiva nel settore delle interfacce puntando ai seguenti obiettivi strategici:

- capacità di integrare nella maniera migliore i sistemi di ausilio alla guida;
- gestire in modo sicuro ed innovativo l'integrazione con il mondo consumer;
- essere leader nella capacità di progettare sistemi poco distraenti;
- disegnare l'HMI di veicoli che maggiormente integrano funzioni di guida semi-automatica.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 7
EFFICIENZA ENERGETICA

DESCRIZIONE

Il nuovo "Energy Plan" della Commissione Europea pone l'accento sulle sfide energetiche ed ambientali che ci attendono: entro il 2020, l'Europa dovrà ridurre del 20% le emissioni dei gas serra rispetto al 1990; dovrà migliorare del 20% l'efficienza di utilizzo delle fonti energetiche e le fonti energetiche rinnovabili dovranno coprire il 20% dei fabbisogni.

In coerenza con questo intendimento l'Unione Europea chiede ai costruttori di autoveicoli e veicoli commerciali leggeri di ridurre progressivamente le emissioni di CO_2, a livello di flotta del venduto, fino a 90 g/km nel 2020 e 75 g/km nel 2025 (dagli attuali 120-130 g/km).

Gli obiettivi dati dall'Unione Europea sono estremamente sfidanti ed impongono un radicale cambiamento dei criteri di progettazione del veicolo, dei suoi sistemi e più in generale della mobilità di cose e persone in particolare in ambito Urbano. I livelli di emissioni CO_2 richiesti saranno raggiunti:

- con una nuova generazione di veicoli efficienti;
- aumentando in modo progressivo i chilometri medi percorsi senza emettere CO_2 di origine fossile;
- con un approccio sistemi che coinvolga tutti gli operatori del settore e che comporta investimenti di carattere infrastrutturale.

Il miglioramento dell'efficienza dei motori e dei sistemi di propulsione e l'alleggerimento, pur se necessari, non consentono da soli di raggiungere tali obiettivi ma è necessario un approccio sistemico che abbracci un perimetro più ampio e che abbia effetto su tutti i componenti e sottoinsiemi che contribuiscono al consumo energetico del veicolo.

L'elemento chiave è rappresentato dalla sostenibilità economica delle innovazioni di veicolo, sistema e mobilità necessarie a ridurre le emissioni come richiesto che dovrà consentire di non deprimere il mercato e garantire ai cittadini ed alle imprese una mobilità migliore e servizi generalmente più efficienti e competitivi. Pertanto è di cruciale importanza avviare linee ad azioni di ricerca che portino allo sviluppo di una nuova generazione di veicoli dotati di sistemi ausiliari e soluzioni ed architetture di sistema ad elevata efficienza.

L'impatto di tale iniziativa è stimabile in una riduzione ulteriore del consumo pari a circa il 20% considerando un uso reale dei veicoli e con effetti diversi in funzione del tipo di veicolo (automobile, autobus, veicolo industrialeЄ).

Le linee di ricerca sotto riportate hanno impatto su tutti i veicoli, le motorizzazioni e i sistemi di propulsione (motore termico, ibridi, elettricoЄ) sono elementi sostanziali nel determinare l'efficienza complessiva reale dei veicoli:

Sistemi aerodinamici innovativi

L'iniziativa include lo sviluppo di:

- Metodologie avanzate di progettazione e validazione in ambiente virtuale di soluzioni per l'aerodinamica del veicolo;
- Sistemi attivi per il controllo del flusso e della scia basati su getti sintetici o altri dispositivi in grado di agire sullo strato limite;
- Materiali e trattamenti superficiali in grado di agire sulle caratteristiche aerodinamiche;
- Sistemi attivi per il controllo dei flussi di raffreddamento.

Sistemi termici per la dissipazione del calore ad elevata efficienza

L'iniziativa include lo sviluppo di:

- scambiatori di calore ad elevata efficienza che sfruttino i risultati della ricerca nel campo dei materiali (plastiche e metalli);
- sistemi termici integrati che permettano la gestione efficiente e sinergica del calore al fine di ridurre l'energia per dissiparlo e migliorino l'efficienza dei sistemi raffreddati (es. intercooler, condensatore impianto clima, elettronicaℰ);
- fluidi vettori termici e lubrificanti ad elevate caratteristiche di scambio termico (nano-fluidi);
- tecniche di calcolo avanzate che consentano 'l'ottimizzazione termo fluidodinamica di sistemi complessi al fine di sviluppare sistemi integrati ed i relativi algoritmi di controllo;
- tecnologie per rendere alcune superfici del veicolo in grado di dissipare il calore del motore e degli altri sistemi (scambiatori planari) al fine di ridurre gli scambiatori alettati convenzionali e consentire forme aerodinamicamente più efficienti.

Sistemi di recupero del calore di scarto

Oltre il 60% del calore di combustione è dissipato sotto forma di calore nell'ambiente. Il recupero di tale calore e la sua trasformazione in forme di energia utilizzabili a bordo (e.g. meccanica, elettrica o frigorifera) rappresenta uno degli elementi più promettenti per migliorare drasticamente l'efficienza dei veicoli a motore termico o ibridi. I sistemi che al momento sembrano essere i più idonei per tale funzione sono:

- sistemi di conversione del calore in energia elettrica con celle ad effetto seebeck ad alta efficienza (Termo-elettrico);
- cicli termodinamici (basati su Ciclo Rankine);
- sistemi di climatizzazione ad assorbimento (es. acqua su silica gel o zeoliti, idrogeno su leghe metalliche ℰ);
- sistemi di accumulo termico: consentono di accumulare il calore in modo da renderlo disponibile all'occorrenza per il riscaldamento di determinati fluidi o componenti (materiali a cambiamento di fase, materiali adsorbenti...).

Sistemi per la riduzione delle resistenze all'avanzamento

L'iniziativa include lo sviluppo di sistemi e componenti atti a ridurre le resistenze all'avanzamento dovuto agli pneumatici, all'attrito residuo tra pinze freno e disco ed ai cuscinetti mozzo-ruota:

- Sistemi frenanti cosiddetti "Zero drag" in grado di garantire il richiamo delle pastiglie freno, minimizzando/azzerando le coppie residue;
- Pneumatici ottimizzati nel rapporto di forma (Tall & Narrow) e nelle mescole per garantire una ridotta resistenza al rotolamento senza penalizzare gli spazi di arresto del veicolo;
- Cuscinetti mozzo-ruota con tenute e grassi specifici per la minimizzazione della resistenza al rotolamento residua.

Sistemi sterzo ad elevata efficienza

L'iniziativa include lo sviluppo di soluzioni per il sistema sterzo che, operando sulla geometria delle sospensioni, le caratteristiche degli pneumatici, l'architettura ed i componenti del sistema EPS (Electric Power Steering), sia in grado di minimizzare l'energia richiesta dal sistema, e quindi i consumi, nel normale uso del veicolo.

L'iniziativa include lo sviluppo di:

- Metodologie avanzate di progettazione e validazione in ambiente virtuale di soluzioni alternative di sistemi sterzo per l'analisi del feeling di sterzo e dell'efficienza energetica a livello veicolo;
- Soluzioni di sistemi sterzo e EPS (eg.: pEPS, rEPS, cEPS, ...) a minimo impatto energetico in condizioni di reale utilizzo del veicolo.

Sistemi di recupero dell'energia cinetica

In una missione urbana un autoveicolo deve dissipare sotto forma di calore una parte consistente dell'energia meccanica (30%) prodotta per controllare la velocità di marcia (frenatura).

La possibilità di evitare una frenata puramente dissipativa convertendo l'energia cinetica del veicolo in energia elettrica offre l'opportunità di ridurre in modo significativo il consumo di combustibile. Tale funzione può essere svolta da sistemi di crescente complessità e relativo crescente costo che richiedono a loro volta componenti e dispositivi specifici.

È pertanto necessario avviare delle linee di ricerca che portino allo sviluppo di:

- macchine elettriche compatte ed efficienti e relativa elettronica di potenza e controllo;
- sistemi per il recupero dell'energia cinetica ed il suo riutilizzo (batterie elettrochimiche, supercondensatori€ efficienti a bassa tensione (< 60 Vdc) e limitato costo.

Sistemi fotovoltaici di produzione e stoccaggio di energia elettrica

Un veicolo è esposto all'irraggiamento solare per gran parte della sua vita operativa. Un sistema integrato sul veicolo in grado di convertire in energia elettrica l'irraggiamento solare e di accumulare tale energia per renderla disponibile durante la missione operativa consentirebbe una riduzione apprezzabile del fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari a 12 V ed una conseguente riduzione dei consumi.

L'elemento critico che deve essere al centro dell'iniziativa di ricerca è lo sviluppo di una tecnologia economicamente sostenibile per le celle fotovoltaiche che consenta un'integrazione su veicolo (con limitato impatto estetico e dimensionale) ad elevata efficienza di conversione (15-20%). Attenzione dovrà essere anche dedicata ai sistemi di conversione elettronica per l'accoppiamento

tra celle e batteria 12 V/ausiliari (ventilatoreℇ) e la massimizzazione del punto di funzionamento delle celle (Maximum Power Point Tracking – MPPT).

Unità ausiliari e Sistemi elettrici – generazione e accumulo

In uno scenario in cui aumenterà il numero di kilometri o di minuti percorsi senza emissioni di CO_2 ed in cui c'è disponibilità a bordo di energia elettrica "decarbonizzata" derivante dai sistemi di recupero, è importante che i sistemi veicolo siamo di fatto sempre più indipendenti dal motore termico e dunque vengano progressivamente elettrificati.

L'iniziativa prevede lo sviluppo di ausiliari elettrici (pompe, climatizzatore, ℇ) ad elevata efficienza, con elettronica di basso costo ed algoritmi di controllo per la massimizzazione del rendimento.

Tecnologie in-wheel motor (IWM) e Brake by wire (BbW)

La soluzione tecnologica innovativa In Wheel Motor (IWM), porta a un nuovo paradigma nell'utilizzo della motorizzazione sui veicoli stradali; la necessità di avere tecnologie pulite e ad alta efficienza energetica, spinte nel loro sviluppo sia dalla volontà di migliorare i motori a combustione interna (ICE) e sviluppare veicoli cosiddetti "ultra-low-carbon", sia dalla volontà di adottare da parte dell'Unione Europea delle normative sempre più stringenti in termini di risparmio energetico e salvaguardia ambientale, fanno dell'IWM un'ottima soluzione per perseguire questi ambiziosi obiettivi.

Come si può intuire dal nome, l'IWM si può descrivere in modo molto semplice come il posizionamento di un motore elettrico all'interno della ruota. Questo tipo di soluzione genera diversi vantaggi, che vanno dal risparmio energetico durante l'utilizzo del veicolo che adotta questa tecnologia, con notevoli vantaggi sia economici che ambientali, alla riduzione del numero dei componenti in fase di realizzazione del prodotto; quest'ultimo aspetto, permette anche di ottenere una riduzione dei consumi durante la realizzazione del prodotto stesso, con ulteriori effetti benefici sul riciclo a fine vita utile.

Va sottolineato il fatto che la riduzione del consumo di energia portato dall'IWM è rapportata ai veicoli elettrici all'odierno stato dell'arte; in via del tutto ovvia, rispetto ai veicoli equipaggiati con motori a combustione interna, il risparmio energetico risulta ancora più marcato.

Il sistema IWM è portato alla massima efficienza anche a livello di materie prime richieste, con un design leggero e che riduce al minimo l'utilizzo di metalli e plastiche; Il nuovo concetto dell'utilizzo del motore direttamente nella ruota, infatti, riduce il numero di componenti richiesti a livello di veicolo e porta, in questo modo, anche dei vantaggi in termini di peso, garantendo l'alleggerimento del veicolo e un risparmio energetico durante la marcia del veicolo.

La minimizzazione dei componenti all'interno del prodotto finale, quindi, porta molteplici vantaggi; molto importanti sono la limitazione sia dell'impatto a fine vita del prodotto, sia l'impatto che hanno i siti produttivi sul territorio. Con questa tecnologia, si riescono ad ottenere dei processi che portano benefici locali e globali, tanto quanto per la popolazione odierna che per le generazioni future.

Inserita all'interno dell'IWM, la tecnologia BbW si presenta come una valida soluzione nell'ottica di

riduzione delle emissioni e di eliminazione di sostanze nocive e/o inquinanti all'interno del veicolo; a questo proposito, a livello di salvaguardia ambientale, grosso vantaggio del BbW è che non richiede liquidi pericolosi e/o nocivi nei confronti dell'ambiente e dell'essere umano.
Il BbW consiste in un sistema frenante innovativo, che sfrutta componenti elettromeccanici, dando la possibilità di implementare la funzione di rigenerazione energetica durante la frenata.
Questa funzione, che permette in primis di recuperare energia, riesce a ridurre la produzione di particolato atmosferico (PM) dovuto all'usura da freni, migliorando la qualità dell'aria e riducendo pressoché a zero il pericolo per la salute.
Questo sistema, viene governato dall'unità elettronica principale di controllo del motore, riuscendo così a rendere possibile l'ottimizzazione delle performance di ogni singola ruota, in base alla dinamica del veicolo. Così, assieme all'integrazione di sistemi come Anti-lock braking systems (ABS) e Electronic Brakeforce Distribution (EBD), viene garantita una maggiore sicurezza contro sotto/sovra sterzo e bloccaggio del sistema frenante.
La compattezza di questa soluzione, permette una maggiore libertà di progettazione, nonché un aumento di spazio disponibile che può ad esempio, essere sfruttato per inserire accumulatori ausiliari in veicoli ibridi ed elettrici.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Nel prossimo futuro (10-15 anni) l'evoluzione tecnologica dei veicoli sarà guidata dall'evoluzione delle normative di tipo ecologico e del mercato:

- inasprimento dei limiti di emissioni nocive (Euro 5 a partire dal 2009 e Euro 6 prevedibile verso il 2012-2013) e di gas serra Normativa EU (EMEA 2020);
- introduzione di mezzi ad emissioni quasi zero in particolare per scenari urbani;
- aumento delle prestazioni (non solo in termini di potenza massima, ma soprattutto di coppia ai bassi e medi regimi) e della guidabilità dei veicoli (fun-to-drive).

La tecnologia IWM è altamente applicabile sia a nuovi veicoli elettrici (EV) che a veicoli elettrici esistenti; inoltre ha il grosso vantaggio di poter essere inserita come retrofit su veicoli a combustione interna (ICE), convertendoli in veicoli elettrici semplicemente sostituendo le ruote e montando batteria ed elettronica. L'alto potenziale presente può essere applicato ad uno spettro di veicoli che va dalle automobili per il trasporto di persone ai veicoli per il trasporto delle merci, nonché ad altre tipologie di veicoli più specifiche, con l'apporto di piccole modifiche tecniche.
La tecnologia BbW invece, permette di avere un controllo completo sull'azione frenante del veicolo, aumentando del 76% l'efficienza dell'energia rigenerata durante un ciclo NEDC; inoltre, l'emissione di particolato atmosferico può essere ridotta fino al 94-100 % (con energia dissipata di 0.027 kWh e 0.45 kWh di energia rigenerata); per avere un esempio reale, in una frenata da 100 km/h a 0 km/h con 1g di decelerazione, c'è una potenziale riduzione di particolato emesso del 58%! (con energia dissipata di 65 Wh e 91 Wh di energia rigenerata).

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le tecnologie per ridurre ulteriormente i consumi e le emissioni dei veicoli sono in fase di svilup-

po presso quasi tutti i costruttori autoveicolistici. La tecnologia italiana ha una posizione di primo piano in questo scenario ed in tutti i settori (automobili, macchine agricole e da costruzione, bus e veicoli commerciali ed industriali) che deve essere mantenuta al fine di garantire la competitività dei costruttori e dei componentisti nazionali.

Tuttavia, al momento, buona parte delle tecnologie che consentirebbero un ulteriore miglioramento dell'efficienza energetica dei veicoli non sono ancora sviluppate a livello industriale ed è necessaria un'azione che permette di garantire tale sviluppo.

Lo sviluppo e l'introduzione sul mercato, in anticipo, delle differenti tecnologie considerate, consentirà all'industria italiana del settore di consolidare la posizione attuale e, se effettuati in tempo brevi, probabilmente di migliorala permettendo un posizionamento sul mercato da leader competitivo.

L'industria nazionale ha già dimostrato di possedere tutte le capacità di ricerca, sviluppo e industrializzazione per raggiungere tale obiettivo.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 8

METODOLOGIE E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER LA DIAGNOSTICA PREDITTIVA DEL SISTEMA FERROVIARIO E METROPOLITANO A GUIDA AUTONOMA TRAMITE VEICOLI COMMERCIALI

DESCRIZIONE

Per poter rendere competitivo e sostenibile il trasporto su ferro secondo quanto atteso a livello europeo è necessario sviluppare strategie di monitoraggio, diagnostica e manutenzione 'event-driven' del sistema veicolo-infrastruttura. Tali strategie non solo si basano sull'adozione di innovative tecniche di rielaborazione dati e modellazione del sistema, ma dovranno essere associate a sistemi di misura caratterizzati da versatilità, facilità di implementazione, basso consumo ed alta efficienza. È fondamentale per lo sviluppo e miglioramento del sistema ferroviario definire logiche e sistemi di diagnostica facilmente implementabili nella struttura di bordo di veicoli commerciali, esistenti od in fase di sviluppo, così da consentire l'osservazione sul lungo periodo dell'infrastruttura, senza incidere sulla sicurezza dell'esercizio.

Una caratteristica fondamentale della tecnologia diagnostica è il funzionamento predittivo che comporta quindi una notevole semplificazione di un sistema altamente complesso quale l'interazione veicolo –armamento

Obiettivo finale è di disporre di una flotta diagnostica che quindi sostituisca il concetto di veicolo diagnostico che arrivi ad un sistema integrato di autodiagnostica.

Per garantire l'efficacia del sistema diagnostico è necessario:

- individuare tecnologie innovative per la raccolta, gestione ed elaborazione dei dati ferroviari (raccolti da sistemi di bordo e di terra eterogenei), a sostegno di nuovi approcci di manutenzione intelligente, che non richieda di sviluppare nuovi database o nuovi asset register;
- individuare tecnologie innovative per o sviluppo di un sistema a supporto alle decisioni integrato e interoperabile basato su strategie di manutenzione di tipo predittivo in grado di valutare il livello di rischio associato a ciascun asset e di gestire la pianificazione e distribuzione delle risorse (personale, attrezzature ertc..).

I principali benefici attesi da questa tecnologia prioritaria sono:

- prolungamento della vita dei componenti dell'infrastruttura e conseguente riduzione nell'uso di componenti e materiali ad alta intensità energetica;
- riduzione dei costi del ciclo totale di vita dell'infrastruttura, con minimizzazione delle già contenute interruzioni del servizio e con potenziamento degli standard prestazionali in termini di comfort dei passeggeri e ridotta emissione vibro-acustica.

A completamento di questa tecnologia vi è l'intento di operare un trasferimento tecnologico che, sfruttando gli sviluppi in campo ferroviario, permetta di definire una metodologia diagnostica predittiva sia per la linea che per il veicolo in caso di soluzioni driveless, ad esempio applicate in

campo di trasporto metropolitano. Anche in questo caso l'obiettivo ultimo è quello di superare il concetto di veicolo diagnostico, ma di implementare una flotta diagnostica che sia in grado di permettere la definizione di una piattaforma per la gestione intelligente ed integrata dei dati acquisiti durante la marcia in servizio dei treni e l'ottimizzazione del ciclo manutentivo.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'incremento della velocità commerciale ha portato ad un crescente interesse, da parte delle amministrazioni ferroviarie e degli operatori del settore, alla qualità delle infrastrutture, linea aerea e binario. In particolare la definizione di una diagnostica dell'infrastruttura in grado di monitorare correttamente in termini di efficienza, sicurezza ed affidabilità la rete ferroviaria, impiegando tecniche e strumentazione sempre più avanzate, ma che abbiano costi contenuti, è diventata prioritaria.

Una corretta identificazione dell'irregolarità della linea e della catenaria permette di poter integrare una manutenzione ciclica con una manutenzione on condition", ovvero poter operare, con interventi mirati, dove la rilevazione ha identificato la necessità di una manutenzione.

In questo modo è possibile avere una previsione in termini di tempo sul verificarsi di un possibile problema, incrementando notevolmente l'affidabilità e la sicurezza della linea stessa.

Per quanto concerne invece l'applicazione delle soluzioni a guida autonoma o driveless, negli ultimi anni si è assistito ad un incremento del loro impiego in campo metropolitano. L'utilizzo di questi sistemi di trasporto solleva differenti problematiche inerenti alla manutenzione della linea e del veicolo.

La presenza del macchinista, infatti, assicura l'identificazione anche preventiva di eventuali malfunzionamenti del veicolo/infrastruttura, ad esempio dovuti al degradare dei componenti e/o della linea.

L'assenza di quest'ultimo richiede per garantire l'affidabilità ed efficienza del servizio, l'introduzione di un sistema diagnostico di veicolo/infrastruttura che sia poco invasivo e facilmente integrabile nel sistema di controllo del veicolo.

Si aggiunga che nell'ottica della possibilità di un servizio continuo del trasporto pubblico l'impiego di soluzioni senza guidatore rappresenta una sfida percorribile, tanto più che lo sviluppo della tecnologia permette di individuare soluzioni economiche. Accompagnare questo sviluppo/sfida con la definizione di una metodologia di diagnostica veicolo/infrastruttura permette di garantire un servizio continuo, affidabile e sicuro, programmando la manutenzione in modo tale da non interferire con il servizio offerto.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Esistono diverse soluzioni per rilevare la geometria del binario e/o della linea aerea, in particolare negli ultimi anni sono stati favoriti quei sistemi e metodi di misura rapidi ed efficaci installati su di un treno che possa percorrere il tracciato di cui si vuole monitorare la condizione a una velocità paragonabile ai mezzi commerciali che viaggiano sulla linea stessa. Gli enti ferroviari mondiali, per quanto riguarda questo aspetto, hanno adottato treni diagnostici con elevata velocità di percorrenza e altrettanta rapidità di acquisizione dei dati. L'analisi dello stato della linea avviene con

corse dedicate dei treni diagnostici e la valutazione dei dati non è predittiva.
Lo sviluppo di una diagnostica predittiva basata sull'impiego della flotta commerciale rappresenta un ulteriore sviluppo di un sistema di monitoraggio e controllo che sta diventando sempre più importante in campo ferroviario.
È indubbio il vantaggio dell'impiego della flotta commerciale come treni diagnostici perché permettono un controllo/verifica continua dello stato della linea nonché una facilitazione nella pianificazione/esecuzione degli interventi.
Il sistema metropolitano driveless rappresenta il futuro della mass-transit, da decenni i produttori stanno lavorando a questi sistemi che hanno visto numerose applicazioni che garantiscono con il massimo dell'efficienza la marcia dei treni e la loro sicurezza in tutti gli aspetti: ad esempio il "distanziamento" fra un convoglio e l'altro per evitare collisioni. È un sistema già in funzione nelle metropolitane di Copenaghen, Singapore, Vancouver, Docklands (Londra), Hong Kong, Lille, Parigi e Torino Milano oltre che in molti aeroporti.
Tuttavia un aspetto spesso non considerato appieno è come l'assenza del driver possa incidere sulla manutenzione delle linee che vengono ad oggi eseguite per lo più senza un vero e proprio sistema a supporto alle decisioni integrato e interoperabile basato su strategie di manutenzione di tipo predittivo in grado di valutare il livello di rischio associato a ciascun asset e di gestire la pianificazione e distribuzione delle risorse (personale, attrezzature ertc..).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 9

TECNOLOGIE E MATERIALI INNOVATIVI PER L'INCREMENTO DELLA CAPACITÀ IN AMBITO FERROVIARIO

DESCRIZIONE

Il raggiungimento degli obiettivi europei non può prescindere dal rinnovamento/ottimizzazione dei treni Alta Capacità. Infatti, la volontà di incrementare il numero di passeggeri trasportati con questo mezzo di trasporto è evidente tra gli obiettivi dei prossimi decenni.

Come diretta conseguenza vi è quindi la necessità di un rinnovo sostanziale degli esistenti treni che effettuano servizio su line ad Alta Capacità, nonché di un'innovazione delle soluzioni costruttive impiegate per la realizzazione dei veicoli di nuova concezione.

Si richiede quindi l'applicazione/studio di soluzioni innovative che favoriscano una riduzione di peso del veicolo per compensare l'incremento di peso derivante dai crescenti contenuti.

Lo sviluppo di sistemi di trazione o ausiliari innovativi (e.g. motori, inverter, condizionatori) che abbinino un peso contenuto all'efficienza richiesta permetterà l'alleggerimento della struttura del veicolo e la possibilità di impiegare nella fase costruttiva nuovi materiali metallici e non metallici allo scopo di ottimizzare le performance del prodotto target, contribuendo alla riduzione dei consumi del veicolo, riduzione dei costi di manutenzione ed a un minor utilizzo di risorse per la costruzione.

Si crea di fatto un ciclo virtuoso: la riduzione del peso, per effetto dell'impiego di materiali innovativi facilita l'incremento della capacità trasportata, ma favorisce anche la riduzione della potenza assorbita e dei consumi, agevolando l'utilizzo di ausiliari e sistemi di trazione di minor potenza e minor peso.

Il trasferimento tecnologico dalle nuove soluzioni a quelle esistenti attraverso il revamping garantirà l'uniformarsi della flotta e significativi benefici in termini di manutenzione e sostenibilità del trasporto su ferro.

Le principali problematiche tecnico-scientifiche e tecnologiche da risolvere per conseguire gli obiettivi dichiarati riguardano il miglioramento delle proprietà strutturali e funzionali dei materiali.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le direttive europee in ambito trasportistico sono volte alla decarbonizzazione del trasporto di merci e passeggeri. Una risposta a questa esigenza è l'incremento di merci e passeggeri trasportate su rete ferroviaria. L'aumento del numero di passeggeri trasportati è possibile purché si connubi ad un aumento del servizio una ottimizzazione dei veicoli ferroviari. Per garantire standard di sicurezza elevati è infatti necessario compensare un eventuale aumento di carico attraverso l'alleggerimento del veicolo.

È evidente che i benefici che si possono trarre da un'innovazione in componenti e materiali per la realizzazione o revamping dei treni ad alta capacità sono molteplici:

- Incremento delle merci/persone trasportate;
- Riduzione dei costi di manutenzione;
- Riduzione dei costi di produzione;
- Incremento della sostenibilità;
- Riduzione della Potenza assorbita dal rotabile.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Per quanto riguarda l'impiego dei materiali nel settore ferroviario lo scenario attuale presenta un largo uso di componenti metallici (prevalentemente acciaio e leghe di alluminio) a livello strutturale per cassa e carrello del veicolo.

Gli impieghi di materiali a base resina (vetroresina e similari) sono maggiori per applicazioni nel settore urbano e mass transit per la realizzazione delle cabine di guida dei veicoli (tram e metropolitane).

Per le parti non strutturali della cassa si assiste negli ultimi anni all'impiego di materiali non metallici, appartenenti alla famiglia dei compositi termoplastici e termoindurenti.

È chiaro che per l'interiors (allestimenti e mantovane) si preferisce l'impiego di materiali non metallici per via della loro leggerezza, resistenza e costo ridotto di produzione.

Molti passi sono stati compiuti negli ultimi anni dove si è assistito al proliferare di componenti a matrice polimerica progettati appunto per rispettare le condizioni estreme di esposizione al fuoco e alla fiamma. In alcuni casi sono stati realizzate casse tramviarie completamente in composito sulla base dei risultati avanzati derivanti dal settore automotive ed in parte aerospaziale.

L'insieme dell'impiego oculato dei materiali compositi e di leghe in alluminio potrà conferire ai veicoli una riduzione del peso a tara e dei cimenti meccanici nel contatto ruota rotaia per migliorare la durata delle parti a contatto, il rumore e vibrazioni generate ed il confort per il passeggero.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 10

TECNOLOGIE PER LA TRACCIABILITÀ E DIAGNOSTICA DEI CARRI MERCI

DESCRIZIONE

Lo sviluppo di un sistema di tracciabilità e diagnostica di carri merci e l'incremento della sicurezza del trasporto delle merci su ferro si ottiene attraverso l'impiego di tecnologie all'avanguardia come sistemi di tipo harvesting, che permettono l'implementazione di sistemi intelligenti su veicoli come i carri merci dove, a causa della loro morfologia, è indiscussa la difficoltà a realizzare un cablaggio per trasmissione segnale e/o alimentazione.

Sfruttando questa tecnologia è quindi possibile progettare soluzioni in grado di monitorare parametri importanti per la sicurezza di marcia e del servizio come la temperatura delle boccole, la presenza di assi bloccati, la perdita di merci pericolose (e.g. attraverso opportuni sniffer).

Inoltre è possibile fornire nuove soluzioni di sistema basate su metodi completamente nuovi per l'instradamento dei treni al fine di migliorare radicalmente la capacità e le prestazioni delle linee e ridurre i costi pur mantenendo inalterato il livello di sicurezza. L'impiego inoltre di tecnologie innovative di localizzazione permetterebbe di definire un sistema di posizionamento assoluto e interoperabile in grado di ridurre in modo significativo il numero degli attuali sistemi di localizzazione dei treni tradizionali, basato su tecnologie satellitari.

Accanto a questi sistemi intelligenti è altresì necessario sviluppare una rete di terra in grado di memorizzare i dati acquisiti a bordo veicolo, rielaborarli per una manutenzione preventiva del sistema veicolo-infrastruttura.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Uno degli evidenti obiettivi europei è lo sviluppo di reti intermodali per il trasporto delle merci, dove il settore ferroviario rappresenta l'attore principale, basti pensare i numerosi corridoi merci che si intende concludere entro il 2050.

Lo sviluppo di una rete intermodale di trasporto merci può quindi essere, possibile, efficiente ed efficace, se e solo se il trasporto merci ferroviario adotta soluzioni di alto livello innovativo.

In particolare, non solo la tracciabilità diventa un aspetto imprescindibile per questo sistema, favorendo l'ottimizzazione della gestione del sistema, ma garantisce anche un incremento della sicurezza, dell'affidabilità e della puntualità permettendo di sviluppare sulle reti ferroviarie un sistema di diagnostica completo.

Un'efficiente ed adeguata diagnostica del rotabile merci permette di garantire ottimi livelli di sicurezza e regolarità del servizio di trasporto su ferro, ne migliora l'efficienza e la manutenzione, portando anche a notevoli vantaggi economici.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In questi ultimi anni in campo europeo è stato dato largo spazio all'innovazione in campo ferro-

viario delle merci, purtroppo in Italia ad oggi il trasporto merci via ferro rimane una modalità di trasporto poco significativa. Tuttavia negli ultimi anni si è riscontrato un incremento dell'interesse al miglioramento del servizio ed allo sviluppo di un approccio diagnostico.
Dall'altro canto i sistemi harvesting, essendo divenuti economicamente più accessibili iniziano ad essere commercializzati in differenti settori.
Esiste un grande sviluppo di siti di accessibilità, le tecnologie dei big data permettono la gestione di grandi volumi di dati rendendo possibili applicazioni significative nella connettività dei veicoli e la loro tracciabilità.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 11

TECNOLOGIE PER LO SVILUPPO DI VEICOLI FERROVIARI AD ALTA EFFICIENZA ENERGETICA

DESCRIZIONE

L'impiego di tecnologie innovative in ambito della progettazione del veicolo o del suo revamping permetterà il miglioramento e l'ottimizzazione dell'efficienza energetica del sistema su ferro, instaurando un ciclo virtuoso che partendo dalla necessità di alleggerire il veicolo per ridurne i consumi vede l'impiego di componentistica di potenza e/o convertitori ed ausiliari all'avanguardia (e.g. convertitori ad alta frequenza), che facilitano l'alleggerimento della struttura del veicolo favorendo quindi la riduzione della potenza necessaria per la trazione con conseguente adozione di nuovi motori a magneti permanenti più compatti e leggeri.

L'ottenimento di un veicolo più leggero per effetto del ciclo virtuoso di cui sopra riduce l'aggressività del veicolo nei confronti dell'infrastruttura moderando la frequenza degli interventi manutentivi ed incrementando quindi l'efficienza del sistema ferroviario.

Infine a completamento di quanto sopra, si impiegheranno e svilupperanno nuove tecnologie/soluzioni meccaniche e/o impiantistiche che integrate nel progetto del veicolo e nell'infrastruttura esistente con rinnovamento ad esempio delle sottostazioni, favoriranno il recupero energetico durante il servizio del veicolo.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il trasporto su ferro diventerà sempre più importante nella mobilità door-to-door italiana ed europea. È chiaro che in questo contesto lo sviluppo di trasporto su ferro ad alta efficienza energetica ed altamente eco-sostenibile ha un ruolo sempre più importante.

Per raggiungere questo obiettivo è necessario pensare ad un veicolo che sfrutti l'impiego di componentistica di potenza innovativa e soluzioni all'avanguardia per il risparmio energetico che coinvolgano non solo il veicolo, ma l'intera rete.

Un veicolo più leggero implica una riduzione dei costi di esercizio, assorbendo questo minore potenza si ha la possibilità di scegliere azionamenti più leggeri instaurando un ciclo virtuoso.

Un'infrastruttura all'avanguardia invece permetterebbe il recupero energetico, sfruttando la peculiarità del servizio ferroviario, che vede molte linee regionali ed urbane caratterizzate da frequenti frenature.

Quanto sopra assume un'importanza rilevante per quanto concerne il trasporto merci e la sua coesistenza su linee per il trasporto passeggeri.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Dal punto di vista dell'elettronica di potenza, negli ultimi anni, sono state fornite numerose soluzioni altamente efficienti ed a costo contenuto, che se applicate in ambito ferroviario potrebbero

favorire la progettazione di strutture più leggere e quindi l'impiego di materiali innovativi che permetterebbero l'alleggerimento del veicolo, con la possibilità di ridurre la potenza richiesta durante il servizio e l'impiego di motori a magneti permanenti.
Da tempo inoltre in molti ambiti sono stati sviluppati diversi studi per il recupero di energia dalla frenatura in servizio del convoglio ferroviario. Soluzioni sia di tipo meccanico che di tipo elettrico possono essere sfruttate per raggiungere questo obiettivo dal lato veicolo, mentre dal lato infrastruttura è necessario definire delle metodologie di rinnovo per favorire l'ottimizzazione del recupero energetico.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 12

SOLUZIONI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER AUMENTARE LA SICUREZZA IN MARE

DESCRIZIONE

Tra le ricerche da effettuarsi in materia di sicurezza, distinguendo tra tematiche legate al concetto di Safety e di Security, meritano di essere segnalate:

Safety

- Sistemi per la prevenzione di situazioni pericolose basati anche sulla connettività, sul monitoraggio e la localizzazione di sistemi, componenti e intere flotte.
- Aumento dell'intrinseca resilienza della nave in caso d'incidente.
- Sistemi integrati, basati sulla connettività estesa tra nave ed infrastrutture, che offrano a equipaggi e passeggeri un adeguato supporto decisionale in caso di emergenza.

Security

- Sistemi e tecnologie d'identificazione e localizzazione a bordo.
- Provvedimenti e tecnologie integrate antiterrorismo.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Prevenzione di situazioni pericolose

Dovranno essere individuati sistemi innovativi per la prevenzione di situazioni pericolose, in particolare cercando di mitigare i rischi associati al fattore umano. Ad esempio potranno essere migliorati i sistemi anti-collisione nave-nave, da usarsi in zone particolarmente trafficate, per prevenire gli incidenti. L'utilizzo di nuove tecnologie informatiche, la capacità di gestire grandi quantità di dati in breve tempo, permetterà anche di supportare il personale di bordo nell'eseguire le operazioni più routinarie, quelle cioè più soggette alle eventualità di calo di attenzione ed distrazione umana.

Aumento dell'intrinseca resilienza della nave in caso d'incidente

Sarà necessario un'ulteriore sviluppo metodologico per il soddisfacimento della normativa Safe Return to Port (SRtP) e lo sviluppo di accorgimenti e tecnologie per aumentare la resilienza della nave, post-incidente, anche oltre quanto prescritto dalla normativa.
D'altro canto, si approfondirà la ricerca di tecniche e metodologie di calcolo per la progettazione di soluzioni impiantistiche e progettuali alternative rispetto alle attuali ma equivalenti a quanto prescritto dalle norme SOLAS. Temi di particolare interesse sono le vie di fuga e i sistemi di evacuazione (sfuggite, zone tagliafuoco di grandi dimensioni e scialuppe). Questo porterà alla creazione

di prodotti innovati e appetibili per il mercato, capaci di offrire livelli di sicurezza eguali, se non superiori, ai prodotti attuali.

Sistemi che offrano ad equipaggi e passeggeri un adeguato supporto decisionale in caso di emergenza

I recenti incidenti accorsi hanno dimostrato come spesso, in seguito ad un incidente, sia mancato un'adeguata capacità da parte dell'equipaggio di rilevare tempestivamente il problema, isolarlo e gestire l'emergenza e, in casi gravi, l'abbandono della nave. La ricerca, in tal senso, dovrà sviluppare tecniche e tecnologie per supportare il personale di bordo nelle decisioni spesso difficili e concitate delle emergenze. In questo modo si auspica di poter ridurre i tempi d'intervento e migliorare l'efficacia complessiva della reazione all'emergenza aumentando la sicurezza complessiva del mezzo. La strada da percorrere sarà basata sulle nuove tecnologie in rapida evoluzione in materia di connettività, monitoraggio e localizzazione. L'ausilio di sistemi informatici permetterà di avere sempre sotto controllo la situazione con un corretto set di informazioni aggiornate in tempo reale e supporterà il personale nelle decisioni.

Sistemi e tecnologie d'identificazione e localizzazione a bordo

Diversi fattori stanno concorrendo alla necessità di investigare e creare sistemi per la localizzazione di persone e materiali a bordo nave, sempre nel rispetto della privacy. Si possono segnalare necessità legate alla logistica, alla sicurezza (sia intesa come limitazione di accesso a determinate aree riservate, sia come possibilità di rintracciare persone in caso di emergenze gravi).

Provvedimenti antiterrorismo

Stanno entrando a pieno titolo fra le priorità da studiare i provvedimenti da adottare per garantire sicurezza alle persone imbarcate e le azioni da intraprendere per difendere la nave da eventuali minacce terroristiche messe in atto da soggetti esterni. Sarà necessario implementare tecnologie avanzate per il controllo passeggeri e bagagli all'atto dell'imbarco, sempre nel rispetto della privacy, oltre che dell'intera nave, così da difenderla eventuali attacchi esterni.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

I cantieri nazionali e internazionali sono sempre molto attenti a soddisfare la domanda degli armatori e a recepire le problematiche manifestate dagli operatori del settore.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 13

SOLUZIONI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER UNA MAGGIORE SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

DESCRIZIONE

La ricerca in essere si propone limitare l'impatto ambientale di navi e altre strutture marine e in particolare cercherà di ottenere:

- Riduzione inquinanti emessi in aria (CO_2, NO_x, SO_x, VOCs, etc.);
- Riduzione d'inquinanti emessi in acqua (acque nere, grigie, di sentina, di zavorra, rumore irradiato in mare);
- Corretta gestione di altre fonti d'inquinamento (rifiuti, vernici, etc.);
- Progettazione di piattaforme energetiche multifunzionali offshore.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Riduzione inquinanti emessi in aria (CO_2, NO_x, SO_x, etc.)

Le recenti normative anti-inquinamento impongono vincoli sempre più stringenti sulle emissioni in aria. La ricerca sarà mirata, da una parte, alla creazione di efficienti sistemi capaci di abbattere gli inquinanti prodotti durante la combustione (es. scrubber per la riduzione di SO_x, filtri catalici, NH_3 SCR di bassa temperatura, etc.) e, dall'altra, all'investigazione di tecnologie e sistemi per l'utilizzo di combustibili alternativi e meno inquinanti. Il combustibile più promettente sembra essere il gas naturale liquefatto (LNG), ma sono in fase di sviluppo dimostratori e prototipi propulsi da altre sostanze (es. metanolo).

Riduzione d'inquinanti emessi in acqua (acque nere, grigie, di sentina, di zavorra, rumore irradiato in mare)

La normativa si prefigge come obiettivo la protezione dell'ambiente nel suo complesso. Negli ultimi anni si stanno inasprendo le norme a tutela dell'ambiente marino. Ne consegue che la ricerca è chiamata a sviluppare soluzioni capaci di soddisfare, in maniera pratica ed economica, tali norme in materia di gestione e trattamenti delle acque presenti a bordo, siano esse nere, grigie, di sentina o di zavorra. L'ambiente dovrà essere difeso sia dall'introduzione d'inquinati (disciolti nelle acque prima citate, o emesse dalle vernici antivegetative per proteggere la carena), sia dagli effetti di squilibrio degli ecosistemi dovuti al trasporto di organismi, catturati nelle acque di zavorra, a migliaia di miglia di distanza dal loro habitat di origine, che dagli effetti sull'ambiente marino riconducibili al rumore e alle vibrazioni irradiati in mare dagli apparati di bordo.

Altro aspetto rilevante per la salvaguardia ambientale è legato al rumore irradiato in mare. In quest'ottica andranno studiate attentamente le fonti di rumore e vibrazione. Le vie di propagazione e materiali isolanti innovativi da sostituirsi alla comune lana di roccia. Tutto questo richiederà studi caratterizzazione sperimentale e creazione di modelli per la simulazione numerica delle nuove configurazioni integrate ai nuovi materiali.

Corretta gestione di altre fonti d'inquinamento (rifiuti, vernici, etc.)

Una tematica da approfondire ulteriormente è legata allo smaltimento dei rifiuti di bordo. In particolare sulle grandi navi passeggeri sarà necessario implementare l'efficienza di sorting all'origine, differenziazione, smaltimento e incenerimento dei rifiuti, controllando e limitando le emissioni nocive e lo sviluppo d'infezioni batteriche. L'importanza del problema è legato ai volumi di rifiuti prodotti. Si stima che ogni passeggero produca circa 2,4 kg/giorno di rifiuti alimentari. Questo dato, proiettato su una nave da 5.000 persone, corrisponde alla produzione di un volume di circa 14/15 m^3 al giorno.

Progettazione di piattaforme energetiche multifunzionali offshore

Il continuo e crescente interesse per il mondo dello sfruttamento energetico offshore nelle sue diverse sfaccettature (es. campi eolici, impianti a energia maremotrice) renderà necessaria l'inizio di attività di ricerca e sviluppo di nuove tecnologie capaci di abilitare la realizzazione su grande scala e in maniera efficiente di nuove tipologie d'impianti offshore.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Attualmente esistono diverse soluzioni, in particolare per l'abbattimento dei singoli inquinanti in aria (scrubber, SCR, filtri catalitici, filtri ceramici, etc.), ma mancano soluzioni integrate e compatte realmente applicabili a bordo di navi.

Anche per il trattamento delle acque e dei rifiuti le soluzioni possibili sono molteplici, ma è necessario integrare ed ottimizzare le soluzioni migliori rendendole facilmente installabili a bordo, possibilmente limitandone l'assorbimento energetico l'impatto in termini di spazi necessari per l'installazione.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 14

SOLUZIONI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA A BORDO

DESCRIZIONE

L'efficienza energetica è sempre più un parametro fondamentale per la creazione di prodotti competitivi e appetibili sul mercato. Il prodotto navale dovrà essere rivisto in termini di contenimento globale dei consumi e sfruttamento di energie rinnovabili intervenendo su tutti gli aspetti basilari della nave:

- Sistemi di generazione elettrica (motori/generatori, turbine, etc.);
- Trasformazione e utilizzo dei cascami energetici disponibili (recuperatori di calore, ottimizzazione prodotti isolanti);
- Strumenti di simulazione per il recupero di calore disperso, controllo e gestione degli "assets" energetici (domanda e offerta) così da modulare l'utilizzo delle apparecchiature;
- Immagazzinamento (batterie, fuel-cell);
- Interventi a livello architettonico (ottimizzazione dell'interazione carena-elica, e della carena a diversi punti di funzionamento in ottica slow steaming, etc.).

La ricerca dovrà offrire nuove soluzioni tecnologiche capaci di migliore i punti sopra indicati, senza penalizzare altre performances fondamentali quali comfort e sicurezza, e mantenendo i costi compatibili con il relativo business.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'aumento costante del costo del combustibile ha fatto sì che questa sia divenuta la prima voce di spesa nella gestione operativa della nave. È chiaro che sulla minimizzazione dei consumi si giocherà la sfida del mercato navale in particolare per le navi ad elevata tecnologia che rappresentano il prodotto di punta della cantieristica nazionale. Altro importante fattore è legato alle normative per la salvaguardia ambientale che, sempre più stringenti e vincolanti, renderanno necessari sviluppi e ricerca in materia.

Nel settore passeggeri, a fronte dell'aumento della capienza specifica delle unità prodotte e dell'incremento dei livelli di servizio a bordo, diviene sempre più pressante la necessità di sviluppare soluzioni tecnologiche di generazione e distribuzione dell'energia più efficienti oltre che sistemi a ridotto consumo energetico.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Sul mercato esistono soluzioni puntuali per alcune delle problematiche inerenti alla riduzione dei consumi energetici, sviluppati in contesti diversi da quello navale e per applicazioni dimensionalmente non confrontabili.

Per quanto riguarda l'impiego di combustibili gassosi (metano, GPL) per l'alimentazione dei propulsori. Negli ultimi anni si sono intrapresi studi e sperimentazioni. Da questi è emerso come l'impiego dei combustibili gassosi presenti notevoli difficoltà legate prevalentemente allo stoccaggio e ai sistemi di sicurezza da installare.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 15

SOLUZIONI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER LA COMUNICAZIONE E LA CONNETTIVITÀ

DESCRIZIONE

Fra le principali tematiche di ricerca in materia di comunicazione e connettività meritano di essere segnalati:

- Comunicazione ship-to-shore;
- Comunicazione ship-to-ship;
- Comunicazione a bordo;
- Interazione uomo-macchina.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Comunicazione ship-to-shore

La comunicazione nave-terra è da sempre problematica. L'evoluzione e la disponibilità assoluta della comunicazione terrestre in mobilità ha creato una forte domanda di disponibilità di tali servizi anche a bordo delle navi, sia per comunicazioni tecniche che per comunicazioni personali. La ricerca dovrà trovare risposte a questa crescente domanda e dovrà offrire soluzioni capaci di abbattere sensibilmente i costi legati alle comunicazioni satellitari. In caso di navi passeggeri, queste tecnologie potrebbero abilitare la ricezione di nuovi contenuti d'intrattenimento in tempo reale.

Comunicazione ship-to-ship

La comunicazione nave-nave non differisce concettualmente non differisce troppo da quella nave-terra, ma i fini sono legati alla gestione, sicura, del traffico, della flotta e delle situazioni di emergenza.

Comunicazione a bordo

La disponibilità di servizi di comunicazione mobile a bordo è sempre più essenziale per la gestione di navi via via più grandi e, soprattutto, nel caso di navi passeggeri un'esplicita richiesta degli utenti finali.

Inoltro sarà necessario lo sviluppo di nuove reti di bordo che permettano di supportare la disponibilità di dati e l'offerta di servizi e in ogni area della nave. Questi servizi, nel caso di navi passeggeri potranno essere legati all'intrattenimento ad alto valore aggiunto (es. promozioni, eventi, pubblicità, ecc.), così da permettere contestualmente una gestione integrata ed efficiente delle strategie commerciali e di marketing da parte dell'armatore.

Interazione uomo-macchina

L'interazione uomo-macchina sta diventando un legame sempre più stretto. Queste tecnologie potranno semplificare la gestione di singoli sistemi e perfino dell'intera nave. Inoltre nelle zone

abitative potranno essere importati concetti e tecnologie simili a quelli sempre più diffusi nel settore edilizio legati ai servizi di domotica.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Alcune recenti costruzioni stanno cercando di aprire la strada verso un rapido sviluppo tecnologico nell'ambito della comunicazione. Attualmente non esistono realizzazioni di sistemi complessi e pienamente integrati come quelli realizzati, ormai abbastanza frequentemente, a terra in ambito sia industriale che civile.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 16

SOLUZIONI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER MIGLIORARE IL COMFORT DEI PASSEGGERI E DELL'EQUIPAGGIO

DESCRIZIONE

In ambito navale le necessità di ricerca si possono così circoscrivere:

- Miglioramento delle qualità vibro-acustiche dei mezzi;
- Ottimizzazione del comfort termico;
- Ottimizzazione del comfort visivo, in particolare attraverso studi illuminotecnici;
- Miglioramento della qualità percepita grazie alle finiture;
- Di fondamentale importanza restano anche gli strumenti progettuali necessari per la previsione delle prestazioni nelle primissime fasi di sviluppo.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'obiettivo di queste ricerche consiste nel mettere a punto una serie di strumenti progettuali indispensabili per poter definire a priori il più elevato livello di comfort ottenibile in relazione alle prestazioni richieste alla nave da parte dell'Armatore. Detti strumenti dovranno consentire di poter ottimizzare i costi ed i pesi delle soluzioni individuate, in relazione ai reali benefici ottenibili in esercizio. Detti sistemi dovranno anticipare i nuovi e sempre più stringenti orientamenti in materia di standard di silenziosità, stabilità di piattaforma, qualità dell'aria respirata ed emissioni elettromagnetiche per i quali le Società di classifica stanno ridefinendo i criteri di misura ed i dettami normativi.

Oggi, in risposta alla sempre maggiore attenzione alla qualità della vita a bordo delle navi da parte dei passeggeri e dell'equipaggio, il raggiungimento di livelli crescenti di confort vibro-acustico riveste per gli operatori del settore un ruolo strategico per il mantenimento della leadership tecnologica e la crescita in termini di competitività. Ad oggi il mercato delle navi cruise, degli yacht e dei mega yacht è uno dei pochi settori in cui l'Italia può ancora essere all'avanguardia a livello mondiale.

Con questo intervento si cercherà di migliorare il metodo di approccio a livello progettuale per il dimensionamento strutturale atto all'aumento del comfort a bordo e delle prestazioni energetiche. Un buon livello di comfort permette l'assegnazione da parte dei registri di classifica di Comfort Class che aumentano notevolmente il valore commerciale dell'imbarcazione. Un alto livello di prestazione strutturale ed energetica riduce i consumi, migliora la fruibilità e il comfort dell'imbarcazione e quindi la competitività del prodotto. In questo contesto, l'attività si propone di sviluppare metodi, tecnologie e sistemi per massimizzare i livelli di benessere a bordo in relazione agli aspetti vibro-acustici. Detti strumenti dovranno in particolare anticipare i nuovi e sempre più stringenti orientamenti in materia di standard di silenziosità, alla luce dei quali anche le società di classifica vanno definendo idonei criteri normativi e di misura. In concreto, la massimizza-

zione del comfort acustico percepito può essere realizzata attraverso lo sviluppo di metodologie integrate e sistemi avanzati di contenimento del rumore interno ed esterno e delle vibrazioni.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Complessivamente sono disponibili ricerche e studi propedeutici relativi ai singoli argomenti ma non esiste un approccio sinergico al problema del comfort.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 17

SOLUZIONI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVI MEZZI MARINI

DESCRIZIONE

L'attuale richiesta di usare mezzi navali in situazioni fino a poco tempo fa inconsuete sta rendendo necessario l'indagine e la ricerca tecnologica per lo sviluppo di nuovi concept. In particolare si segnalano:

- Mezzi per lo sfruttamento delle risorse offerte dall'ambiente marino o lo svolgimento di operazioni complesse (impianti offshore, deep-sea mining, etc.);
- Mezzi capaci di operare in ambienti estremi (regioni artiche o con condizioni di mare estreme);
- Mezzi autonomi (Unmanned Vehicles per l'esplorazione scientifica, l'ispezione e manutenzione di zone difficilmente accessibili o pericolose o per il soccorso in ambienti ostili);
- Altri mezzi con differenti usi (trasporto in aree urbane, disinquinamento, servizi ecologici, supporto in caso di calamità, security).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'ambiente marino si sta rivelando sempre più come una risorsa preziosa. La limitatezza di disponibilità sulla terra ferma di alcune materie prime (principalmente gas naturale e metalli come rame, cobalto, oro, argento, manganese) unitamente al loro alto valore commerciale, sta rendendo interessanti gli investimenti in tecnologie estrattive in alto mare, anche in zone con condizioni ambientali estreme.

Un tale interesse comporta la necessità di sviluppare mezzi non solo per l'estrazione ma anche per il supporto tecnico capaci di operare in ambienti ostili (ambienti artici, stati di mare critico, acque profonde, etc.) ed offrire capacità molto complesse (posizionamento dinamico, perforazione in acque profonde, etc.). Sicuramente l'operatività in ambienti inospitali e pericolosi sarà uno stimolo alla progettazione, alla costruzione ed all'uso di mezzi automatizzati. Queste tecnologie troveranno anche spazio nello svolgimento di ruoli meno estremi come ad esempio l'ispezione di casse o zone difficilmente accessibili.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La cantieristica navale occidentale, compresa quella italiana, da diversi anni sta cercando di specializzarsi sulla costruzione di mezzi ad alto valore aggiunto ed altamente tecnologici. Questa leadership potrà essere bene spesa per consolidare un mercato di nicchia ed in forte fase di sviluppo.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 18

SOLUZIONI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER IL PROCESSO PRODUTTIVO ED IL LIFE-CYCLE DEL PRODOTTO

DESCRIZIONE

Le principali tematiche in materia di processo produttivo su cui si concentrerà la ricerca nei prossimi anni sono:

- Automazione e robotica industriale e tecnologia ICT;
- Impiego di tecniche di realtà aumentata a supporto degli operatori nelle operazioni di manutenzione, assemblaggio e refitting;
- Sviluppo di nuovi materiali e/o l'integrazione di materiali eterogenei. Ricerche su materiali compositi con basi naturali e riciclabili;
- Contenimento delle problematiche legate alla corrosione ed alla rottura per fatica dei metalli;
- Nuove soluzioni di pitturazione per aumentare la durata e ridurre l'impatto ambientale;
- Ottimizzazione ed automatizzazione dei processi produttivi (saldature, incollaggi e trattamenti dell'acciaio, etc.);
- Introduzione di tecniche di 3D printing in ambito navale;
- Efficientamento delle potenzialità dei bacini di carenaggio tramite l'introduzione di sistemi automatizzati;
- Sviluppo di sistemi robotici per il supporto alle operazioni di ispezione e manutenzione a bordo;
- Monitoraggio strutturale tramite tecniche non convenzionali (vibro-acustica avanzata) e analisi dei dati real-time per l'identificazione di danni derivanti sia dal processo produttivo sia dall'utilizzo;
- La gestione del fine vita e dello smantellamento della nave, in accordo con la Convenzione di Hong Kong (disassemblaggio, riciclo, *upcycling* e *lowcycling*), comporterà la necessità di introdurre metodologie di *"Life Cycle Assessment", "Life Cycle Design", "Design for Dismantling and Disassembling"*.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

In un approccio integrato si auspicano soluzioni innovative di robotica industriale, per migliorare l'integrazione tra progettazione e produzione, e l'impiego di sistemi automatizzati e tecnologia ICT (studio d'immagini, modellazione 3D da rilevato full-scale, realtà aumentata, robotica), per migliorare le prestazioni in termini di efficienza e sicurezza in contesti di produzione, manutenzione, ispezione.

La rapida evoluzione tecnologica che stanno subendo le navi richiede un adeguamento dei processi e delle tecnologie costruttive per poter garantire alti standard di qualità e sicurezza al prodotto. Inoltre il veloce sviluppo di nuove tecniche (saldatura laser-ibrido, 3D printing, etc.) potrà

dar vita a processi produttivi innovativi capaci di ridurre sfridi, creare a basso costo forme complesse e migliorare la qualità del prodotto finito.
Tutto quanto sopra descritto, permetterà:

- l'aumento della capacità operativa dei cantieri, anche grazie all'integrazione delle aree a terra e a mare;
- la riduzione dei costi per la manutenzione ed il controllo;
- l'incremento della sicurezza delle operazioni;
- il miglioramento della manutenzione preventiva ai fini della prevenzione di incidenti causati da danni strutturali;
- l'aumento della durata delle strutture, con conseguente riduzione dei danni ambientali;
- il maggiore utilizzo di materiali riciclabili.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Nel panorama internazionale si registrano intensi sforzi di ricerca nella direzione sopra descritta. In questo contesto l'attività nazionale è, probabilmente, meno strutturata, anche se esistono a livello nazionale alcune aziende capaci di eccellere già oggi su alcuni dei singoli punti sopra descritti.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 19

SOLUZIONI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER INFRASTRUTTURE, LOGISTICA E PORTUALITÀ

DESCRIZIONE

Il successo del servizio del trasporto marittimo ha una forte relazione con l'efficienza dell'infrastruttura portuale. Esistono iniziative di ricerca e sviluppo in diversi ambiti riguardanti:
"e-navigation": sistemi per la pianificazione, la gestione ed il monitoraggio delle operazioni a terre ed in mare;

- Rete di distribuzione di combustibili alternativi ed a basso impatto ambientale (es. LNG);
- Produzione combinata di energia a terra per il supporto alla nave in porto;
- Soluzioni che favoriscano l'inter-modalità dei trasporti;
- Integrazione tra porto e area urbana in prospettiva di sostenibilità socio-economico-ambientale;
- Sistemi per la tracciabilità delle merci su scala europea.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Lo sviluppo delle infrastrutture a terra è di vitale importanza per l'intero comparto navale e per l'avanzamento tecnologico. È impensabile presumere di voler alimentare navi con combustibili alternativi, LNG in primis, senza, contemporaneamente, predisporre una rete in grado di permettere il corretto rifornimento. Egualmente è impensabile costruire navi da trasporto, siano essi merci o passeggeri, senza la predisposizione di strutture per capaci di accogliere e redistribuire il carico.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In ambito internazionale si registrano alcuni sforzi di ricerca nella direzione sopra citata, in particolare grazie al programma europeo TEN-T. Le difficoltà nel realizzare soluzioni funzionali ed intermodali favoriscono e rendono maggiormente competitive altre tipologie di trasporto, in particolar modo sulle distanze ridotte.

fincantieri.it

PROGETTIAMO E COSTRUIAMO IL FUTURO DEL MARE.

E continuiamo a farlo da oltre 200 anni. Con più di 7.000 navi realizzate, siamo il primo costruttore navale per diversificazione e leader mondiale nella costruzione di navi da crociera. Grazie ad un ampio patrimonio di tecnologia ed eccellenze, siamo in grado di progettare e costruire qualunque tipo di mezzo navale complesso, dalle navi da crociera alle unità offshore, da quelle militari ai mega yacht. Un risultato ottenuto continuando ad innovare e ricercare tecnologie all'avanguardia. Progettiamo e costruiamo ogni giorno il futuro del mare, perché tra gli italiani e il mare la storia non finisca mai.



FINCANTIERI

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore 6 – Trasporti

CENTRO RICERCHE FIAT	Marco Mauro (Coordinatore)	
ASSING	Fazio Bianco	
BREMBO	Alessandro Ciotti	
	Valerio Galizzi	
	Luca Menapace	
	Guido Perricone	
	Beniamin Szewczyk	
CENTRO RICERCHE FIAT	Luisa Andreone	Daniela Magnetto
	Giorgio Boero	Maurizio Miglietta
	Mauro Casella	Silvia Quattrocolo
	Andrea Gerini	Vittorio Ravello
	Carlo Liberto	Patrizio Turco
	Francesco Lilli	Stefania Zandiri
CNR-INSEAN	Emilio Fortunato Campana	
	Enrico De Bernardis	
ENEA	Giuseppe Barbieri	
	Antonino Genovese	
ENI	Pietro Scorletti	
	Silvia Pavoni	
FINCANTIERI	Andrea Castino	
	Lucio Sabbadini	
	Alessandro Maccari	
PROPLAST	Giorgio Ramella	
WARRANT GROUP	Francesco Lazzarotto	

con la collaborazione di:

ANFIA AUTOMOTIVE	Marisa Saglietto
	Fabrizia Vigo
ANSALDO STS	Antonio Ruggeri
DALLARA	Luca Vescovi
POLITECNICO DI MILANO	Laura Mazzola
	Ferruccio Resta
RFI	Mario Testa

SETTORE 7

>AERONAUTICA<

PROFILO DEL SETTORE

Il trasporto aereo muove più di 3 miliardi di passeggeri e circa 50 milioni di tonnellate di merci l'anno, con un forte trend di crescita, che ha visto in passato raddoppiare i volumi ogni quindici anni dal 1977 in poi e prevede per il 2030, un numero passeggeri di circa 6 miliardi, con circa 60 milioni di partenze ed atterraggi[1].

Nello scenario globale l'aeronautica ed il trasporto aereo sono quindi settori di vitale importanza e componenti fondamentali per la prosperità e la crescita economica.

L'aeronautica è da sempre un catalizzatore di crescita e benessere economico, di competenze e tecnologie, elemento trainante della crescita industriale. Non a caso molte realtà emergenti o ri-emergenti come la Cina, la Russia, il Brasile, l'India, diversi paesi medio orientali (EAU, Qatar) e nord africani (Tunisia, Marocco), stanno fortemente sostenendo la crescita del settore aeronautico per differenziare il loro sistema produttivo e trainare la crescita tecnologica complessiva.

Il Settore Aeronautico europeo contribuisce significativamente alla bilancia commerciale ed alla competitività mondiale europea, sostiene la strategia dell'economia della conoscenza tramite ingenti investimenti in R&D, è un elemento importante per la coesione dell'Unione, garantendo collegamenti sostenibili ed efficienti, è un facilitatore importante per l'integrazione di regioni periferiche, stimola l'apertura di nuovi mercati. L'aeronautica è un settore tecnologicamente d'avanguardia in grado di fornire sistemi atti a supportare la richiesta di sicurezza, a realizzare attività di intelligence e controllo a supporto di forze di polizia,

1 ICAO: *Annual report of the ICAO Council 2013* e *Global Air Transport Outlook to 2030 and trends to 2040*

ma anche di garantire servizi d'emergenza, attività di monitoraggio del territorio, supporto in caso di catastrofi naturali e controllo del clima e dell'inquinamento.

A causa della sua operatività su scala globale e delle sue peculiari caratteristiche, il trasporto aereo civile è sensibilmente influenzato da eventi di portata sovranazionale. A titolo di esempio si possono citare gli effetti sul traffico aereo derivanti dall'attacco terroristico alle Torri Gemelle, dalla guerra in Afghanistan ed in Iraq, dalla SARS[2], dalle polveri del vulcano islandese Eyjafjallajökull, dall'ondata di neve del 2010, dal terremoto in Giappone, dalle rivolte nord africane e medio orientali (Fig. 107).

Nonostante il trend positivo di lungo periodo, i limitati momenti di riduzione della domanda uniti alle difficoltà a reperire finanziamenti sul mercato, hanno indotto le compagnie aeree ad annullare o differire gli ordini per nuovi velivoli, con conseguenze drammatiche, per quanto contingenti, per l'industria aeronautica.

Aldilà degli eventi puntuali, dal 1980 ad oggi, il traffico aereo è cresciuto negli ultimi trent'anni in media del 5% annuo.

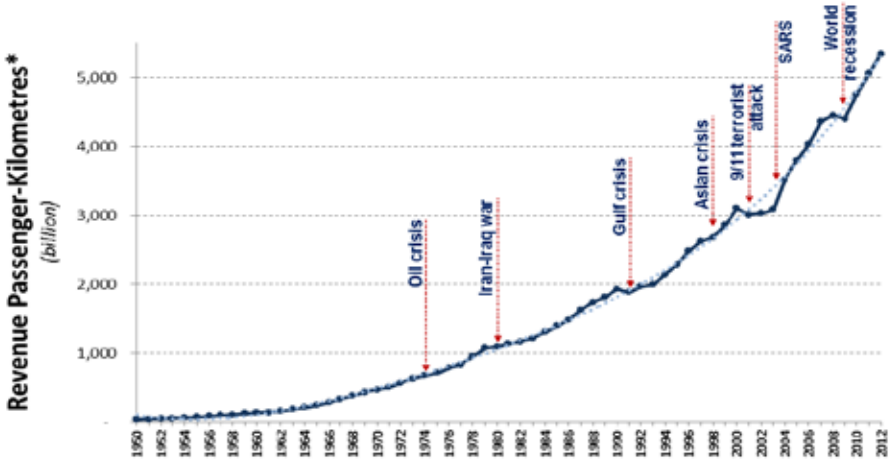


FIG. 107 – TRAFFICO AEREO IN CORRISPONDENZA DI EVENTI STRAORDINARI
(1950-2012)
Fonte: ICAO

Questi dati storici, associati ad una crescita media nei prossimi vent'anni del PIL mondiale del 3,2%, fanno prevedere, per il solo segmento dell'ala fissa, una crescita media annua del 5% per nel traffico aereo (RPK) e del 4,7% nel traffico

2 SARS: Severe Acute Respiratory Syndrome

cargo (RTK)[3] tra il 2014 ed il 2033[4]. Il valore dell'aeronautica civile sarà di circa 5,2trilioni di Dollari, per un numero di velivoli in flotta di circa 42.180 e di nuovi velivoli (sostituzione e crescita organica) di circa 36.770 velivoli.[5]

La crescita nel traffico aereo è d'altra parte fortemente trainata dalla crescita dei paesi emergenti, primi fra tutti quelli asiatici, ma anche medio-orientali, latinoamericani ed africani.

Si assiste ad un costante spostamento di pesi percentuali tra il traffico delle aerolinee europee ed americane, che negli anni '90 rappresentavano più del 70% del traffico totale, e quello dovuto alle realtà emergenti. Spostamento che si riflette sulla domanda di nuovi velivoli nel mondo, con le regioni dell'asia-pacifico che conteranno da sole per il 37% della domanda complessiva.

L'evoluzione dello scenario industriale

Il Sistema di Trasporto Aereo (STA) – l'insieme di tutte le aziende ed enti che lavorano nel settore: sviluppo, produzione, manutenzione, compagnie aeree, aeroporti, servizi per la navigazione, autorità regolamentatrici, ricerca – ha dimostrato di essere uno dei settori che più ha contribuito alla crescita Europea. Esso costituisce una rete di comunicazione fondamentale consentendo contatti interpersonali e facilitando il commercio su scala globale.

L'industria aeronautica europea ha generato nel 2013 ricavi per oltre 138,4b€[6], circa il 40% dei ricavi complessivi su scala mondiale del settore aeronautico. L'industria aeronautica europea impiega in attività dirette più di 515.000 persone con professionalità di alto profilo, che rappresentano circa il 31% della forza lavoro occupata nel settore aeronautico su scala mondiale, in crescita del 3,4% rispetto al 2012. L'investimento in R&D è stato pari a circa 16b€. Tradizionalmente la leadership mondiale nel settore è detenuta dagli Stati Uniti d'America e dall'Europa, tuttavia lo spostamento dell'asse economico verso Oriente e l'emergere di nuove realtà economiche sta ridisegnando la mappa del settore aeronautico. La forte domanda di nuovi velivoli, associata ad un'aggressiva campagna di crescita tecnologica ed industriale, al lavoro a basso costo ed al supporto governativo, stanno portando alla nascita di nuovi poli aeronautici internazionali. Accanto ai colossi Occidentali (Airbus, Boeing, Bombardier, ecc.) nuove realtà stanno cercando di affermarsi non solo sul proprio mercato interno ma lanciando sfide sui mercati internazionali[7]. La loro crescita vede una

3 RPK: Revenue Passenger Kilometers, RTK: Revenue Ton Kilometer

4 Boeing Current Market Outlook 2014-2033

5 Boeing Current Market Outlook 2014-2033. Il dato di riferisce al solo mercato dei velivoli civili ad Ala fissa (con esclusione dei segmenti Regionali Turboprop e General Aviation)

6 Facts & Figures ASD 2013

7 È il caso, ad esempio, dell'industria aeronautica Cinese Avic, che ha lanciato il velivolo regionale ARJ21 e il narrow

profonda integrazione e ristrutturazione dello storico tessuto industriale, accompagnata da un'aggressiva strategia di crescita tecnologica, fondata, in una prima fase, sulla collaborazione con consolidate aziende del settore di respiro internazionale[8] ed una successiva focalizzazione su prodotti e partnership caratterizzate da una maggiore indipendenza tecnologica, tanto da far intravedere, in scenari di medio periodo, mire di autarchia tecnologica. Questa strategia è d'altra parte "involontariamente" sostenuta dai processi di delocalizzazione, non solo del manufacturing ma anche di attività di *engineering*, verso realtà emergenti[9,] che oltre a presentare costi decisamente ridotti, presentano anche buone competenze tecniche di base (Fig. 108).

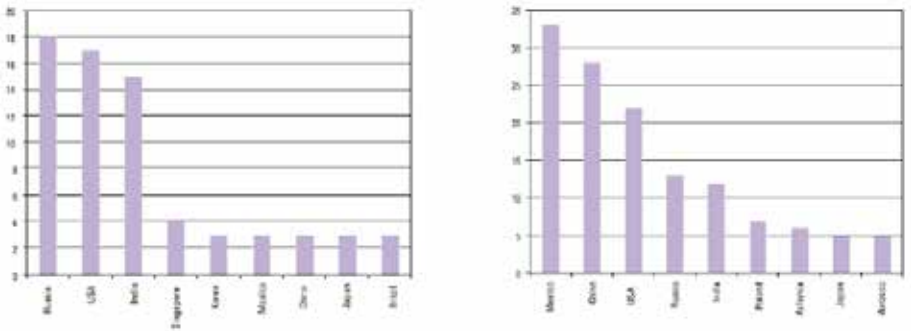


FIG. 108 – A SINISTRA, INVESTIMENTI IN R&D NEGLI ULTIMI 20 ANNI, A DESTRA INVESTIMENTI IN MANUFACUTRING NELLO STESSO PERIODO. FONTE: AEROSTRATEGY

I grandi produttori mondiali sono passati dalla gestione di catene di fornitura di componenti su scala globale (cosa ampiamente affermata da vari decenni) ad integrare competenze su scala globale all'interno di tutto il *life cycle* del prodotto aeronautico, dall'*engineering* alla produzione[10,] dal *customer support* all'MRO, integrando una catena di specializzazioni orizzontali. I vantaggi per l'integratore risiedono nel miglioramento della produttività, nella possibilità di accedere ad un pool di competenze decisamente più ampio, alla possibilità di condividere ri-

body Comac 919. In maniera analoga la russa Sukhoi è entrata nel mercato dei regional jet con l'SSJ100, mentre la IRKUT sta sviluppando il narrow body MS 21

8 L'ARJ21 è stato sviluppato in collaborazione con 19 aziende aerospaziali statunitensi ed europee, tra cui: Bombardier, General Electric, Honeywell, Rockwell Collins. L'SSJ 100 in collaborazione con Alenia Aermacchi, Snecma, Thales, Honeywell, Hamilton Sundstrand, Liebherr, ecc. in ruoli di integratori di sistema, mentre per l'MS21 è in sviluppo in collaborazione con Pratt & Withney, Hamilton S., Rockwell Collins, ecc. tuttavia, in questo caso, con forti partnership con aziende russe, in grado di assumere ruoli sempre più importanti all'interno del programma.

9 L'"Engineering Design Center" di Boeing in Mosca conta circa 2.000 impiegati, Honeywell

10 È interessante notare come negli ultimi anni anche segmenti di produzione considerati storicamente a più alto valore e tendenzialmente tenuti in casa, come il final assembly, siano stati de localizzati in aree a forte crescita del mercato: Airbus ha aperto un linea di assemblaggio finale a Tianjin, mentre Embraer ha fatto lo stesso in Harbin per gli ERJ, Goodrich ha formato una JV con Xi'an Aircraft International per la realizzazione di landing gear e nacelles.

schi ed investimenti di sviluppo rispetto ad un modello ad integrazione verticale ed accedere contemporaneamente a finanziamenti pubblici da diverse fonti, di ridurre i cicli di sviluppo prodotto e di avere accesso facilitato a mercati emergenti. I rischi consistono essenzialmente nel supportare la rapida crescita di potenziali concorrenti.

D'altra parte – nonostante la temporanea crisi dei mercati – la crescita economica[11], la crescita della domanda militare, la determinazione politica alla promozione ed alla spinta della crescita del *know-ho*w nazionale[12], nonché le operazioni industriali di razionalizzazione e rilancio dell'industria nazionale[13], associate anche a *labour cost* non comparabili con quelli dei paesi occidentali e considerevoli competenze tecniche, fanno pensare che nel medio-lungo periodo le realtà industriali dei paesi emergenti (in particolare Russia, Cina e India) possano rivestire ruoli non trascurabili nello scenario aeronautico mondiale.

La situazione europea

L'industria europea ha raggiunto oggi livelli di eccellenza tecnologica e volumi di fatturato che la pongono in diretta concorrenza con le aziende statunitensi ed in gara per la *leadership* mondiale (almeno per il settore civile).

Il settore aerospazio in Europa sta rapidamente crescendo ed oggi è fra i primi 15 settori industriali per numero di persone impiegate.

Nel 2013 il valore dell'export è stato di circa 88b€ (Fig. 109).

Nel settore aeronautico la tecnologia ha rivestito un ruolo fondamentale in questa evoluzione e continua ad averlo sia in termini di miglioramento del trasporto, che in termini di competizione industriale; in questo settore la spesa per Ricerca e Sviluppo nelle aziende arriva a livelli più che significativi del fatturato, con ricadute anche su altri settori.

11 I dati di crescita del PIL mondiale per il 2013 indicano una crescita media del 3,2% . Valori più alti si registrano in Asia, con una media del 4,5%

12 Li Benjian, direttore della Commissione Scienza Tecnologia e Industria per la Difesa Nazionale Cinese, a questo proposito nel settembre 2007 ha dichiarato: technically there was "a gap betweeen what is happening in China and the rest of the world, but we're determined to narrow that gap" fonte: *Financial Time*, 6 Settembre 2007

13 Vedi caso dell'United Aircraft Building Corporation Russa e della China Aviation Industry Corporation



FIG. 109 – ESPORTAZIONI CIVILI E MILITARY, FONTE: ASD FACTS AND FIGURES 2013

Nell'ottobre 2004 l'*Advisory Council for Aeronautics Research in Europe* (ACARE), un team che include più di 40 membri, rappresentanti sia delle Istituzioni che dei principali attori del mondo aeronautico europeo (industrie, centri di ricerca, aerolinee, enti del controllo del traffico aereo e certificatori), ha emesso le *Strategic Research Agenda (di cui l'ultimo aggiornamento disponibile al momento della redazione di questo documento riguarda SRIA)* che identifica le necessità tecnologiche e le modalità per raggiungere gli obiettivi di alto livello definiti nelle *Vision* per il settore aeronautico:

- rispondere alle esigenze della comunità sociale europea;
- mantenere la leadership globale.

Quanto citato nel paragrafi precedenti dimostra una volontà di coordinamento a livello europeo, per il settore civile e duale, al quale l'Italia non può sottrarsi. L'iniziativa ACARE-Italia, che raccoglie tutti gli operatori nazionali, propone gli indirizzi strategici per le attività di ricerca e sviluppo del settore aeronautico italiano, in armonia con quelli della *Vision di ACARE EU* ma tenendo conto delle peculiarità della realtà italiana. ACARE-Italia ha già prodotto nel 2006 una *Vision* nazionale che presenta le sfide e gli obiettivi specifici condivisi da tutti gli *stakeholders* nazionali. Nel dicembre 2013 è stata pubblicato l'ultimo aggiornamento della Strategic Research and Innovation Agenda italiana (SRIA It) che rappresenta la road map strategica nazionale per la ricerca tecnologica nel settore del trasporto aereo.

Il settore militare è ovviamente condizionato dallo scenario geo-strategico e dalle scelte governative; il comparto industriale vanta prodotti di elevato livello, nonché esempi di collaborazione europea di durata pluridecennale; purtroppo, esempi di collaborazioni plurinazionali si hanno su specifici programmi, non sull'intero settore, e non in modo continuativo.

I budget della difesa sono sempre più squilibrati fra i due lati dell'Atlantico,

con la parte europea in attesa della piena operatività della Agenzia Europea della Difesa (EDA), sia per le politiche di R&T che per quelle di acquisizione.

Nel 2013 l'EDA ha pubblicato gli ultimi dati sulla spesa per la Difesa dei 26 paesi europei associati. Si registra una costante decrescita dei budget della difesa europea a partire dal 2006, con una riduzione nel 2012 rispetto al 2011 di circa il 3%. La spesa per R&D della difesa è stata nel 2012 circa la metà di quella del 2006. Analogamente la spesa per l'R&T ha raggiunto i valori minimi dal 2006.

La grave crisi economica degli ultimi anni ed il crescente deficit sia degli USA che delle Nazioni europee hanno aumentato notevolmente la pressione sulla riduzione dei budget della difesa; in Europa tale riduzione è iniziata già dal 2006, mentre negli USA (prima nazione al mondo per spesa militare) si è registrata un'inversione di tendenza nella spesa per la difesa, per la prima volta nell'ultimo decennio, dal 2011, quando la spesa militare è risultata inferiore circa del 1% rispetto a quella dell'anno precedente. Il trend si è accentuato nel gli anni successivi, con una riduzione di spesa media superiore al 6,5%[14].

In maniera inversa le realtà emergenti, prima fra tutte la Cina, associano ad un PIL crescente, budget per la difesa crescenti, negli ultimi 10 anni, a ritmi medi superiori al 10% annuo.

La situazione italiana

L'industria nazionale ha un ruolo significativo in vari ambiti del settore aeronautico europeo e mondiale. Come esempi importanti, ma non esaustivi, possono essere citati:

- la progettazione e costruzione di: velivoli leader di mercato:
  - civili regionali 40-70 posti nel mercato attuale e fino alla classe 100 posti con motorizzazione sia turbogetto sia turboprop nel prossimo futuro,
  - velivoli militari da trasporto, da combattimento e da addestramento,
  - elicotteri (civili e militari) e nel futuro convertiplani,
  - motori, equipaggiamento, avionica e sistemi di*Air Traffic Management* (ATM)
- la presenza nel segmento nascente dei velivoli senza pilota, sia con prodotti che con programmi di dimostrazione tecnologica;
- la progettazione e costruzione di strutture complesse sia per i prodotti nazionali proprietari (velivoli ed elicotteri) sia in partnership o subfornitura per grandi velivoli commerciali (Airbus e Boeing) e di strutture per il settore elicotteristico;
- la progettazione sistemistica integrata;
- la progettazione e produzione di componenti ed equipaggiamenti elettronici

14 SIPRI Military Expenditure Database, SIPRI 1998-2013, valori calcolati a valtua costante

e meccanici, sia di bordo che di terra;
- la progettazione e costruzione di velivoli relativi all'aviazione generale e d'affari, segmento di mercato che rappresenta il 90% della flotta aerea mondiale.

L'industria nazionale, è soggetta tuttavia ai notevoli rischi dovuti alla forte espansione USA, supportata da grandi programmi nazionali di sviluppo tecnologico, all'affermarsi di realtà emergenti, al rischio di nanismo industriale, all'atavica penuria di capitali, alla mancanza di una politica industriale nazionale per l'aeronautica adeguatamente chiara.

L'industria aerospaziale italiana è la quarta più grande in Europa, dopo Francia, UK e Germania.

Nel 2008 ha generato circa 8.7b€ ed un investimento in R&S di circa 1,4b€, impiegando circa 32,400 persone[15].

Tenendo anche in conto la riduzione della presenza del settore automobilistico su base nazionale, l'industria aeronautica costituisce il settore manifatturiero trainante in termini di innovazione e tecnologica, con grosse potenzialità di traino della crescita industriale nazionale. Il settore vede inoltre un crescente coinvolgimento di Università e Centri di Ricerca.

Nonostante numeri non marginali nello scenario europeo, una parte significativa dell'aeronautica italiana appare sottodimensionata, in un settore industriale che si presenta sempre più aggregato intorno a nuovi grandi poli (americano, europeo-Eads, russo-UAC, cinese-AVIC). Tutto ciò spesso porta ad inefficienze strutturali e non permette il raggiungimento della massa critica richiesta dal business, sia per i volumi di spesa in ricerca tecnologica che per gli investimenti in sviluppo prodotto. L'industria aeronautica italiana è chiamata oggi a superare la crisi che la sta colpendo pesantemente, sviluppando e perseguendo una *vision* industriale capace di delinearne un nuovo ruolo sullo scacchiere internazionale. Un percorso strategico di questo tipo va tuttavia supportato con azioni coerenti di crescita non lineare, investendo pesantemente in nuovi programmi, per posizionarsi con famiglie di prodotto, come player autorevoli in specifici segmenti di mercato. Tutto ciò non può che passare attraverso il consolidamento del percorso di crescita di specifiche capacità tecnologiche ed un approccio aggressivo a mirati segmenti di mercato, anche attraverso acquisizioni ed adeguati investimenti. Questa scossa industriale necessita del contributo di tutto il sistema paese, che deve prendere finalmente coscienza del ruolo dell'industria aeronautica per l'economia e la crescita tecnologica nazionale valorizzandone le competenze ed i programmi nazionali, ma richiede contemporaneamente un nuovo approccio manageriale che trovi, dopo decenni di confronto con un mercato (alme-

15 Competitiveness of the EU Aerospace Industry with focus on: Aeronautics Industry (2009)

no parzialmente) protetto e monocliente, nell'eccellenza e nella competitività di prodotto la sua linea guida.

L'industria aeronautica nazionale rischia di cadere in una complessa e di difficile situazione di stallo, in bilico tra programmi troppo deboli finanziariamente e troppo poco complessi tecnologicamente da non essere facili prede di nuovi competitor emergenti e programmi di nicchia, dal significativo contenuto tecnologico e dai potenziali buoni *economics*, ma dalla massa critica insufficiente per il loro stesso sostentamento.

Per evitare una crisi che rischierebbe pericolosamente di condurre verso il collasso strutturale sarebbe necessaria una significativa iniezione di capitali, tali da dare respiro ad un prospettiva strategica di medio/lungo periodo, correlata a importanti accordi industriali e strategici, per proporsi sul mercato come leader o player di valore in coerenti segmenti di business. Contemporaneamente sarebbe necessario iniziare un organico processo di riconversione che possa portare produzioni a più basso valore aggiunto e più facilmente attaccabili verso produzioni a maggiore complessità, con più alto livello tecnologici e più alto valore del prodotto. È questo un processo articolato, ma non impossibile, che richiederebbe un grande sforzo di cooperazione tra grande industria, PMI, istituzione e centri accademici, per riuscire a riconvertire competenze, tecnologie e know how in segmenti industriali di cui il sistema nazionale è privo o quasi. Il risultato potrebbe avere un doppio benefico effetto, uno quello ovvio di mantenere un livello di partecipazione al settore industriale evitando il danno occupazionale e sociale di perdere grosse parti di indotto e produzioni dal territorio nazionale, l'altro quello di inserirsi in segmenti in cui oggi la nostra industria aeronautica non è rappresentata e deve stare, anche come system integrator alla mercé di player esteri. In sostanza sarebbe auspicabile che l'industria aeronautica italiana fosse in grado di evolvere, senza riduzioni di capacità produttiva né tantomeno di dispersione del considerevole patrimonio tecnologico, verso nodi della filiera aeronautica di maggior rilievo, tali da permettere di controllare la catena del valore aeronautica, anche senza necessariamente occuparli[16]

La crescita industriale nazionale richiede anche -come sostenuto da ACARE Italia con il MIUR- una strettissima cooperazione, sinergia e correlazione tra i progetti nazionali e quelli europei sostenuti in seno ai Programmi Quadro europei al fine da un lato di rendere efficienti e difendere le eccellenze nazionali, dall'altro di acquisire le tecnologie oggi non sviluppate in Italia che però hanno valenza strategica ed industriale per il comparto italiano.

L'alternativa a tutto ciò è rimanere relegati ad un ruolo marginale, alle dipendenze tecnologiche di player esteri ed industrialmente confinati a compiti

16 "Specializzazione e Diversificazione Verticale lungo le Filiere Internazionali dell'Aeronautica" S.Bolatto, P.Frigerio, S.Grimaldi, L'Industria, Ed. Il Mulino, 2014

di subfornitura, dilapidando le pur rilevanti capacità tecnologiche, in alcuni casi eccellenze mondiali, che con fatica il settore è riuscito a guadagnare negli ultimi vent'anni.

MERCATO

La domanda di **velivoli civili** ad ala fissa è stimata in stabile crescita, con un'evoluzione, ad esempio della flotta, dai 20.910 velivoli del 2013 ai 42.180 velivoli del 2033, dati che corrispondono ad una domanda di 36.770 nuovi velivoli nei prossimi vent'anni, con un valore complessivo pari a 5.200b$ su scala mondiale[17].

La domanda di velivoli a singolo corridoio rappresenterà circa il 70% del numero totale di consegne e quasi la metà in valore del mercato dei prossimi 20 anni. I velivoli a doppio corridoio, pur rappresentando solo un quarto delle consegne dei prossimi 20 anni, costituiranno oltre il 50% del valore complessivo del mercato. Il mercato dei velivoli regionali, turboprop e turbo jet, riveste un ruolo sempre più rilevante nello scenario globale con un profilo di grande crescita (Fig. 110).



FIG. 110 – MERCATO REGIONAL AIRCRAFT, DATI: ELABORAZIONE DI ALENIA AERMACCHI

Si stima che il valore complessivo del segmento di mercato dei velivoli regionali per il periodo 2014-23 si attesti intorno agli 83b€, per un totale di nuove consegne di velivoli regionali pari a circa 4.000 unità.

17 Boeing Current Market Outlook 2014-2033

L'Italia è leader nel segmento dei Tuboprop grazie alla piattaforma ATR (JV 50/50 con Airbus) con uno share di mercato superiore al 50%. Inoltre l'Italia è presente anche nel segmento dei Regional Jet con la piattaforma SuperJet 100, in partnership con la russa Sukhoi.

La produzione totale di elicotteri civili è stimata, nel periodo 2013-2022, in circa 19.200 unità, per un valore complessivo di circa 88b$. Di questi circa 5.670 saranno propulsi con motori a combustione interna mentre 13.550 circa saranno a turbina. La produzione annuale di elicotteri è attesa in crescita di circa 2.100 unità nel 2019, con un calo, tra il 2020 ed il 2022, a 1800 unità[18].

Il forecast relativo al numero e tipologia di velivoli necessari a far fronte alla crescente domanda del traffico aereo stabilisce anche il conseguente fabbisogno di motori.

In questo scenario ruolo fondamentale rivestono i mercati legati alle realtà emergenti, dove le economie nazionali in forte crescita[19] e l'elevatissima domanda potenziale (legata al miglioramento del livello di vita della popolazione, alla crescita industriale ed all'enorme bacino potenziale di clientela) fanno stimare a Boeing, il valore del mercato Asiatico pari a più del 39% di quello globale nel periodo 2013-2032 e circa il doppio di quello Europeo e Nord Americano, mentre in maniera analoga Airbus stima che nel 2033 solo il 37% del volume del traffico (RPK) sarà tra Europa e Nord America.[20]

Driver fondamentale per comprendere l'evoluzione del traffico aereo è la crescita del livello di vita della popolazione mondiale, che può essere ad esempio misurato tramite l'evoluzione della *Middle Class*.

La middle class dei paesi emergenti rappresenta circa il 60% della middle class mondiale. Nel 2033 la Middle Class crescerà di poco meno del doppio su scala mondiale, e di più del triplo nei paesi emergenti. Con la crescita della *middle class* aumenterà drammaticamente la propensione al consumo e quindi al volo, con straordinari cambiamenti proprio nei paesi emergenti.

Nel **settore militare**, la domanda è stata in calo costante dalla metà degli anni '80 sino al 2000 ed attualmente si è ridotta di circa il 15% rispetto ai valori di una ventina di anni fa. Nei prossimi venti anni, ma soprattutto nel periodo 2016-19, è atteso un recupero della domanda, soprattutto nel segmento dei velivoli da combattimento e per missioni speciali, dovuto principalmente all'obsolescenza di buona parte delle flotte (età e livello tecnologico), che non consentono di soddisfare i nuovi requisiti.

18 Fonte: Forecast International 2013

19 Ad esempio, secondo *l'International Monetary Fund*, le stime per il PIL cinese sono di una crescita costante superiore al 9% nel periodo 2011-2016, mentre per il PIL indiano la crescita è stimata nello stesso periodo intorno al 8%

20 Airbus – Global Market Forecast 2014-2033

Si stima che nei prossimi venti anni le consegne di velivoli ad ala fissa di nuova produzione ammonteranno a circa 17.000 unità, circa il 45% in più rispetto ai precedenti 20 anni; tale incremento sarà dovuto principalmente alla crescente domanda di velivoli per missioni speciali e di piattaforme *unmanned*.

Il valore complessivo delle consegne dei prossimi venti anni subirà un incremento di circa il 50-60% (da poco più di 500 ad oltre 800 miliardi di euro, a valore e cambio 2014) per l'aumento del prezzo medio unitario dei velivoli (conseguenza della loro più alta sofisticazione) e per l'incremento di domanda nel segmento dei velivoli da combattimento e per missioni speciali. Il concetto di "*affordability*" guiderà sempre più lo studio e lo sviluppo dei velivoli di nuova generazione.

Dal 2015 al 2034 più del 40% della domanda (in valore) proverrà dal Nord America (Stati Uniti e Canada), il 20% dall'Europa, il 20% da Asia e Oceania ed il rimanente dalle altre aree (Medio Oriente, Africa ed America Latina).

La produzione totale di elicotteri militari, nel periodo 2013-2022, è prevista per circa 6.600 unità, per un valore complessivo stimato di circa 139b$. È previsto un declino produttivo globale di circa 600 unità entro il 2022, previsione in netto contrasto rispetto alla crescita registrata nei precedenti anni e che aveva portato a triplicare la produzione nel periodo 2004-2012. Tale cambiamento di trend è da legarsi essenzialmente alle stringenti restrizioni di budget previste principalmente per gli Stati Uniti[21].

Inoltre, la diffusione dei velivoli senza pilota (Unmanned Air Vehicle – UAV) – attualmente ancora esigua – diventerà sempre più consistente ed in alcuni ruoli potranno sostituire nel lungo termine i velivoli pilotati. In particolare si prevede per il prossimo decennio (2020-30) una forte crescita del valore del mercato dei velivoli senza pilota per l'introduzione di prodotti da combattimento in grado di supportare e/o sostituire i velivoli manned negli scenari di guerra per le missioni di attacco. Tale tipologia di prodotti avrà un valore unitario decisamente superiore a quello dei velivoli destinati a missioni di sorveglianza, con l'impiego di tecnologie d'avanguardia come quelle legate allo *stealthness* e dell'autonomia del volo e della missione.

Da sottolineare il crescente mercato delle applicazioni duali, dove si nota la convergenza di interessi di clienti tipicamente civili (es. protezione civile, operatori antincendio, ecc.) e di clienti militari su requisiti similari per velivoli con potenziali applicazioni in missioni di duplice natura. Ne sono un esempio gli stessi velivoli senza pilota dedicati a missioni di intelligence, sorveglianza e ricognizione che i velivoli per missioni speciali (es. maritime patrol, search & rescue, ecc.).

21 Fonte: Forecast International 2013

OCCUPAZIONE

L'industria aeronautica europea impiegava nel 2008 più di 450.000 persone, di cui il 35% con un livello di formazione universitario[22].

Il trend, in continua crescita, vede nel 2013 impiegate nel settore più di 515.000 persone, con una crescita rispetto al 2012 del 3,4%, rallentando leggermente il rateo di crescita dei due anni precedente a seguito della flessione del 2009 e 2010[23]. In Italia il numero di dipendenti diretti del settore aeronautico ha raggiunto le 35.500 unità nel 2010 pari a circa l'8% della forza lavoro impiegata nel settore aeronautico europeo (*fonte ASD).*

RICERCA E SVILUPPO

In generale, la Ricerca e lo Sviluppo Tecnologico (R&ST) hanno un ruolo primario per la competitività, la crescita economica e l'occupazione.

L'Industria aeronautica europea ha investito in attività di R&D nel 2014 circa 16b€ pari a circa all'11,5% del proprio turnover. Circa un terzo di tale volume di attività è stata finanziata dai Governi[24].

L'aeronautica europea, nonostante il suo consolidato posizionamento mondiale, deve affrontare importanti sfide, legate all'evoluzione dei mercati ed alla presenza di nuovi ed agguerriti competitor emersi sullo scenario internazionale, fortemente sostenuti dai loro governi e dalla loro crescita economica. In questo scenario la leadership tecnologica, è l'asset principale che ha garantito finora un ruolo di primo livello sullo scacchiere internazionale, rimane l'arma fondamentale per affrontare le sfide attuali. È necessario quindi che le istituzioni nazionali ed europee continuino con sempre maggiore decisione a sostenere la crescita tecnologica dell'industria aeronautica, il cui livello di investimenti in R&D ed costi in R&T richiedono un impegno finanziario sempre crescente e spesso non sostenibile dalle singole aziende.

La *Strategic Research Agenda* (SRA) sviluppata da ACARE ha definito gli obiettivi di alto livello per il settore aeronautico, legati all'ambiente, alla qualità del servizio, alla sicurezza ed al costo. Le tecnologie costituiscono gli "*enabler*" al loro raggiungimento.

La crescita del trasporto aereo a ritmi sostenuti del 5% annuo e gli effetti maggiormente dannosi delle emissioni di CO_2 ad alta quota, hanno portato a mettere ai primi punti dell'Agenda il rispetto dell'ambiente. Il trasporto aeronautico contribuisce per circa il 2% alla CO_2 complessivamente prodotta, men-

22 Competitiveness of the EU Aerospace Industry with focus on: Aeronautics Industry (2009)
23 FACTS AND FIGURES 2013, ASD
24 FACTS AND FIGURES 2013, ASD

tre sempre maggiore attenzione viene data all'inquinamento acustico, in particolare in vicinanza delle zone aeroportuali.

Nonostante la forte riduzione delle emissioni di CO_2 [25] ed un consumo di carburante per kilometro per passeggero del tutto paragonabile a quello di altri mezzi di trasporto, si registra una crescente pressione da parte del legislatore e dell'opinione pubblica sulle emissioni dovute al traffico aereo. Tutto ciò spinge da una parte a sviluppare tecnologie (sia per i motori che per l'airframe ed i sistemi) che possano ridurre le emissioni dei velivoli, dall'altra all'introduzione di combustibili rinnovabili.

La *Strategic Research Agenda* di ACARE ha definito degli obiettivi sfidanti per il sistema di trasporto aereo, entro il 2020:

- Riduzione delle emissioni di CO_2 del 50% (per passeggero, per km);
- Riduzione al 50% del livello di rumore percepito;
- Riduzione dell'80% degli NO_x;
- Riduzione delle emissioni di CO, particolato, incombusti, SO_x, ecc.;
- Minimizzazione dell'impatto ambientale delle attività industriali (manufacturing, manutenzione, smaltimento).

Tutto ciò può essere perseguito implementando ed introducendo tecnologie sia incrementali che *breakthrough* in diversi campi di intervento quali le tecnologie per il velivolo (sviluppo di configurazioni e architetture avanzate quali il convertiplano e quelle per l'integrazione dei futuri motori open rotor, riduzione del consumo specifico, aumento del *by-pass ratio*, riduzione del peso delle strutture, miglioramento dell'aerodinamica, *Energy management*, ecc.), le modalità di *operations* dei velivoli (traiettorie, velocità, procedure di volo, utilizzo di fluidi anti-icing, operazioni di taxi, ecc.), le tecnologie per l'ATM (*green trajectories – 4D trajectories*).

Si tenga inoltre presente che la riduzione degli inquinanti è legata anche alla riduzione dei consumi, fattore di business altamente sensibile per le aerolinee.

La crescente domanda di energia (crescita dell'economia e della popolazione mondiale, nonché delle condizioni di vita dei paesi emergenti) e la diminuzione di disponibilità di combustibili fossili (il picco di molti *forecast* è intorno al 2030) e la conseguente costante crescita del prezzo del greggio, spingono ad indagare nuove forme di energia. Le difficoltà maggiori riguardano la definizione di uno standard per i combustibili alternativi.

Sostanzialmente possono essere distinte due famiglie principali di combustibili innovativi:

- *"drop-in fuel"* ovvero combustibili che presentano essenzialmente caratteri-

25 del 70% negli ultimi 50 anni, così come per il consumo di combustibili.

stiche simili a quelli attuali fossili[26], ma che riducono il livello di inquinanti (solfuri, composti aromatici, CO_2, particolato, ecc.) e contemporaneamente non richiedono modifiche ai motori esistenti.[27]
- Combustibili alternativi, ovvero forme di energia che presentano caratteristiche differenti rispetto ai tradizionali combustibili fossili e che quindi richiederebbero nuove tecnologie, sistemi imbarcati ed infrastrutture dedicate (es. idrogeno liquido, gas naturali o metano liquido, fuel cell, energia solare, ecc.).

Un altro obiettivo di notevole rilevanza nell'evoluzione del sistema di trasporto aereo è legato alla riduzione dei tempi complessivi del viaggio. Fattore critico nell'ottenimento di tale obiettivo è, oltre alla velocità del volo, il tempo necessario alle operazioni di terra. Ruolo fondamentale assumono quindi le tecnologie per la security che devono essere capaci di garantire standard di sicurezza sempre superiori, con minori tempi di esecuzione[28]. Analogamente per aumentare la security in volo è necessario sviluppare tecnologie che permettano il controllo da terra del velivolo (tecnologie per l'automazione e comunicazioni affidabili) in caso di dirottamento.

Nuovi segmenti di prodotto

Un altro grande filone d'avanguardia per le tecnologie aeronautiche riguarda i velivoli senza pilota.

L'Europa mostra un sensibile gap rispetto alle realtà USA ed Israeliane che dominano oramai da più di un decennio il mercato. Il ridotto investimento in Ricerca e Sviluppo e le scelte di acquisizione da parte dei ministeri della difesa europei di prodotti consolidati di aziende estere ha indebolito ulteriormente l'industria europea, spingendo alcune aziende (ad. es, Thales e EADS) a cercare partnership, con ruoli minori, con i grandi player stranieri (IAI, Elbit, Northrop Grumann). L'accordo tra alcune delle principali aziende europee (Alenia Aermacchi, Dassault Aviation, Airbus Defence and Space) per lo sviluppo congiunto di un UAS MALE con capacità di intelligence, surveillance and reconnaissance nel 2013 ha alimentato le speranze di una crescita dell'industria europea in questo emergente segmento. Tuttavia i ritardi nel lancio del programma alimentano preoccupazioni.

26 stessa densità di energia 43MJ/kg e freeze point

27 Ad es. biofuel e combustibili sintetici. I combustibili sintetici possono essere prodotti da gas, carbone, biomasse o semi vegetali, lo scopo è produrre kerosene sintetico con caratteristiche del tutto simili a quello minerale e tale da non dover adeguare motori esistenti..

28 Individuazione/scoperta automatica e valutazione della minaccia, sistemi di simulazione what if e sistemi di supporto al decision making, sensori e sistemi per l'eliminazione dei control gates.

I velivoli *unmanned* stanno affiancando da tempo, ed in alcuni casi sostituendo, i velivoli pilotati in missioni di *intelligence*, *reconnaissance* e *surveillance* dove l'impiego di piattaforme inabitate consente la permanenza sul luogo di osservazione per lunghi periodi (superiori alle 20 ore), anche in scenari di guerra, troppo pericolosi per i velivoli pilotati. Se l'impiego in campo militare dei sistemi UAS è oramai consolidato, meno mature, sebbene altrettanto promettenti, risultano essere le loro applicazioni civili/duali. Tipiche missioni possono riguardare la sorveglianza dei confini e delle coste, il supporto alle attività di polizia e la gestione delle emergenze, l'osservazione della terra, le applicazioni per l'agricoltura e la difesa dagli incendi (Fig. 111).

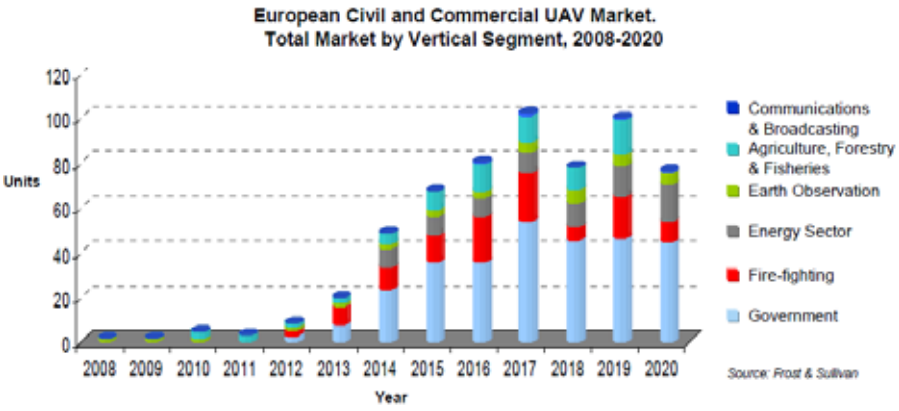


FIG. 111 – UAV MARKET, FONTE: FROST & SULLIVAN

Al di là delle classificazioni è ragionevole aspettarsi, data la versatilità di configurazione e d'uso delle piattaforme *unmanned* e della loro suite sensoristica, un'innumerevole possibilità di applicazioni, la maggior parte ancora da definire e sviluppare. Le aree tecnologiche impattate da questo nascente segmento è amplissimo, dai nuovi materiali sempre più leggeri e *low cost*, alle tecnologie per l'autonomia del volo e della missione a quelle per la bassa osservabilità per applicazioni militari. Vanno tuttavia evidenziati alcuni *enabler* fondamentali, dal cui sviluppo dipenderà la diffusione e la crescita delle applicazioni civili. Uno dei principali limiti dell'impegno degli UAS in campo civile oggi è legato all'impossibilità, sia per problemi tecnologici che legislativi, del volo in spazi aerei non segregati. La disponibilità futura di sistemi, cosiddetti di "*Sense and Avoid*", leggeri, affidabili e sostenibili economicamente, garantirà il volo di sistemi *unmanned* in condizioni di sicurezza pari, se non superiori, a quelle del traffico aereo pilotato, permettendo il transito e l'operatività in aree non segregate e la futura

integrazione degli UAS nello spazio aereo civile. Le tecnologie per l'autonomia inoltre consentiranno la riduzione del ruolo dell'uomo all'interno della catena di controllo del velivolo, riducendo le possibilità di errore ed aumentando l'affidabilità del sistema rispetto a situazioni non codificate. Infine nuove tecnologie per la piattaforma (nuovi materiali, nuovi sistemi, utilizzo di fonti di energia innovative, come il solare o le *fuel cells*) consentiranno di avere velivoli *unmanned* sempre meno costosi e maggiormente performanti in termini ad esempio di endurance e di tipologie di missioni da svolgere.

Le iniziative di sviluppo tecnologico

Già il VII Programma Quadro aveva delineato sempre più chiaramente la necessità di collaborazione fra gli enti pubblici e le aziende private, per mettere in sinergia i fondi disponibili per la ricerca allo scopo di perseguire le priorità e gli obiettivi delineati negli obiettivi strategici di settore. A tale scopo alle tradizionali attività di ricerca di tipo collaborativo realizzate con gli strumenti già in uso nel VI PQ, si sono affiancate le complesse iniziative di sviluppo tecnologico per attività di Ricerca ad ampio spettro, da quelle "*upstream*" fino allo sviluppo di "*prototypes*". Questa visione è stata confermata con Horizon 2020, il più grande programma di Ricerca ed Innovazione Europea che sarà attivo dal 2014 al 2020.

Una di queste è il *Joint Technology Initiative* (JTI) "Clean Sky", in campo aeronautico, il cui valore complessivo è di circa 1.600M€, finanziati al 50% della Commissione Europea, con l'obiettivo di sviluppare, validare e dimostrare nuove tecnologie in tutti i comparti dell'aeronautica civile, tali da migliorare l'impatto ambientale dei mezzi aerei.

L'Italia è presente con Alenia Aermacchi, che è *co-leader* di una delle sei piattaforme "*Green Regional Aircraft ITD*" (GRA-*Integrated Technology Demonstrator*), con AgustaWestland che, insieme a Eurocopter, guida il "Green Rotorcraft ITD" (GR), con Avio che è il partner associato della Piattaforma Motore (Green-Engine – ITD), con il CIRA che è partner associato sia nel GRA sia nel GR ed infine con il Consorzio Italiano AirGreen (che vede la presenza dell'Università di Napoli, del Politecnico di Torino e di Piaggio Aero). Il 9 Luglio 2014 la Commisisone Europea ha lanciato la prima call del Clean Sky 2.

Clean Sky 2 ha un budget di 4b€, supportato equamente dalla Commissione Europea e delle Industrie Aeronautiche Europee. Si pone l'obiettivo, oltre che di migliorare le performance ambientali dei prodotti e delle industrie aeroanautiche europee, con ad esempio una riduzione della CO2 e degli NOx dal 205 al 30%, di aumentare la loro competitività ed in generale migliorare il sistema di mobilità di cittadini e merci. Il Clean Sky 2 culminerà nel 2024 con attività di integrazione, dimostrazione e validazione. Le attività di Ricerca delle aziende nazionali saranno inoltre supportate da programmi nazionali e regionali, oltre-

ché da finanziamenti privati, con l'obiettivo di sostenere lo sviluppo di una nuova generazione di velivoli.

Nell'ambito dell'*Air Traffic Management* (ATM) è stata lanciata invece l'iniziativa comunitaria SESAR (*Single European Sky ATM Research*) che coinvolgendo i player del settore aeronautico europeo (sia civile che militare, industrie, legislatori, operatori, utenti, sia per quanto riguarda i velivoli che le infrastrutture di terra) ha come fine lo sviluppo di una nuova generazione di ATM capace di assicurare fluidità e sicurezza al sistema di trasporto aereo per i prossimi 30 anni. Il valore complessivo è stimato in 2.1b€, suddiviso tra la Comunità Europea, Eurocontrol e l'industria. SESAR rappresenta, nella storia dell'ATM europeo, il primo programma di modernizzazione infrastrutturale pan-europeo con l'ambizioso obiettivo di eliminare la frammentazione attuale e di trasformare il sistema Europeo degli ATM, sincronizzando i piani e le azioni dei diversi partner tra le diverse nazioni.

L'Italia, per quanto riguarda la componente industriale, è presente con due consorzi che sono stati qualificati membri della *SESAR Joint Undertaking*:

- SELEX Sistemi Integrati con la partnership di SELEX ELSAG (parte ground ATM e communications);
- Alenia Aermacchi con la partnership di Selex Galileo, AgustaWestland e Telespazio (parte ATM airborne e satellite based);
- Il CIRA è coinvolto tramite alcuni consorzi europei come partner associato.

Questi programmi stanno dimostrando l'importanza della collaborazione internazionale nelle attività di Ricerca e Sviluppo in campo aeronautico, non solo per la condivisione dei costi (diversamente difficilmente sostenibili dalla singola azienda o nazione), e delle infrastrutture nazionali per l'R&S, ma soprattutto per la possibilità di accordarsi su standard e criteri comuni relativamente a procedure operative, protocolli e specifiche di carburanti, materiali, normative ambientali e di sicurezza.

TECNOLOGIE PRIORITARIE

Le tecnologie qui elencate sono quelle ritenute altamente prioritarie e tipiche del settore (ciò comunque non significa che tali tecnologie non trovino applicazione anche in altri settori), mentre non vengono citate quelle tecnologie che hanno carattere di trasversalità fra settori, salvo nei casi in cui la specificità dell'applicazione aeronautica imponga peculiarità tali da renderne necessaria la distinzione. Vi sono poi alcune tecnologie che, pur non potendo rientrare nel repertorio delle tecnologie prioritarie, risultano essere di grande importanza per il mantenimento della competitività dell'industria italiana nel settore. Come nota generale vi è da sottolineare che lo spettro tecnologico per il settore aeronau-

tico, per sua natura *technology intensive*, è di per se particolarmente vasto. La necessità di ridurre ad un numero limitato, per quanto significativo, le tecnologie da trattare impone delle scelte non sempre semplici. Il tentativo che si è perseguito in questa sede è stato quello di dare rappresentanza alle maggiori esigenze tecnologiche di una larga parte dei comparti del settore aeronautico, tenendo in dovuto conto altri studi di indirizzo delle attività di ricerca preesistenti (ad es. ACARE-IT) e cercando il coinvolgimento di aziende che potessero adeguatamente rappresentare i relativi comparti.

Le tecnologie prioritarie identificate rappresentano quelle che permettono, in relazione alle peculiarità del sistema industriale aeronautico italiano, di raggiungere importanti obiettivi per il settore, ampiamente condivisi anche a livello Europeo, quali la leadership industriale, la riduzione dell'impatto ambientale, il miglioramento della qualità del servizio[29], la sua sicurezza ed il suo costo.

1. Nuovi materiali e processi produttivi e di manutenzione per le strutture ed i motori aeronautici:
2. Tecnologie per la riduzione dell'impatto ambientale
3. Tecnologie per motori a basse emissioni
4. Tecnologie per architetture motore convenzionali ed innovative
5. Tecnologie digitali per la progettazione e la produzione aeronautica: dal "Virtual Product" al "Direct Digital Manufacturing"
6. Health Management System
7. Tecnologie per sistemi autonomi
8. Funzioni avanzate per il controllo dei sistemi di traffico aereo
9. Interoperabilità sistemi di traffico aereo
10. Avionica modulare
11. Interfacce uomo macchina di nuova generazione
12. Tecnologie per la gestione avanzata dell'energia on board

Vi è inoltre da sottolineare che per la tipicità del life cycle del prodotto aeronautico, le tecnologie di seguito trattate hanno tempi di sviluppo che spesso superano abbondantemente i tre anni. In alcuni casi poi (come ad esempio i nanomateriali e le tecnologie legate all'autonomia) i tempi di R&T e di transizione nel prodotto aeronautico possono riguardare anche decenni.

La stima delle risorse economiche necessarie, sempre di difficile realizzazione data la complessità dello scenario tecnologico prospettato, l'alto livello di rischio che caratterizza molte delle tecnologie prospettate, nonché l'impatto e le capacità di risposta di tutta la supply chain non sembra specificatamente aeronautica,

29 Sia in relazione a servizi di trasporto che a servizi duali quali la sorveglianza, il supporto alla gestione delle emergenze e delle attività di polizia, ecc.

è da intendersi per ordini di grandezza e da condividere (sia quando esplicitamente detto sia quando sottaciuto), anche con partner e fornitori a livello europeo, in diversa misura a seconda dei casi specifici.

Impatto sull'occupazione e sulla società

Il settore aeronautico italiano attraversa una situazione di significativa difficoltà che lo vede schiacciato, come precedentemente messo in evidenza, tra la forte concorrenza dei paesi emergenti, la riduzione dei budget militari nazionali e la posizione di forza dei grandi gruppi internazionali (Boeing, EADS, Lockheed Martin, ecc.). In questo scenario l'eccellenza tecnologica è lo strumento grazie al quale si può garantire il mantenimento di posizioni industriali di rilevanza mondiale e da esse ripartire per consolidare ed ampliare posizionamenti in segmenti strategici. In sostanza nello scenario attuale l'investimento in tecnologia è il principale strumento che può permettere di mantenere un significativo livello occupazionale e permettere di puntare nel medio termine ad una crescita organica.

L'aeronautica è al servizio dei cittadini garantendo il rapido spostamento di persone e merci a notevole distanza in maniera veloce, sicura ed economicamente sostenibile. Le tecnologie individuate puntano a migliorare ulteriormente la qualità di questo servizio, riducendo i tempi necessari agli spostamenti e la qualità del viaggio, aumentando ulteriormente il livello di sicurezza e riducendo i costi per l'utente. C'è inoltre da tener presente che il livello tecnologico raggiunto oggi dall'industria nazionale consente di sviluppare prodotti (UAV) capaci di supportare azioni di sicurezza (come la gestione delle emergenze, prevenzione di catastrofi, attività di polizia, ecc.) con un livello di efficienza ed efficacia non immaginabile con tecnologie tradizionali. C'è poi da ricordare che l'aeronautica può avere un ruolo importante nella riduzione dell'inquinamento atmosferico ed acustico, obiettivo che potrà essere raggiunto solo grazie all'introduzione di nuove tecnologie dedicate, come ampiamente discusso in questo capitolo.

Infine, va tenuto conto dell'effetto di *"cross fertilization"* che tipicamente tecnologie d'avanguardia sviluppate nel settore aeronautico riescono a generare in altri settori industriali. L'investimento in ricerca aeronautica realizza quindi non solo crescita di competitività all'interno del proprio ambito ma è in grado di trainare la crescita tecnologica anche in settori industriali adiacenti, contribuendo in questo modo alla crescita complessiva della competitività del sistema paese.

RISORSE ECONOMICHE TOTALI

Circa 950 milioni di euro.

TEMI STRATEGICI A MEDIO/LUNGO TERMINE

Nell'approcciare un'analisi sui trend tecnologici di lungo periodo in campo aeronautico è fondamentale specificare che, dato il lungo life cycle di prodotto ed il notevole periodo di tempo che intercorre tra lo sviluppo scientifico e l'effettivo inserimento nel velivolo della tecnologia, non si può che riferirsi a scenari temporali ben ulteriori al decennio.

Lo scenario socio politico attuale fa supporre che nei prossimi anni continueranno a rimanere in primo piano alcuni temi tutt'oggi di grande interesse, quali la sostenibilità ambientale, la sicurezza (intesa sia come safety che security), la qualità del viaggio, la competitività industriale e l'efficienza operativa dell'aeromobile. La forte evoluzione tecnologica di altri settori come l'automotive, l'elettronica di consumo, l'entertainment e la competizione basata sulla rapida *technology insertion* nei prodotti sta generando nuove dinamiche nello sviluppo degli *enabler* tecnologici. Fondamentale per l'aeronautica sarà la capacità di guidare l'evoluzione delle tecnologie rilevanti secondo le proprie peculiari esigenze e l'integrazione efficiente e rapida sul prodotto.

Per l'industria italiana sarà quindi vitale sia riuscire a mantenere una presenza di leadership o comunque di player primario, in quei segmenti chiave dove è già presente, sia ampliare il proprio ambito d'azione, crescendo in segmenti limitrofi sfruttando le occasioni offerte dall'introduzione di nuove dirompenti tecnologie come ad esempio quelle dei velivoli senza pilota.

In uno scenario di lungo periodo (2050) l'aeromobile civile e l'intero sistema del trasporto aereo sarà caratterizzato da elevatissima efficienza, elemento, questo, che garantirà al contempo ridotti costi operativi ed un più ridotto impatto ambientale. Il sistema sarà sempre più concepito come un network interoperabile e globale capace di integrare velivoli civili e militari, aerolinee ed infrastrutture di terra. Tale network sarà a sua volta un nodo del più ampio network del sistema complessivo di trasporto, includendo il trasporto su rotaia, per mare, su gomma e fornendo soluzioni di trasporto integrate per ciascun passeggero dal luogo di partenza fino al luogo di destinazione (*door to door*), semplificando l'organizzazione del viaggio e le eventuali modifiche di percorso.

Le procedure per la sicurezza in aeroporto saranno meno invasive e più rapide pur conservando la loro l'efficacia. Il sistema di trasporto aereo integrerà in maniera ottimizzata tutti i tipi di aeromobile, dai wide ed i narrow body, dai velivoli regionali agli elicotteri fino ad i velivoli senza pilota. Questi ultimi assumeranno un ruolo sempre maggiore per missioni ripetitive e pericolose (ad es. cargo o sistemi di monitoraggio ed infrastrutture di comunicazione). Il sistema di trasporto aereo sarà resiliente a problemi atmosferici ed automaticamente riconfigurabile in caso di eventi catastrofici e di crisi. Ruolo fondamentale avranno le tecnologie di automazione del controllo dello spazio aereo e di navigazione dei

velivoli. L'esperienza del viaggio sarà supportata dall'accesso a servizi di information & communication technology ad alta velocità che a loro volta saranno in grado di supportare la stessa organizzazione ed eventuale ri-organizzazione del viaggio stesso.

Le soluzioni e tecnologie chiave che favoriranno l'evoluzione nel settore nei prossimi venti anni saranno ad esempio:

- L'aerodinamica avanzata, con l'impiego di superfici a bassa resistenza, il controllo di flusso e di carico (anche per i rotori di elicotteri e convertiplani), ecc.;
- L'introduzione di nuove architetture motore (Ultra High Bypass Ratio, Open Rotor, nel più lungo termine la propulsione ibrida, ecc.);
- Innovative configurazioni velivolo col fine di migliorare l'efficienza complessiva del sistema propulsore-aeromobile:
  1. integrazione motori ad elevato rapporto di diluizione UHBR (Ultra High Bypass Ratio) o Open Rotor;
  2. Nuovi concept elicotteristici quali il convertiplano;
  3. in prospettiva 2050 l'integrazione "*blended*" in fusoliera e la propulsione distribuita ad alta efficienza.
- Il definitivo passaggio dai sistemi di bordo tradizionali ad architetture completamente elettriche (*all-electric aircraft*);
- Tecniche di *thermal management*, per l'ottimizzazione delle risorse energetiche di bordo e la soluzione delle problematiche legate al raffreddamento dell'elettronica di potenza;
- L'introduzione di tecnologie d'avanguardia per l'energy store (*fuel cell, solar panels, ecc.*) e la distribuzione (*smart grid*);
- L'introduzione e lo sviluppo di materiali d'avanguardia (multifunzionali nano-strutturati o meno, a memoria di forma, self-repairing, sensorizzati, ecc.);
- I sistemi di virtualizzazione del processo di sviluppo e certificazione prodotto, di automazione industriale e di miglioramento della produzione low cost delle aerostrutture;
- Le architetture avanzate per l'avionica integrata (*Integrated Modular Avionics-IMA*), con il consolidamento di alcune tendenze già presenti quali l'integrazione di diverse funzioni in singoli equipaggiamenti sia nell'ambito del processing (IMA) che della Comunicazione, Navigazione e Sorveglianza (*Integrated Modular Radio*), allo scopo di ridurre ingombri, pesi e consumi;
- L'ulteriore sviluppo di tecnologie che puntino alla riduzione del carico di lavoro per il pilota (nuove tecnologie di *human machine interface* e di automazione del volo a supporto del single pilot) ed all'affermazione di sistemi altamente collaborativi basati su reti di velivoli per il mission management (deployment ed estensione del Single European Sky anche ai velivoli senza

pilota) ed in uno scenario 2050 l'introduzione di tecnologie wireless per gli equipaggiamenti;
- L'affermarsi di tecniche, sensori e sistemi per la prognostica delle strutture e degli equipaggiamenti a supporto dei processi di manutenzione.

Per quanto riguarda in particolare le linee di sviluppo tecnologico dedicate ai propulsori di nuova generazione, la spinta verso soluzioni tecnologiche capaci di ridurre i pesi e soprattutto migliorare l'efficienza, sia in termini di consumi che di inquinanti, porta, in un'ottica di medio-lungo termine, ad indagare un ampio spettro tecnologico, dai materiali alle architetture motore ad i processi di design e produzione. Si citano in particolare:
- i materiali ed processi produttivi di nuova generazione (nuove leghe e composizioni, sintering, compositi);
- la modellazione avanzata e integrata di progetto e processo;
- le tecnologie di produzione più efficienti, sia per i componenti e sia per il motore;
- le soluzioni per propulsori dedicate ad architetture sistemi velivolo *all electric*;
- l'utilizzo di combustibili alternativi di origine non fossile;
- in uno scenario 2050, lo sviluppo di concetti d'avanguardia, sia nell'ambito di discipline consolidate quali la termodinamica e la fluidodinamica con l'introduzione per esempio di cicli variabili, cicli recuperativi, la combustione a volume costante, sia attraverso l'esplorazione di ambiti nuovi, quali la propulsione ibrida attraverso motori termici/elettrici.

Il nuovo paradigma del network del sistema di trasporto aereo è abilitato anche dal recente incremento della robustezza e delle bande disponibili per la connettività wireless.

Diversi programmi della NASA, FAA, Eurocontrol, EU vedono il velivolo come nodo di una rete in grado di estendere i servizi di comunicazione tipicamente terrestri, opportunamente adattati, anche a bordo dei velivoli. Molti degli attuali sistemi però utilizzano i satelliti per connettere il velivolo alle reti di terra, soluzione che oltre agli elevati costi offre una limitata capacità di banda ed una elevata latenza. Emerge quindi sempre più l'esigenza di fornire connettività a larga banda in modo dinamico tra nodi aerei e nodi terrestri, che richiedono lo sviluppo di *tecnologie datalink e protocollari* ad hoc.

Per comprendere compiutamente il trend tecnologico del settore aeronautico, va tuttavia tenuto in conto l'impatto dovuto alla nascita del nuovo segmento dei velivoli non pilotati. L'evoluzione di alcuni enablers, quali ad esempio l'incremento delle potenze di calcolo, l'evoluzione delle tecnologie di *reasoning*, l'avanzamento della sensoristica e delle comunicazioni, hanno consentito di concepire e sviluppare prodotti a controllo remoto ed a ridotto intervento umano. Si tratta

di un salto quantico nell'evoluzione del prodotto aeronautico. Salto che sposta i parametri qualificanti del prodotto stesso su nuove dimensioni ed abilita tipologie e livelli di servizi ulteriori e non ipotizzabili con i velivoli pilotati. Il segmento dei velivoli *unmanned*, ad oggi con volumi di mercato marginali e relegato ad operazioni di nicchia, prevalentemente in ambito militare, potrà vedere una forte crescita soprattutto in conseguenza della maturazione di alcune tecnologie già allo studio e dello sviluppo di normative e legislazioni tali da permetterne la loro inserzione ed uso operativo in spazi aerei civili. In questo segmento forti aspettative sono legate alle capacità di reasoning (flight & mission management) e di interfaccia operatore-macchina. In ambito militare, ruolo sempre maggiore rivestiranno le tecnologie per lo *stealthness*, con lo sviluppo di configurazioni tailless, l'integrazione di antenne e sensori embedded nell'aerostruttura, la realizzazione di complessi sistemi di flight control system, anche basati su materiali d'avanguardia. Fondamentale per l'ampliamento dello scenario operativo sarà l'evoluzione dei sensori e dei sistemi di comunicazione avanzati.

Complessivamente va sottolineato che per il settore aeronautico nazionale occorrerà far evolvere le tecnologie chiave del sistema volante ed in generale del sistema di trasporto aereo, in modo da sfruttare al massimo le opportunità offerte dal mercato nei prossimi decenni, nell'ambito di uno scenario sempre più competitivo, dove l'arma dell'innovazione tecnologica sarà probabilmente l'unica differenziante. Indispensabile appare quindi seguire con la massima attenzione l'evoluzione di tali linee di sviluppo, sia in modo indipendente, sia attraverso collaborazioni con i principali partners a livello internazionale, allo scopo di presidiare le tecnologie chiave e lanciare programmi di ricerca dedicati alle aree di interesse strategico. È inoltre fondamentale continuare a sviluppare il network tecnologico a livello nazionale attraverso collaborazioni focalizzate a specifiche aree di competenza.

Il livello di investimento e la complessità del prodotto aeronautico richiederanno oltre all'investimento privato delle aziende coinvolte un significativo ruolo delle istituzioni pubbliche a livello europeo e nazionale, sia per fare massa critica e raggiungere il necessario volume finanziario sia per creare un coordinamento volto alla definizione di una strategia di alto livello che sostenga le competenze nazionali in coerenza e complementarità con quelle europee.

SINTONIA CON LE LINEE EUROPEE

Nello schema sottostante (Fig. 112) si riporta la correlazione tra le tecnologie per il settore aeronautico individuate come prioritarie e le tecnologie abilitanti definite nel final report per la Commissione Europea "*Key Enabling Technologies*".

FIG. 112 – RELAZIONE TRA LE TECNOLOGIE PRIORITARIE E LE KEY ENABLING TECHNOLOGIES

N.	TECNOLOGIA SPECIFICA PROPOSTA	NANOTECH	MICRO E NANOELETTRONICA	BIOTECH	FOTONICA	MATERIALI AVANZATI	SISTEMI AVANZATI DI PRODUZIONE
1	Nuovi materiali e processi produttivi e di manutenzione per le strutture ed i motori aeronautici	●				●	●
2	Tecnologie per la riduzione dell'impatto ambientale	●				●	●
3	Tecnologie per motori a basse emissioni	●				●	●
4	Tecnologie per architetture motore convenzionali ed innovative					●	●
5	Tecnologie digitali per la progettazione e la produzione aeronautica					●	●
6	Health Management System	●	●		●		
7	Tecnologie per sistemi autonomi		●		●		
8	Funzioni avanzate per il controllo dei sistemi di traffico aereo						
9	Interoperabilità sistemi di traffico aereo		●		●		
10	Avionica modulare		●				
11	Interfacce uomo macchina di nuova generazione		●				
12	Tecnologie per la gestione avanzata dell'energia on board	●	●			●	

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 1

NUOVI MATERIALI E PROCESSI PRODUTTIVI E DI MANUTENZIONE PER LE STRUTTURE ED I MOTORI AERONAUTICI

DESCRIZIONE

Nei più avveniristici scenari di sviluppo industriale, sempre più spesso si parla di de-materializzazione dei prodotti, intendendo con questo che il valore del prodotto è sempre meno rappresentato dalla sua componente 'materiale', ma piuttosto dai suoi contenuti funzionali e prestazionali.

Il settore aeronautico, a differenza di altri settori quali quello dei servizi, o anche dell'elettronica consumer, non può puntare verso un processo di de-materializzazione, bensì è orientato alla estrema qualificazione del materiale. Il materiale è, quindi, sempre meno elemento base da trasformare verso un prodotto ad alto contenuto tecnologico, ma diventa esso stesso parte integrante e qualificante della funzionalità del componente in un percorso nel quale una *funzionalizzazione* sempre più spinta lo porta a confondersi ed intimamente integrarsi con il sistema stesso.

Allo stesso tempo non si devono dimenticare le funzioni primarie che i materiali e le tecnologie per la produzione, lavorazione, ecc. svolgono per realizzare manufatti con caratteristiche (resistenza strutturale, leggerezza, resistenza alle condizioni ambientali, ecc.) sempre migliori e dalle prestazioni avanzate.

In questa visione, il settore aeronautico individua uno dei principali settori nei quali lo sviluppo e l'applicazione di nuovi materiali acquista un significato ed un ruolo determinante, sia in una visione di miglioramento delle capacità di progettazione e produzione di parti/componenti più o meno tradizionali, ma soprattutto permettendo di immaginare e spesso già realizzare, componenti/strutture completamente innovative per funzionalità e/o prestazioni.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Coerentemente con le strategie tecnologiche individuate nel contesto Europeo per il settore del trasporto aereo, attraverso le attività di ACARE (*Advisory Council for Aeronautics Research in Europe)*, sono stati chiaramente stabiliti i grandi obiettivi di comparto, legati alla qualità, efficienza, sicurezza e eco-compatibilità del futuro trasporto aereo, e le relative tecnologie necessarie per implementare tali scenari.

Gran parte delle soluzioni immaginate per raggiungere tali obiettivi richiedono rilevanti innovazioni in ambito strutturale, propulsivo e di *concept*, la cui implementazione richiede il dominio di molte tecnologie abilitanti, tra le quali quella dei materiali è certamente una delle più rilevanti.

Aerostrutture

Le aerostrutture avanzate sono basate sullo sviluppo di architetture multifunzionali che danno alla struttura la capacità di svolgere diverse funzioni richieste, parallelamente a quella di sostenere i carichi a essa applicati. Questo obiettivo è ottenuto attraverso una sempre maggiore integrazione fra strutture e sistemi, diventando la struttura stessa sistema. Lo sviluppo di nuovi

materiali caratterizzati da un largo impiego di funzionalità attive e passive *embedded*, permetterà quell'ibridizzazione di materiali/strati che consentirà di soddisfare requisiti complessi. Il raggiungimento di questo obiettivo richiede una capacità di modellazione multiscala, che permetta lo sviluppo di nuovi metodi di analisi e di calcolo particolarmente importanti nella progettazione di nuove ed avanzate configurazioni strutturali.

Attualmente, lo standard tecnologico prevede un largo uso di leghe leggere tipicamente di impiego aeronautico, dei compositi polimerici "layered", delle lavorazioni a Controllo Numerico. In un'ottica di ricerca integrata sui materiali, le aree di miglioramento si possono individuare, nella funzionalizzazione degli stessi, nei processi e nelle loro combinazioni per ridurre i pesi, nel raggiungere una maggiore precisione dimensionale con minore costo produttivo e di time-to-market.

L'area dei materiali compositi sta dando luogo a diversi filoni di sviluppo che intendono coprire problematiche differenti legate alla tipologia dei componenti. La carboresina, introdotta nell'ambiente aeronautico per le sue proprietà strutturali ad alte prestazioni, ha ancora ampi margini di miglioramento in specifiche applicazioni. Grosso interesse sta rivestendo lo sviluppo di processi produttivi che permettano di ridurre i tempi ed i costi di lavorazione e/o di aumentare la precisione dei componenti (es. RFI, RTM, Pultrusione, low temperature curing, bonding, trattamenti superficiali per distacco degli stampi, ecc.). In particolare si stanno sviluppando tecnologie per materiali compositi termoplastici con processi di termoformatura, processi di injection molding e di fiber placement per migliorare i tempi di lavorazione del composito nelle strutture secondarie e primarie, si stanno sviluppando resine termoindurenti nano-caricate con applicazione ai preimpregnati ed agli infusi per ottenere strutture primarie con capacità funzionali e strutturali migliorate, si stanno sviluppando tecnologie di infusione delle preforme in fibra di carbonio e processi ibridi di infusione e stratificazione per ridurre drasticamente i tempi di produzione, si integrano negli stratificati materiali core con specifiche caratteristiche che possono andare dal miglioramento strutturale all'impatto, all'alleggerimento della struttura, fino all'attenuazione del rumore per ottenere strutture sofisticate ed al tempo stesso più leggere. Tecnologie di ingegnerizzazione di superficie come ad esempio le tecniche al plasma in vuoto ed in atmosfera finalizzate al *joining of dissimilar materials* (sia per la giunzione metallo/composito che fibra/matrice) rappresentano un ulteriore filone di sviluppo che può favorire un impiego più largo dei materiali compositi soprattutto nell'ambito dei *layered materials,* abilitando l'applicazione e la rimozione di funzionalizzazione e apprettamenti sulle singole cariche e fra gli strati.

Per i metalli il filone promettente è quello della nicchia dei compositi ibridi e compositi metallici in alternativa all'attuale tecnologia con compositi di fibra di carbonio a base di resina polimerica, per parti/componenti particolarmente critici; la sfida tecnologica è quella di individuare il processo che garantisca la qualità del risultato e l'economicità del processo stesso. Anche le tecnologie di impiego del titanio saranno certamente oggetto di futuri importanti attenzioni, soprattutto in vista del loro uso per componenti strutturali anche significativi, in abbinamento alla carboresina. In questo caso le maggiori problematiche riguardano l'ottimizzazione dei cicli produttivi dei componenti in titanio, che dovranno passare dagli attuali processi di lavorazione a basso rendimento materiale (rapporti buy/fly intorno a 1:15), verso tecnologie basate su giunzione di semifiniti, capaci di avvicinarsi quanto più possibile al concetto *near net shape*, aumentando significativa-

mente la resa materiale (rapporto buy/fly nel range 1:4). Di conseguenza l'altro aspetto di grande interesse riguarda i processi di produzione dei semifiniti e di saldatura del titanio (Friction Stir Welding, Laser Beam Welding, Linear Friction Welding) al fine di ottenere metodi produttivi più veloci ed affidabili.

Non bisogna altresì dimenticare che molto resta ed è necessario ancora fare sulla componente metallica che si può, forse in maniera riduttiva, considerare più tradizionale. Vi sono ancora certamente molti spazi di miglioramento in termini di alleggerimento, miglioramento delle caratteristiche tensili, di resistenza a fatica, e tribologiche (anche tramite rivestimenti) per gli acciai speciali impiegati in componenti strutturali fortemente critici e sollecitati e in tutta la componentistica meccanica di trasmissione per esempio nella parte elicotteristica. Nell'ambito dell'alleggerimento di componenti in lega di alluminio, soprattutto non strutturali, importanti risultati possono essere ottenuti tramite l'impiego di materiali a porosità controllata (*cellular materials*) o materiali quali le schiume metalliche (*metal foam*). In questo senso lo sforzo deve essere rivolto verso l'implementazione di processi economicamente sostenibili ed industrializzabili su componenti di grandi dimensioni e capaci di garantire superiore riproducibilità e controllo di processo rispetto alle attuali soluzioni. Ulteriori miglioramenti delle leghe di alluminio, anche per applicazioni strutturali, possono infine essere ottenuti mediante l'aggiunta di piccole quantità percentuali di materiali alternativi, come le terre rare, in grado di conferire enormi potenzialità al prodotto finale.

A questo va aggiunto il comparto delle fusioni in leghe di alluminio, magnesio e titanio, che potrebbero trovare ulteriori margini di miglioramento nei loro processi produttivi con significativi impatti in termini di rese produttive e qualità del fuso, con dirette ricadute sui loro costi di produzione.

Sistemi di Trasmissione per Elicotteri e Macchine ad Ala Rotante

In questo ambito si identificano delle aree di sviluppo necessarie per la riduzione del peso, la diminuzione dei tempi di sviluppo e produzione, l'ottimizzazione della lubrificazione.

Un'area da investigare è relativa all'uso di leghe leggere, quali quelle di magnesio, il cui utilizzo consente di realizzare sistemi di trasmissione particolarmente leggeri; restano tuttavia da risolvere problematiche che insorgono nella fase di fusione, che rallentano i processi e lasciano aperte alcune criticità in merito alla qualità finale del prodotto. Ricerche in questo senso sarebbero necessarie per migliorare qualità, riduzione peso e diminuire i tempi di realizzazione (anche con l'utilizzo di sistemi di rapid prototyping/tooling).

L'efficienza della trasmissione potrebbe essere migliorata con riporti e finiture superficiali sugli ingranaggi ai quali dedicare sviluppi specifici. Inoltre un affinato studio della distribuzione dell'olio lubrificante potrebbe dare indicazioni su come ottimizzare forme e fluidodinamica interna.

La motoristica

I nuovi materiali di interesse per i propulsori aeronautici di nuova generazione devono essere leggeri, avere costi contenuti, possedere prestazioni elevate in termini di proprietà meccaniche e di resistenza alle alte temperature.

Le tipologie di materiali che possono soddisfare questi requisiti sono i composti intermetallici a

base Titanio-Alluminio per l'impiego nelle parti più fredde delle turbine, le superleghe a solidificazione direzionale ad alte prestazioni e prive di elementi strategici per l'utilizzo nelle parti più calde del motore, i materiali ceramici, monolitici e compositi per le applicazioni nei componenti più caldi non raffreddati.

Una delle maggiori difficoltà che si riscontrano nell'introduzione di questi nuovi tipi di materiali riguarda la messa a punto delle composizioni più adatte, la definizione dei processi di fabbricazione ottimali, la disponibilità di dati di caratterizzazioni meccaniche statisticamente significative.

Soprattutto nel caso dei materiali intermetallici e dei materiali ceramici, piccole variazioni nella composizione chimica o nella presenza di elementi estranei può modificare radicalmente le caratteristiche e le proprietà dei materiali. È necessario quindi identificare, oltre alle composizioni ottimali, le tolleranze di accettabilità per i singoli elementi o composti e verificarne gli effetti su microstrutture e proprietà, eventualmente ricorrendo all'ausilio di nuovi strumenti di simulazione. A questo si aggiungono le criticità di lavorazione meccanica a temperatura ambiente di tali materiali dovute alle loro caratteristiche meccaniche a bassa temperatura che suggeriscono di identificare e promuovere lo sviluppo di nuove soluzioni di produzione basate sul rapid manufacturing o near-net-shape manufacturing quali ad esempio SPS, EBM, Laser Manufacturing, Cold Spray and Thermal Spray Manufacturing, etc.

Per le nuove superleghe per alte temperature a solidificazione direzionale devono essere ulteriormente analizzati gli effetti dell'assenza di elementi strategici quali il Renio ed il Rutenio sulle caratteristiche meccaniche e di creep, la sensibilità ai difetti di solidificazione, la risposta ai trattamenti termici e la stabilità microstrutturale delle leghe dopo prolungate esposizioni ad alta temperatura.

Allo sviluppo di nuovi materiali si affianca lo sviluppo di rivestimenti superficiali che possono ad esempio aumentare le prestazioni riducendo l'erosione delle superfici o gli attriti ed aumentando la resistenza in temperatura.

Infine un fattore determinante che spesso limita la possibilità di introduzione di nuovi materiali riguarda la disponibilità di un numero sufficiente di dati di caratterizzazione delle proprietà meccaniche e chimico-fisiche dei materiali stessi, per la definizione di curve di progetto significative nelle varie condizioni di esercizio. La necessità di ridurre i margini di incertezza, fondamentale nel settore aeronautico, richiede infatti di condurre estese campagne di sperimentazione per valutare il comportamento dei materiali nelle varie condizioni di prova e di definire regole adeguate per lo scalamento dei risultati.

Il testing

L'introduzione dei nuovi materiali e la contestuale automazione dei processi produttivi richiede, da parte dei costruttori di manufatti strutturali, lo sviluppo di tecnologie e processi di controllo della qualità molto spinte in grado di rilevare, da un lato, le anomalie tradizionalmente riscontrabili nei manufatti aeronautici, ma con un maggior grado di sensibilità e risoluzione e, dall'altro, nuovi tipi di difetti dovuti all'introduzione dei nuovi materiali e processi di fabbricazione.

Si rende, quindi, necessario lo sviluppo e la messa a punto di metodologie e tecnologie di indagine non distruttiva in grado di soddisfare requisiti di accettabilità più stringenti.

Tale obiettivo può essere raggiunto tramite lo sviluppo di metodi CND (Controllo Non Distruttivo) e la realizzazione di opportuni impianti e sistemi di controllo adatti a garantire l'affidabilità e la sicurezza delle strutture e, quindi, dei velivoli.
La problematica dell'adeguamento delle capacità di qualificazione e testing per adattarsi ai mutati standard introdotti dai nuovi materiali non si limita alla sola componente strutturale, ma impatta pesantemente anche sulle applicazioni motori, dove i nuovi materiali intrinsecamente fragili quali i ceramici e gli intermetallici richiedono un'attenta valutazione degli effetti delle difettosità sulle proprietà meccaniche, la definizione di metodi di fabbricazione affidabili e riproducibili, e la messa a punto di metodi di controllo non distruttivi più sensibili ed automatizzati. Non in ultimo nuove prove complesse come la "Fatica Termomeccanica" serviranno a sviluppare e validare nuovi modelli di predizione della vita delle parti aeronautiche calde.

La Riparazione (repair)

La necessità sempre più forte da parte delle aereolinee di ridurre i costi operativi del velivolo, pone sempre più al centro dell'attenzione lo sviluppo delle tecnologie per l'MRO (Maintenance Repair and Overhaul).
In questo contesto soprattutto nell'ambito dei materiali metallici numerosi sforzi sono rivolti allo sviluppo di tecnologie di riparazione di materiali in lega leggera (Al, Mg, Ti) capaci di evitare la comparsa di HAZ (Heat Affected Zones) all'interfaccia con il base material, distorsioni e stress residui nel componente e nell'area riparata. In questo contesto sono da segnalare le tecniche di spruzzatura a freddo quali Cold Spray che stanno riscuotendo notevole interesse e rappresentano una soluzione sostenibile per il prossimo futuro.
Da sottolineare inoltre le problematiche legate al repairing delle strutture in materiale composito, sia in fase di produzione del componente (per recuperare imperfezioni derivanti dal processo di manufacturing), sia soprattutto a supporto dell'operation del velivolo (in caso di danni al velivolo). Lo sviluppo di tecnologie semplici ed efficaci, nonché economicamente sostenibili per il repairing a supporto delle attività manutentive delle compagnie aeree sarà un fattore critico per l'affermazione delle stesse aerostrutture in composito in campo civile anche su piattaforme "low cost" come quelle regionali.

L'eco-compatibilità

L'agenda strategica di ricerca europea per l'aeronautica, ha incentrato gran parte della sua strategia intorno al miglioramento dell'impatto ambientale del trasporto aereo. Ma al di là di questo importante obiettivo, che ha un suo immediato impatto sulle nuove configurazioni velivolo-motore, non si può prescindere dagli importanti aspetti che sul fronte ambientale hanno il ciclo produttivo, di gestione e di dismantling del velivolo. Ecco, quindi, che concetti quali quello dell'ottimizzazione ambientale del ciclo produttivo e di esercizio e l'Ecodesign, diventano elementi determinanti e qualificanti dei nuovi programmi di sviluppo. Proprio sull'aspetto dell'Ecodesign, ovvero la capacità di progettare tenendo intrinsecamente conto dell'ottimizzazione dell'impronta ambientale del velivolo (nelle sue fasi di produzione, impiego e smaltimento), le tecnologie dei materiali e dei loro processi di trasformazione avranno un ruolo determinante.

Da segnalare inoltre, che l'attuale tendenza, al momento incontrovertibile, verso una sempre più larga sostituzione delle leghe leggere di alluminio, a favore di un uso esteso della carboresina, non solo nel settore militare ma anche in quello civile, apre il grande problema di mettere a punto tecnologie, intrinsecamente legate al materiale, e finalizzate al dismantling e al recupero ecocompatibile di grandi volumi di strutture in carboresina nei prossimi decenni.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La moltitudine di tecnologie richiamate, rende evidentemente difficile dare sinteticamente un'indicazione di dove si collochino le maggiori criticità e/o aspettative, sia in una visione globale che nazionale. Certamente si può dire che tutte queste tecnologie sono oggetto di numerosi studi, talvolta anche a prescindere dalle richiamate applicazioni aeronautiche, poiché problematiche quali l'alleggerimento strutturale, la diagnostica (prognostica) avanzata, la funzionalizzazione sempre più spinta di componenti/sistemi, sono tutti elementi comuni a diversi settori industriali. Su questi fronti si concentrano grandi attività di ricerca, che trovano anche a livello nazionale necessità di approfondire ulteriormente gli sviluppi, in vista di un loro efficace trasferimento dal laboratorio alla produzione industriale.

È già stato evidenziato che la specificità di molte delle tecnologie dei materiali in questione risiede proprio nell'idea che il materiale diventa parte integrante e funzionalmente determinate del componente/dispositivo stesso. Questo richiede un radicale cambiamento dell'approccio progettuale. Il materiale non può più essere, quindi, caratterizzato unicamente dai suoi ammissibili, ma entra nel processo di progettazione in una visione orientata al Multiscala, dove la capacità di modellizzare e simulare i comportamenti alle scale più basse, diventa un requisito fondamentale per valutare e progettare le performance finali del componente/sistema nelle sue condizioni operative. Tale tendenza trova inoltre la sua motivazione e giustificazione proprio nella necessità di dotarsi di strumenti in grado di integrare la fase di progettazione del materiale, che diventa esso stesso una sorta di sub-componente intrinsecamente sempre più adattato e funzionalizzato, in un unico momento di progettazione complessiva che permetta di abbattere costi e tempi di sviluppo.

Da non dimenticare anche le problematiche di sviluppo e/o miglioramento delle tecnologie dei materiali che saranno indotte dalle sempre più stringenti presenti e future regolamentazioni ambientali (vedi ad esempio REACH[30]), che porteranno alla necessità di sostituire molti materiali e/o sostanze che sono attualmente alla base di importanti fasi del processo di produzione aeronautica. Si pensi ad esempio al grande impatto dell'eliminazione del Cromo e del Cadmio dagli attuali processi di coating, che dovranno essere sostituiti con materiali/processi ecocompatibili, pur garantendo performance simili se non sensibilmente migliorate rispetto all'attuale stato dell'arte. In questo contesto, una soluzione ecologicamente sostenibile per il prossimo futuro è rappresentata dalla realizzazione di layer di conversione costituiti da rivestimenti a film sottile e deposizione di *primer* tramite tecniche al plasma in vuoto (PVD, PECVD) ed in atmosfera (Plasma Jet di bassa potenza) o trattamenti sol-gel.

30 Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances (REACH), regolamentazione europea sulle sostanze chimiche ed il loro uso sicuro, in vigore dal 1° Giugno 2007.

Si consideri inoltre che le crescenti distorsioni causate dalle politiche commerciali protezionistiche sui mercati globali delle materie prime rendono sempre più difficile mantenere un accesso equo e non distorto a tali materie da parte dell'industria e dei cittadini dell'UE.
Combinando diversi fattori quali la rilevanza economica, la disponibilità nel sottosuolo europeo e gli aspetti geopolitici, sono risultate critiche per lo sviluppo del sistema industriale europeo 14 materie prime non energetiche, non alimentari e non vegetali: antimonio, berillio, cobalto, spatofluoro, gallio, germanio, grafite, indio, magnesio, niobio, i metalli del gruppo del platino (platino, palladio, iridio, rodio, rutenio e osmio), le terre rare (ittrio, scandio e lantanidi), il tantalio e il tungsteno.
Considerando l'individuazione delle materie prime critiche come un campanello d'allarme, è necessario affrontare la problematica in quei settori, quali l'aeronautico, in cui la mancanza di alcune materie strategiche sia in grado di determinare una possibile emergenza per lo sviluppo del sistema industriale europeo. La *European Innovation Partnership* (EIP) (2011) sui raw materials sta incoraggiando il miglioramento dell'accesso alle risorse primarie accompagnato dal potenziamento dei rapporti commerciali e degli investimenti nel mercato delle materie prime, riciclo dei prodotti che utilizzano materiali critici, sostituzione dei materiali critici con materiali analoghi non critici, aumento dell'efficienza dei prodotti che utilizzano materiali critici.[31]

Se da un lato si possono annoverare in Italia alcuni buoni esempi di competenze in alcune delle tecnologie dei materiali sin qui individuate, resta certamente da registrare la sostanziale assenza del sistema paese nel contesto dei produttori di materiali di base, in pressoché tutti i settori dei materiali presi in considerazione. Sia quindi, che si parli di materiali compositi (fibre e resine), leghe speciali, leghe di titanio, intermetallici, ma anche nel caso dei più tradizionali acciai speciali ad alta resistenza, leghe a base nickel, ceramici, o precursori nano strutturati, l'Italia non è nella condizione di esprimere un produttore qualificato per nessuno di questi materiali.
Questo elemento, certamente non nuovo, continua a pesare negativamente sul sistema produttivo ed industriale italiano, agendo da pesante elemento di svantaggio competitivo per almeno due ragioni. La prima di natura strategica, legata alla dipendenza dall'approvvigionamento internazionale, dove spesso prevalgono logiche nazionali e/o commerciali di accesso privilegiato alle forniture di materiali. La seconda di natura tecnologica scientifica, dovuta alla mancata presenza di grandi produttori industriali di materie prime/semilavorati che fungano da motori e motivatori di significativi sviluppi e ricerche strategiche nel campo dei materiali avanzati. Allo stato attuale, non si può che tentare di valorizzare al massimo le iniziative e gli sforzi che anche il settore aeronautico nazionale sta tentando nella direzione di stimolare iniziative di sviluppo nel settore della produzione di materiali avanzati, proprio nella direzione di innescare processi di aggregazione a livello nazionale ed internazionale, tendenti a portare in Italia culture, ed in prospettiva iniziative imprenditoriali, atte a sanare le mancanze individuate.

31 Il sistema italiano dell'innovazione risponde partecipando alla KIC "*Raw materials – sustainable exploration, extraction, processing, recycling and substitution*" che risulterà finanziabile nel 2015-2016 di cui ENEA è coordinatore del nodo dell'Europa del Sud.

Non si può concludere un capitolo sui materiali senza un riferimento all'impatto che l'introduzione e i recenti sviluppi nel campo delle nanotecnologie potranno avere nel prossimo futuro.
Se si guarda al numero di iniziative progettuali europee, alcune delle quali direttamente orientate al settore aeronautico, si comprende che le attese e gli interessi intorno al settore delle nanotecnologie sono davvero tante. Vale la pena distinguere però in questa sede ciò che già allo stato attuale sembra avere un possibile impatto a breve medio termine sui prodotti/processi aeronautici, e ciò che solo in prospettiva potrà concretizzarsi in ricadute che allo stato attuale sono solo immaginabili.
Volendo qui limitarsi agli impieghi del primo tipo, è necessario menzionare lo sviluppo di leghe leggere nano-strutturate che potrebbero giustificare il loro utilizzo in componenti meccanicamente critici, dove le caratteristiche meccaniche e di leggerezza sono gli elementi da ottimizzare, oppure l'uso di nano filler in compositi polimerici per migliorare allo stesso tempo le caratteristiche meccaniche e funzionali della struttura composita, anche attraverso specifici trattamenti delle fibre per migliorare il bonding fibra/resina. Non da ultimo la potenzialità di conferire, grazie alle nanocariche, delle capacità sensoristiche integrate renderebbe i sistemi compositi pronti ad un loro impiego in un sistema strutturale "health monitored". Tale potenzialità, oltre a consentire una riduzione dei costi manutentivi, permetterebbe l'uso di tecniche di progettazione avanzata, in grado cioè di usare le informazioni sensoristiche per una reale riduzione dei coefficienti di abbattimento ad oggi impiegati nella progettazione dei compositi.
Sebbene alcune di queste tecnologie sembrino già alla portata, non bisogna dimenticare che la loro messa a punto richiede ancora molti studi. Nei processi di "Severe Plastic Deformation" applicato alle leghe leggere ad esempio, attraverso i quali si immagina di raggiungere micro strutture inferiori ai 100nm, si è già dimostrato che attraverso vari processi (quali: "accumalative roll bonding", "equal channel angular pressing") si sono effettivamente prodotte nanostrutturazioni capaci di elevare le caratteristiche meccaniche di resistenza del materiale, ma spesso a scapito delle sue caratteristiche di duttilità, ciò che rende ancora lontana la maturità per la qualificazione di questi materiali per impiego aeronautico.
Vi è ancora un altro importante capitolo che comprende tutte le tecnologie legate al coating in senso lato, dove vi è un'importante attività orientata alla funzionalizzazione delle superfici attraverso nano-strutturazioni, anche multistrato, dei materiali (controllo delle proprietà elettromagnetiche, adesività, idrofobicità, proprietà ottiche, tribologiche, etc), o più semplicemente l'ottenimento di caratteristiche tribologiche avanzate (durezza, attrito, resistenza all'usura, resistenza alla corrosione, autolubrificazione, etc.) che hanno impatti significativi non solo sulla componente aerostrutturale, ma anche nella componentistica meccanica e motoristica.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 2

TECNOLOGIE PER LA RIDUZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE

DESCRIZIONE

Le emissioni inquinanti possono essere ridotte facendo leva sulle tecnologie specifiche del motorista (per le quali si rimanda alle tecnologie prioritarie "*Tecnologie per configurazioni motore innovative*" e "*Tecnologie per sistemi di combustione e post-combustione*"), ma anche sulle tecnologie tipiche dell'integratore di sistema aeronautico, come le tecnologie per le aerostrutture, di energy management, di ottimizzazione delle traiettorie, di riduzione della resistenza aerodinamica, etc.

Analogamente la riduzione del rumore si può ottenere tramite l'impiego di tecnologie per la riduzione del rumore aerodinamico (principalmente nelle fasi di decollo ed atterraggio), oltreché attraverso la riduzione del rumore dovuto ai motori e del sistema propulsivo (eliche, propfan, rotori ε).

In altre parole, il management delle emissioni inquinanti, come la CO2, gli NOx ed il rumore, può essere ottenuto tramite tecnologie che contribuiscano alla "riduzione alla fonte" delle emissioni stesse, come i motori a ridotto impatto ambientale e l'airframe a ridotto drag, oltre che attraverso ottimizzazioni operative finalizzate a mitigarne gli effetti.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Dopo la crisi dell'11 settembre 2001 il traffico aereo non solo ha recuperato i volumi di traffico precedenti, ma ha preso a crescere con un rateo compreso tra il 5% ed il 6% all'anno; le attuali proiezioni indicano per il 2030 un volume del traffico aereo quasi triplo di quello del 2010. Al contempo la sensibilità pubblica al problema delle emissioni, a causa degli effetti sul "*climate change*" e sulla salute pubblica, è cresciuta a dismisura portando questo problema al centro dell'attenzione politica e dell'informazione. Il problema ambientale e del riscaldamento globale non sono più solo un tema di interesse scientifico molto dibattuto ma una priorità per la società intera.

L'aeronautica, pur contribuendo solo per un 3% alle emissioni di CO_2, a causa della prevista crescita del traffico è comunque sottoposta a forti pressioni socio-politiche e normative per ridurre le emissioni sia acustiche che inquinanti (e.g. anidride carbonica, ossidi di azoto, etc).

La tipologia di collegamenti e l'elevata frequenza dei voli, rendono particolarmente sensibile il problema dell'inquinamento acustico presso le zone aeroportuali servite dai velivoli regionali ed ad ala rotante, tipicamente più vicine ai centri urbani. Inoltre i dati di mercato e le relative proiezioni riguardanti la sempre maggiore diffusione dei velivoli regionali ed ad ala rotante, evidenziano il contributo sostanziale atteso de queste categoria di velivoli alla riduzione dell'inquinamento pro-

dotto dal trasporto aereo. I velivoli dell'Aviazione Generale, pur non essendo ancora inseriti nel sistema di trasporto, dovranno rispettare normative stringenti sulle emissioni; potenzialmente questa categoria di velivoli potrebbero utilizzare più rapidamente tecnologie di propulsione innovativa a basso impatto.

Velivoli regionali

Per i velivoli regionali le tratte tipiche sono normalmente inferiori a 500 miglia nautiche[32].
La quantità relativamente piccola del combustibile necessario rende il peso a vuoto del velivolo una frazione di quello totale più grande che in altri tipi di velivolo. Poiché il peso a vuoto dell'aereo conta significativamente sull'efficienza del volo, esso assume per i velivoli regionali un'importanza relativa maggiore sul consumo di carburante e sulle emissioni inquinanti.
In aggiunta, l'alto numero di decolli ed atterraggi giornalieri di questi velivoli fa divenire più sensibile la necessità di sviluppare tecnologie per abbassare il rumore che interessa le comunità intorno agli aeroporti.
I velivoli regionali si differenziano dai cosiddetti airliner, per i seguenti elementi principali:

- tratte di missione notevolmente più corte: 200–500 miglia nautiche i primi, dalle 1000 alle 8000 i secondi;
- velocità massime di conseguenza anch'esse diverse: Mach = 0,5 – 0,78 i regionali, 0,8 – 0,85 gli altri;
- importanza data al prezzo di vendita dalle aerolinee regionali molto maggiore che non da parte delle cosiddette aerolinee "Major".

Conseguentemente le soluzioni tecniche normalmente adottate per i velivoli regionali sono profondamente diverse da quelle degli altri velivoli, sia perché la semplicità della costruzione, il basso costo di produzione, la facilità di manutenzione danno un vantaggio rispetto alla complessità dei processi e soluzioni adottate per altri classi di velivoli, sia perché i diversi requisiti operativi inducono a criteri di progetto e quindi a contenuti tecnologici completamente diversi dei vari aspetti del velivolo.
I criteri di impostazione tecnologica dell'ala per velivoli regionali devono tener conto, ad esempio, dell'elevata generazione di inquinanti durante le fasi di salita e discesa del velivolo quantitativamente equivalenti a quelli emessi durante la crociera in quota. Negli airliners la fase di crociera è invece nettamente dominante.
A ciò si aggiunge l'impatto delle diverse dimensioni e potenze in gioco, sia per il propulsore principale sia quella richiesta per l'alimentazione dei servizi di bordo. Questo effetto scala ha ovviamente anch'esso la sua importanza nelle scelte delle tecnologie più adatte.

Ridurre le emissioni significa sia ridurre gli agenti inquinanti emessi dai motori, sia ridurre il livello dei consumi. Quest'ultimo aspetto passa attraverso la riduzione del peso del velivolo, l'ottimizzazione aerodinamica per la riduzione della resistenza aerodinamica, lo sviluppo di soluzioni aerodi-

32 1 Miglia nautico equivale circa a 1850 metri.

namiche innovative, la corretta gestione dell'energia utilizzata a bordo (sia per il condizionamento sia per il funzionamento dei sistemi), la gestione ottimizzata delle traiettorie di volo (con evidente impatto anche sulle tecnologie relative all'Air Traffic Management), l'introduzione di sistemi di *load alleviation*.

La riduzione del peso può avvenire attraverso innovative scelte architetturali ed approcci progettativi, l'impiego di strutture "*smart*", l'introduzione di nuovi materiali (compositi innovativi, nanomateriali, ecc. – vedi scheda *"Nuovi materiali e processi produttivi per le strutture ed i motori aeronautici"*), l'impiego di materiali multifunzionali/multilayer. Questi ultimi, grazie a sensori integrati, permettono l'ottimizzazione del monitoraggio strutturale e sono in grado di sopperire alle funzionalità tipiche di sistemi tradizionali (lightning protection, electrical grounding, thermal insulation, acoustic insulation, ecc.), in modo da eliminare o ridurre fortemente i pesi ad essi dovuti.

Le tecniche di load alleviation, basandosi su reti di sensori ed adeguati software di calcolo, consentono di far adattare la configurazione delle superfici di controllo alle varie fasi della missione di volo, con un incremento dell'efficienza ed una riduzione dei carichi massimi di raffica e di manovra. Questo tipo di approccio consente inoltre di rispettare requisiti più restrittivi relativamente al rumore aerodinamico.

L'energy management consiste in una serie di tecnologie finalizzate alla riduzione delle potenze necessarie e dell'inquinamento derivante dalla sua generazione. Al fine di raggiungere l'obiettivo dell'*all electric aircraft*, si punta a convertire i sistemi di bordo, oggi essenzialmente di tipo idraulico e pneumatico, in sistemi alimentati elettricamente (attuatori elettrici per il flight control system, landing gear e freni ad attuazione elettrica, sistema condizionamento elettrico, sistema di ice protection elettrico, ecc.). A ciò vanno associate le tecnologie necessarie all'alimentazione elettrica di alta potenza ed una corretta gestione termica, per la riduzione dell'uso della secondary power unit.

Nuove configurazioni dei sistemi propulsivi (*open rotor, propfan*), caratterizzate da elevatissimi rapporti di bypass (e di conseguenza grandi volumi) e significativi incrementi nell'efficienza, presentano considerevoli impatti sull'architettura del velivolo con pesanti implicazioni aerodinamiche, tali da imporre lo studio di nuove configurazioni per i velivoli regionali del futuro.

Oltre che intervenendo sui motori e sui sistemi propulsivi, la riduzione del rumore avviene anche attraverso il controllo degli aspetti aerodinamici. Le fonti principali di rumore in questo caso sono la separazione di flusso a valle delle superfici mobili delle ali, le fessure tra i sistemi di ipersostentazione delle ali, i condotti e i cavi del carrello di atterraggio, i vortici generati dalle ruote del carrello ed intorno alle baie carrello.

La capacità di progettazione di sistemi di ipersostentazione con caratteristiche "*low noise*" è fortemente legata alle capacità aerodinamiche ed alle tecnologie di controllo di flusso e di load alleviation. Non vanno poi sottovalutati gli aspetti configurazionali (come già accennato a proposito della riduzione delle emissioni) e di istallazione del motore stesso, che possono influire in maniera significativa sulla generazione del rumore del velivolo.

Forte impatto hanno quindi le tecnologie per la simulazione accurata ed affidabile della generazione del rumore (caratterizzazione delle sorgenti) e della sua propagazione per applicazioni in

regimi di moto che vanno dal subsonico al supersonico (sonic boom).
In sintesi, occorre possedere le competenze necessarie per l'ottimizzazione multidisciplinare per sviluppare configurazioni che combinino la massima prestazione aerodinamica con il minimo rumore generato e quindi consentano una riduzione dei consumi, e quindi la minore emissione di inquinanti gassosi, e la riduzione del rumore specialmente nella fase di salita dopo il decollo ed in atterraggio.

Ala rotante

Lo studio delle tecnologie per la riduzione dell'impatto ambientale dei velivoli ad ala rotante (elicotteri e tiltrotors) è un area di ricerca e sviluppo di grande interesse. Le potenziali tecnologie sono finalizzate sia alla riduzione delle emissione alla fonte che alla mitigazione della loro propagazione, spesso richiedendo soluzioni multidisciplinari integrate. A differenza dei velivoli ad ala fissa, il cui rumore è generato prevalentemente dai motori (l'airframe ha un significativo, ma minore contributo), il rumore dei velivoli ad ala rotante (particolarmente quello degli elicotteri) è generato prevalentemente dai rotori. L'emissione di inquinanti gassosi è fortemente legata ai requisiti del sistema propulsivo. Tecnologie capaci di abilitare la riduzione di drag e del peso a vuoto nonché l'incremento dell'efficienza del power train, ridurranno grandemente il consumo di carburante e quindi le correlate emissioni di CO_2.
L'ottimizzazione della progettazione delle pale rotore continuerà ad essere supportata come parte delle attività dell'R&D. Significativi vantaggi nella riduzione del rumore, nel miglioramento delle perfomance e nella riduzione delle vibrazioni può essere ottenuta da un miglior design della forma delle pale, dal loro twist e quindi dalla distribuzione del lift. Aerodinamica avanzata e modellizzazione dinamica del rotore, nonché la progettazione di rotor blades sono attività essenziali per l'ottenimento di tali risultati. Inoltre un passo significativo nel miglioramento potrà essere ottenuto attraverso le tecnologie di controllo attivo, come l'adozione di trailing edge delle pale attuate attivamente, o con pale con attuatori individuali di controllo che rimpiazzino il convenzionale sistema swashplate che esiste su tutti gli elicotteri attualmente in servizio. Sebbene queste tecnologie di controllo attivo siano ampiamente state testate, continuano ad essere sviluppate al livello di maturità richiesta per essere applicate su velivoli di produzione. Rotori attivi e la più tradizionale ottimizzazione passiva delle pale rotore porterà ad elicotteri più silenziosi così come più efficienti e quindi con più bassi consumi di carburante ed emissioni di CO_2.
La riduzione di peso può essere ottenuta attraverso metodi migliorati di integrazione velivolo e attraverso l'uso di nuovi materiali come i compositi avanzati. Esempi di "*smart integration*" includono l'abbinamento di elementi strutturali con materiali con caratteristiche di abbattimento acustico, termico ed isolamento elettromagnetico, ecc. Materiali nuovi e più leggeri non solo migliorano la frazione di peso a vuoto del velivolo, ma possono anche abilitare soluzioni configurazionali per rotori e fusoliere aerodinamicamente ottimizzate, soluzioni non economicamente realizzabili con i materiali correnti. Tutto ciò conduce ad una riduzione della resistenza aerodinamica ed ad un miglioramento dell'efficienza. Lo sviluppo di tool avanzati di ottimizzazione contribuirà all'integrazione di componenti del velivolo a bassa resistenza aerodinamica, come la fusoliera, il rotor hub e l'istallazione motori.

L'introduzione di tecnologie *more-electric* contribuirà a ridurre ulteriormente l'impatto sull'ambiente. Sistemi di propulsione ibrida permettono ai motori termici di operare alle condizioni di esercizio di massima efficienza. Sistemi avanzati di power management elettrico, insieme a sistemi per il recupero dell'energia derivante dal freno rotore e l'alta efficienza dei componenti elettrici, minimizzeranno lo spreco di energia. L'introduzione di attuatori elettromeccanici per i flight controls così come per il landing gear eliminerà la necessità del sistema idraulico.
Una significativo contributo alla riduzione delle emissioni acustiche e gassose a terrà può essere ottenuto operando con percorsi di volo, specialmente durante le fasi di atterraggio e decollo, che siano progettati in maniera dedicata per tale scopo. Tutto ciò è possibile sviluppando ulteriormente le capacità di controllo e manovrabilità dei moderni velivoli ad ala rotante, insieme a sistemi di flight control avanzati e di visione sintetica per il pilota delle traiettorie di volo ottimizzate. L'integrazione di queste tecnologie all'interno del futuro sistema di Air Traffic Management è fondamentale per garantire la sicurezza ed il ridotto impatto ambientale dei voli.

Processi produttivi, utilizzo dell'aeromobile, manutenzione e smaltimento

Alle tecnologie specifiche per gli aeromobili finalizzate alla riduzione degli inquinanti atmosferici e del rumore, vanno affiancate le tecnologie capaci di supportare tutte le fasi della vita del velivolo, dal suo concepimento e produzione, al suo impiego e manutenzione fino alla sua dismissione, in modo da massimizzare la riduzione dell'impatto ambientale durante tutto il life cycle del prodotto aeronautico.

Sebbene alcune tecnologie, per loro importanza specifica, siano trattate in schede dedicate all'interno di questo volume, vale la pena in questa fase dare una visione integrata del tema.
In un approccio che tenga conto della vita complessiva del prodotto, fondamentale diventa il ruolo della progettazione del velivolo (Ecodesign), secondo i vincoli imposti dal requisito di riduzione dell'impatto ambientale. L'Ecodesign punta a selezionare materiali ed identificare processi produttivi tali da garantire la minor impronta ambientale possibile del velivolo sia durante la fase produttiva sia durante la sua vita operativa fino al suo smaltimento. Ad esempio l'impiego sempre più ampio di materiali compositi in sostituzione di leghe d'alluminio, non solo in ambito militare ma anche civile, pone il problema del loro smaltimento e recupero a fine vita con problematiche accentuate dagli enormi volumi di produzione. La progettazione di strutture che utilizzino materiali rinnovabili e riciclabili nonché maggiormente resistenti alle condizioni ambientali, può aumentare la loro durata e ridurne gli scarti nelle fase di produzione, manutenzione e dismissione. In quest'ambito l'industria ed il sistema di ricerca italiano possiede oggi quelle capacità tecnologiche che possono far aspirare a ruoli di leadership su scala mondiale. Tali capacità, tuttavia, richiedono investimenti in sviluppo ed implementazione per passare dal livello embrionale e di ricerca in cui si trovano attualmente a livello di offerta industriale.
Relativamente ai processi di manufacturing, va ricordato che le sempre più stringenti regolamentazioni ambientali (REACH[33]), porteranno alla necessità di sostituire molti materiali e/o sostanze

33 Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances (REACH), regolamentazione europea sulle sostanze chimiche ed il loro uso sicuro, in vigore dal 1° Giugno 2007.

che sono attualmente alla base di importanti fasi del processo di produzione aeronautica. Grande impatto deriverà dell'eliminazione del Cromo e del Cadmio dagli attuali processi di coating e dalla loro sostituzione con materiali/processi ecocompatibili, pur garantendo performance simili se non sensibilmente migliorate rispetto all'attuale stato dell'arte.
Le tecnologie per la riduzione dell'impatto ambientale non possono poi non tener presente del periodo più lungo del lifecycle del velivolo ovvero la sua vita operativa, attraverso due momenti fondamentali, la manutenzione e le operations.
Per quanto riguarda la manutenzione è fondamentale impiegare tecnologie che consentano la riduzione degli inquinanti e l'aumento della durata. Problema particolarmente sentito riguarda la manutenzione delle carboresine. Lo sviluppo di tecnologie e tecniche per la riparazione di pannelli e strutture in materiali compositi aumenterà la loro vita, riducendo quindi la quantità di materiali da smaltire.
Per quanto riguarda le operations, fondamentale è la modalità di utilizzo del velivolo. L'individuazione di particolari traiettorie porterà a ridurre notevolmente l'inquinamento acustico ed ambientale nelle zone limitrofe agli aeroporti nelle fasi di atterraggio e di decollo. Tutto ciò richiede lo sviluppo di specifiche tecnologie di simulazione e navigazione, sia per il segmento di terra che per quello di volo (vedi scheda "Funzioni avanzate Air Traffic Management") che ne abilitino l'effettiva implementazione operativa.

Sistemi di simulazione per l'impatto ambientale

Un importante elemento in tale contesto è la valutazione dell'impatto delle tecnologie sviluppate sugli aspetti ambientali; per far ciò è necessario dotarsi di una capacità modellistica per la sua simulazione (acustica ed emissioni) sia locale (area aeroportuale) che globale. La capacità modellista deve comprendere:

- Scenari operativi: flotte, previsioni di traffico, capacità aeroportuale.
- Modelli di prestazione dei velivoli per missioni di volo e traiettorie in crociera e decollo/atterraggio.
- Modelli di predizione di impatto acustico al suolo basato su leggi empiriche e semi-empiriche (*ATS-simulato*) ma anche su simulazioni numeriche dei fenomeni aero-acustici.
- Modelli di stima di emissione di CO_2 e NO_x per categoria/modello di velivolo che permettano di calcolare, oltre ai valori di dB, anche i ratei di produzione chimica *(ATS simulato e reale)*.
- Sistema di monitoraggio real-time (network di sensori fisso e/o mobile) con raccolta dati integrati (SPL-dB, CO_2, NO_x,Ɛ) ad elevato time-rate (*Scala aeroportuale/regionale, ATS reale)* ai fini della validazione delle metodologie sviluppate nonché del monitoraggio dell'impatto ambientale e del rispetto delle traiettorie imposte per l'avvicinamento/decollo nelle zone aeroportuali.
- Modelli per la valutazione di scenari operativi in ambito trasporto aereo che, oltre a considerare l'impatto fornito dai velivoli, prendano in considerazione anche l'impatto e l'influenza delle infrastrutture di terra richieste (tipologia di aeroporti/eliporti, collegamenti da/per le zone di atterraggio, requisiti di infrastrutture di navigazione aerea, etc.)

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Il segmento di mercato dei velivoli regionali è attualmente dominato, fatta eccezione per il velivolo ATR, da società non europee.

Il 7° Programma Quadro della Comunità Europea, affianco alla "Collaborative Research" con la tematica "Greening" aperta in tutte le Call, ha previsto nuovo strumento denominato Joint Technology Initiative (JTI) per effettuare attività di ricerca complesse ed integrate con l'obiettivo di sviluppare, validare e dimostrare nuove tecnologie in diversi settori industriali. Clean Sky è il JTI in campo aeronautico, per lo sviluppo di tecnologie in tutti i comparti dell'aeronautica civile che rendano i mezzi aerei di gran lunga più rispettosi dell'ambiente rispetto a quelli attuali.

Alenia Aermacchi è leader di una delle sei Piattaforme di ricerca costituenti il Clean Sky: la "Green Regional Aircraft". Le tecnologie sviluppate nel Clean Sky ed in particolare in questa Piattaforma, contribuiranno a permettere il lancio di una famiglia di velivoli regionali con spiccate caratteristiche di innovazione, competitività e rispetto dell'ambiente, caratteristiche necessarie per assicurarne il successo commerciale in un mercato fortemente in crescita, ma anche altamente competitivo, complementare a quello già consolidato guidato da Airbus, consentendo, in questo modo, all'Europa di offrire l'intera gamma di velivoli commerciali oggi carente sul lato regionale, dove è presente con la sola famiglia di velivoli turboelica ATR.

Nell'ambito delle tecnologie per la riduzione dell'impatto ambientale, in Europa Airbus, in qualità di player mondiale nel segmento degli airliner, riveste un ruolo di riferimento per il settore. Tuttavia la diversità del prodotto di riferimento ed i diversi requisiti dettati dalle aerolinee, impongono soluzioni tecnologiche differenti e spesso non applicabili al segmento dei regionali. Ad esempio, per quanto riguarda l'efficienza aerodinamica Airbus è intenzionata a migliorarla tramite l'abbattimento dei carichi di raffica e del rumore, attraverso tecnologie attive che prevedono l'adozione del controllo dello strato limite aerodinamico e di sofisticati sensori. Tali soluzioni risulterebbero troppo costose per poter essere applicate a velivoli regionali, dove la sensibilità al fattore costo per il cliente è fortemente superiore. Gli stessi effetti sono ricercati per i velivoli regionali attraverso l'utilizzo delle superfici mobili dell'ala configurate opportunamente ed utilizzate in maniera non convenzionale, facendo leva sulle capacità di gestione "intelligente" delle funzioni principali del velivolo. AgustaWestland è leader della piattaforma elicotteristica "Green Rotorcraft" all'interno di Clean Sky. Questa piattaforma elabora soluzioni per la riduzione della resistenza aerodinamica, di nuove traiettorie di decollo ed atterraggio, di utilizzo di materiali innovativi ed ad impatto ambientale ridotto. La possibilità di utilizzare traiettorie di volo nelle fasi di decollo/atteraggio richiede anche l'integrazione con i nuovi sistemi di navigazione di precisione che sfruttano la navigazione satellitare, per poterne implementare appieno tutte le potenzialità in termini di riduzione di rumore ed emissioni inquinanti al suolo. Altre aree di indagine riguardano l'adozione di pale a controllo attivo (per la riduzione della potenza richiesta) e quello dello sviluppo delle tecnologie elettriche quali i sistemi di recupero dell'energia (termica, meccanica).

Nell'ambito della "Collaborative Research" numerosi progetti dedicati al Greening sono stati finanziati nel 7° PQ, nei consorzi di tali progetti il CIRA svolge un importante ruolo con attività di ricerca in diverse discipline e tecnologie.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 3

TECNOLOGIE PER MOTORI A BASSE EMISSIONI

DESCRIZIONE

Per mantenere il livello tecnologico dei motori per impiego aeronautico competitivo ed allineato agli scenari ed alle opportunità di mercato occorre continuamente investire in programmi tecnologici atti a migliorare i componenti di propria responsabilità in ottica evolutiva.

Lo sviluppo di tecnologie chiave consente di partecipare con maggior profitto alle nuove partnership internazionali per lo sviluppo di nuovi propulsori richiesti dalle aerolinee ed industrie di aeromobili.

I motori aeronautici contribuiscono in modo significativo alle emissioni ambientali rappresentando una fonte rilevante di rumorosità per le comunità in particolare in prossimità degli aeroporti e per il rilascio nell'atmosfera di elementi inquinanti (CO_2 e NO_x) che hanno impatto sul fenomeno del riscaldamento globale.

I miglioramenti tecnologici introdotti sui sistemi propulsivi negli ultimi decenni hanno permesso di ridurre in modo sensibile i consumi e le emissioni, ma per raggiungere gli ambiziosi obiettivi definiti in ambito ACARE (*Advisory Council for Aeronautics Research in Europe)* occorre spingere oltre il livello tecnologico per realizzare componenti sempre più performanti ed efficienti.

Tra le varie linee di sviluppo tecnologico di nuove configurazioni di motori aeronautici ad alto rapporto di diluizione con architetture convenzionali (turboreattori bi-albero o tri-albero e turboelica), mirate all'aumento dell'efficienza termodinamica e propulsiva degli stessi, le più significative ad oggi individuate che devono essere perseguite per mantenere gli standard di eccellenza nel futuro sono le seguenti:

Materiali e processi Avanzati

La necessità di migliorare le prestazioni e contemporaneamente di ridurre i pesi ed i costi comporta lo studio continuo delle possibilità di utilizzo di nuovi materiali.

L'attenzione principale sui componenti più freddi delle turbine è rivolta ai materiali intermetallici a bassa densità (Alluminiuri di Titanio).

I nuovi criteri progettuali per le pale di turbina realizzate con materiali considerati fragili, quali materiali ceramici e leghe intermetalliche richiedono un'attenta valutazione della capacità del processo produttivo di soddisfare a requisiti sempre più stringenti sul prodotto finale, in termini di:

- tolleranze geometriche sempre più spinte;
- controlli non distruttivi aventi specifiche di accettazione più selettive;
- sensibilità alle diverse tipologie di difetto per garantire un progetto robusto e stabile.

Inoltre, visti i costi associati allo sviluppo di soluzioni tecnologiche innovative, il ricorso alla modellazione sia dei materiali che dei processi diventa un fattore chiave per l'intero settore.
Per i componenti della turbina, esposti alle maggiori temperature, la superlega resta l'elemento chiave attorno a cui ruota lo sviluppo sia per quanto riguarda il materiale che il processo fusorio di fabbricazione dei relativi componenti.
Lo studio di superleghe con composizioni elementari, sempre più raffinate, ha portato allo sviluppo negli ultimi anni di leghe monocristalline sempre più resistenti al creep e alla ossidazione.
Per la tipologia di elementi introdotti, non sempre questi aspetti tendono ad andare nella medesima direzione. Lo sviluppo di leghe di quarta generazione è andato nella direzione di incrementare la presenza di metalli refrattari, con l'aggiunta, oltre che del Renio (già presente fin dalla comparsa delle leghe di seconda generazione), anche del Rutenio (dal 2 al 4% in peso), adatti a migliorare la stabilità microstrutturale e il comportamento a creep ad alte temperature, ma con costi certamente più elevati rispetto alle leghe precedentemente sviluppate ed utilizzate.
Ulteriori sviluppi verso leghe di quinta e sesta generazione hanno privilegiato e incrementato la presenza del Rutenio (fino a oltre il 6%).
Per quanto detto, lo studio di composizioni elementali ottimizzate ha portato ad ottenere forti incrementi prestazionali, ma con l'aggravante di aumentarne sensibilmente i costi e le difficoltà di reperimento per alcune materie prime, importanti per le proprietà richieste.
La driving force è duplice: necessità di innalzare le temperature dei gas di ingresso in turbina e mantenere basso il livello di emissioni nocive (NOx, CO_2, rumore). Per rispondere a tali criteri è necessario il continuo incremento prestazionale dei componenti di turbina realizzabile con lo sviluppo e l'ottimizzazione dei materiali e processi tipici della fonderia di precisione e con l'adozione di criteri progettuali e soluzioni tecnologico/produttive eco-compatibili, attente ad un utilizzo più razionale dei materiali e all'efficienza dei sistemi di manifattura.

In questa direzione si sottolinea l'importanza dello sviluppo di modellazioni di processo sempre più spinte. Ulteriore linea di sviluppo è il miglioramento del raffreddamento delle palettature mediante l'impiego di anime ceramiche utilizzate nel processo di fonderia.
Dal buon raffreddamento dipende buona parte della capacità di una paletta nel motore di dissipare la propria energia termica, a vantaggio delle prestazioni finali del motore stesso.
In questo ambito, l'obiettivo da raggiungere nel processo di fonderia è lo sviluppo e successivo utilizzo di anime ceramiche in grado di reggere ai carichi termomeccanici tipici del processo di fonderia senza distorsioni e/o rotture. Solo in tal modo è infatti possibile garantire i ristretti requisiti di progetto, tipici del processo di "microfusione a cera persa".
In sintesi, per sviluppare le tecnologie per le turbine del prossimo futuro non si potrà prescindere dal processo di manifattura dei componenti di turbina mediante la tecnica di "*investment casting*", per cui lo sviluppo di tecnologie fusorie a maggiore efficienza metallurgica e l'efficienza complessiva delle tecnologie di fabbricazione saranno le chiavi per sviluppare prodotti ad elevata efficienza termo meccanica e ridotto impatto ambientale.
Per il prossimo futuro, a livello di componenti permane anche l'attenzione sull'applicabilità di materiali ceramici e compositi ceramici che promettono una drastica riduzione dell'aria richiesta per il raffreddamento delle parti e del peso dei componenti stessi.

L'introduzione di nuovi materiali intrinsecamente più fragili e sensibili alle difettosità rispetto ai tradizionali materiali metallici richiederà lo sviluppo di nuove tecnologie di lavorazione e di controllo, nuove soluzioni progettuali e nuove metodologie di calcolo ed analisi.

Sistemi di controllo termico turbina

L'ottimizzazione delle prestazioni rimane in ogni caso legata alla capacità di garantire alte efficienze nel gestire i componenti caldi del motore. In particolare lo sviluppo di sistemi di raffreddamento che permettano un consumo ridotto d'aria rimane un'area strategica con impatto diretto sul consumo e sulle emissioni dell'intero motore. Le tecniche che in futuro andranno sviluppate si basano sia su concetti di sistemi integrali multiparete (geometrie di canalizzazioni molto complesse e direttamente ottenute per fusione) sia di sistemi di microforatura e traspirazione.
Appare altresì chiara la necessità di sviluppare maggiori sinergie tra chi progetta e chi realizza i canali di raffreddamento per abbassare i costi di processo in fonderia.
Sempre da un punto di vista del controllo termico sarà richiesta la capacità di controllare le *tip clearance* delle pale (compressore e turbina) durante tutta la missione del velivolo. Siccome questo avverrà raffreddando e riscaldando opportunamente i vari componenti, sarà richiesta una capacità di simulazione numerica multidisciplinare molto spinta, nonché uno sviluppo nelle capacità di misura delle clearance in condizioni operative del motore. Anche le tecniche di controllo termico dei singoli componenti potranno subire delle evoluzioni arrivando a proporre materiali "intelligenti" in grado di autoregolarsi in temperatura e deformazione.

Modelli avanzati di simulazione

Lo sviluppo di modelli avanzati per la simulazione e modellazione aerodinamica, acustica, meccanica, validati attraverso campagne di prova sperimentali, è necessario per mantenere ed incrementare il livello competitivo.
Inoltre, l'integrazione in un processo robusto di tali metodologie, consentirebbe di garantire l'ottimizzazione delle soluzioni progettuali in un'ottica multidiciplinare con sicure ricadute positive sulle prestazioni, sicurezza, peso e costo del prodotto.
Per i componenti più critici delle turbine aeronautiche, le palette in superlega, è necessario ricorrere alla simulazione del processo di colaggio e successiva solidificazione dei getti, in quanto il costo della superlega) non consente di procedere per sperimentazioni reiterate. Una buona simulazione consente vantaggi enormi in termini di ridotti costi operativi e ridotti tempi di sviluppo per nuovi prodotti.
Una simulazione diventa uno strumento potente nella misura in cui:

a) i dati di ingresso (DB dei materiali, condizioni al contorno) sono quanto più possibile reali e sempre meno approssimati: ciò richiede un filone di ricerca specifico sulla corretta identificazione delle proprietà termofisiche di materiali ad elevate temperature (1500°C);
b) si ha una conoscenza approfondita del processo fisico (equazioni più aderenti al modello reale).

L'obiettivo da raggiungere è un'efficacia sempre più spinta dei codici di calcolo, con previsioni sempre più aderenti al sistema fisico reale, possibile soltanto tramite una reale conoscenza dei

materiali ed una corretta interpretazione della fenomenologia fisica del processo e degli elementi in esso coinvolti.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il raggiungimento degli obiettivi sfidanti definiti per il lungo termine in ambito ACARE è possibile solo attraverso lo sviluppo continuo di tecnologie chiave nell'ambito dei motori che saranno sviluppati nel breve-medio termine (2020).

Sono pertanto necessari ulteriori studi e lo sviluppo di nuove tecnologie, nuovi strumenti e metodologie di progetto per pervenire alla realizzazione di dimostratori anche in scala reale che possano garantire il conseguimento degli sfidanti obiettivi.

Tra queste tecnologie, l'investment casting è quella con cui si fabbricano le palette per le parti più calde delle turbine per i turbo jet dei motori aeronautici.

L'aumento della temperatura dei gas di ingresso in turbina è il fattore dominante per l'efficienza termodinamica delle stesse e direttamente collegata alle prestazioni termo meccaniche dei componenti di cui è realizzata.

Dunque, lo sviluppo delle tecnologie di microfusione è elemento imprescindibile per la realizzazione di motori ad elevata efficienza e basse emissioni.

Sulla base delle informazioni tecniche fornite nei paragrafi precedenti, si possono fornire alcuni spunti utili a motivare lo sviluppo delle tecnologie microfusorie:

- sviluppo di processi fusori a più elevata "castability" che consentano cioè di ottenere pale per turbina con elevata efficienza e bassi costi di produzione;
- ricerca delle condizioni di raffreddamento ottime da un punto di vista progettuale e realizzativo durante il processo di microfusione, mediante l'utilizzo di anime ceramiche ad elevata efficienza[34];
- rivestimenti protettivi della pala sempre più efficaci;
- near net-shape manufacturing mediante la ricerca su processi avanzati che consentano una riduzione significativa dei costi e dei tempi di manifattura;
- concepire e sviluppare modellazioni numeriche sempre più aderenti alla realtà fisica dei processi in studio;
- riduzione dei pesi, laddove possibile.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Nonostante l'investment casting abbia origini antichissime (4000 a.c.), la prima vera innovazione risale al periodo bellico della Seconda Guerra Mondiale, dove la tecnica fu utilizzata per lo sviluppo e la produzione delle prime pale per i motori degli aerei militari e sul motore a jet.

Da allora in poi la ricerca si è concentrata tanto sui materiali di base quali le superleghe, quanto sui processi fusori, andando gradatamente a soppiantare la struttura equiassica delle prime superleghe, con quella direzionale e successivamente con quella monocristallina. In tal modo si

34 Martin Riley "*Towards Inert Cores for Investment Casting*" A thesis submitted to the University of Birmingham for the degree of Master of Research in Chemical Engineering Science, 2011

garantiva un sensibile innalzamento delle proprietà termiche e meccaniche delle palette in esercizio, con seguente miglioramento dell'efficienza del motore e contribuendo così in modo significativo ad un salto tecnologico senza precedenti nel settore aeronautico (motori più potenti, spinte maggiori, incremento dei carichi termomeccanici sopportati). La ricerca tecnologia e industriale riguarda tanto i materiali di base per la fonderia (superleghe e ceramici tecnici in primis), quanto i processi fusori.

Le tecnologie delle superleghe si specializzano sullo sviluppo di appropriate composizioni in grado di soddisfare criteri sempre più spinti di progettazione termomeccanica, così come i materiali ancillari (in particolare i ceramici tecnici).

Le tecnologie di manifattura ottimizzate completano il fabbisogno tecnologico.

Sicuramente lo sviluppo dei materiali e principalmente della superlega è appannaggio di grosse multinazionali straniere (USA in primis, UK, Francia, Germania), mentre per i processi di fabbricazione anche in Italia si dispone di forti competenze specialistiche, all'avanguardia internazionale.

Gli ambiti tecnologici sopra descritti costituiscono le aree di ricerca più avanzate per quanto riguarda lo sviluppo di nuove architetture motore e di metodologie e strumenti di progettazione nel settore.

Lo sviluppo delle tecnologie per le configurazioni evolutive qui descritte porrebbero l'industria nazionale in una posizione di vantaggio nel panorama del mercato internazionale, in cui le aziende motoristiche (OEM) considerano come 'core' tali tecnologie tendendo a svilupparle in casa. La dimostrazione di un livello tecnologico di eccellenza nei riguardi di un OEM consentirebbe di giocare un ruolo sempre più rilevante a livello di partecipazione all'interno dei consorzi per lo sviluppo di nuovi propulsori.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 4

TECNOLOGIE PER ARCHITETTURE MOTORE CONVENZIONALI ED INNOVATIVE

DESCRIZIONE

I propulsori per impiego aeronautico, benché abbiano già integrato negli anni importanti tecnologie per la riduzione dell'impatto ambientale, necessitano di ulteriori attività di ricerca atte ad individuare e dimostrare tecnologie di rottura per la riduzione del rilascio in atmosfera di elementi inquinanti (CO_2 e NO_x) che hanno impatto sul fenomeno del riscaldamento globale e della rumorosità per le comunità in prossimità degli aeroporti.

Per raggiungere gli ambiziosi obiettivi definiti in ambito ACARE (*Advisory Council for Aeronautics Research in Europe)* per il 2020 e con una prospettiva più ampia recentemente estesa al 2050 non è più solo sufficiente apportare miglioramenti di carattere evolutivo ma sono necessari drastici cambiamenti che coinvolgono pesantemente anche le architetture dei sistemi propulsivi e la loro installazione sul velivolo.

Il miglioramento tecnologico riguarda le configurazioni tradizionali a sempre più elevato rapporto di diluizione e configurazioni innovative.

Tra le varie possibilità di sviluppo di nuove configurazioni di motori aeronautici, mirate all'aumento dell'efficienza propulsiva e termodinamica degli stessi, le più significative ad oggi individuate ed allo studio sono le seguenti:

Tecnologie per lo sviluppo di turbine per propulsioni a rotore aperto "Open rotor"

Si tratta di un concetto già sviluppato in passato ma che richiede un forte step tecnologico sui componenti chiave per consentire all'Open rotor di emergere come architettura promettente per i velivoli a basso consumo e rumorosità di prossima generazione in prima battuta per i futuri velivoli nella classe a medio raggio tipo A320 / B737 (2020-2025).

La configurazione di riferimento individuata attraverso studi concettuali condotti negli ultimi anni prevede è una turbomacchina 'ibrida' ad alto rapporto di diluizione (BPR>30) che differisce dagli standard tradizionali in quanto prevede la trasmissione della potenza ai rotori controrotanti per mezzo di una trasmissione meccanica altamente innovativa guidata da una turbina ultracompatta ad alta velocità ed altissima efficienza. Tale configurazione è potenzialmente in grado di ridurre i consumi del 30% rispetto ai motori attualmente in servizio.

Tale configurazione comporta una serie di problematiche che devono essere affrontate attraverso lo sviluppo e la dimostrazione di tecnologie chiave sui due componenti chiave fortemente integrati (trasmissione e turbina) per la corretta comprensione dei fenomeni aerodinamici, meccanici e del rumore della turbina e di quelli meccanici e dinamici della trasmissione.

Dati gli aspetti particolarmente innovativi di questa architettura è necessario effettuare, oltre alle valutazioni analitiche, prove sperimentali su banchi e dimostratori per validare le prestazioni atte-

se, misurare le emissioni e verificare il comportamento meccanico dei componenti.
Le principali tecnologie da sviluppare prevedono:

- ambienti di progettazione avanzati (Ottimizzatori Multidisciplinari, Codici aerodinamici, Codici per la riduzione di rumore acustico, codici per lo scambio termico),
- sistemi di trasmissione avanzati,
- sistemi di controllo delle clearance turbina,
- sistemi di monitoraggio,
- tecniche di raffreddamento,
- nuovi processi a basso costo e a basso impatto ambientale tipo "additive munufacturing" per realizzazione di componenti (pale, vanes£),
- materiali ad alta temperatura,
- tecniche di virtual testing per ridurre i costi di prove sperimentali onerose.

Tecnologie per lo sviluppo di configurazioni "Geared fan"

Una configurazione motore alternativa che permette di massimizzare le prestazioni del motore, e ridurre i consumi di oltre il 15% mantenendo limiti di accettabili di rumorosità, è rappresentata dall'introduzione di una trasmissione di riduzione di potenza tra la turbina di bassa pressione ed il compressione di bassa pressione (fan). In questo modo è possibile disaccoppiare la turbina, che può essere più piccola e girare velocemente, dal fan che può avere grandi dimensioni e girare più lentamente, ottimizzando di conseguenza l'efficienza del propulsore.
Nel recente passato sono state sviluppate le tecnologie per realizzare trasmissioni di potenza adatte a queste configurazioni attraverso la realizzazione di dimostratori tecnologici quali ADP, ATFI e EVNERT.
Anche in questo caso, per consentire di ottimizzare il livello di maturazione delle tecnologie occorre ulteriormente sviluppare alcune tecnologie chiave che permettano di realizzare trasmissioni di potenza leggere e con elevata densità di potenza.
Le principali tecnologie da sviluppare sono:

- Codici per l'analisi strutturale e tribologici.
- Definizione di nuovi cuscinetti a rotolamento avanzati per alte sollecitazioni.
- Definizione di nuovi cuscinetti a strisciamento altamente caricati.
- Messa a punto di strumenti per l'analisi dinamica di sistemi.
- Strumenti per la previsione di "crack propagation".
- Sistemi di diagnostica avanzata e prognostica.
- Sviluppo di ingranaggi ad alte prestazioni.
- Studio e realizzazione di banchi prova sperimentali per la valutazione dei dimostratori.
- Materiali ad alta durezza.
- Sistemi di simulazione della colata.
- Tecnologie innovative basate su Additive Manufacturing per la realizzazione di componenti con geometrie innovative per la minimizzazione del consumo olio.

Tali tipi di propulsore entreranno in servizio nei prossimi anni su velivoli regionali (C-series e MRJ)

e su quelli a medio raggio (A320 NEO) attraverso il costruttore USA Pratt & Withney ed i suoi partners.
Lo sviluppo delle linee tecnologiche suddette consentirebbe di aumentare il vantaggio competitivo in vista delle nuove versioni motore da sviluppare che prevedono il concetto del 'Geared fan'.
Studi relativi a configurazioni e componenti per motori più elettrici, unitamente allo sviluppo di concetti innovativi quali p.e. cicli variabili, cicli recuperativi, motori ibridi (termici/elettrici) potrebbero altresì essere di interesse in un'ottica più di lungo periodo.
Molte di queste tecnologie sono inoltre applicabili alle attuali configurazioni tradizionali e tra questa anche ai turboprop, motorizzazione di cui si prevede un possibile utilizzo per veicoli unmanned.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il raggiungimento degli obiettivi sfidanti definiti per il lungo termine in ambito ACARE, in particolare in seguito all'emissione della vision per il 2050, è possibile solo attraverso lo sviluppo di tecnologie chiave nell'ambito dei motori che prevedono innovazioni architetturali radicali. Nonostante i vari tentativi effettuati per valutare a priori quali possono essere le architetture più promettenti, la complessità dei sistemi e dei fenomeni in gioco non permettono di identificare al momento una possibile soluzione vincente e duratura.
Sono pertanto necessari ulteriori studi e lo sviluppo di nuove tecnologie, nuovi strumenti e metodologie di progetto per pervenire alla realizzazione di dimostratori anche in scala reale che possano garantire il conseguimento degli sfidanti obiettivi.
Tutti i principali attori (industria, università e centri di ricerca, PMI) possono contribuire in ambito collaborativo alla dimostrazione di tali tecnologie.
Avio può far leva in ottica sinergica sulla partecipazione ai più significativi progetti integrati a livello europeo (EEFAE, VITAL, DREAM) e non ultimo al programma "Clean Sky" Joint Technology Iniziative (JTI) in cui è partner associato per lo sviluppo di componenti turbina e trasmissioni di potenza delle configurazioni prodotto più innovative con i partner internazionali di riferimento.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le tecnologie sopra descritte costituiscono le aree di ricerca più avanzate per quanto riguarda lo sviluppo di nuove architetture motore e di metodologie e strumenti di progettazione nel settore.
In alcuni casi (USA, Russia) codici e metodologie di progetto sono già accorpati in sistemi di calcolo integrati che rappresentano il motore completo ancora durante la fase di design, simulandone il funzionamento in tutto l'inviluppo operativo.
Lo sviluppo a tempo delle tecnologie per le configurazioni Open rotor e Geared fan qui descritte porrebbero l'industria nazionale in una posizione di vantaggio nel panorama del mercato internazionale, soprattutto perché Avio ha leadership mondiale nel campo delle trasmissioni e le trasmissioni di potenza sono il modulo nuovo e chiave per le nuove configurazioni motore. Tale leadership va mantenuta. Inoltre Avio possiede una riconosciuta leadership nelle turbine e sta sviluppando con decisione le tecnologie dei combustori a basse emissioni.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 5

TECNOLOGIE DIGITALI PER LA PROGETTAZIONE E LA PRODUZIONE AERONAUTICA: DAL "VIRTUAL PRODUCT" AL "DIRECT DIGITAL MANUFACTURING"

DESCRIZIONE

Le tecnologie descritte in questo paragrafo si inquadrano nell'ambito sia delle linee strategiche europee sia di quelle nazionali della ricerca aeronautica dedicate ad affrontare le esigenze di realizzazione di prodotti innovativi con costi ridotti di sviluppo, di produzione e di manutenzione nel rispetto dei sempre più stringenti requisiti di eco-compatibilità e sicurezza (safety). Un focus particolare andrà dedicato ai velivoli da trasporto regionale, al settore elicotteristico, ai sistemi "RPAS" o "UAS", alla motoristica, ma anche al sistema di trasporto complessivo.

La capacità di condurre complesse simulazioni di fenomeni e processi multidisciplinari potrà consentire una riduzione dei tempi di progettazione e l'ottimizzazione per tutti i sottosistemi e per il sistema complessivo in esame.

Dovrà essere possibile l'utilizzo sistematico della simulazione teorico-numerica (virtual simulation) in tutte le fasi dell'intero ciclo di vita di un prodotto:

- nella progettazione in modo da ridurre costi e tempi di sviluppo;
- nelle analisi e sperimentazione di nuovi velivoli ai fini della certificazione;
- nella fase di produzione con sistemi e materiali radicalmente innovativi.

Inoltre, dovranno anche essere sviluppati processi industriali integrati che includano lo sviluppo, la produzione, la simulazione e l'analisi dei dati di produzione.

A tale riguardo è importante che a livello nazionale si possa disporre di infrastrutture e progetti di R&ST dedicati allo studio dei sistemi di produzione innovativi per il settore aeronautico e spaziale al fine di migliorare la capacità produttiva e i processi dell'intero settore nazionale nonché la sua capacità di correlarsi e interagire con gli OEM internazionali ed europei.

Tra i processi produttivi innovativi si può citare la tecnica "Additive Manufacturing" che ha delle grosse potenzialità per l'aeronautica.

- Riduzione significativa dei costi di sviluppo di una nuova linea produzione per parti specifiche; non è necessario sviluppare costosi e complessi processi di pre-produzione ma è possibile testare più soluzioni realizzative con tempi e costi ridotti.
- Riduzione dell'utilizzo di materiale nei processi produttivi sia mediante un'ottimizzazione della struttura e delle dimensioni dei pezzi sia con la riduzione del materiale di scarto risultante dal processo di produzione stesso.
- Riduzione dell'energia necessaria al processo di produzione.
- Riduzione delle dimensioni fisica di una linea produttiva di pezzi specifici.

- Eliminazione della necessità di conservare, per tutto il periodo di vita di un tipo di velivolo, stampi o strumenti necessari al processo di produzione di pezzi specifici.
- Produzione di parti vicino al luogo dove sono richieste, senza strumenti specifici e su richiesta, invece di dover finanziare ampi magazzini dove stoccare pezzi di ricambio poco richiesti in varie parti del mondo. Ciò riduce gli investimenti di capitale fornendo nel contempo un'elevata flessibilità.
- Riduzione del peso dei pezzi prodotti a parità di caratteristiche meccaniche.
- Produzione di pezzi con caratteristiche personalizzate in termini di struttura, rigidità e qualità superficiale.
- Lavorazione in un sistema chiuso, garantendo che il processa resti libero da particelle e contaminazioni. Il fattore decisivo è che tutti I fattori distruttivi che potrebbero influire negativamente sul processo possono essere eliminati.
- Realizzazione di un processo produttivo che fornisce accuratezza ripetitiva e affidabilità di processo.

Le tecnologie digitali per la progettazione e la produzione aeronautica troveranno un naturale utilizzo nei processi di produzione basati sullo "Additive Manufacturing" ed insieme consentiranno degli importanti passi avanti nella transizione dal "Virtual Product" al "Direct Digital Manufacturing".

Uno degli elementi essenziali della "fabbrica del futuro" sarà proprio la disponibilità di tecnologie digitali per la progettazione e la produzione nonché una sempre maggiore adozione di robot per le fasi produttivi e di assemblaggio. Tali tecnologie digitali consentiranno non solo di simulare e prevedere il comportamento di sottosistemi e sistemi complessi fino al comportamento del velivolo completo in tutte le fasi della sua vita operativa, ma anche la simulazione del processo produttivo completo. Ciò consentirà di ottimizzare la stessa linea produttiva rendendola sempre più automatizzata, nonché di effettuarne un continuo monitoraggio ed un controllo automatico del processo.
Va ricordato che il processo di produzione aeronautica ha delle peculiarità (e.g. "moving line", requisiti assai stringenti per garantire elevati livelli di "safety", etc.) che andranno ben considerate sia nello sviluppo dei robot (per i processi di produzione ed assemblaggio) sia nello sviluppo delle tecnologie digitali per la progettazione e per il processo di produzione.
Lo sviluppo di metodi di calcolo ad alte prestazioni e di sofisticati modelli fisici – che costituiscono un'essenziale tecnologia abilitante per il "Digital Direct Manufacturing" – dovrà essere realizzato nell'ambito di collaborazioni su ampia scala con il coinvolgimento dei diversi attori interessati. Tra i principali argomenti da affrontare dovranno essere inclusi:

- Modellistica per la fluidodinamica, controllo del flusso, combustione, analisi e modelli stiche e termiche basate su metodi di calcolo ad alte prestazioni in grado di coprire tutte le esigenze del velivolo e del suo sistema di propulsione considerando i vari parametri interni ed esterni al sistema.
- Metodi e strumenti per semplificare l'analisi di configurazioni innovative di velivoli e l'integrazione dei relativi sistemi propulsivi.
- Validazione dei metodi di modellazione e simulazione per lo sviluppo di nuove configurazioni

di velivoli utilizzando risultati provenienti da attività di sperimentazione in ambiente operativo (dimostrazione).

- Metodi innovativi per l'analisi di danni, cedimenti strutturali e comportamento dei materiali e delle strutture aeronautiche con capacità di simulazione di fenomeni multidisciplinari e modellazione dei materiali al fine di ottenere maggiore accuratezza e affidabilità nell'ottimizzazione dei progetti specialmente per quanto concerne l'utilizzo di nuovi materiali con relative esigenze di caratterizzazione, modellazione e simulazione strutturale.
- Metodi e strumenti di simulazione del traffico aereo su larga scala e con inclusione del traffico a terra ed in aeroporto al fine di analizzare le operazioni e le traiettorie minimizzando distanze e tempi di viaggio e con la possibilità di caratterizzare: il singolo velivolo, una flotta di velivoli, etc.).

Sarà essenziale sviluppare un efficiente rete di infrastrutture per la sperimentazione e la certificazione sia reali (con modelli in scala) sia virtuali (attraverso simulazioni teorico-numeriche) coprendo l'intero perimetro delle esigenze di R&ST senza inutili duplicazioni e favorendo nel contempo lo scambio di conoscenza tra gli specialisti.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'acquisizione della filiera italiana della capacità di sviluppare processi più efficienti di progettazione, certificazione, produzione, e manutenzione potrà assicurare ai prodotti industriali una più elevata competitività ed una più rapida disponibilità sul mercato mondiale.
Lo sviluppo di processi manifatturieri innovativi basati sull'utilizzo di nuovi materiali e con livelli di automazione più elevati consentirà anche una riduzione dei costi.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 6
HEALTH MANAGEMENT SYSTEM

DESCRIZIONE

Poiché la manutenzione rimane una delle voci di spesa più importanti per le aerolinee, i costruttori aeronautici da tempo cercano soluzioni atte a minimizzare i costi di manutenzione, sia intesi come riduzione dei costi per la sostituzione dei componenti sia come riduzione dei costi di fermo macchina. Da più di un decennio quindi i grandi OEM offrono soluzioni, più o meno sofisticate, finalizzate ad agevolare ed ottimizzare le operazioni di manutenzione delle aerolinee.

Si tratta tipicamente di servizi aggiuntivi alla fornitura del velivolo e che consistono di strumenti di supporto ICT che, sfruttando i dati raccolti *on-board* al velivolo, forniscono informazioni preziose tali da consentire, ad esempio il monitoring *realtime* dello stato di salute e di perfomance della flotta e/o la comunicazione all'operatore di maintenance della failure presentatasi durante in volo, in modo da predisporre per tempo il personale ed i materiali necessari.

Tipicamente questa tipologia di sistemi trasmettono a terra ad un service provider le informazioni raccolte a bordo dal sistema di manutenzione del velivolo (*Central Maintenenance/On board Maintenance System/Integrated Vehicle Management System, ecc*.). Le informazioni, che contengono sia dati di monitoraggio delle performance del velivolo che dati provenienti dai sensori che monitorano il comportamento dei sistemi di bordo (dal motore alla struttura, dall'FCS all'avionica, ecc.) vengono interpretati per fornire diversi strumenti di supporto alla decisione sia per l'aerolinea che per il manutentore. I dati vengono inoltre collezionati in opportuni database, per costruire una base storica di comportamento della flotta, utile sia all'aerolinea, per analisi successive e per migliorare con continuità la conoscenza del proprio parco macchine ed sia al manutentore, per fornire soluzioni di noto successo a problematiche simili. L'informazione circa un eventuale failure che arriva al manutentore in anticipo rispetto all'arrivo fisico dell'aeroplano, viene sintetizzata e correlata alla relativa documentazione tecnica e presentata con interfaccia *user friendly* al manutentore stesso per fornirgli immediati suggerimenti per la sua soluzione. Il monitoring dei sistemi del velivolo, tramite l'utilizzo di tecniche statistiche permette di comprendere lo stato di salute della macchina e fornire importanti indicazioni sull'opportuna pianificazione delle attività di maintenance prima che una potenziale failure si presenti al pilota. Le azioni manutentive avvenute con successo vengono inoltre registrate dal sistema, per andare a far parte del patrimonio di conoscenza da utilizzare in futuri casi simili. Il risultato è una significativa riduzione dei tempi di fermo macchina ed, in generale, dei costi di manutenzione.

Un sistema integrato di Health Management può essere schematizzato in questo modo:

- Member systems: sono i tasselli del sistema, costituiti da una rete di sensori tali da permettere il monitoring delle grandezze rappresentative dello stato di salute dei diversi apparati del velivolo. Le grandezze ed i relativi sensori utilizzati, variano dalla tipologia di componente

considerato. Ad esempio per il monitoring dello stato di salute dell'aerostruttura (Structural Health Monitoring) si utilizzano tipicamente strain gauge, acellerometri, MEMs, reticoli di bragg, ecc.

- I dati raccolti vengono trasmessi, tramite opportuna rete di comunicazione, ad un Computer Centrale di Manutenzione (CMC), ad esempio integrato all'interno di un architettura avionica modulare. I dati vengono quindi opportunamente filtrati ed eventualmente pre-elaborati per ricavarne informazioni sintetiche circa lo stato di salute del componente. Fondamentale è la strategia di *triggering* e quindi di *storage* delle informazioni. Data l'enorme mole di dati raccolta tramite il sistema di sensori del velivolo, è necessario registrare solo i dati portatori di significato. A tal fine l'identificazione di un'opportuna treshhod di riferimento e/o l'elaborazione dei dati per trarne informazioni sintetiche risulta di fondamentale importanza.
- I dati significativi vengono quindi trasmessi ad un service provider di terra tramite un sistema di comunicazione onboard (VHF Satellitare, tipicamente tramite protocolli ACARS, ma anche tramite IP -WiFi, WiMax, IP SATCOM). In alcuni casi può essere utile o necessario la trasmissione dei dati manutentivi tramite sistemi locali (pendrive, CD, LAN).

Il service provider trasmetterà quindi le informazioni all'aerolinea ed all'operatore di maintenance. Entrambi saranno dotati di opportuni sw che gli permetteranno di correlare i dati ottenuti con i dati storici di comportamento del velivolo, la documentazione tecnica manutentiva, lo storico dei precedenti interventi e delle soluzioni manutentive di successo. Il risultato è una serie di indicazioni facilmente interpretabili per gli operatori che permettono:

- all'aerolinea:
  1 di conoscere realtime lo stato di salute della flotta (*fleet monitoring*);
  2 ottimizzare le operazioni manutentive per il velivolo e per la flotta, riducendo i disservizi ed il fermo macchina;
- al manutentore: avere indicazioni di *troubleshooting*, grazie alla correlazione dei dati provenienti dal velivolo, sia di diagnostica che di prognostica, dei dati storici e dei manuali tecnici di manutenzione dell'OEM e dell'aerolinea.

Tecnologia abilitante di tali servizi è la prognostica, ovvero è l'insieme dei metodi che permettono di predire l'evoluzione futura delle capacità funzionali e prestazionali di una parte, componente, o sistema più o meno complesso sulla base di un numero selezionato e ristretto di parametri fisici, logici quantitativi o qualitativi che permettono di caratterizzarne il comportamento. Le tecniche di prognostica applicate a parti componenti e sistemi correttamente monitorati (member systems) nel loro stato funzionale e prestazionale permettono di prevenire la futura occorrenza di danni o malfunzionamenti di elementi strutturali, di particolari apparati o di interi sistemi.
L'applicazione di tecniche di prognostica ad un componente generalmente richiede che il componente o sistema sia opportunamente monitorato e controllato e che esista un modello, almeno euristico, del suo stato funzionale prestazionale. Successivamente, cioè durante tutto il periodo di vita operativa, tale modello sarà utilizzato per inferire, attraverso opportune tecniche statistiche legate a criteri più o meno rigidi di verifica di verosimiglianza delle stime ovvero con criteri pu-

ramente euristici in funzione della criticità dell'applicazione, la vita residua reale di tale dispositivo. Opportune estrapolazioni e stime, considerato il tipo di uso previsto, consentiranno di stabilire il tempo residuo di buon funzionamento ed il momento in cui la probabilità di guasto raggiungerà valori sensibili, consentendo quindi di intervenire tempestivamente con opportune azioni manutentive o addirittura procedendo alla sostituzione.

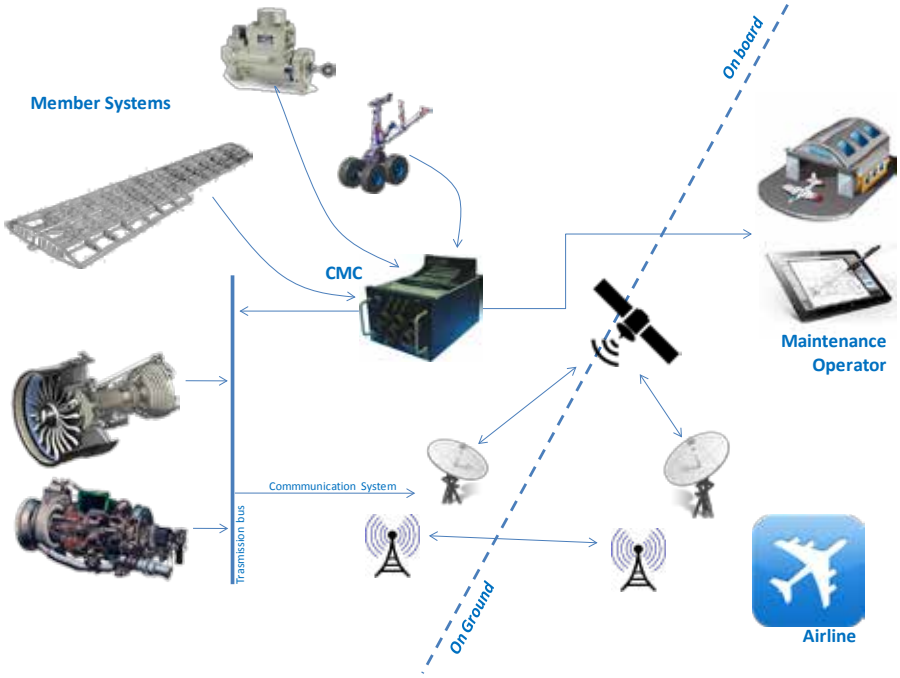


FIG. 113 – SCHEMA DI PRINCIPIO DI UN SISTEMA DI HEALTH MANAGEMENT

Per raggiungere questi scopi è fondamentale che la progettazione del componente tenga conto delle necessità della prognostica sin dalle sue fasi iniziali, per consentire l'analisi intrinseca dello stato di buon funzionamento (l'aggiunta di funzionalità diagnostiche ad un componente già esistente risulta essere un esercizio di difficile applicazione).

Le attività di sviluppo della tecnologia comprenderanno, quindi, studi sulle tecnologie dei sistemi, delle metodologie di stima e predizione nonché l'identificazione delle tecnologie informatiche più adatte alla loro implementazione e di adeguate tecniche di monitoraggio dei sensori correlati.

Le tecnologie di gestione e trattamento dell'informazione sia dal punto di vista hardware sia software hanno quindi un'importanza fondamentale per la realizzazione di un sistema prognostico. Il sistema di gestione, trasmissione ed elaborazione delle informazioni necessario a far funzionare correttamente e pienamente i sistemi innovativi di manutenzione, includendo, diagnostica, prognostica e successivamente la gestione dei ricambi e della flotta, dovrà anche considerare il peso ed ingombro per la parte a bordo e la semplicità di uso ed affidabilità per la parte a terra.

Alla base delle attività qui descritte è necessario avere un sistema di rilevazione delle condizioni fisiche delle parti in osservazione che si esplica attraverso una serie di sensori che dovranno avere requisiti di impatto minimo su prestazioni, peso ed installazione e nello stesso tempo accuratezza ed affidabilità elevate. Stesso discorso può essere fatto per le tecnologie di comunicazione tra i member systems ed il CMC, soprattutto quando il numero di sensori è elevato (come nel caso dell'*health management* strutturale) ed i relativi collegamenti possono assumere pesi ed ingombri notevoli. Alcuni studi ad esempio puntano a sostituire comunicazioni wired con comunicazioni wireless, meglio se energeticamente autonome tramite tecnologie di *energy harvesting*. Questi aspetti risultano poi particolarmente critici per i sistemi rotorici degli elicotteri (rotor hubs, controls and blades), aree di intervento di estrema importanza per la riduzione del carico manutentivo. Particolarmente adatte risultano in quest'ambito le tecnologie di energy harvesting che permettono ad esempio di evitare le complessità legate all'uso di slip-rings. Ogni device deve essere ottimizzato per la resistenza aerodinamica e chiaramente deve essere sufficientemente robusto da resistere alle forti vibrazioni connesse al rotore.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le attività di manutenzione sono una delle voci principali di costo delle aerolinee e di conseguenza un elemento verso cui il cliente del prodotto aeronautico mostra grande sensibilità ed interesse.
I costi del processo manutentivo sono essenzialmente composti da una componente legata in maniera diretta all'attività di manutenzione, cioè i costi vivi per gli interventi di riparazione e da una componente legata al danno che deriva dalla mancata operatività del velivolo conseguente al guasto. I costi di manutenzione possono raggiungere percentuali più che significative dei costi complessivi di esercizio di un velivolo.
Le modalità manutentive utilizzate possono essere sostanzialmente classificate in:

- manutenzione "preventiva", che si concretizza nella sostituzione dei componenti prima dell'insorgere di un guasto;
- manutenzione "correttiva", in cui i componenti vengono sostituiti a guasto avvenuto.

Le due modalità coesistono, per cui si avranno interventi preventivi eseguiti ad intervalli di tempo prestabilito e interventi correttivi eseguiti al bisogno.
È da notare che nel caso della manutenzione preventiva, i componenti vengono generalmente sostituiti molto prima che questi abbiano raggiunto i limiti della loro operatività ed occorre considerare quindi un ulteriore costo legato alla dismissione di un'apparecchiatura ancora efficiente e non adeguatamente sfruttata. Mentre nel caso della manutenzione correttiva va considerato il costo legato all'inoperatività della macchina.
Il grafico di seguito sintetizza, qualitativamente, quanto esposto: sulle ascisse è rappresentato il tipo di intervento manutentivo che è stato utilizzato e sulle ordinate i costi relativi di gestione.
Come risulta evidente, affidarsi in modo prevalente ad una manutenzione di tipo preventivo, accorciando gli intervalli di ispezione, porta a un aumento dei costi totali, mentre affidarsi in toto a una manutenzione correttiva porta ad un innalzamento dei costi dovuti al mancato utilizzo del velivolo (senza dimenticare, come detto, la possibilità di danni ulteriori).

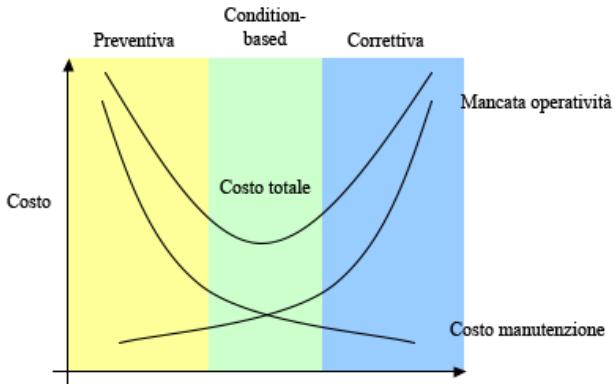


FIG. 114 – TIPO DI MANUTENZIONE

La strategia legata all'utilizzo di sistemi prognostici si fonda invece sul paradigma "*condition-based*", basato su interventi preventivi eseguiti quando lo "stato di salute" delle apparecchiature ha raggiunto il limite di utilizzo, permettendo così di raggiungere l'area del grafico di minimo costo complessivo possibile. Nel corso dello sviluppo di un sistema o componente dotato di capacità prognostiche, l'aspetto maggiormente critico è l'individuazione degli indicatori che consentano la stima della vita residua di un equipaggiamento, per costruire quella che precedentemente è stata definita come "curva di buon funzionamento". È interessante notare come lo stato dell'arte dei sistemi prognostici sia molto differenziato a seconda del campo di applicazione, per cui se in alcuni ambiti è possibile valutare la vita residua di un equipaggiamento con buona precisione (e.g. motori), in altri è ancora necessaria una intensa attività di ricerca di base.

Un aspetto interessante da sottolineare è che l'operazione di manutenzione richiede attrezzature ad hoc, in particolare per il testing, e quindi non può essere effettuata ovunque. Per massimizzare l'efficacia dei sistemi prognostici e ridurre i tempi di fermo macchina, questo genere di stima dovrà essere effettuato in massima parte dal velivolo stesso, richiedendo solo limitate attrezzature di supporto a terra, al limite nessuna.

Va inoltre considerato che la disponibilità di un sistema diagnostico/prognostico efficace renderebbe possibile, in alcuni casi a lungo termine, l'utilizzo di criteri di progettazione meno severi. Ad esempio, la vita operativa delle strutture in materiale composito è fortemente condizionata dalla possibilità di degrado del materiale per effetto di condizioni ambientali o operative, questo impone in fase di progettazione l'utilizzo di fattori di sicurezza (e conseguentemente pesi del componente) maggiori. La possibilità di conoscere lo stato di salute reale del componente durante la vita operativa del velivolo può permettere di ridurre i fattori di sicurezza e di conseguenza il peso dell'aerostruttura ed in generale dei sistemi, senza ridurre il livello di safety della macchina stessa.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Da oramai più di un decennio i grandi produttori di velivoli hanno introdotto complessi sistemi di *health management* sui loro velivoli.

Ad esempio sin dal 2000 Airbus propone, con crescenti livelli di sofisticazione e completezza, il suo sistema *AIRMAN*, un servizio web based, che integra il sistema onboard di raccolta dei dati di monitoring e di fault, con un sistema di trasmissione dati a terra e sofisticati sw per l'interpretazione dei dati e proposta all'aerolinea ed al manutentore di soluzioni di intervento a breve e medio termine.

Analogamente Boeing, all'interno del programma "*The Boeing Edge*" propone *l'Airplane Health Management* (AHM), con caratteristiche simili a quelle del servizio di Aribus.

La stessa Embraer ha sviluppato un sofisticato sistema sia per la sua linea di Business Jet che per i suoi Regional Jet (*AHEAD-Pro*), mentre diversi sistemisti (es. Honeywell e GE, Rockwell Collins) dispongono di sistemi da associare alle loro suite avioniche e di relativi sistemi di manutenzione on ground.

Più d'avanguardia risultano invece le problematiche relative alla prognostica, che costituiscono tuttavia l'enabler tecnologico per massimizzare l'efficacia del sistema di health management integrato. Se alcuni sistemi, per quanto complessi (come ad esempio i motori e l'APU) già da tempo implementano sistemi sensoristici e relativi algoritmi diagnostici e prognostici, altre applicazioni, quali ad esempio quelle relative al monitoring strutturale, risultano meno diffuse, meno ancora quelle relative al monitoring dei sistemi del velivolo.

Come detto precedentemente, la capacità di realizzare un sistema di health management che includa anche capacità di prognostica è legata alla possibilità di individuare indicatori relativi alla vita residua di un sistema fisico in generale, e questo risulta più agevole dove maggiore è la conoscenza relativa al degrado delle prestazioni dei componenti nel tempo. In altri campi di applicazione, come quello dell'elettronica, appare invece ancora necessario uno sforzo di ricerca di base in questo senso in quanto i fenomeni di rottura si presentano generalmente senza segni premonitori sufficientemente anticipati.

Un grosso passo in avanti in termini di prognostica si è avuto grazie allo sviluppo dei velivoli Joint Strike Fighter (JSF) e B787, sui quali è presente un sistema di health management integrato in grado di stimare lo stato di "salute" di buona parte del velivolo.

In Italia l'interesse su questo tema è elevato da tempo sia per le applicazioni in campo sistemistico sia strutturale. Sono in essere studi e attività che hanno portato ad applicazioni interessanti di previsione della vita residua per strutture aeronautiche e spaziali da parte di Alenia Aermacchi, Thales Alenia Space Italia e da parte di Avio su moduli di motori aeronautici (scatole ingranaggi, componenti motore lubrificati da olio, turbine e combustori) con lo sviluppo di particolari algoritmi e sensori basati su nanotecnologie, sia tramite progetti Europei (FP7-JTI Clean Sky), sia tramite progetti militari (EDA) e civili nazionali. Sono in tali ambiti previste attività di sviluppo di sensori avanzati "smart" che permettono di rispondere alle esigenze di individuazione e trattamento delle informazioni prima descritte. Manca al momento tuttavia un frame di ricerca che riesca a colmare il gap tecnologico nazionale relativamente al sistema complessivo di Health Management (dal member systems al sistema di comunicazione on board e onboard-onground, sistema ICT di supporto alle aerolinee e al manutentore), cosa che rende i pur significativi sforzi fin qui fatti parzialmente utili e di scarso valore per il cliente finale.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 7

TECNOLOGIE PER SISTEMI AUTONOMI

DESCRIZIONE

Lo sviluppo di tecnologie per sistemi autonomi è sicuramente uno dei filoni di ricerca di maggior interesse, sia per il potenziale impatto sulla competitività del sistema produttivo, sia per il livello di servizi di rilevanza sociale erogabile (protezione dell'ambiente, sicurezza, prevenzione catastrofi naturali, monitoraggio globale del territorio, ecc.).

Queste tecnologie, ritenute strategiche per lo sviluppo del settore aeronautico, rivestono un ruolo di particolare importanza quando riferite alla classe dei velivoli UAV (Unmanned Air Vehicles).

Sistemi od agenti autonomi, cioè in grado di operare con un definito livello di autonomia in ambienti complessi e situazioni non deterministiche, richiedono l'individuazione di architetture di sistema adeguate, la definizione di funzionalità specifiche per il livello di autonomia richiesto, l'individuazione e lo sviluppo/integrazione di tecnologie in grado di supportare le esigenze operative. Il raggiungimento dell'autonomia è subordinato a diversi tipi di capacità: quella di percepire l'ambiente esterno in cui si opera, quella di comprendere le informazioni raccolte, esternamente e internamente, e quella di decidere le azioni da intraprendere. Tutte queste capacità devono essere organizzate all'interno di un'architettura complessiva che permetta l'attivazione di tutte le funzionalità in modo coordinato. Gli aspetti di maggiore importanza sono sostanzialmente riconducibili alle funzionalità di:

- **Situation awareness**, cioè l'insieme di funzioni che servono per avere una conoscenza della situazione operativa corrente e che quindi effettuano il controllo e la valutazione della situazione corrente della piattaforma in accordo agli eventi esterni. La funzionalità deve assicurare la sintesi e l'analisi di informazioni provenienti dall'ambiente esterno o dai sensori/altri sistemi della piattaforma per valutare gli impatti che ci possono essere sia in termini di probabilità di sopravvivenza, sia di successo.
- **System status monitor**: un insieme di funzioni in grado di sintetizzare la situazione della piattaforma dal punto di vista strutturale, dei sistemi installati e delle risorse disponibili, segnalando eventuali malfunzionamenti che possano influire sull'esito della missione.
- **Decision making**: è la capacità relativa all'insieme di funzioni per gestire azioni che possono riguardare:
  - situazioni a breve termine, che richiedono un comportamento reattivo/istintivo per gestire azioni che si devono eseguire immediatamente o nel breve periodo, per esempio in risposta ad una sollecitazione inaspettata;
  - situazioni più a lungo termine che richiedono inferenze di tipo diverso e che possono ri-

guardare per esempio la gestione della missione in tutti i vari aspetti, dalla generazione dei piani di missione al path planning, dalla gestione dell'uso delle risorse disponibili alla navigazione alla cooperazione.

- **Sense & Avoid (S&A):** ovvero la capacità di percepire ed evitare ostacoli (collaboranti o meno) in maniera autonoma e con un livello di sicurezza almeno pari a quello di sistemi controllati dall'uomo.

A questo proposito si tenga conto che nel caso degli UAV, le nuove tecniche di comunicazione digitale favoriscono la nascita di nuove tipologie di trasponder in grado di migliorare la conoscenza del traffico che circonda un velivolo, rilevare in anticipo possibili interferenze di rotta ed eventualmente organizzare manovre di scampo cooperative.
Al contempo, soprattutto durante le fasi di volo alle quote inferiori, è necessario disporre di tecnologie tali da poter gestire anche situazioni di potenziale pericolo con velivoli non dotati di sistemi di comunicazione sofisticati, quali aerostati, velivoli dell'aviazione leggera, paracadute o addirittura velivoli non-cooperanti con intenzioni ostili. Per la gestione di queste situazioni di potenziale pericolo sono necessari sia sensori adeguati, sia capacità di *autonomous decision making* che rendano possibile il calcolo di opportune traiettorie evasive che non creino conflitti con il rimanente traffico. Il S&A si configura quindi come una particolare applicazione dei concetti di *situation awareness* e di *decision making*, per la sicurezza del volo in aree non segregate ed in concomitanza di traffico aereo non necessariamente controllato.
La disponibilità di mappe digitali e di sistemi adeguati alla loro interpretazione automatica, combinata con la disponibilità di sistemi di navigazione satellitare sempre più precisi ed affidabili (GPS, EGNOS, GALILEO) rende possibile la realizzazione di sistemi autonomi anti-collisione operativi anche a quote basse, integrando tali mappe nel sistema e studiando algoritmi per la generazione in linea di traiettorie di evasione o scampo che tengano conto anche dell'orografia oltre che del traffico presente nell'area. In particolare, questo aspetto del sistema anti-collisione sarà di sicuro interesse per i velivoli ad ala rotante che operano normalmente alle quote inferiori.
Va inoltre considerato che il quadro di riferimento per l'utilizzo degli UAV, e quindi delle relative tecnologie per sistemi autonomi, non è più confinato alle sole operazioni militari come in passato. Lo scenario operativo per gli UAV è tutt'oggi di tipo Dual Use, nel senso che comprende sia operazioni militari che civili, ed a tal scopo riveste una fondamentale importanza lo sviluppo di protocolli e tecnologie abilitanti che permettano la piena integrazione degli UAV nel spazio aereo generale (General Air Space).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'autonomia è un filone di studi che ha avuto un notevole impulso negli ultimi anni grazie ai notevoli progressi che sono stati fatti nello sviluppo e nella miniaturizzazione dell'hardware per l'elaborazione dati. La disponibilità di potenze di calcolo crescenti e di quantità di memoria elevate, coniugate con volumi contenuti, ha reso praticabile l'idea di dotare varie piattaforme con sistemi in grado di assumere in modo autonomo e rapido le decisioni.
La maturazione tecnologica necessaria per soddisfare i requisiti operativi associabili a queste

funzionalità richiede però studi ed approfondimenti legati alle architetture di sistemi complessi distribuiti/centralizzati. Richiede inoltre un'individuazione ed una messa a punto delle tecnologie software e dei paradigmi computazionali necessari per l'implementazione effettiva delle funzionalità. Tra queste tecnologie software, un ruolo di primo piano è rivestito da algoritmi di ricerca e decisione e dalla definizione di adeguate ontologie. Problematiche di decisione, planning, scheduling, ottimizzazione sono tipicamente problemi che si prestano ad essere affrontate in modo diverso a seconda delle risorse disponibili, della autonomia necessaria ed a seconda dei vincoli operativi imposti dall'applicazione.
La valutazione e l'ottimizzazione di algoritmi esistenti e lo studio ed implementazione di approcci emergenti è quindi di grande importanza.
Metodologie computazionali adeguate richiedono anche l'utilizzo di strutture dati appropriate; tra queste rivestono particolare rilievo le ontologie. Un'ontologia può essere definita come una descrizione di oggetti, concetti e relazioni che esistono tra questi, per un utilizzo da parte di un agente o di un insieme di agenti. La definizione di agente va intesa in senso allargato e può andare da uno specifico programma software che svolge un determinato compito, ad un robot adibito ad una certa mansione ad una piattaforma unmanned.
Per quanto riguarda il S&A il reale utilizzo di sistemi senza pilota per applicazioni civili (es. monitoraggio del territorio, antincendio, broadcasting, gestione delle emergenze, ecc.) è subordinato alla loro integrazione nello spazio aereo civile, cosa che può essere realizzata solo se saranno ottenuti quegli enabler tecnologici che consentono un volo autonomo con un grado di sicurezza almeno pari a quello dei velivoli pilotati. Tutto ciò richiede lo sviluppo di suite sensoristiche e di sistemi di guida autonoma dedicati, di dimensioni e pesi compatibili con le piattaforme unmanned e con costi di acquisizione sostenibili da velivoli con target price non elevati.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Molti programmi di ricerca e sviluppo sono stati avviati in Europa e nel mondo (in particolare negli USA ed Israele) per maturare tecnologie abilitanti in grado di riprodurre su piattaforme unmanned di tipo diverso le stesse capacità operative di quelle operate da un pilota "umano", anche al fine di assicurare livelli di sicurezza almeno paragonabili a quelli delle piattaforme "manned".
In ambito nazionale si citano, a titolo d'esempio:

- in Alenia Aermacchi, le iniziative di ricerca e dimostrazione tecnologica su argomenti correlati all'autonomia, intraprese già da parecchi anni e culminate recentemente nei velivoli dimostratori unmanned SKY-X e SKY-Y ed alla collaborazione europea Neuron in ambito militare;
- il progetto TECVOL sviluppato dal CIRA grazie ai finanziamenti del PRORA, che nel corso del 2007 ha raggiunto la milestone relativa alla dimostrazione in volo (TRL6) di un sistema di atterraggio autonomo incluso il touch-down, basato sull'utilizzo combinato di tecniche di generazione in linea delle traiettorie di approccio e di sistemi di navigazioni satelittare GBAS (Ground Based Augmentation System) e nel 2010 un'analoga milestone relativa alla dimostrazione in volo di un sistema di autonomous collision avoidance capace di evitare un singolo ostacolo non cooperante.

Malgrado l'interesse e l'entità degli investimenti profusi in tali ricerche, esistono ampi spazi di miglioramento in molti settori. La crescita ed il consolidamento delle competenze specialistiche a livello nazionale sulle tecnologie per l'autonomia darà la possibilità di perseguire l'obiettivo di leadership in segmenti di un settore estremamente interessante.
Le tecnologie ed il know-how acquisibili potranno portare giovamento a tutte le iniziative aventi come oggetto l'aumento dell'autonomia, sia per quanto riguarda piattaforme manned che unmanned, sia per quanto riguarda l'ambito terrestre, aereo e marino/sottomarino.
In generale esiste un interesse verso modelli computazionali innovativi, in particolare nel mondo accademico per gli aspetti teorici. Le aziende sono maggiormente interessate agli aspetti applicativi. All'estero, soprattutto negli USA, l'attenzione verso architetture per l'autonomia e metodologie computazionali efficienti è molto elevata. Sempre negli USA, numerose esperienze applicative, portate avanti da anni nell'industria aerospaziale e centri di ricerca collegati, hanno inoltre consentito di individuare set di strumenti efficaci per tipologie di problemi.
Per quanto riguarda il S&A diverse esperienze sono state condotte a livello europeo e diversi requisiti per il sistema si stanno sviluppando[35], tuttavia un dominant design dipenderà dal requisito ultimo che il legislatore formulerà. Si segnala in particolare il progetto MIDCAS, del valore complessivo di 50M€, finanziato dalla European Defense Agency e che vede la partecipazione di 5 nazioni europee. L'Italia partecipa con un centro di Ricerca (CIRA) e quattro aziende (Alenia Aermacchi, Selex Elsag, Selex SI, Selex Galileo) con la finalità di sviluppare e dimostrare una suite sensoristica ed un sistema per il S&A basati sia su sensori collaborativi (ADS-B, TCAS, ecc.) sia su metodi e sistemi per il sensing non collaborativo (sensori elettroottici, radar, ecc.). Il progetto vedrà la dimostrazione in volo della tecnologia sulla piattaforma unmanned Sky Y di Alenia Aermacchi. In ambito nazionale si cita il progetto TECVOL-II, sviluppato al CIRA grazie ai finanziamenti del PRORA, naturale proseguimento del progetto TECVOL, che nel corso del 2012 prevede di dimostrare in volo (TRL 6) una missione completamente autonoma a partire dall'auto take off, considerando il mid-air flight autonomous execution con navigazione di tipo 4D e comprensivo di capacità di autonomous collision avoidance, concludendo con un atterraggio autonomo su pista non strumentata e basato su un ricevitore GPS EGNOS. Nell'orizzonte temporale 2013-2015 il progetto prevede inoltre di sviluppare diverse ulteriori funzionalità autonome tra le quali possono essere citate le funzionalità di gestione completamente autonoma della missione comprensiva di generazione di un piano di volo compatibile con i target di alto livello ed i vincoli ambientali ed operativi, autonomous target detection and recognition, auto-taxi ed autonomous weather awareness system.

35 Ad esempio BAE già nel 2006 ha sperimentato una versione del suo HIRTI dotata di S&A basato su sistema elettro-ottico.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 8

FUNZIONI AVANZATE PER L'AIR TRAFFIC MANAGEMENT (ATM) E L'INTEROPERABILITÀ DEI SISTEMI DI TRAFFICO AEREO

Le funzioni di Controllo del Traffico aereo negli ultimi due decenni si sono evolute trasformandosi in funzioni Air Traffic Management, passando cioè dal controllo del traffico aereo di tipo tattico (assicurare la separazione tra velivoli) ad un servizio più completo ed integrato che include anche funzioni meteo, informazioni aeronautiche e gestione dei flussi di traffico al fine di ridurre al massimo i ritardi lungo la rotta. L'implementazione del Cielo Unico Europeo richiede un maggiore sforzo di Ricerca e Sviluppo tecnologico nel settore ATM con l'obiettivo di triplicare la sicurezza della navigazione aerea ed il numero di voli da gestire negli spazi aerei Europei per il 2020. Nuovi Concetti Operativi sono stati definiti da tutti gli stakeholders interessati (aerolinee, aeroporti, società di navigazione aerea, industrie del settore). Tali concetti si basano su "performances" più stringenti rispetto a quelle attuali e richiedono tecnologie abilitanti da sperimentare e sottoporre a validazione. Le nuove principali funzioni ATM per implementare tali concetti operativi richiedono lo sviluppo dei seguenti sistemi tecnologici idonei a raggiungere gli obiettivi prefissati:

- 4D Trajectory Management Negotiation System;
- GBAS (Ground based augmentation system) cat I, II, III;
- SISTEMA METEOROLOGICO INNOVATIVO IN AMBITO ATM.

Per ognuno di questi sistemi viene fatta la descrizione, vengono indicate le motivazioni per lo sviluppo e lo stato dell'arte in Italia ed all'estero nonché una valutazione delle risorse necessarie per il relativo sviluppo.

DESCRIZIONE

4D Trajectory Management Negotiation

Scopo dello sviluppo della tecnologia in oggetto, è quello di realizzare nell'ambito dei Sistemi di Air Traffic Management (ATM) un sistema di gestione di una traiettoria 4D per gli aeromobili (ovvero il profilo nel tempo della posizione 3D) con due obiettivi:

- concordare, attraverso negoziazioni via "data link", la rotta più economica e diretta per la destinazione pianificata;
- avere per ogni volo, in ogni fase del volo "gate-to-gate"(dal momento della chiusura dello sportello in partenza fino all'apertura dello stesso in arrivo) una rotta "deconflicted" (cioè separata all'origine da ogni altra rotta dei velivoli interessati). La definizione e l'introduzione di una traiettoria 4D rende necessario, a parte lo sviluppo di un appropriato sistema tecnologico di comunicazione e negoziazione elettronica (proposta di una rotta da seguire, analisi dei possibili conflitti con le rotte di altri velivoli "interferenti" che hanno già concordato una rotta e definizione di una rotta deconflicted deconflicted) modificare, altresì, tutti i Tool e le

Funzioni automatizzate che hanno il compito di gestire tale traiettoria sia a terra nell'ambito del ATC (Air Traffic Control), sia a bordo nell'ambito del FMS (Flight Management System).

Tale nuova traiettoria 4D viene definita come "Reference Business Trajectory" (o semplicemente "Business Trajectory", BT).
La realizzazione prototipica del sistema di 4D Trajectory Management avverrà attraverso diverse fasi:

- definizione dei requisiti della BT 4D (coinvolgendo tutti gli attori interessati: Compagnie Aeree, Aeroporti, Aeromobili, e Centri di Controllo Civili e Militari), nonché suo contenuto e struttura attesi,
- definizione di una roadmap di implementazione mediante successivi rilasci funzionali,
- analisi delle tecniche e tecnologie abilitanti per la BT 4D (es. nuovi sistemi di sorveglianza, navigazione satellitare, formati di interscambio dati aeronautici, sistemi FMS innovativi per l'inseguimento e la gestione a bordo velivolo della traiettoria 4D),
- definizione di una probabile architettura di alto livello di un sistema ATC (Air Traffic Control) evoluto che supporti la BT (Business Tajectory) 4D così come specificata, con identificazione di interfacce, servizi, flussi e responsabilità sia all'interno del sistema ATC medesimo che verso gli altri sistemi (Aeroporti, Aeromobili, ecc.),
- analisi dell'impatto operativo ed architetturale sui sistemi ATC correnti ed eventualmente verso gli altri sistemi legacy, definendo un primo possibile piano di transizione,
- "review" congiunta con rappresentanti delle varie entità coinvolte (centri ATC, Aeroporti, Aeromobili, ecc.) facendo anche riferimento ad eventuali requisiti di standardizzazione ed interoperabilità,
- definizione dell'architettura di alto livello, la struttura concettuale e logica di un idoneo formato di interscambio dati per la BT 4D, unitamente ai requisiti di sicurezza ed integrità relativi allo scambio dati,
- definizione dell'architettura di alto livello, della struttura concettuale e logica di un sistema FMS (Flight Management System) di bordo ad elevata autonomia capace di gestire a bordo velivolo la traiettoria 4D sia in termini di inseguimento della stessa, sia in termini di ripianificazione in linea "event based" nel rispetto dei vincoli definiti in fase di negoziazione,
- elaborazione di un primo piano di sviluppo per rilasci successivi di un prototipo di tool di supporto ATC alla BT 4D, secondo dei livelli di rilascio funzionali crescenti e definendo per ciascuno di essi il corrispondente piano di transizione ed evoluzione di un sistema legacy di riferimento.

GBAS (Ground based augmentation system) cat I, II, III

Scopo di sviluppo della tecnologia in oggetto è dotare gli aeroporti di un sistema che vada a sostituire gli attuali sistemi di aiuto alla navigazione nelle fasi di avvicinamento/atterraggio, utilizzando la navigazione satellitare come richiesto dall'ICAO (International Civil Aviation Organization).
Una GBAS (Ground Based Augmentation System) è un sistema in grado di supportare tutte le operazioni di avvicinamento, atterraggio e decollo all'interno del suo volume di copertura, utilizzando

i segnali di navigazione satellitare provenienti dal sistema GNSS[36] (GPS+SBAS).
Lo scopo è quello di fornire agli aerei in copertura le correzioni differenziali e le informazioni di integrità del servizio di navigazione satellitare GNSS (per ogni satellite in vista) affinché si possano effettuare atterraggi in CAT I, CAT II, CAT III[37].
L'area di copertura è valutata intorno alle 25 nm (nautical miles) dal punto di riferimento dell'aeroporto.
Il sistema GBAS è costituito da un sottosistema di terra e uno avionico.
Le funzioni principali che deve fornire il sistema di terra sono:

- Acquisire I segnali GNSS.
- Elaborare le correzioni differenziali e le informazioni di integrità.
- Inviare tali informazioni agli aerei in copertura (in numero illimitato).
- Inviare le informazioni relative al volume all'interno del quale le prestazioni corrispondono a quelle calcolate (livello di affidabilità della misura).

Il segmento di bordo acquisisce il segnale satellitare GNSS e le informazioni provenienti dal segmento di terra e grazie a queste determina una posizione accurata che permette al velivolo di seguire un sentiero di discesa rispettando i requisiti di accuratezza e integrità per procedure di avvicinamento CAT I, II, III. L'inseguimento del sentiero di discesa potrà avvenire sia in maniera completamente automatica, ovvero per opera del pilota grazie all'ausilio ad una specifica interfaccia grafica (tunnel in sky) che gli consente di valutare istante per istante lo scostamento rispetto alla traiettoria ideale.

Per rispondere ai requisiti di fornire un sistema CAT I, II, III, il sistema dovrà essere sviluppato seguendo gli standard definiti da ICAO, EUROCAE, RTCA in vigore.

Sistema meteorologico innovativo in ambito ATM

L'attuale tendenza dei sistemi per il controllo del traffico aereo sta evolvendo sempre di più verso soluzioni altamente integrate, le cui singole componenti siano fortemente interagenti tra di loro, pur mantenendo un notevole grado di "scalabilità". Tale realtà trova riscontro anche in ambito meteorologico.
Il rinnovamento dell'intero sistema ATM (Air Traffic Management), previsto nei prossimi anni per far fronte alla previsione dell'ingente crescita del traffico aereo, ed in parte concretizzato nel programma SESAR (Single European Sky ATM Research), prevede lo sviluppo di sistemi meteo innovativi ed integrati per soddisfare e migliorare le prestazioni di applicazioni ATC (Air Traffic Control).
Tali obiettivi saranno raggiunti attraverso uno strumento di supporto per il servizio di previsione meteorologica in ambito ATC: ***Integrated Meteorological Data System*** **(IMDMS)**
Il sistema IMDMS si prefigge l'ottimizzazione delle prestazioni e dei prodotti di previsione attraverso la realizzazione di una "Meteorological Working Position", in grado di assicurare benefici,

36 Global Navigation Satellite System – GNSS
37 Le sigle CAT I, II, III si riferiscono alle diverse categorie di operazioni di atterraggio basate su sistemi ILS (Integrated Landing Systems).

misurabili in termini di una riduzione dei tempi di processo ed in un corrispondente aumento della qualità dei prodotti, mediante:

- accentramento di tutte le informazioni meteo presso ogni singola postazione di lavoro;
- integrazione di tali informazioni, per consentirne la visualizzazione contemporanea su più livelli;
- garanzia di un significativo miglioramento nella precisione delle previsioni, sia grazie all'utilizzo di dati di base integrati, sia grazie alla presenza di tools di elaborazione automatica di previsione, fondati su comprovati algoritmi di nowcasting, che agiscono da supporto al personale meteorologo.

Il sistema IMDMS garantirà le seguenti funzioni d'osservazione, informazione, documentazione e previsione meteorologica:

- integrazione del servizio meteorologico nell'architettura CNS/ATM (Communication Navigation and Surveillance / Air Traffic Systems);
- integrazione delle funzioni di Osservazione e Previsione meteorologica;
- incremento significativo del livello di Safety nelle operazioni "En route" e "Approach" in ogni condizione meteorologica;
- ottimizzazione della gestione delle rotte e dell'utilizzo dello spazio aereo;
- gestione di dati meteorologici provenienti da diverse sorgenti esterne.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

4D Trajectory Management Negotiation

Le prestazioni del servizio di gestione del traffico aereo ed in particolare dei suoi volumi (massimo numero di aeromobili per settore, e per unità di tempo) sono ad oggi largamente dipendenti dalla capacità e skill dei Controllori di Volo. Questi ultimi, praticamente in tutti i centri di controllo Europei, sono chiamati a costruirsi "dinamicamente" una vista 4D della traiettoria, e quindi a prevenire, o risolvere tatticamente gli eventuali conflitti fra gli aeromobili. Questo impedisce l'ottimizzazione del traffico, e la capacità del sistema a gestire volumi crescenti di traffico, garantendone un adeguato livello di sicurezza (safety). **Nasce quindi l'esigenza di passare da una traiettoria 3D, semplicemente conforme al Piano di Volo (Flight Plan) di ICAO, ad una traiettoria 4D, più precisa ed accurata (questo reso possibile per la disponibilità di nuovi sensori a terra ed a bordo).** Questa traiettoria 4D dovrà essere condivisa, secondo "viste" e responsabilità definite, fra i vari attori coinvolti. La definizione della una nuova traiettoria 4D dovrà essere accompagnata dall'adeguamento dei tanti tool ATM che vi accedono, nonché dalla definizione di idonei formati di interscambio.

GBAS (Ground based augmentation system) cat I, II, III

La crescente domanda di traffico sta ponendo grossi problemi di gestione soprattutto nelle aree di avvicinamento/atterraggio a causa anche della notevole separazione da imporre agli aeromobili nelle fasi critiche del volo, soprattutto in condizioni meteorologiche avverse. Utilizzando sistemi che forniscono sia al pilota che al controllore informazioni più accurate riguardo la posizione

dell'aeromobile è possibile ridurre le separazioni e quindi aumentare il traffico in entrata e in uscita ad un aeroporto in ogni condizioni di visibilità.
Inoltre è forte l'esigenza di trovare rimedio al problema dell'inquinamento acustico/atmosferico causato dagli aerei nelle fasi iniziali e finali del volo. La GBAS permette la progettazione e lo sviluppo di procedure curvilinee che porterebbero la riduzione dell'impatto acustico sulle zone abitate nei dintorni degli aeroporti.

Sistema meteorologico innovativo in ambito ATM

La conoscenza dettagliata e puntuale dei fenomeni meteorologici e la loro evoluzione nel tempo, permette di migliorare la sicurezza operativa dei voli attraverso una gestione efficiente ed efficace del controllo del traffico aereo, riducendo e migliorando i tempi di decisione. Tuttavia, anche la più accurata informazione meteorologica perde il suo valore se non viene tempestivamente comunicata ai "decision makers" in forma immediata e sintetica. Ciò comporta un ridisegno dell'architettura dei sistemi meteorologici, non più separati ed indipendenti ma organizzati secondo una struttura in grado di gestire le informazioni, aggregandole e distribuendole ai vari sistemi di supporto alla decisione, i cosiddetti "Decision Support System". La distribuzione dell'informazione meteorologica e la sua gestione attraverso l'intera catena dei sottosistemi d'ausilio e di supporto alla decisione, rappresenta inoltre la soluzione indispensabile e imprescindibile ogni qualvolta si ha necessità di pianificare le attività "mission-critical" legate all'evento meteorologico, tenendo conto da un lato il miglioramento dell'efficacia e al contempo una riduzione del carico di lavoro del personale operativo. La possibilità di condividere e l'informazione meteorologica tra i differenti utenti fornendo un prodotto altamente integrato dove prevale una visione d'insieme organica e strutturata sia a livello di attendibilità del dato che di presentazione all'operatore (Human Machine Interface) rappresenta il valore aggiunto di questo sistema. Inoltre getta le basi per l'evoluzione del prodotto CDM (Collaborative Decision Making) che rappresenta la realizzazione concreta del concetto di integrazione tra differenti sistemi e sottosistemi di supporto alla decisione.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

4D Trajectory Management Negotiation

In tutti i sistemi correntemente operativi sia in Italia che all'estero, la traiettoria correntemente gestita è di tipo 3D, e non 4D. Ogni sistema ATC Europeo riceve dalla Central Flow Management Unit (CFMU) di Bruxelles i piani di volo degli aeromobili che saranno di propria competenza e sviluppano – utilizzando algoritmi proprietari – una traiettoria 3D a partire dalle informazioni contenute nei piani di volo. La necessità di sviluppare sistemi terra/bordo/terra che utilizzino la traiettoria 4D è convenuta dai diversi stakeholders dell'ATM in ambito Europei e studi preliminari a sviluppi tecnologici sono stati fatti in ambito Eurocontrol e SESAR con il contributo di tali stakeholders.

GBAS (Ground based augmentation system) cat I, II, III

Al momento lo sviluppo di un sistema per gli avvicinamenti/atterraggi che utilizzi la navigazione satellitare, sia in Italia che all'estero, è previsto come prototipo non operativo in quanto sono stati stabiliti dall'ICAO (International Civil Aviation Organization) solo le RNP (Required Navigation

Performance) per un sistema CAT I ma ancora non è presente sul mercato nessun prodotto certificato.
Attività di validazione sperimentale mediante prove di volo di un sistema GBAS basato sull'utilizzo di un sistema differenziale DGPS, in grado di fornire misure accurate di posizione ma non ancora informazioni sullo stato di integrità della misura, sono state condotte al CIRA nell'ambito del progetto TECVOL finanziato da fondi PRORA. Durante tali prove è stata dimostrata sperimentalmente che le accuratezze di un sistema DGPS (Differential Global Position System), integrato con un AHRS (Attitude and Heading Refence System) ed un laser altimetro, consente di effettuare in maniera completamente automatica manovre di avvicinamento ed atterraggio fino al touch-down (CAT IIIC).
In ambito ICAO sono in corso di definizione i requisiti iniziali per lo standard CAT II e CAT III.

Sistema meteorologico innovativo in ambito ATM

Lo stato dell'arte in Italia è sostanzialmente allineato con quello europeo. Oggi i dati meteo sono resi disponibili attraverso un gran numero di fonti, con diverse caratteristiche ed un'ampia distribuzione spaziale. L'assimilazione dei dati è resa complessa dalla varietà delle sorgenti d'informazione: ogni strumento ha differente copertura, tipi di parametri osservati, rate di aggiornamento e formato dei dati. E quindi, in definitiva, l'effetto complessivo è quello di sovraccaricare il personale di controllo e di interferire con la loro funzione primaria di assicurare la separazione tra gli aeromobili.

Discende da queste considerazioni l'esigenza ormai matura nelle organizzazioni avanzate di fornirsi di sistemi integrati di gestione e presentazione dei dati meteo per la sicurezza del traffico aereo (Integrated Weather System) in grado di fornire agli addetti informazioni chiare e sintetiche, così che gli stessi possano concentrarsi sulle decisioni che a loro competono, con il quadro completo della situazione meteorologica nelle aree interessate al controllo, ed in particolare relative ai sentieri di salita e discesa degli aeromobili.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 9

INTEROPERABILITÀ NELL'AIR TRAFFIC SYSTEM

DESCRIZIONE

Il trasporto aereo fa oggi sempre più affidamento sulla disponibilità di informazioni aggiornate e processi collaborativi fra gli attori coinvolti, per facilitare l'efficienza generale del sistema.

Il concetto di "Collaborative Decision Making", che prevede una gestione dell'informazione più efficiente, attraverso un esteso scambio di informazione fra ATM (Air Traffic Management), linee aeree ed aeroporti in tutte le fasi del volo, rappresenta un elemento chiave del cambiamento nelle modalità di gestire il Trasporto del Traffico Aereo. In questo contesto si inserisce il concetto di SWIM (System Wide Information Management).

La prossima generazione di sistemi ATM, sarà basata su sistemi informativi integrati ossia, per riprendere la nomenclatura adottata del dipartimento di difesa degli Stati Uniti, sistemi network-centrici. Tutti i settori del trasporto aereo verranno integrati per consentire una visione globale dello scenario del sistema (i dati sono disponibili a chi servono, quando servono e dove servono).

Le recenti iniziative di ricerca Europee, nonché l'iniziativa comunitaria SESAR (Single European Sky ATM Research), assumono il concetto di SWIM come fondamento tecnologico su cui basare il sistema ATM del futuro. SWIM rappresenta dunque il supporto tecnologico necessario a consentire l'implementazione dei futuri scenari operativi. In tal senso SWIM può essere considerato come il principale attuatore della visione delineata da SESAR.

Fino ad oggi, la gestione delle diverse tipologie di informazioni relative al traffico aereo, si sono evolute in modo indipendente, sulla base di requisiti specifici dei singoli sottosistemi ed attori coinvolti. Linee aeree, gestori aeroportuali ed il sistema di gestione del traffico aereo, raccolgono pertanto i propri dati in modo indipendente ed asincrono. In conseguenza di questo approccio "bottom up" i sistemi ATM odierni risultano insufficientemente integrati, con conseguenti barriere organizzative ed istituzionali che ostacolano l'utilizzo dell'informazione e l'ottimizzazione dei processi. Tali carenze assumono particolare gravità nel contesto degli scenari del futuro sviluppo del traffico aereo previste da SESAR, per cui sarà richiesto un radicale cambiamento nel modo di gestire il sistema ATM. Gli operatori nel mondo ATM sono oramai convinti sulla necessità di interoperabilità ed a tale scopo sono in corso molti studi, tesi ad identificare le opportunità offerte dalla condivisione dei dati e le conseguenze sulla capacità del sistema globale. I requisiti di interoperabilità porteranno alla trasformazione del sistema ATM, da una collezione di attori e sistemi indipendenti ad un sistema integrato di "collaboratori" (piloti, controllori del traffico aereo, compagnie aeree, società di navigazione aerea, aeroporti, gestori delle attività aeroportuali) in grado di soddisfare i requisiti di capacità e sicurezza dettati da SESAR. L'introduzione rapida di SWIM è necessaria per l'effettiva applicazione dei modelli di collaborazione e scambio di informazione, richiesti per ottimizzare la gestione del traffico aereo.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il mondo del traffico aereo si è già attivato per studiare le opportunità offerte da un efficiente condivisione dei dati, identificando benefici e difficoltà. Tali studi sono stati principalmente condotti all'analisi degli impatti operativi della condivisione dei dati, assumendo che esista una rete tecnologica in grado di assicurare tale scambi informativi. Si rende dunque necessario focalizzare l'attenzione sugli aspetti più tecnologici, che rappresentano la base su cui si fondano le opportunità identificate ed analizzate negli studi esistenti.

Sebbene il concetto di SWIM rappresenti la base su cui si intende fondare i futuri sistemi ATM interoperabili, esistono ancora incertezze relative alla sua effettiva implementazione tecnologica. É opportuno pertanto esplorare le diverse opzioni tecnologiche e dimostrare la fattibilità di realizzare SWIM in tutti i suoi aspetti. In prima battuta sarà necessario identificare tecnologie di middleware, in grado di soddisfare gli stringenti requisiti applicabili al mondo del traffico aereo. Sarà poi necessario elaborare i modelli informativi di riferimento estendendo, ove possibile, quanto risulta già disponibile verso nuovi domini. Non vanno poi trascurati gli impatti sugli strati di comunicazione inferiori, identificando i requisiti sul livello di trasporto.

Sebbene l'aereo rappresenti un nodo centrale nella visione di SESAR, la sua integrazione effettiva nel modello risulta ancora poco definita. Sarà opportuno dunque elaborare in dettaglio un'architettura che consenta di includere l'aereo nel modello di SWIM, definendone i modelli informativi ed i requisiti per il data link.

Tutti gli sviluppi vanno ovviamente eseguiti in piena armonia con il piano di lavoro di SESAR, che rappresenta il riferimento assoluto per ogni attività nell'ambito di SWIM.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

SWIM rientra nella roadmap di SESAR che prevede diversi livelli implementativi. Attualmente SWIM rimane nella fase concettuale, sebbene siano in corso e previsti progetti di ricerca collaborativi, tesi all'implementazione graduale secondo il piano dettato da SESAR.

L'Italia ha tutte le carte in regola per influenzare in modo determinante le evoluzioni future di SWIM, avendo peraltro partecipato ai principali programmi Europei tesi allo studio dell'interoperabilità. Va tuttavia sottolineato che la strada verso l'implementazione completa di SWIM secondo la visione SESAR per il 2020 rimane ancora lunga richiedendo la validazione operativa mediante uso di prototipi.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 10

ARCHITETTURE AVIONICHE AVANZATE

DESCRIZIONE

L'avionica modulare integrata (Integrated Modular Avionics) è un concetto architetturale che prevede di raccogliere sistemi federati tradizionali indipendenti (equipment) in piattaforme hardware comuni integrate (cabinet) che sono in grado di ospitare più funzionalità con diversi livelli di criticità. Il sistema è configurabile in base alle necessità funzionali delle applicazioni (concetto di modularità) e le risorse hardware e software della piattaforma sono messe a fattor comune, consentendo di ridurre e standardizzare le componenti del sistema ed i cablaggi necessari, e di conseguenza di ridurre pesi ed ingombri, di centralizzare l'alimentazione ed ottenere una notevole flessibilità di interfacciamento. Da questo approccio architetturale derivano altri importanti vantaggi, quali un alto livello di indipendenza dai fornitori, la riduzione dei costi di sviluppo e di acquisizione, l'aumento della flessibilità nelle attività di upgrading, una più semplice ed economica gestione dell'obsolescenza e la riduzione e semplificazione delle attività di certificazione, quando il sistema subisce modifiche o aggiornamenti.

L'architettura avionica modulare consente una progettazione ottimizzata e certificabile per le funzionalità "mission critical" e "safety critical". Ciò è ottenibile sia grazie alla possibilità di segregazione di diverse funzioni SW all'interno di una singola unità di processing, sia tramite l'utilizzo di opportuni criteri di ridondanza: in quest'ultimo caso l'utilizzo di moduli aggiuntivi consente un monitoraggio incrociato del funzionamento dei moduli e la possibilità di riconfigurare il sistema, aumentando in questo modo l'integrità del sistema complessivo.

I cabinet possono essere connessi tra loro mediante data bus/reti ad alta capacità, formando così un sistema integrato in grado di espletare i complessi compiti che le funzionalità avioniche richiedono.

Al fine di sfruttare le potenzialità del concetto, l'avionica modulare richiede:

- componenti ad alta capacità di elaborazione,
- strumenti software efficienti e sicuri,
- data bus/reti ad alte prestazioni,
- efficiente distribuzione dell'alimentazione,
- efficiente thermal-management,
- collegamenti intra-cabinet affidabili e tecnologicamente avanzati.

A ciò vanno associate le interfacce esterne che il sistema avionico modulare, direttamente o indirettamente, deve gestire; queste interfacce sono rappresentate da trasduttori, sensori, attuatori, display e dispositivi a radio frequenza.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'avionica modulare, nata dalla necessità di dare una risposta, anche sul versante dei sistemi avionici di bordo, ad uno scenario di mercato aeronautico in continua evoluzione edominato dall'esigenza di migliorare la soddisfazione del cliente, continua a progredire (IMA2G, avionica modulare di seconda generazione) stimolando soluzioni architetturali e tecniche che mirano a diminuire ulteriormente i costi di sviluppo, produzione e manutenzione, incrementare le prestazioni e la qualità, aumentare i livelli di sicurezza (safety).

Grazie alle sue caratteristiche abilitanti, l'architettura modulare è in via di estensione ad altri domini tecnologici non avionici quali l'health management, sia strutturale che propulsiva, i general systems management, l'energy management ed anche i sistemi per l'intrattenimento dei passeggeri.

L'impiego dell'architettura modulare in svariati domini che vanno dalle applicazioni di bordo, ai sistemi per la gestione del traffico aereo, dalle reti di comunicazioni aria/aria ed aria/terra, alla navigazione in un network aeronautico unico, ha un ruolo determinante per il raggiungimento degli obiettivi tecnologici e di business del settore.

Infine le architetture modulari sono destinate a giocare un ruolo rilevante nel futuro processo di integrazione delle piattaforme RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) negli spazi aerei civili.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

I primi embrioni di avionica modulare risalgono ai primi anni novanta.

Le prime applicazioni si sono avute, come spesso accade in ambito aeronautico, su velivoli militari. Ne sono un esempio i sistemi avionici del fighter francese Dassault Rafale e di quelli americani Lockheed Martin F-22 e del più recente F-35 JSF.

Durante il corso degli anni la tecnologia ha avuto un continuo costante sviluppo, cercando di seguire l'alto tasso di sviluppo delle tecnologie elettroniche e di quelle relative all'ICT commerciali terrestri.

Il concetto di Integrated Modular Avionic (IMA), una volta standardizzato, è migrato sui moderni aerei di linea ed oggi i velivoli civili di ultima generazione come l'Airbus 380, il Boeing 787, l'Air Transport Regional ATR72-600 e il Sukhoi Superjet 100 presentano architetture avioniche basate sull'Integrated Modular Avionic di prima generazione.

Per l'industria italiana si citano due esempi di successo in cui sono stati studiati ed implementati i concetti di avionica modulare: il dimostratore UAS (Unmanned Aerial System) Sky-Y di Alenia Aermacchi ed il sistema di gestione della missione SkyISTAR di SELEX-ES.

In entrambi i casi sia l'architettura avionica di bordo che la tactical control station di terra seguono l'approccio IMA, evidenziandone i vantaggi in termini di volumi ridotti, pesi ridotti, consumi ridotti, fattori di forma ed affidabilità dell'intero sistema (airborne/ground), portabilità delle applicazioni, riuso delle componenti SW, così come i vantaggi dell'ottimizzazione e della segregazione (sia spaziale che temporale) del software.

Entrambi gli sviluppi sono stati un buon punto di partenza su cui implementare e validare le capacità già sviluppate.

Il livello di modularità, nonché di padronanza della tecnologia, ha permesso fino ad ora di soddi-

sfare solo alcune delle principali esigenze, ma non permette ancora di ottenere i risultati ottimali che potrebbero essere raggiunti attraverso lo sviluppo di sistemi IMA sempre più evoluti. In particolare per le seguenti aree è necessario ulteriore sviluppo:

- riconfigurabilità automatica,
- distribuibilità anche spaziale delle funzioni,
- trasparenza sempre più spinta tra livelli di integrazione,
- nuove tecnologie delle reti/bus di comunicazione (anche wireless),
- certificabilità differenziabile delle funzioni.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 11

INTERFACCE UOMO-MACCHINA DI NUOVA GENERAZIONE

DESCRIZIONE

Lo sviluppo di tecnologie più diversificate nell'ambito della sensoristica e della capacità di "fornire" l'informazione è un filone di ricerca che permette di immaginare una nuova generazione di interfacce Uomo-Macchina che, nel campo aeronautico, hanno una ricaduta immediata soprattutto per la quantità di informazioni che i piloti e gli operatori in genere sono chiamati a gestire. Di pari passo la capacità di elaborazione dell'informazione stessa, sempre in continuo aumento, permette di elaborare e concentrare verso l'operatore una quantità di informazioni notevolmente maggiore rispetto al passato. Inoltre l'evolversi dei sistemi autonomi o semi-autonomi, che richiedono un operatore esperto per la loro gestione, apre a tutte le problematiche legate alla non presenza fisica dell'uomo a bordo; vanno quindi previste una serie di informazioni e i relativi strumenti di "fornitura" per dati che, nel caso di uomo a bordo, non sono necessari.

Già è possibile cominciare a immaginare l'interfaccia Uomo-Macchina non più come semplice presentazione della situazione attraverso uno o due canali principali (visivo e audio) ma anche con altri canali di interfaccia (es. tattile).

Focalizzandosi sulla parte Situation Awareness della HMI, possiamo affermare che sui velivoli militari di ultima generazione sono già disponibili sistemi che consentono all'operatore una elevata "immersività", consentendo di traguardare qualsiasi direzione senza perdere il contatto con l'HMI principale (Helmet Mounted Displays). Invece è necessario aprire un campo di studi per la presentazione integrata delle informazioni provenienti da una serie di database (sia a bordo che disponibili da terra via data link) utilizzabili per fornire una situazione il più completa possibile in unione alle informazioni raccolte tramite la sensoristica installata.

Per gli operatori di veicoli autonomi i dati provenienti dal velivolo saranno indirizzati a fornire assetti, accelerazioni, etc., per rendere la gestione della piattaforma ancora più efficace e affidabile. Nelle attuali HMI svolge un ruolo importante anche tutta la parte legata alla presentazione dello stato del sistema, che coinvolge tutto l'insieme di funzioni che sintetizzano la situazione della piattaforma dal punto di vista strutturale, dei sistemi installati con relativo stato e delle risorse disponibili. Tutta questa parte dovrà sempre più confluire in automatismi per la gestione di anomalie che da una parte ridurranno il carico dell'operatore perché un sempre maggior numero di anomalie e criticità dovrà essere gestito automaticamente magari modificando in tempo reale la struttura della HMI stessa.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Lo sviluppo di soluzioni tecnologiche innovative per la presentazione delle informazioni e la gestione dei sistemi è un filone di studi che ha avuto un notevole impulso negli ultimi anni grazie

ai notevoli progressi che sono stati fatti nello sviluppo e nella miniaturizzazione dell'hardware per l'elaborazione e la presentazione dei dati. La disponibilità di potenze di calcolo crescenti e di quantità di memoria elevate, coniugate con volumi contenuti, ha reso praticabile l'idea di inserire nella HMI concetti nuovi come le presentazioni 3D, le rappresentazioni virtuali e la realtà aumentata che si aggiungono alla gestioni automatica e rapida di decisioni operative che prima erano in carico all'operatore/pilota.
La maturazione tecnologica necessaria per soddisfare i requisiti operativi associabili a queste funzionalità richiede però studi ed approfondimenti legati alle architetture di sistemi complessi distribuiti/centralizzati e, soprattutto, allo studio di tutte le novità che dalla sensoristica arrivano a che possono aggiungere informazione utile per il volo.
A supporto degli elementi tecnologici, sarà anche richiesta l'individuazione e la messa a punto delle tecnologie software e dei paradigmi computazionali necessari a garantire la sicurezza e l'integrità di tutti i dati, sia di quelli presentati che, soprattutto, di quelli utilizzati in tutte le funzionalità automatiche e semi-automatiche. L'utilizzo di strutture dati appropriate e di dati attinti da tutta una serie di database adesso disponibili ed installabili a bordo (mappe, immagini digitali da vario tipo, etc.) impone la nascita di metodologie computazionali adeguate sempre nell'ottica dell'utilizzo del dato in maniera sicura e affidabile.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Molti programmi di ricerca sono stati avviati in Europa e nel mondo per integrare ed utilizzare le tecnologie abilitanti, soprattutto importate dal mondo consumer, nell'ottica di definire le nuove architetture di interfaccia Uomo-Macchina. Nell'ambito dei velivoli senza pilota sono in corso diversi studi e progetti per i quali una parte significativa riguarda lo sviluppo della HMI.
In ambito nazionale si citano, a titolo d'esempio:

- Il progetto CAMMI sviluppato nell'ambito del Settimo Programma Quadro, ha studiato le filosofie di adattamento allo stato del sistema (e dell'operatore) dei meccanismi e degli automatismi del sistema stesso valutando in che maniera la stessa HMI deve adattarsi alla variazione di stato dell'operatore.
- Il progetto ODICIS, sviluppato nell'ambito del Settimo Programma Quadro, ha sviluppato un prototipo di display singolo, touch-screen da impiegarsi su velivoli da trasporto. Due le tematiche studiate: tecnologie connesse alla realizzazione del display e innovazioni legate alla presentazione delle informazioni, per la quale un singolo display offre grande flessibilità.
- Il progetto Alicia, sviluppato nell'ambito del Settimo Programma Quadro, ha valutato tecnologie e configurazioni innovative per il cockpit dei velivoli commerciali del prossimo futuro.
- Il progetto SMAT (Sistema di Monitoraggio Avanzato del Territorio), sviluppato con il supporto della Regione Piemonte, focalizzato su piattaforme UAV, ha portato allo sviluppo ed integrazione di soluzioni innovative per la gestione di sensori di monitoraggio e per la presentazione delle relative informazioni agli operatori delle stazioni di controllo.
- Nell'ambito del programma SESAR sviluppato nell'ambito del Settimo Programma Quadro, un pacchetto di lavoro ha studiato come gestire e presentare le traiettorie 4D nell'ambito della Navigazione e Sorveglianza per i concetti operativi dell'ATM del futuro.

Relativamente alle interfacce uomo-macchina esistono ancora ampi spazi di miglioramento in molti settori in particolare nella parte che riguarda l'utilizzo di nuove tipologie di presentazione.
In particolare i seguenti ambiti, già in diffusione nelle applicazioni "consumer", potranno essere studiate per valutarne l'applicabilità e la certificabilità in ambito aeronautico:

- riconfigurabilità dell'HMI (anche automatica e real time),
- realtà aumentata,
- display touch screen,
- feedback tattili e meccanici per l'operatore.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 12

TECNOLOGIE PER LA GESTIONE AVANZATA DELL'ENERGIA ON BOARD (GENERAZIONE, STORAGE, DISTRIBUZIONE, CONTROLLO ELETTRICO)

DESCRIZIONE

Attualmente, il concetto di gestione avanzata dell'energia (energy management) per reti elettriche in ambito aeronautico risulta essere legato essenzialmente a meccanismi di "shedding" (ovvero, spegnimento) di alcuni carichi non essenziali in caso di sovraccarico (overload) dei generatori elettrici (cosiddetto "load management").

Recentemente, il concetto di all-electric aircraft e conseguentemente la necessità di una gestione "intelligente" dell'energia elettrica a bordo, in grado di eliminare il semplice shedding dei carichi, ha suscitato l'interesse della comunità scientifica e industriale aeronautica.

Uno deli esempi più rilevanti di energy management intelligente è rappresentato dalla logica di Electrical Energy Management (E-EM), grazie alla quale sarebbe possibile rimuovere la capacità di sovraccarico a 5 minuti dei generatori, portando così ad un risparmio in termini di peso ed ingombro del sistema di generazione elettrica (circa 10-15% di riduzione stimata del peso delle macchine).

Tale funzionalità si basa su un sistema supervisivo in grado di pilotare, durante le fasi tipiche di sovraccarico dei generatori elettrici, la riduzione di potenza ai carichi non critici, sia a quelli con potenza variabile (tipo resistivo, attraverso controllori a stato solido in grado di modulare la tensione in ingresso) che a quelli con potenza fissa (tipo motore ECS, attraverso l'invio di segnali di comando al controller del motore), in modo tale da rientrare nella condizione di potenza nominale del generatore entro al massimo 5 secondi dalla rilevazione del sovraccarico.

Lo scopo dell'algoritmo di E-EM è dunque la ricerca dinamica dei valori ottimali di regolazione di potenza, sufficienti per garantire l'uscita dalla condizione di sovraccarico al meglio delle possibilità, senza la disattivazione totale di alcuni carichi ma con il mantenimento delle prestazioni (benché minimizzate rispetto al valore nominale).

Partendo dal concetto sopra descritto di E-EM, operante al solo livello della distribuzione elettrica secondaria, l'idea prevista per **ulteriori futuri sviluppi** risiede nello sviluppo di algoritmi avanzati per l'energy management in grado di ottenere una gestione intelligente dei flussi di potenza non solo agendo sugli equipaggiamenti del livello di distribuzione (come nel caso dell'E-EM), ma anche su quelli appartenenti ai livelli di **generazione** e **conversione elettrica**. In aggiunta, ulteriori raffinamenti della strategia E-EM al livello della distribuzione potrebbero essere previsti mediante l'introduzione di tecniche innovative per il recupero dell'energia rigenerata da alcune tipologie di carichi mediante l'utilizzo di supercapacitori.

Tale idea nel suo insieme può essere denominata come **energy management "generalizzato"**, ovvero operante su tutti i livelli di una tipica rete elettrica aeronautica, determinando così un risparmio in termini di peso e ingombro per ulteriori equipaggiamenti a bordo del velivolo.

Stante il concetto basico di E-EM, nel seguito si descriveranno brevemente i concetti di energy management generalizzato relativamente agli ulteriori livelli di generazione e conversione, nonché un ulteriore possibile sviluppo al livello di distribuzione mediante il recupero locale di energia su carichi rigenerativi.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Livello Generazione "Source Management"

Il concetto di E-EM discusso in precedenza fornisce un esempio di strategia per ridurre rapidamente il valore della corrente richiesta da alcuni carichi non critici, a fronte della rilevazione di un sovraccarico. Allo stesso scopo, è possibile proporre algoritmi di **source management** che vadano invece ad agire sulla regolazione della tensione erogata direttamente dal generatore al punto di regolazione (PoR). Si consideri la tipica struttura di un generatore per uso aeronautico, riportata nella Fig. 115.

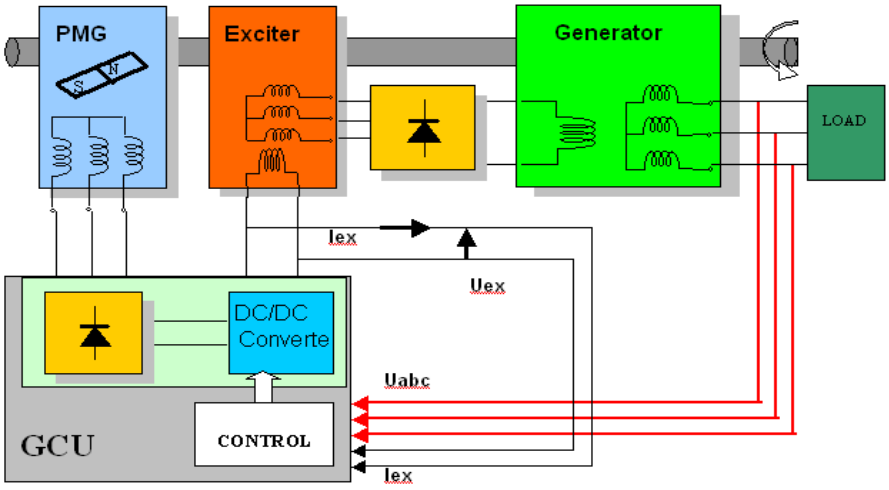


FIG. 115 – STRUTTURA DI UN GENERATORE PER USO AERONAUTICO

Tali algoritmi, agendo sull'unità di controllo del generatore (GCU), consentirebbero di specificare un valore di tensione erogata al PoR variabile, ma comunque all'interno dei valori normali dello standard di qualità di potenza della rete in questione (ad es., per sistemi a 270 VDC a standard MIL-STD-704F, all'interno del range [250-280 VDC]).

Nell'ipotesi di operare in sinergia con gli algoritmi di E-EM a livello di distribuzione, la variazione della tensione di riferimento durante le condizioni di sovraccarico, consentirebbe di ridurre ulteriormente il tempo in cui il generatore stesso si trova in fase di sovraccarico.

In tal caso, è bene anche notare che l'effetto della variazione della tensione al punto di regolazione si ripercuote su tutte le tipologie di carico alimentate dal generatore, per cui ragionamenti ad

hoc devono essere effettuati per le varie tipologie di carico, al fine di ottenere un effetto globale di velocizzazione della fase di recupero del sovraccarico.
L'implementazione dell'idea esposta prevedrebbe lo sviluppo di algoritmi di controllo e supervisione per la GCU che vadano a rimpiazzare i classici controllori di tipo PI. Un esempio non limitativo è rappresentato dall'implementazione di leggi di controllo di tipo "sliding" per il converter DC/DC incluso nella GCU. Una intensa fase di simulazione sarebbe inoltre prevista a monte dello sviluppo degli algoritmi di controllo e supervisione, in particolare con riferimento alla stabilità della rete a fronte di una tensione al PoR per la GCU rapidamente variabile.

Livello Conversione Automatic Inversion of Resonant Converters

Anche i convertitori posti fra i bus di alta e bassa tensione di una tipica rete elettrica aeronautica costituiscono un esempio di equipaggiamenti utilizzabili per strategie di energy management generalizzato.
Infatti, tipicamente tali convertitori operano in "buck" mode, ovvero ricaricando una batteria sul lato di bassa tensione, prelevando energia dal bus in alta tensione. Essendo però convertitori bidirezionali, esiste la possibilità di utilizzarli anche in modalità "boost", ovvero alimentando il bus in alta tensione utilizzando la batteria come sorgente, se desiderato.
Allo stato dell'arte, tipicamente tali convertitori vengono utilizzati in boost mode unicamente per lo starting dei generatori (ove richiesto) e per condizioni critiche di emergenza, rimanendo in fase di buck praticamente durante tutte le fasi di volo.

Una possibile innovazione consisterebbe nell'utilizzo di algoritmi per l'inversione automatica della modalità di funzionamento, ovvero fra buck e boost e viceversa ("buffer mode"), logica già applicata in passato per un convertitore monolitico. La linea innovativa di ricerca che potrebbe essere seguita riguarda lo sviluppo di una logica simile al buffer mode, ma per convertitori di tipo risonanti cellulari.
Un sistema di questo tipo consiste in un insieme di celle, ciascuna delle quali è costituita da un convertitore risonante. Su ogni convertitore grava solo una frazione della potenza nominale. L'intero sistema sarà dotato di un "supervisore" che, utilizzando tecniche di intelligenza artificiale e sensor fusion, avrà il compito di gestire in modo ottimale la distribuzione della potenza tra le varie celle, nonché di occuparsi della selezione della modalità di funzionamento per le singole celle del convertitore modulare.
I risultati attesi riguardano la riduzione del peso e volume del sistema di conversione. Infatti l'utilizzo di celle operanti solo con frazioni della corrente nominale permette lo sviluppo di convertitori di dimensioni ridotte, e quindi anche una maggiore flessibilità nell'installazione e nella manutenzione. Inoltre l'avaria di una cella non comporterà l'interruzione nell'erogazione della potenza, come avviene nei sistemi classici, in cui i convertitori lavorano in mutua esclusione. Utilizzando l'approccio proposto, in caso di guasto di una cella, il supervisore distribuirà il contributo in potenza sulle restanti celle. Inoltre, è necessaria l'integrazione di tale sistema cellulare di conversione con la logica E-EM.
Per l'implementazione dell'idea esposta, è necessario lo sviluppo hardware dei convertitori risonanti cellulari, che prevede anche una intensa fase di studio e simulazione preliminare al fine di

garantire lo sviluppo di un prodotto integrabile nella rete elettrica aeronautica. Infine, una possibilità ulteriore è rappresentata dal rimpiazzamento degli SSPC integrati nei moduli di distribuzione secondaria distribuiti a bordo con una o più celle risonanti. Infatti, la modulazione della tensione ottenuta utilizzando gli SSPC come interruttori ad alta frequenza è paragonabile all'azione dovuta ad una conversione DC/DC, che nel caso dei convertitori risonanti è tipicamente ad una efficienza maggiore e con minori problemi di filtraggio.

Livello Distribuzione Energy Regeneration

La spinta verso l'introduzione di soluzioni all-electric a bordo ha incrementato il numero di carichi che possono rigenerare energia elettrica. Attualmente, non vi sono meccanismi particolari per gestire l'energia elettrica che un motor drive genera in fase di frenata od un attuatore rigetta in fase passiva, e pertanto la soluzione comune consiste nel dissipare l'energia rigenerata grazie all'utilizzo di resistori e meccanismi di raffreddamento. Tutto ciò comporta un peso addizionale a bordo, particolarmente significativo in quanto i resistori devono essere dimensionati con riferimento al caso peggiore.

L'inserzione locale di elementi di **energy storage**, quali i supercapacitori, collegati a convertitori di tipo bidirezionale, come nello schema generale riportato in Fig. 116, permette la soluzione del problema.

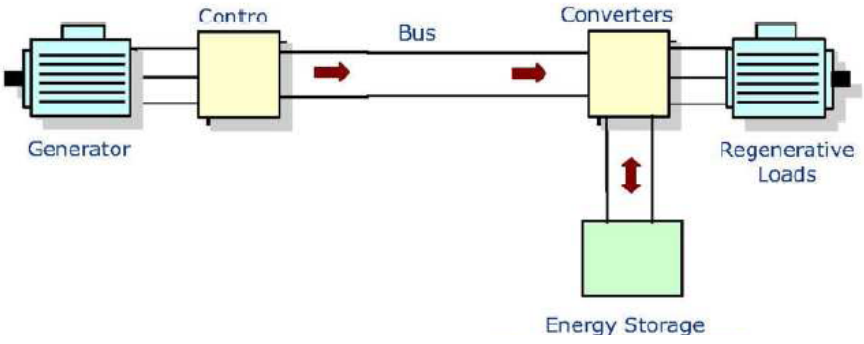


FIG. 116 – ELEMENTI DI ENERGY STORAGE

A seconda del tipo di carico (alimentato in DC oppure in AC), il convertitore potrebbe essere di tipo DC/DC oppure AC/DC, ma in entrambi i casi bidirezionale.

Il convertitore locale va equipaggiato con degli algoritmi intelligenti in grado di rilevare le condizioni di rigenerazione e gestire l'energia associata, utilizzandola per ricaricare il supercapacitore. Al termine della fase di rigenerazione, ovvero durante il funzionamento normale, il convertitore provvederebbe poi a riutilizzare l'energia accumulata (che non può essere conservata per tempi lunghi) trasferendola ad un carico che ne abbia bisogno, tramite il bus di tensione.

Tale soluzione consente non solo di recuperare energia e sgravare il generatore dal fornire alimen-

tazione al carico rigenerativo per un periodo di tempo limitato, bensì l'eliminazione dei carichi resistivi dissipatori come sopra accennato.
Lo sviluppo della suddetta soluzione prevede un'attività di sviluppo dell'hardware, in particolare dei convertitori utilizzati per la gestione dell'energia rigenerata, che dovrebbero essere di dimensioni particolarmente ridotte, al fine di godere effettivamente di una riduzione di peso dovuta dalla rimozione dei resistori dissipativi, nonché particolarmente efficienti, data la ridotta entità dell'energia rigenerata. Per quanto riguarda i supercapacitori, l'hardware è supposto disponibile come componente off-the-shelf, da scegliere opportunamente. Inoltre, dal lato software è necessario lo sviluppo di opportuni algoritmi di gestione dell'inversione di modo (similmente al buffer), nonché l'inserimento del meccanismo sopra descritto all'interno dell'E-EM al fine dell'utilizzo dell'energia rigenerata a seconda delle necessità e delle condizioni di sovraccarico.

Peculiarità dell'ala rotante

Relativamente alle specificità dell'ala rotante è possibile dire che, con la diffusione delle tecnologie elettriche a bordo e il conseguente incremento del fabbisogno elettrico, l'utilizzo di algoritmi per la parzializzazione automatica dei carichi e l'ottimizzazione dei sistemi di generazione sarà sempre più di interesse. Analogamente, l'impiego dell'alta tensione per l'alleggerimento dei cablaggi richiederà convertitori più efficienti, che evitino l'introduzione di sistemi di raffreddamento aggiuntivi. Pertanto, anche lo studio di convertitori risonanti a basso impatto di installazione è incoraggiato.

Tuttavia, esistono alcune peculiarità dell'ala rotante che limitano o scoraggiano il ricorso ad architetture distribuite e rigenerative. In particolare, il poco spazio disponibile a bordo, la ridotta distanza tra i sistemi e la mancanza di azioni frenanti frequenti/significative inducono a pensare che soluzioni di accumulo e rilascio di energia o ad elevata ridondanza ("cellulari") siano maggiormente indicate per i grandi vettori ad ala fissa.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Come precedentemente accennato l'energy management per reti elettriche in ambito aeronautico oggi coincide essenzialmente con il concetto di load management ovvero consiste nello spegnimento di alcuni carichi non essenziali in caso di sovraccarico dei generatori elettrici.
In generale, il trend legato all'affermazione dei concetti "more electric" ed in prospettiva "all electric" in ambito aeronautico sta spingendo l'industria ed il mondo della ricerca aeronautica a porre sempre maggiore attenzione al tema dell'energy management elettrica a bordo.
A solo titolo di esempio, ricordiamo che una significativa parte dei velivoli commerciali e militari di ultima generazione ha optato per architetture di tipo more electric (es. B787, A380, A350, JEF, C-Series, ecc.) mentre numerosi sono gli studi prospettici per l'evoluzione verso architetture all electric.

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore 7 – Aeronautica

ALENIA AERMACCHI	Salvatore Grimaldi (coordinatore)
CIRA	Marcello Amato
EMA	Michele Di Foggia
ENEA	Antonella Rizzo
con la collaborazione di	
AGUSTA WESTLAND	Chee Su Goh
SELEX ES	Giovanni Cocca
UNIVERSITÀ DI ROMA "LA SAPIENZA"	Jacopo Tirillò

SETTORE 8

>SPAZIO<

PROFILO DI SETTORE

Negli ultimi anni, con l'entrata in vigore del Trattato di Lisbona (TFUE), lo **Spazio** ha acquisito una importanza crescente a livello politico, sia in Europa che in Italia. Di conseguenza è notevolmente aumentata l'attenzione nel definire e attuare una politica spaziale di prestigio per consentire all'Europa di giocare su scala mondiale un ruolo analogo a quello delle altre potenze spaziali.

Alle attività spaziali ormai è unanimemente riconosciuta una grande **rilevanza strategica**, alla luce della grande varietà delle ricadute generate in termini di garanzia di accesso ed utilizzo dello Spazio, di crescita della conoscenza, di sviluppo tecnologico, di innovazione, di sicurezza, di ritorni economici e di crescita della competitività industriale. In particolare, viene riconosciuto il **ruolo trainante** (diretto ed indiretto) di questo settore in tutte le economie dei Paesi più industrializzati dovuto a un potenziale in grado di fornire un impulso considerevole alla **ricerca scientifica** e al **progresso tecnologico**, fattori fondamentali dello sviluppo economico e industriale delle società più avanzate.

Il settore spaziale a livello globale acquista una sempre maggiore importanza grazie anche all'influenza dello spazio sui temi che quotidianamente vengono affrontati dai media. Tra questi citiamo a titolo di esempio: i cambiamenti climatici, le telecomunicazioni, la sicurezza sia della popolazione che degli stessi satelliti. Lo spazio viene considerato uno strumento che può contribuire in maniera sostanziale ad affrontare i cambiamenti globali ed è infatti strumentale per fornire i servizi necessari a rispondere alle diverse esigenze che emergono sempre più anche a livello governativo e dei cittadini. Si tratta, quindi, di uno strumento essenziale che consente anche di trovare soluzioni a problematiche sociali sensibili e di indubbia attualità, quali l'Ambiente, il Clima, il Controllo del Territorio e degli Spazi Aeromarittimi, la Sicurezza e la Difesa.

Quanto detto, conferma e rafforza la necessità di avere una comunità scientifica, accademica ed un comparto industriale (incluso le PMI) di valore adeguato al ruolo desiderato per il nostro Paese, tradizionalmente uno dei più importanti nel novero delle potenze spaziali. L'Italia ha una lunga storia di esplorazione spaziale e nel 1964 è stato il terzo paese al mondo a lanciare e gestire un satellite in orbita. La nascita dell'Agenzia spaziale italiana (ASI) nel 1988, infatti, non costituisce l'inizio dell'impegno italiano nel settore spaziale, ma esprime la necessità di un coordinamento unitario delle attività di ricerca e industriali, che erano andate sviluppandosi a partire dagli anni '60.

L'industria spaziale nazionale pertanto gioca un ruolo significativo in tutti i diversi ambiti e domini applicativi delle attività spaziali europee e mondiali, grazie anche al coinvolgimento attivo di **università** e **centri di ricerca** e di una nutrita filiera di **piccole e medie imprese** specializzate. Come esempi importanti, ma non esaustivi, possono essere citati la progettazione, lo sviluppo e la costruzione di:

- **Satelliti scientifici ed applicativi** nei domini delle Telecomunicazioni, dell'Osservazione della Terra e della Navigazione.
- **Infrastrutture Spaziali Abitate** (Moduli Pressurizzati).
- **Sistemi di Lancio e Trasporto Spaziale**.
- **Apparati, Antenne, Componenti ed Equipaggiamenti**, elettronici e meccanici, sia di bordo che di terra.
- **Sistemi per la Protezione e la Sicurezza dello Spazio**, ovvero l'integrazione di infrastrutture, assets nazionali e capacità operative esistenti e futuri per la previsione e il monitoraggio di collisioni con detriti e oggetti spaziali, di frammentazioni di oggetti spaziali e del loro rientro incontrollato verso la Terra, al fine di contribuire ad assicurare la disponibilità a lungo termine delle infrastrutture e dei mezzi spaziali europei.
- **Sistemi Software** sicuri, ad elevato grado di affidabilità, specifici per il settore spaziale.

Per potersi rapportare efficacemente al nuovo quadro mondiale ed europeo, assicurando anche all'Italia un ruolo competitivo nelle nuove sfide internazionali, è fondamentale ottimizzare il **coordinamento di tutte le componenti nazionali**. In tale contesto si inquadra il lavoro intrapreso dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri, con le attività della cosiddetta ***Cabina di Regia***, per tutelare e rafforzare il ruolo primario che l'Italia ha saputo conquistare in virtù delle proprie capacità scientifiche, tecnologiche ed industriali nazionali, ma anche per **capitalizzare gli investimenti** passati e futuri del Paese, senza trascurare la questione chiave relativa al controllo reale delle capacità tecnologiche e produttive esistenti sul territorio nazionale, grazie ai continui ed ingenti investimenti degli ultimi decenni. Il controllo di tali capacità è più che mai strategico, sia per consentire all'I-

talia di rimanere un player primario nel settore spaziale, sia per potersi avvantaggiare delle **ricadute tecnologiche e industriali** che ne derivano.

Lo Spazio, dunque, non è soltanto un settore specializzato, a prevalente connotazione tecnico-scientifica, ma è orientato sempre più alla fornitura di **Applicazioni e Servizi**, indirizzati soprattutto al benessere dei cittadini. Infatti, i programmi spaziali, utilizzando i dati satellitari disponibili ed integrando in maniera crescente i recenti sviluppi scientifici e tecnologici, assumono una maggiore rilevanza proprio in rapporto alle crescenti possibilità di sviluppare applicazioni e di fornire **servizi utili al cittadino, alle Imprese e alle Pubbliche Amministrazioni**, in risposta ad una domanda pubblica e privata in costante crescita.

L'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) è l'Agenzia pubblica preposta a definire, coordinare e gestire programmi spaziali nazionali e la partecipazione italiana a progetti spaziali europei e internazionali, sotto la supervisione del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca. Il sistema spaziale italiano è composto da molti e diversificati stakeholders e l'ASI mantiene rapporti con tutti i gruppi di interesse – Università e centri di ricerca spaziali, imprese, cluster regionali, Ministeri a più titoli coinvolti nel settore, enti locali – allo scopo di promuovere e coordinare la ricerca scientifica, lo sviluppo tecnologico e favorire la crescita di infrastrutture spaziali al servizio del cittadino.

L'ASI gestisce la realizzazione dei conseguenti programmi nazionali e, al tempo stesso, rappresenta il Governo italiano presso **l'Agenzia Spaziale Europea (ESA)** per definire la partecipazione italiana a programmi qualificati dell'ESA, con l'intento di **ottenere ruoli e ritorni di qualità** per la comunità spaziale nazionale. L'ASI, inoltre, partecipa ai diversi **gruppi di lavoro e comitati** relativi allo Spazio dell'Unione Europea (ad es. Space Working Party per la preparazione del Consiglio Competitività dell'Unione, Space Policy Expert Group, Galileo, Copernicus, SST, H2020) ed ai lavori degli organismi internazionali multilaterali impegnati nelle attività e nelle **cooperazioni spaziali**, al fine di assicurare il più proficuo e sinergico sfruttamento degli investimenti nazionali.

I **programmi spaziali** costituiscono anche un importante veicolo per accrescere la **visibilità internazionale dell'Italia** ed un utile ausilio alla politica estera nazionale, sia nei *fora* internazionali che nelle **relazioni bilaterali** con i Paesi avanzati o a sostegno dei Paesi in via di sviluppo. Grazie anche all'impegno dell'Agenzia Spaziale Italiana, l'Italia ha assunto un ruolo di primo piano nel panorama tecnologico, scientifico ed industriale del settore, sia con specifiche **iniziative nazionali**, sia attraverso la citata attiva **partecipazione in ESA** e a **programmi congiunti** con la **NASA** od **altre Agenzie** spaziali. L'ASI ha infine il compito istituzionale di promuovere e diffondere la cultura aerospaziale attraverso iniziative dedicate al grande pubblico ed in particolare ai giovani che con sogni ed entusiasmo costruttivo sono il motore indispensabile dell'evoluzione in ambito spaziale.

MERCATO

Contesto globale

Nel 2013 i **finanziamenti istituzionali mondiali** nel settore spaziale si sono attestati sui **57,2 B€**, circa il 14% in più rispetto al 2008, con il settore pubblico, che si afferma ancora come il maggiore "cliente" per il settore spaziale. Gli investimenti sono concentrati soprattutto in **USA**, **Russia, Europa, Cina e Giappone**, con circa il 93% dell'investimento mondiale istituzionale. Questo dimostra che il ruolo governativo è essenziale in quanto fonte primaria di finanziamento sia per le attività di R&S, sia per quelle legate a prodotti e servizi.

È importante sottolineare che il numero dei paesi che investono nello spazio è in costante aumento. Questo dimostra che il settore è estremamente dinamico e i governi considerano gli investimenti nelle applicazioni e tecnologie spaziali importanti per supportare le politiche nazionali e lo sviluppo scientifico e tecnologico.

Gli USA sono i maggiori investitori, con circa 30,7B€ investiti nelle attività spaziali (civili e per la difesa), anche se, rispetto al passato, si evidenzia una flessione negli investimenti. Nel 2000 infatti, l'investimento USA rappresentava il 75% dell'investimento mondiale nel settore, ora rappresenta circa il 54%.

Trend inverso per la Russia che fa registrare nel 2013 un incremento degli investimenti del 28% rispetto all'anno precedente pari a 8,7B€.

Anche per quanto riguarda la Cina, l'investimento nel programma spaziale aumenta e si attesta sullo 0,04% del suo PIL.

In **Europa** gli investimenti governativi nello spazio per il 2013 sono stati di circa 9B€, in aumento di circa il 9% rispetto all'anno precedente. Si può affermare che, in generale, ad eccezione degli USA, la percentuale dei PIL nazionali investita dai maggiori paesi nelle attività spaziali fa registrare un leggero aumento. Si prevede che probabilmente dopo il 2015, ci sarà un'ulteriore crescita degli investimenti nazionali in attività spaziali; questo si ricollega anche alle aspettative di governi e imprenditori sugli effetti positivi che gli investimenti nel settore spaziale hanno sulla crescita economica e sugli impatti sociali che possono portare. A livello di fatturato, il settore spaziale mondiale, che include le attività manifatturiere (33%), servizi degli operatori satellitari (9%) e i "consumer services" (58%) ha prodotto nel 2013 un fatturato di circa 256,2 miliardi di dollari (fonte OCSE).

Contesto europeo

I principali attori presenti nel settore spaziale europeo sono **l'Agenzia Spaziale Europea (ESA), l'Unione Europea (UE) ed i rispettivi Paesi Membri.**

Al momento, in ambito UE ed ESA, è in fase di discussione il futuro delle relazioni tra l'ESA e l'UE. In occasione del Consiglio Competitività del maggio 2014 e successivamente in quello di dicembre 2014, sono state adottate le Conclusioni su questo argomento nelle quali la Commissione Europea viene invitata, in cooperazione con il Direttore Generale dell'ESA, a fare dei progressi sulle relazioni istituzionali tra le due entità ESA e UE, proponendo dei miglioramenti che permettano di creare una partnership sostenibile al fine di facilitare l'implementazione della politica spaziale europea e della sua potenziale evoluzione. È attualmente in corso un *impact assessment study* da parte della Commissione europea per analizzare pro e contro dei vari scenari evolutivi al momento identificati. Per quanto riguarda l'aspetto economico, gli investimenti europei nel settore spaziale negli ultimi anni si sono attestati intorno ai 6,3B€ nel 2011 e ai 6,8B€ nel 2013. Di questi circa 3,5 B€, sempre nel periodo 2011-2013, provengono da investimenti pubblici (*fonte Eurospace*).

Nel 2013, considerando sia gli investimenti nazionali che le contribuzioni in ambito ESA ed EUMETSAT, la Francia è stata il maggior investitore con circa 2,1B€, seguita dalla Germania (circa 1,5B€), Italia (circa 0,8B€) e UK (circa 0,6B€). Negli ultimi anni diversi altri paesi europei hanno dimostrato il loro interesse nel settore spaziale investendo in programmi sia a livello nazionale che a livello ESA. Da citare ad esempio la recente costituzione dell'Agenzia Spaziale del Regno Unito e della Polonia.

Agli investimenti sopra citati, si aggiungono i finanziamenti dell'UE che nel budget 2014-2020, ha stanziato per il settore spaziale per circa 12 B€, suddivisi tra Copernicus, Galileo, Horizon 2020 (il programma di ricerca e innovazione dell'UE).

L'ESA e l'UE continuano a lavorano congiuntamente sui due programmi bandiera dell'UE: **Galileo** e **Copernicus** per i quali sono stati recentemente siglati Accordi di delega della UE a ESA per l'implementazione di questi programmi nel periodo 2014-2020. Inoltre, in ambito **H2020** Spazio, l'ESA supporta la Commissione Europea ed è responsabile di due **Strategic Research Clusters** finanziati nella prima call Spazio rispettivamente nel settore della **Propulsione Elettrica** e in quello della **Robotica**.

A livello industriale, l'industria spaziale europea realizza circa il 40% del suo fatturato con clienti commerciali (e.g. operatori commerciali). Il fatturato realizzato da commesse istituzionali negli ultimi dieci anni si attestava tra i 3-3,5 B€ all'anno, ESA rappresentava il maggior cliente (circa 2,4B€).

Contesto nazionale

L'Italia, Membro fondatore dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), è il suo terzo maggiore contribuente, dopo la Germania e la Francia e fra i primi Paesi al

mondo per investimenti in tutti i più importanti settori di attività spaziali (Osservazione della Terra, Osservazione dell'Universo, Telecomunicazioni, Trasporto spaziale, Abilità umana nello spazio, Medicina e biotecnologie, Navigazione e localizzazione, Tecnologie e trasferimento tecnologico). Questa forte diversificazione – seppure con impegni finanziari molto differenziati – ha reso possibile una vasta acquisizione di competenze in quasi tutti i settori. Da notare che i grandi paesi europei non investono in tutte le aree dello spazio. L'Industria nazionale di settore è una realtà rilevante, anche per i benefici che apporta all'intero sistema produttivo nazionale in termini di rafforzamento tecnologico, determinato dagli alti investimenti in ricerca e sviluppo. L'industria spaziale, infatti, registra la maggiore intensità di ricerca, sia nel confronto con l'intero sistema manifatturiero nazionale, sia con quello delle aziende high-tech. Nell'up-stream spazio il rapporto tra spese per ricerca e valore della produzione è dell'11%, mentre è del 5,1% nell'high-tech e dello 0.9% nell'intera manifattura.

L'Italia ha una gamma completa di competenze, dalle Telecomunicazioni al Posizionamento (Galileo, info-mobilità per sicurezza, salute, trasporti), all'Osservazione della Terra (COSMO-SkyMed e relativi servizi per il territorio), all'Esplorazione e Trasporto spaziale (ISS, missioni ESA / NASA, sistemi di trasporto Vega, robotica, logistica di volo, ecc.). A tali competenze corrispondono sistemi produttivi integrati, dalla progettazione, alla produzione di materiali speciali, alla realizzazione di prodotti e servizi, alla gestione, sviluppo e distribuzione di dati, articolati nei segmenti di terra, trasporto e orbita/volo.

L'industria spaziale italiana è composta da alcuni sistemisti ed integratori di sistemi di grandi dimensioni e una serie molto più ampia di piccole e medie imprese (PMI), collegati attraverso una complessa rete di relazioni verticali. Le PMI spaziali italiane operano in tutta la catena del valore, dalle attività di produzione a servizi e applicazioni. Esse rappresentano una componente strategica del settore spaziale, con competenze di eccellenza in settori di nicchia lavorando in contesti internazionali (ESA, UE) e nei mercati extra-UE.

Circa i due terzi delle imprese spaziali italiane (grandi e piccole), operano nel settore manifatturiero, contribuendo alla realizzazione o la manutenzione di infrastrutture spaziali, mentre il restante terzo fornisce servizi e applicazioni spaziali per gli utenti finali (downstream).

L'industria spaziale italiana è composta da circa 250 aziende (di cui solo 150 hanno le attività spaziali come core business) con un fatturato complessivo di circa 1,6 miliardi di euro. Un ristretto numero di grandi gruppi dominano il settore, sia in termini di occupazione che di fatturato.

Le esportazioni del settore spaziale rappresentano il 70% del fatturato, di cui oltre la metà esportate in altri paesi dell'UE (con una quota importante di ordini ESA e la collaborazione con la Germania e la Francia). Una relativamente piccola ma crescente quota degli ordini proviene da paesi al di fuori dell'Unione

Europea. L'industria spaziale italiana è diffusa su tutto il territorio, con **distretti** spaziali e **cluster** che rappresentano nel settore uno dei fenomeni più recenti e significativi ancora in forte crescita.

È in corso un'azione a livello nazionale che mira a integrare nei territori, possibilmente per aree specialistiche, le attività di grandi imprese, PMI e soggetti di ricerca (Università, Enti di ricerca), valorizzando lo specifico ed insostituibile ruolo di ogni stakeholder, con lo scopo di delineare linee di intervento pubblico, coordinato a livello nazionale e regionale che massimizzino l'efficacia e l'efficienza della spesa, le sinergie e la sussidiarietà degli investimenti in un'ottica di strategia nazionale. Merita una particolare menzione il **Cluster Tecnologico Nazionale Aerospazio (CTNA)**, del quale fanno parte diversi Distretti aerospaziali, imprese ed associazioni industriali, enti di ricerca ed ASI ha l'obiettivo di assicurare, in una ottica "meta-distrettuale", l'ottimizzazione delle risorse spese, sugli assi cruciali di sviluppo del settore spazio.

La Piattaforma Tecnologica Spaziale Italiana SPIN-IT

La piattaforma tecnologica nazionale dedicata allo Spazio **"SPIN-IT Space Innovation in Italy"** è nata per promuovere l'innovazione e rafforzare la presenza italiana nei programmi europei e internazionali di ricerca applicata in questo settore. Essa si ispira al modello delle ETP (European Technology Platform) come delineate dalla Commissione europea e si configura come "struttura aggregativa organizzata" che riunisce tutti gli operatori italiani industriali, scientifici, e istituzionali, per il perseguimento di specifici obiettivi in tema di innovazione e sviluppo, con particolare attenzione alla promozione delle competenze e degli interessi italiani in Europa e alla valorizzazione dei diversi Attori (Grande industria, PMI, Università e Ricerca, Distretti) e delle loro possibili sinergie.

OCCUPAZIONE

Lo spazio è un settore in crescita, che riveste notevole importanza per la creazione di posti di lavoro e per l'innovazione. I sistemi e le tecnologie spaziali rappresentano un elemento critico nella vita quotidiana di tutti i cittadini europei. Il corretto funzionamento dei servizi essenziali, dalle telecomunicazioni alla televisione, dalle previsioni meteorologiche ai sistemi finanziari a livello mondiale, dipende dall'industria spaziale.

A livello di **occupazione globale** nel settore, è importante evidenziare come negli Stati Uniti l'occupazione nel settore spaziale, abbia fatto registrare una contrazione per il sesto anno consecutivo, con un calo del 3,5% nel 2011-2012, l'anno più recente di cui si ha disponibilità di dati. Diversi fattori hanno contribuito a questi numeri negativi, compresa la fine del Programma Space Shuttle nel 2011. In seguito alla recessione, vi è stato infatti un inasprimento dei bilan-

ci, con la conseguente incertezza sul futuro dei fondi federali destinati ai programmi spaziali. Al contrario, il settore della forza lavoro giapponese è cresciuto dell' 11% nel 2012, continua la sua crescita pluriennale dopo aver raggiunto un punto molto basso nel 2008. A titolo di riferimento, vale la pena notare che nel 2013, la Cina occupava circa 26.000 FTE (full-time equivalent) e il Giappone circa 7.500 FTE nei rispettivi settori industriali upstream.

Le attività spaziali in Europa generano livelli di occupazione pari a circa 326.000 posti di lavoro, la maggioranza dei quali derivanti dal settore downstream, in particolare il settore delle comunicazioni satellitari. Nel dettaglio i dati parlano di 115.000 posti di lavoro nel settore upstream, 5.000 nel midstream e 205.000 in quello downstream. L'industria manifatturiera produce circa 36.000 posti di lavoro altamente qualificati. Infatti, il settore delle comunicazioni satellitari sostiene i due terzi dei posti di lavoro e contribuisce fortemente a mantenere e sviluppare il know-how necessario per garantire la competitività, anche per quello che attiene all'industria. Nei prossimi anni si prevede che i settori downstream – Osservazione della Terra e Navigazione satellitare – contribuiranno fortemente all'aumento di occupazione. La distribuzione dei posti di lavoro nel settore upstream tra gli Stati membri dell'ESA è rappresentata nella figura 117 che illustra il forte posizionamento della Francia seguita da Germania e Italia. Queste stime non comprendono l'industria spaziale del segmento downstream (ad esempio servizi, applicazioni).

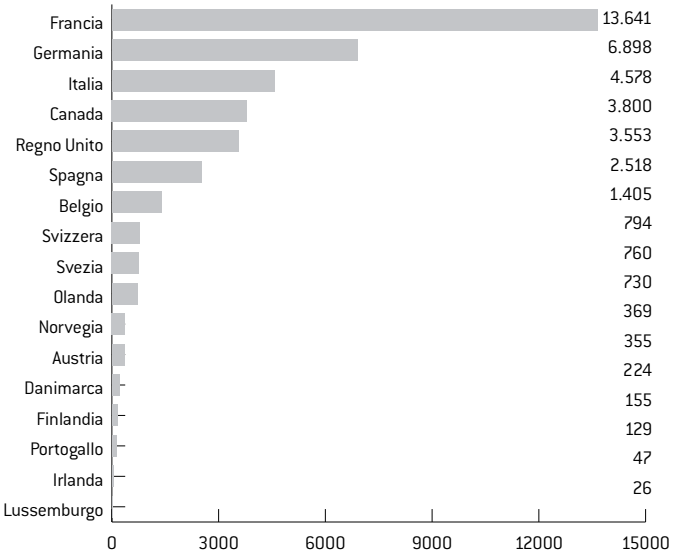


FIG. 117 – SPAZIO: OCCUPAZIONE NELL'INDUSTRIA DAGLI STATI MEMBRI DELL'ESA (F.T.E) NEL 2013 (FONTE: DATA EXTRACTED FROM EUROSPACE 2014, OECD 2014, NATIONAL REPORTS)

In Europa nel 2102 l'occupazione nell'industria spaziale è aumentata per il settimo anno consecutivo, di una percentuale pari all'1,5%. Nel 2013 l'occupazione totale ha continuato a crescere per raggiungere un livello storico di poco superiore ai 36.000 posti di lavoro. I sei principali Stati membri dell'ESA (Francia, Germania, Italia, Regno Unito, Spagna e Belgio) forniscono circa il 90% dei posti di lavoro dell'industria europea dello spazio. Le PMI contribuiscono a con una percentuale pari al 10% nel settore manifatturiero.

Considerando il settore delle telecomunicazioni, si evidenzia che gran parte dei progetti che fanno capo al programma ARTES dell'ESA stanno generando servizi operativi. Molte nuove imprese stanno iniziando a generare ricavi e risultati che consentono di valutarne il loro impatto socio-economico. Un indicatore importante è certamente quello relativo all'occupazione.

Con specifico riferimento proprio al settore delle Telecomunicazioni e Applicazioni Integrate, nel complesso, sono stati 177 i posti di lavoro FTE creati o sostenuti fino ad oggi grazie ai programmi ARTES. Questo dato rappresenta una media di 11 posti di lavoro per ciascuna nuova impresa. È importante sottolineare come questi nuova forza lavoro generata non si limita al solo periodo di realizzazione dei progetti ma si estenda sul lungo periodo.

Occupazione in Italia

Circa **5.000 persone** lavorano nel settore spaziale italiano, con quattro grandi aziende che occupano circa l'80% della forza lavoro. Questi dati comprendono anche il settore downstream (sistemi di servizio a terra, segmento utente e applicazioni), con meno di 1/3 di tutta l'occupazione del settore. La figura 118 riporta la forza lavoro nel settore manifatturiero.

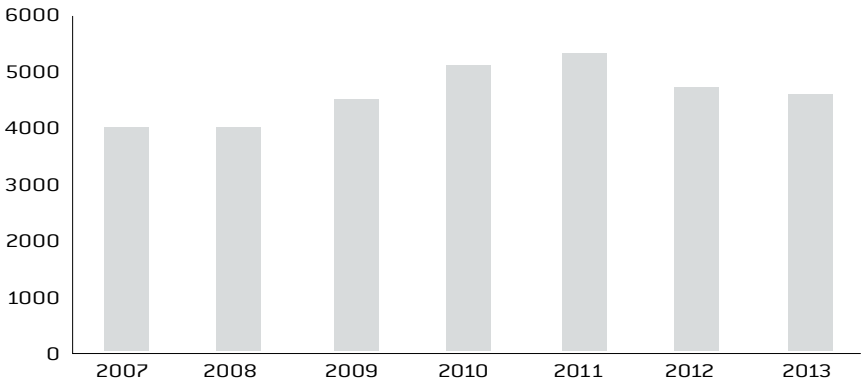


FIG. 118 – SPAZIO: OCCUPAZIONE MANIFATTURIERA IN ITALIA, 2007-13 - NUMERO DI EQUIVALENTI A TEMPO PIENO (FONTE: EUROSPACE, 2014)

Il turnover è fortemente influenzato dalla spesa pubblica in area EU: essa assomma a ben oltre il 50% degli ordinativi ed è da ricollegarsi in massima parte alle commesse ASI ed ESA, sia dirette (a prime) che indirette (subcontracts).

RICERCA E SVILUPPO

È ampiamente noto che la ricerca scientifica italiana nel settore spaziale è di altissimo livello, in continuità con quegli scienziati che furono i padri fondatori del settore spaziale italiano.

La comunità scientifica italiana ha ottenuto negli ultimi decenni successi senza precedenti nel campo dell'astrofisica e della cosmologia, contribuendo tra l'altro a ricostruire i primi istanti di vita dell'Universo, compiendo passi fondamentali verso la comprensione del fenomeno dei *gamma ray bursts* e delle misteriose sorgenti di raggi gamma. È stata recentemente estesa la missione Agile.

L'ASI ha dato inoltre importanti contributi all'Esplorazione spaziale, costruendo strumenti scientifici che hanno viaggiato con le sonde NASA ed ESA alla scoperta dei segreti di Marte, Giove, Saturno. Come conseguenza, in tutte le principali missioni pianificate per i prossimi anni – da Venere alle comete, fino ai limiti estremi del nostro Sistema Solare – ci sarà un pezzo di Italia.

Dati OCSE del 2013 (Space Economy at a Glance 2014) attestano che l'Italia è al sesto posto nel mondo per numero di pubblicazioni scientifiche nel settore spaziale, con il 5,74% delle pubblicazioni complessive, dopo USA, Cina, Germania, Francia, e Gran Bretagna. Una recente analisi bibliometrica delle pubblicazioni afferenti alle 9 missioni a partecipazione italiana nel settore dell'astrofica delle alte energie e delle particelle, mostra che la produzione scientifica nazionale contribuisce ad alzare la qualità della produzione scientifica internazionale in termini di citazioni, H-index e M-index, con valori quasi sempre molto al di sopra della media del settore Astrofisica e Astronomia dei data Base Web of Science (Thomson Reuters) e Scopus (Elsevier).

TECNOLOGIE PRIORITARIE

Le Tecnologie Prioritarie per il Settore Spazio, individuate dal Gruppo di Lavoro, fanno riferimento a 10 grandi Aree quali: **Scienza ed Esplorazione, Protezione Assets Spaziali**, **Sistemi a bordo di Satelliti**, **Osservazione della Terra**, **Navigazione Satellitare**, **Propulsione e Propellenti**, **Trasporto Spaziale**, **Materiali e Processi**, **Telecomunicazioni** ed **Applicazioni Integrate e Servizi**. In particolare esse sono:

Scienza ed Esplorazione

1. Tecnologie per Missioni Gravimetriche

2. Tecnologie per l'Esplorazione Solare
3. Strutture Avanzate Ultraleggere e Adattive
4. Tecnologie Robotiche per l'Esplorazione Planetaria
5. Tecnologie per il Rientro Atmosferico e per l'Esplorazione

Protezione Assets Spaziali

6. Sistemi avanzati per Integrazione, Rifornimento, Trasporto e Rimozione Satelliti/Detriti in orbita
7. Tecnologie e applicazioni per la Sicurezza nello Spazio

Sistemi a bordo di Satelliti

8. Tecnologie per Antenne a bordo di Satelliti
9. Tecnologie di miniaturizzazione equipaggiamenti per Microsatelliti, Payload Compatti e relative applicazioni di emergenza

Osservazione della Terra

10. Tecnologie per RADAR da Osservazione della Terra
11. Sistemi digitali a banda larga e trasmissione dati a terra ad altissima velocità, nelle bande Ka e X

Navigazione Satellitare

12. Orologi Atomici Spaziali

Propulsione e Propellenti

13. Tecnologie per la Propulsione Spaziale
14. Sviluppo Nuovi Propellenti Solidi avanzati

Trasporto Spaziale

15. Sistemi di Separazione Stadi e Controllo Spinta
16. Sistemi per Lancio Orbitale
17. Serbatoi e Strutture di Nuova Generazione per Lanciatori e Veicoli Spaziali

Materiali e Processi

18. Additive Manufacturing

Telecomunicazioni

19. Tecnologie Spaziali di Telecomunicazione per colmare il Divario Digitale in Italia

Applicazioni Integrate e Servizi

20. GNSS Based Applications

RISORSE ECONOMICHE TOTALI

Circa 900 milioni di euro.

TEMI STRATEGICI A MEDIO-LUNGO TERMINE

Per quello che concerne i temi strategici a medio-lungo termine, tra i più rilevanti vanno ricordati:

Lanciatori

Mantenimento dell'accesso allo Spazio nel breve termine con i lanciatori attuali (Ariane 5 ECA, Soyouz, VEGA) attraverso il **programma LEAP** composto sia per **Ariane 5** sia per **Vega** da due diverse linee di attività ("Classical e MCO"; "Supplementary"/supporto ad Arianespace). Il programma LEAP è stato concepito dall'ESA nel 2012 in coerenza con gli indirizzi della Risoluzione del Consiglio di dicembre 2011 relativamente all'evoluzione di lungo termine della fase di exploitation dei Lanciatori Europei ed è strutturato per creare un singolo quadro programmatico sia per Ariane 5 che per Vega. LEAP in pratica ha quindi sostituito sia il supporto degli Stati Membri per l'accompagnamento tecnologico alla produzione (ARTA per quel che concerne Ariane 5 e VERTA per quanto riguarda Vega), sia il supporto alla società commerciale Arianespace. È stata approvata una tranche di due anni (2015-2016).

Nuovi sviluppi **Ariane 6** ed **evoluzione di Vega** (VECEP), incluso il motore comune **P120 C**; Il programma Ariane 6 prevede l'uso di motori a propellente solido e, grazie ad un'intensa attività di negoziazione portata avanti dalla Delegazione italiana per garantire la valorizzazione dell'investimento decennale in VEGA e la continuità del lavoro e della ricerca in Italia in questo settore, utilizzerà gli stessi motori del lanciatore Vega C (motore P120) prodotti con un importante coinvolgimento del comparto industriale italiano. Vega è un progetto europeo ad altissima tecnologia a guida italiana (prime contractor ELV), per il quale è stato anche sviluppato in Italia un nuovo software di guida, navigazione e controllo. VEGA copre una fetta di mercato lasciata libera da Ariane e Soyuz, quella destinata ai satelliti di massa compresa fra i 300 e i 2.500 kg; ha completato tre lanci commerciali di successo, oltre a quello di qualifica, e si appresta a mettere in orbita l'**IXV** (Intermediate eXperimental Vehicle), il veicolo europeo dimostratore di tecnologie di rientro atmosferico. Si deve ora completare la fase di consolidamento ed evoluzione del lanciatore, VEGA Consolidation and Evolution Program (VECEP), in parte già finanziata (dall'Italia per il 53% a Napoli nel 2012) e in parte da finanziare in occasione del Consiglio Ministeriale ESA di dicembre 2014, che consentirà, in virtù del potenziamento del

motore, un aumento delle capacità di VEGA, rendendolo ancora più competitivo sul mercato internazionale (VEGA C).

Programme for the Reusable In-orbit Demonstrator for Europe **(PRIDE)**: Tenuto conto delle esperienze e delle competenze acquisite dall'industria italiana nel settore del rientro atmosferico sia con il **programma IXV, dimostratore di rientro atmosferico europeo**, di cui l'Italia è *prime industriale*, sia con il programma **PRORA** del CIRA che ha visto già due voli atmosferici sperimentali di un Unmanned Space Vehicle USV, è stata accolta e sottoscritta la proposta italiana di avvio di uno studio concettuale per identificare una missione in grado rientrare a terra atterrando su pista come un aeromobile (IXV ammara nell'oceano) e una roadmap di tecnologie abilitanti.

International Space Station (ISS) e Esplorazione

Per il periodo 2015-2020, l'ESA chiedeva agli Stati Membri complessivi 1.064 milioni di Euro, incluso 200 milioni per la seconda fase di sviluppo del Modulo di Servizio del Multi Purpose Crew Vehicle previsti nel cosiddetto *"barter agreement"* tra ESA e NASA.

L'Italia, con 4 astronauti attivi e le attività industriali in corso per la realizzazione del Modulo di Servizio dell'MPCV e del supporto alla ISS, ha sostenuto la proposta relativa alla continuazione della ISS fino a 2020 ed oltre. Inoltre i ritorni degli investimenti fatti sulla ISS iniziano ad essere apprezzabili anche sul piano commerciale.

Durante il Consiglio ministeriale è stata approvata la prosecuzione della Fase 3 per il periodo 2015 – 2017 (third Binding Financial Commitment – 3BFC).

Aurora – ExoMars

Nell'ambito del programma European Space Exploration Programme – Aurora, la componente ExoMars è dedicata alla progettazione, realizzazione, lancio e operazioni di due missioni di esplorazione su Marte. Nel corso del Consiglio sono stati sottoscritti ulteriori fondi necessari per la continuazione delle attività di sviluppo per le due missioni del programma ExoMars di cui l'Italia è *prime industriale*:

- **ExoMars 2016**: costituita da un Trace Gas Orbiter (TGO), dedicato a garantire le comunicazioni con i moduli di superficie e ad effettuare una serie di esperimenti sulla composizione dell'atmosfera marziana, e un EDL Demonstrator Module (EDM), dedicato a dimostrare una capacità autonoma europea di ingresso in orbita, discesa e atterraggio su Marte. L'Italia ha la responsabilità del veicolo di discesa "Schiapparelli" sul suolo marziano.
- **ExoMars 2018**: costituita principalmente da un **rover** europeo, da un lato

dedicato a dimostrare una capacità autonoma di mobilità orizzontale (rover) e verticale (drill) sul pianeta, dall'altro dotato di una serie di attrezzature sperimentali, per l'acquisizione (drill), la preparazione e la distribuzione di campioni del suolo di Marte tra più strumenti di un laboratorio analitico, in grado di effettuare analisi chimico/morfologiche per ricercare tracce di vita attuale o passata sul pianeta rosso.

Altre aree

Sono state effettuate sottoscrizioni aggiuntive nei programmi di **Osservazione della Terra** (GSC3 ph.2 Space component) e **Telecomunicazioni** (ARTES):

- GSC3 ph.2 Space component
- ARTES

L'Osservazione della Terra riveste un ruolo cruciale per l'Italia che, registrando un sovra-ritorno nelle attività industriali attualmente in corso, ha ampie aree di interesse programmatiche ed industriali. l'Italia ha aumentato la sua sottoscrizione alla fase 2 del Copernicus Space Component (GSC3) in quanto non effettuata durante il periodo di Commissariamento dell'ASI nella prima metà dell'anno 2014, diversamente dagli altri Stati Partecipanti. Per le Telecomunicazioni sono state completate/integrate alcune sottoscrizioni alla luce dell'evoluzione del settore e dei ritorni commerciali in esso generati. Gli impegni del 2014 sono stati presi in considerazione di quanto indicato nella legge di stabilità che prevede, per l'ASI, un finanziamento aggiuntivo rispetto al riparto del FOE.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 1

TECNOLOGIE PER MISSIONI GRAVIMETRICHE

DESCRIZIONE

La ***gravimetria***, ovvero la misura del campo gravitazionale terrestre, alimenta un gran numero di applicazioni, ad esempio nei settori della:

- Geodesia: dalla mappa del campo gravitazionale si ricava la forma del "geoide" terrestre, la superficie equipotenziale che meglio approssima la superficie degli oceani a riposo (cioè non sottoposti all'azione delle maree, delle correnti e degli eventi meteorologici) e che fornisce il riferimento per la misura delle altezze "sul livello del mare".
- Oceanografia: sottraendo dalla mappa altimetrica della superficie degli oceani l'altezza del geoide si ottiene la ottiene la "topografia oceanica dinamica" da cui si ricava la mappa della circolazione oceanica (forma, direzione e velocità delle correnti).
- Geofisica: il campo gravitazionale fornisce informazioni sulla struttura interna della Terra (in particolare della litosfera e del mantello), permettendo tra l'altro di identificare le zone soggette a rischio sismico.
- Idrologia e glaciologia: misurando come varia nel tempo il campo gravitazionale terrestre si possono monitorare i cicli idrologici nei bacini fluviali, l'aumento o diminuzione dell'acqua presente nel sottosuolo, la variazione della massa di ghiaccio sulle calotte polari e nei ghiacci e quella del livello dei mari.

Le missioni gravimetriche del satellite GOCE (ESA, lanciato il 17 marzo 2009 e rientrato in atmosfera l'11 novembre 2013) e dei satelliti GRACE (lanciati il 17 marzo 2002 e tutt'ora operativi) hanno fornito rispettivamente la prima mappa globale ad alta risoluzione spaziale (100 ´ 100 km) e precisione (<1mGal) del campo gravitazione terrestre, e la prima misura della sua variazione nel tempo con frequenza mensile (seppur limitata ad una risoluzione di ff500 ´ 500 km). L'obiettivo che si prefiggono le missioni gravimetriche di prossima generazione è quello di misurare la variazione del campo gravitazione con alta risoluzione spaziale (dell'ordine dei 100 km) e temporale (dell'ordine di alcuni giorni).

Mentre GOCE ha mappato il campo gravitazionale terrestre mediante un ***gradiometro*** (insieme di 6 accelerometri disposti su tre assi ortogonali e distanziati di 0.5 m), la tecnica di misura ritenuta più appropriata per l'obiettivo della prossima generazione di missioni gravimetriche è quella del ***satellite-to-satellite tracking***: una coppia di satelliti in orbita bassa (ff350 km), co-orbitanti ad una distanza relativa dell'ordine di 100 km, costituisce il "sensore gravitazionale"; misurando la variazione di distanza tra i satelliti si ottiene l'informazione sulle forze gravitazionali che hanno prodotto quella variazione. Questa tecnica è già utilizzata dai satelliti GRACE, dove la distanza inter-satellitare (ff220 km) viene misurata con un sistema a radiofrequenza che fornisce una ri-

soluzione di circa 10 micrometri. Per raggiungere le prestazioni richieste alle nuove missioni gravimetriche la misura di distanza dovrà essere effettuata con una risoluzione 1000 volte migliore (circa 10 nanometri), ovvero con un errore relativo di 10^{-13} su una distanza di 100 km. Questo risultato è ottenibile solo mediante ***interferometri*** che utilizzano ***fasci laser*** con frequenza estremamente stabile. L'acquisizione ed il mantenimento del collegamento ottico tra i due satelliti mediante i fasci laser richiede inoltre un sistema di puntamento molto sofisticato.
Un altro apparto di misura fondamentale per queste missioni è un ***accelerometro*** (o insiemi di accelerometri) ultrasensibile (simile a quelli che hanno volato su GOCE), che ha il compito di misurare l'accelerazione prodotta sul satellite dalle forze non gravitazionali (essenzialmente la resistenza aerodinamica prodotta dall'atmosfera residua presente alla quota del satellite); l'effetto di queste accelerazioni deve essere rimosso dalla variazione di distanza misurata dall'***interferometro laser*** per isolare l'effetto del solo campo di forze gravitazionali. A sua volta, il raggiungimento della massima prestazione dell'accelerometro richiede la compensazione entro un certo livello delle forze non gravitazionali agenti sul satellite mediante ***propulsori elettrici*** (tipicamente) in grado di modulare la spinta in un ampio intervallo e con elevata risoluzione. Questa tecnica di compensazione è stata sperimentata con successo nella missione GOCE.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La realizzazione di missioni gravimetriche di nuova generazione basate sull'interferometria laser permetterà di disporre di un servizio di monitoraggio senza precedenti delle variazioni a breve, medio e lungo termine dei ***fenomeni geofisici*** che coinvolgono spostamenti di massa (scioglimento di ghiacciai, variazione dei livelli delle acque oceaniche e continentali in superficie e nel sottosuolo, deformazioni della crosta terrestre, circolazione atmosferica, etc..) e conseguentemente di tenere sotto controllo la ***dinamica della biosfera*** e l'***evoluzione climatica*** del nostro pianeta.

Dello sviluppo delle tecnologie fondamentali associate a questa missione (interferometri laser ad alta risoluzione operanti su lunghe distanze, banchi ottici ultra-stabili, sistemi di puntamento di precisione, accelerometri ultrasensibili, sistemi di compensazione fine delle forze non gravitazionali) potranno altresì beneficiare altre missioni scientifiche (ad esempio per la rivelazione delle onde gravitazionali o la verifica del principio di equivalenza), interferometri ottici per osservazioni ad altissima risoluzione della Terra e dei pianeti, e applicazioni di telecomunicazione spazio-terra e spazio-spazio operanti in banda ottica.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Grazie alla realizzazione del satellite GOCE, Thales Alenia Space Italia (TAS-I), ha acquisito competenze uniche nelle tecniche di compensazione di forze non gravitazionali basate sull'utilizzo di propulsori elettrici proporzionali e della ***calibrazione*** in volo di accelerometri ultrasensibili. Inoltre, TAS-I ha partecipato a diversi progetti di definizione delle missioni gravimetriche di nuova generazione e di sviluppo di alcune delle tecnologie associate. In particolare, in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), sono stati realizzati prototipi dell'***interferometro laser*** per la misura della distanza inter-satellitare e del ***sistema metrologico*** per l'acquisizione e

il mantenimento del ***puntamento del fascio laser***. Inoltre, sono state sviluppate le metodologie di ***controllo della formazione*** dei due satelliti gravimetrici combinato con quello dell'altezza orbitale della ***compensazione delle forze aerodinamiche*** e del ***puntamento del fascio laser***, in collaborazione con il Politecnico di Torino.

L'industria italiana è all'avanguardia anche nel campo della ***micro-propulsione a gas freddo***, mentre attualmente la leadership delle altre tecnologie fondamentali è detenuta da altre aziende europee:

- Accelerometri ultrasensibili (Francia)
- Propulsori elettrici a spinta variabile (Germania, UK)
- Sorgenti laser stabilizzate e interferometri a rigenerazione di potenza (Germania)

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 2

TECNOLOGIE PER L'ESPLORAZIONE SOLARE

DESCRIZIONE

Le missioni spaziali offrono i seguenti vantaggi per lo studio del Sole:

- Possibilità di osservare il Sole a tutte le lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico, senza filtri e disturbi creati dalla presenza e dalla turbolenza dell'atmosfera terrestre.
- Possibilità di monitorare ininterrottamente il Sole per periodi di diversi anni e con gli stessi strumenti.
- Possibilità di compiere osservazioni del Sole e misure del vento solare e del campo elettromagnetico solare a distanze diverse da quella della Terra dal Sole, e a diverse latitudini fuori dal piano dell'eclittica (piano contente l'orbita terrestre).
- Possibilità di osservare particolari della superficie solare per periodi di tempo non vincolati alla rotazione sinodica del Sole (periodo di rotazione riferito alla Terra).

In particolare lo spazio costituisce l'ambiente ideale per l'osservazione continua della ***corona solare*** (la regione che circonda il disco da cui prende origine il vento solare) mediante opportuni strumenti, detti coronografi, che permettono di occultare la luce del disco creando un'eclisse artificiale. Infatti, l'utilizzo dei coronografi a terra è limitato dal fondo di luce solare diffusa dall'atmosfera che impedisce l'osservazione dei dettagli della corona, la cui luminosità è meno di un milionesimo di quella del disco del Sole. Un ***coronografo*** consiste essenzialmente di un sistema ottico che blocca e retro-riflette la luce proveniente dal disco solare lasciando passare solo quella proveniente dalla corona, e di un telescopio per la generazione dell'immagine coronale. La luce coronale nella banda visibile è talmente tenue che non solo la luce diretta proveniente dal disco, ma anche quella che indirettamente può raggiungere il piano focale (prodotta da diffrazione e diffusione all'interno del telescopio) deve essere attenuata di circa un miliardo di volte rispetto all'intensità del disco solare per permettere l'osservazione della corona con un buon contrasto.

Questo richiede:

- una lavorazione molto precisa dell'apertura dello strumento, una ***levigatura estremamente spinta*** delle superfici ottiche ed un livello di ***pulizia particellare estremo*** su tutte le superfici interne del telescopio (per limitare la diffusione);
- l'interposizione lungo il cammino ottico di una serie di ***diaframmi*** e l'applicazione di un ***rivestimento a bassissima riflettività*** su tutte le superfici interne del telescopio (con la sola esclusione delle ottiche) per bloccare o attenuare la luce diffratta e diffusa;
- particolari ***tecniche e dispositivi per l'allineamento preciso***, in fase di integrazione, delle ot-

tiche del telescopio coronale e dei diaframmi per bloccare la luce diretta e indiretta del disco solare;
- una ***struttura con alta stabilità dimensionale*** per mantenere questi allineamenti durante il lancio del satellite e durante tutta la vita operativa della missione.

La progettazione e realizzazione di un coronografo diventa via via più complessa in funzione del numero di bande dello spettro elettromagnetico in cui si vuole osservare la corona e dell'aggiunta di funzioni polarimetriche e spettroscopiche.
La verifica a terra delle prestazioni di un coronografo spaziale richiede inoltre uno speciale apparato dotato di una sorgente di luce in grado di simulare (in vuoto) quella proveniente dal disco e dalla corona con lo stesso spettro, angolo di vista e rapporto di intensità.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Lo studio ed il monitoraggio del Sole sono importanti non solo da un punto di vista strettamente scientifico, ma per comprendere, prevedere e affrontare meglio gli effetti che il Sole esercita sulla Terra e sugli stessi satelliti artificiali attraverso il bombardamento delle particelle cariche che costituiscono il ***vento solare***. L'esigenza di sviluppare un sistema globale di ***meteorologia spaziale*** in grado di prevedere con precisione e tempestività le perturbazioni eliosferiche (il cosiddetto ***Space Weather***) ed il loro effetto sull'ambiente terrestre (come ad esempio le ***tempeste geomagnetiche*** provocate dell'interazione del vento solare con la ionosfera e magnetosfera della Terra) al fine di salvaguardare le attività umane in atmosfera e nello spazio, è ormai conclamata a livello internazionale.
Il ***monitoraggio della corona*** è elemento indispensabile per realizzare un efficace sistema di meteorologia spaziale, in quanto l'attività eruttiva del Sole si manifesta appieno proprio nella corona esterna, che può essere osservata esclusivamente dallo spazio. I coronografi sono quindi strumenti fondamentali di ogni missione scientifica e/o applicativa dedicata allo studio e al monitoraggio del Sole.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le competenze europee più avanzate nel campo della ***coronografia solare*** risiedono in Italia, grazie alla presenza di un'importante comunità scientifica attiva nel campo dell'astrofisica solare e all'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) che ha investito e investe notevoli risorse nella realizzazione dei coronografi per le missioni SOHO e Solar Orbiter, entrambi effettuate sotto la guida dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) con il contributo della NASA.
Lo spettrometro dell'UltraViolet Coronagraph Spectrometer (***UVCS***), per misurare densità, composizione e temperatura della corona solare, è stato realizzato in Italia da Alenia Spazio (ora Thales Alenia Space Italia) e Officine Galileo (ora SELEX-ES) con finanziamento dell'ASI. UVCS è uno dei principali strumenti del satellite SOHO. Lanciato il 2 dicembre 1995 ed operativo fino a tutto il 2016, SOHO ha già osservato un intero ciclo solare ed è uno dei satelliti di cui si avvale lo Space Weather Prediction Center per il monitoraggio e la previsione degli eventi solari e geofisici.
Lo strumento ***METIS***, promosso da una comunità scientifica internazionale guidata dal Principal

Investigator Prof.ssa Ester Antonucci (INAF-OATo) e finanziato dall'ASI, è un coronografo per l'osservazione simultanea della corona solare in luce visibile polarizzata e nella riga spettrale Lyman-a dell'idrogeno a 121.6 nm. METIS è in corso di realizzazione da Thales Alenia Space Italia in collaborazione con la Compagnia Generare per lo Spazio (CGS) e verrà installato sul satellite Solar Orbiter, il cui lancio è previsto nel 2018. Con questa missione, il Sole verrà osservato per la prima volta dalla minima distanza di 0.28 Unità Astronomiche (28% della distanza media Terra-Sole) e dalla massima latitudine solare di 34°. L'estrema vicinanza dal Sole comporterà temperature superiori ai 400 gradi all'apertura di METIS, mentre i rivelatori dovranno essere mantenuti al di sotto dello zero; ciò rappresenta un'ulteriore sfida tecnologica da affrontare nella realizzazione di questo strumento in termini di scelta dei ***materiali strutturali*** (Fig. 119) e progettazione del ***controllo termico***. Da notare che l'intero satellite ed i suoi strumenti saranno protetti da uno speciale ***scudo termico***, anch'esso realizzato da Thales Alenia Space Italia. Sempre nell'ambito del progetto METIS, è stato attrezzato presso il centro ALTEC uno speciale apparato in grado di simulare la luce proveniente dal disco e dalla corona solare nella banda visibile e ultravioletta, che sarà utilizzato per l'allineamento, la verifica delle prestazioni e la calibrazione del coronografo prima di installare lo strumento sul satellite. La comunità scientifica italiana ha inoltre sviluppato algoritmi per l'identificazione automatica e la caratterizzazione delle ***eruzioni coronali*** (Coronal Mass Ejections).



FIG. 119: LA STRUTTURA DEL CORONOGRAFO METIS, PROGETTATA DA THALES ALENIA SPACE ITALIA, È REALIZZATA IN MATERIALI COMPOSITI E TITANIO PER GARANTIRE LA DOVUTA STABILITÀ E RESISTENZA ALLE ALTE TEMPERATURE.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 3

STRUTTURE AVANZATE ULTRALEGGERE E ADATTIVE

DESCRIZIONE

Le **strutture ultraleggere e adattive** rappresentano una delle migliori soluzioni alla sfida economica di questi anni per l'accesso e l'esplorazione dello spazio. In tale dicitura si devono inserire diverse tipologie di materiali e processi, nonché molte soluzioni di progettazione non convenzionali.

Questa tecnologia è adeguata ad un gran numero di applicazioni, ad esempio nei settori delle piattaforme scientifiche, capsule di rientro, lanciatori, grandi infrastrutture. Pertanto è necessario continuare a investire in studi di caratterizzazione e sviluppo di nuovi materiali leggeri e con prestazioni avanzate per strutture spaziali pressurizzate e non.

Lo sviluppo di nuovi materiali, dei loro processi e delle tecnologie associate (ad esempio stampa 3D) permette l'approccio a soluzioni progettuali innovative inesplorate, che molti Paesi stanno investigando e che creerà un salto tecnologico epocale.

Alcuni esempi sono le *strutture gonfiabili* e quelle *ultra-stabili* dal punto di vista termoelastico, adeguate al severo ambiente spaziale oltre le orbite basse terrestri; infine le *strutture adattive*. Queste tecnologie sono tutte in generale applicabili alle grandi infrastrutture spaziali sia finalizzate all'**Esplorazione** che alle missioni **Scientifiche**.

Iniziando dalle applicazioni per **strutture ad elevate stabilità** occorre dire che i materiali polimerici modificati sono alternativi al Berillio e allo Zerodur, e rappresentano la migliore soluzione per costo e massa, in particolare se uniti a soluzioni di progetto innovative quali, ad esempio, quelle reticolari.

L'unione tra fibre (rinforzi) ad elevate prestazioni e resine (leganti) polimeriche o ceramiche opportunamente modificate può conferire le dovute caratteristiche elettriche e termiche tramite i rinforzi comunemente utilizzati, i quali hanno un coefficiente di dilatazione pressoché nullo oltre che moduli elastici molto elevati. Tutto questo a vantaggio delle applicazioni strutturali ad alta stabilità. Un esempio è costituito dalle resine modificate, attualmente molto studiate per risolvere i problemi della igroscopicità, conducibilità termica ed elettrica e di stabilità all'esposizione a radiazioni, ad esempio quelle ultraviolette.

La stabilità termica (temperature di gel) e la resistenza alle microfratture sono un altro requisito al quale molte strutture sono soggette durante il loro servizio; questi importanti requisiti con l'inevitabile necessità degli elementi orbitanti di resistere a cicli termici estremi porta, non solo a problemi di resistenza meccanica, ma anche a micro distorsioni delle superfici e a perdita di forma e accuratezza delle stesse e, infine, anche alla perdita delle proprietà termo-ottiche. Non

ultimo il problema di contaminazione delle apparecchiature e superfici indotte dalla perdita di sostanze e particelle, anche di nano-dimensioni.
Le applicazioni, gli scenari ed i progetti che possono beneficiare di queste tecnologie sono i banchi ottici e le grandi superfici riflettenti di **antenne e specchi**.
Risulta evidente che queste tipologie di materiali innovativi basati su materiali polimerici forniscono un ovvio vantaggio in termini di massa, e di conseguenza di costo al lancio.
Per quanto concerne le **capsule di rientro**, l'adozione di materiali alternativi al metallo e di tecnologie innovative come il "fiber placement", rappresenta una soluzione vantaggiosa sia per quanto concerne le superfici esposte ad elevati flussi termici, sia per la **cellula di sopravvivenza** ed infine, per la **camera pressurizzata** nelle missioni umane.
In tale contesto, è sempre più diffusa la consapevolezza che l'adozione di nuove tecnologie abilitanti e processi per la realizzazione di **strutture con funzionalità adattive** potrebbe, di fatto, contribuire ad ottimizzare ulteriormente le prestazioni al lancio e al rientro dei veicoli spaziali riutilizzabili durante le diverse fasi della missione. Lo sviluppo di questo tipo di soluzioni strutturali capaci di variare la forma/profilo dello scudo termico esposte all'ambiente di rientro può permettere di migliorare, ad esempio, la dissipazione dei flussi termici in fase di rientro in atmosfera e l'efficienza aerodinamica nella fase di volo. Elementi di innovazione possono interessare in particolare la forma delle superfici esposte al flusso termico in fase di rientro (requisito termostrutturale) e le configurazioni strutturali di maggiore efficienza in fase di atterraggio (requisito aerodinamico).

I recenti successi nel campo aeronautico B787 e A350 sono una evidente dimostrazione del vantaggio dell'uso di materiali polimerici. È evidente che le applicazioni spaziali sono più gravose e meno semplici da realizzare, ma è notevole il vantaggio in massa e costi. L'esposizione a elevati livelli di radiazione e flussi termici rappresenta, assieme alla tenuta d'aria e all'infiammabilità, il vero problema tecnologico da risolvere.
Nell'ambito dei lanciatori, la sostituzione dei **serbatoi criogenici** metallici per propulsione con elementi in materiali polimerici, rappresenta un goal raggiungibile sul quale puntano molte grandi aziende, principalmente oltre Atlantico. La tenuta meccanica in condizioni criogeniche deve necessariamente essere unita a un'elevata impermeabilità e conducibilità elettrica e ad un'opposta richiesta di isolamento termico. I materiali polimerici rappresentano la soluzione tecnologica a queste problematiche per la ovvia possibilità di modificare intrinsecamente le proprietà.
Occorre, ovviamente, non dimenticare che la costruzione di grandi elementi non può prescindere dallo sviluppo di tecnologie a basso costo, sia per la costruzione delle parti sia per l'assemblaggio (varie tipologie di saldatura, ad esempio).
Infine, le **grandi infrastrutture spaziali** rappresentano una necessità inderogabile per l'esplorazione umana e non solo, sia per **moduli abitati** per il trasferimento o la parte stanziale, sia per la necessità di dispiegare grandi superfici; tutto ciò è evidentemente in contrasto con la disponibilità di grandi lanciatori a basso costo per la messa in orbita di grandi elementi metallici.
La soluzione a queste richieste è rappresentata dalle **strutture gonfiabili** con tessuti tecnici ad alte prestazioni e camere di tenuta d'aria realizzate con materiali polimerici altamente impermeabili ai gas.

Nel caso dei moduli abitati, l'uso di elementi gonfiabili in orbita e lanciabili in configurazione ripiegata, rappresenta la soluzione per la fornitura di grandi volumi abitabili dopo dispiegamento, superando così la limitazione posta attualmente dal diametro dei lanciatori e a tutto vantaggio della vivibilità in missioni di lunga durata, o per la realizzazione di avamposti su pianeti o lune.
Un altro elemento fondamentale è la necessità di costruire elementi rigidi di grandi dimensioni sia nello spazio sia su pianeti; l'utilizzo di elementi polimerici adatti all'irrigidimento in orbita, con tecniche di esposizione a sorgenti esterne o interne, rappresenta la vera soluzione alternativa all'utilizzo di sistemi rigidi ripiegabili, in ogni caso limitati dall'uso di troppi elementi di dispiegamento.

Per ultimo occorre menzionare la tecnologia e i materiali per elementi ad elevata temperatura e stabilità come i ceramici e carbon-carbon. Questi materiali rappresentano una categoria di per se' che può avere grandi ricadute nell'esplorazione e nella realizzazione di elementi di antenne o **sonde**.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La realizzazione di strutture ultraleggere di nuova generazione basate su materiali polimerici permetterà di disporre di tecnologie senza precedenti ed allo stato dell'arte con gli altri paesi ad alta tecnologia (US in primis).
Dello sviluppo delle tecnologie fondamentali associate si potranno sviluppare banchi ottici ultrastabili, sistemi di puntamento di precisione, antenne di grandi dimensioni, moduli pressurizzati, capsule di rientro, lanciatori ad elevate prestazioni. Potranno altresì trarre beneficio altre missioni scientifiche e umane, con ricadute tecnologiche anche non spazio, per quanto concerne la protezione dell'uomo in ambienti ostili.
La recente attenzione dimostrata dall'industria aeronautica mondiale (Airbus con i progetti SARISTU – Smart Intelligent Aircraft Structures ed SFWA – Smart Fixed Wing Aircraft; Nasa e DARPA con i progetti Adaptive Wing; Adaptive flap, etc.) per le strutture adattive a forma variabile (più comunemente dette "morphing") ha dato impulso a molteplici attività di ricerca, rivolte allo sviluppo di tecnologie mature, in grado di determinare una variazione di forma, locale o globale, di una struttura alare, per il miglioramento delle prestazioni aerodinamiche. Tali strutture sono capaci di "adattarsi" alle diverse condizioni operative, in modo da ottimizzare l'efficienza aerodinamica durante una generica missione di volo. La ricerca dell'ottimo risiede nella possibilità di simulare, quanto più fedelmente possibile, il modo con cui i volatili, per mezzo delle loro superfici portanti, si adeguano alle diverse esigenze di volo in maniera efficiente.
La progettazione di strutture adattive in campo spaziale permetterebbe di ottimizzare le prestazioni del veicolo durante le diverse fasi della missione, variandone la forma geometrica, ad esempio, da blunt in fase di rientro per ridurre il flusso termico sulla superficie e aumentare la resistenza aerodinamica, a sharp durante il volo supersonico o aerodinamicamente più efficiente in fase di atterraggio, come riportato in recenti studi di Adaptive Deployable Entry and Placement Technology (ADEPT) e Morphing Hypersonic Inflatable Aerodynamic Decelerator. Le prime, infatti, si distinguono per la scarsa efficienza aerodinamica L/D, che limita significativamente la manovrabilità del veicolo tanto da consentirne un rientro pressoché balistico. L'adozione di tecnologie morphing in veicoli da rientro consentirebbe, ad esempio, di modulare l'efficienza aerodinamica

(L/D) nelle diverse fasi di volo per introdurre un certo margine di manovrabilità della capsula stessa. Ciò si tradurrebbe in una traiettoria maggiormente controllata, riducendo le incertezze di atterraggio (landing footprint) per effetto di una maggiore possibilità di controllo e manovrabilità. Nel dettaglio, si può pensare ad interventi sulla forma del Nose o del leading/trailing edge delle superfici di controllo di un veicolo spaziale alato, inoltre al controllo di forma in strutture gonfiabili o meccaniche (umbrella-like) per il rientro (deceleratori ipersonici), infine per il volo atmosferico a scudi termici intelligenti. È da valutare inoltre l'impatto in termini di riduzione di peso conseguente a specifiche di resistenza meno stringenti per il rientro (sistemi maggiormente controllati) che si tradurrebbe a sua volta in benefici marcati nella fase di lancio.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Grazie alla realizzazione della capsula di rientro IXV e ARD, nonché di una notevole quantità di elementi della stazione spaziale, e di un elevato numero di satelliti scientifici e non, Thales Alenia Space Italia (TAS-I), ha acquisito competenze uniche nelle tecniche di utilizzo dei processi e delle tecnologie basate sull'utilizzo di materiali polimerici rinforzati con svariate tipologie di fibre (ceramiche, carbonio, ecc.).

TAS-I può proporre, con la partecipazione di enti di ricerca (quale CIRA) e università, lo sviluppo applicativo di strutture ultra leggere. Inoltre, TAS-I ha partecipato a diversi progetti di definizione di nuovi materiali e processi e sono stati realizzati diversi prototipi nei vari campi. Rimangono, in ogni caso, ancora molte applicazioni da validare e da sviluppare.

Rimane, purtroppo, anche una congenita carenza nello sviluppo dei materiali base; l'industria chimica nel nostro paese risulta estremamente debole e non supporta in modo sufficiente l'aerospazio. Ad esempio, non esiste uno stabilimento italiano per la produzione di fibre ceramiche o carbonio per la realizzazione di pre-impregnati, mentre la vicina Spagna, pur sotto l'egida di una grande industria americana, ha un suo sito. Tecnologie e materiali che, occorre evidenziare, si stanno imponendo anche nel mondo "consumer" vedi le recenti applicazioni automobilistiche per vetture di larga serie.

L'industria italiana è all'avanguardia anche nel campo delle strutture e deve perlomeno mantenere la leadership delle tecnologie fondamentali e dei processi di costruzione che utilizzano materiali sviluppati in altri paesi, quali ad es. Fibre di rinforzo (Germania, US e Giappone) e Resine (Germania, UK, US e Giappone).

Nel campo delle strutture adattive, l'industria e la ricerca aeronautica nel nostro Paese mostrano grande dinamicità nel mercato dei velivoli regionali e hanno acquisito negli ultimi anni know-how avanzato e specialistico sulla progettazione di componenti strutturali adattivi, come il bordo d'attacco e il bordo d'uscita alare, la winglet, in grado di migliorare le performance aerodinamiche di un velivolo nel corto e medio raggio. Molte ricerche nel panorama internazionale hanno dimostrato la fattibilità di questi approcci che hanno contestualmente raggiunto un livello discreto di maturazione. SARISTU (SmARt Intelligent STrUctures) è il programma Europeo di ricerca più avanzato sulle tecnologie morphing per il miglioramento delle prestazioni aerodinamiche. Coordinato da Airbus, vede la partecipazione di oltre sessanta partner in tutta Europa ed offre per la prima volta l'opportunità di testare strutture a forma variabile in scala reale in condizioni pressoché operative

(galleria del vento). Le specifiche (carichi nelle varie configurazioni) sono state definite da Alenia Aeronautica a partire da un proprio velivolo sperimentale; la normativa di riferimento è rappresentata dagli standard CS-25; il controllo del progetto e della qualità dei risultati è stato condotto da Airbus (Germania) secondo proprie metodologie, caratteristiche del prodotto industriale.
In US, il progetto di ricerca, denominato Adaptive Compliant Trailing Edge (ACTE), coinvolge NASA e l'U.S. Air Force Research Laboratory Research Laboratory, sulla generazione di velivoli supersonici in grado di cambiare forma durante il volo al fine di ridurre l'emissione acustica ed aumentare in modo significativo l'efficienza del carburante. Sulla tecnologia di progettazione delle ali e del loro design, la società FlexSys Technologies ha da tempo sviluppato un profilo alare dalla geometria variabile, soprannominato FlexFoil, in grado di essere montato su telai di aeromobili già esistenti ed altri completamente nuovi.
Oggi, la vera sfida tecnologica può riguardare l'opportunità di estendere tali competenze nel settore delle capsule spaziali individuando nei veicoli spaziali unmanned i nuovi vettori spaziali capaci di compiere volo e atterraggio autonomo dopo la fase di rientro in atmosfera. Le nuove frontiere della ricerca in Italia possono riguardare in particolare la messa a punto di sistemi adattivi con capacità di morphing, espandibili o retrattili in funzione della fase di volo, promuovendo anche lo sviluppo di materiali innovativi integrati nello scudo termico al fine di fornire maggiore flessibilità strutturale utile al dispiegamento del meccanismo.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 4

TECNOLOGIE ROBOTICHE PER L'ESPLORAZIONE PLANETARIA

DESCRIZIONE

L'**Esplorazione** di nuovi mondi è un obiettivo che l'umanità ha da sempre perseguito. Le missioni di esplorazione planetaria hanno un ruolo centrale nei programmi delle maggiori agenzie spaziali impegnate a sostenere notevoli sforzi in ricerca e sviluppo di molte tecnologie avanzate. La **Robotica** rappresenta un punto di sintesi tra molte di queste tecnologie e risulta una disciplina fondamentale per conferire ai sistemi capacità di operare autonomamente in scenari complessi e rischiosi quali sono quelli di Luna, Marte e Asteroidi. L'Esplorazione e futura colonizzazione di corpi celesti, hanno indotto le agenzie spaziali, **ASI** e **ESA**, a pianificare alcune missioni specifiche (**Exomars, Lunar Polar Sample Return, Phobos Sample Return, Mars Sample Return).** Tra gli ultimi successi scientifici va ricordata la missione **Rosetta**, culminata con la discesa di un Lander sulla superficie della cometa 67P, frutto di un'intensa attività di ricerca e sviluppo condotta dalle industrie europee, ed in particolare italiane.

L'Esplorazione Planetaria pone alla comunità scientifica e industriale obiettivi ambiziosi, realizzabili associando al complesso sviluppo della tecnologia un alto grado di efficienza, soprattutto in termini di ottimizzazione di massa e potenza per garantirne la lanciabilità e sopperire alla scarsità di energia disponibile.

La Robotica è una disciplina trasversale a molte applicazioni. Alcune tecnologie critiche della robotica a supporto dell'esplorazione planetaria sono l'**Autonomia di Bordo**, le Operazioni di "Superficie" come la **Mobilità/Navigazione di Rover**, la capacità di **prelevare e manipolare campioni** di interesse scientifico, analizzarli "in-situ" o immagazzinarli e prepararli per un successivo "Sample Return" e la **Manipolazione robotica** (Bracci Robotici).

Una caratteristica dei sistemi usati per l'esplorazione è la loro altissima affidabilità per ridurre i rischi di guasti che possano pregiudicare la missione; non è certo semplice andare a riparare un sistema su Marte! È importante quindi definire metodi di verifica atti a provare le funzioni del sistema nelle varie condizioni operative e per questo scopo risulta essenziale lo sviluppo di aree tecnologiche e laboratori.

Nell'ambito dell'esplorazione planetaria è fondamentale lo sviluppo di **Sistemi Autonomi** tra cui i **Rover**. Questi Sistemi Autonomi consentono di muoversi sulla superficie dei corpi celesti e richiedono l'impiego di molteplici tecnologie avanzate:

- Architetture e logiche di **Gestione Autonoma** del sistema Rover. Le missioni interplanetarie comportano la necessità di sviluppare grande autonomia a bordo a causa delle distanze, delle difficoltà di contatto radio e del basso consumo di energia richiesto;
- Tecniche per la **Localizzazione del Rover**, **Navigazione** e **definizione della traiettoria** da seguire sulla superficie;

- **Percezione, Generazione** ed **Espansione** di mappe digitali;
- Tecnologie e meccanismi legati alla **"Mobility"** di superficie ed alla **"Locomotion"**;
- Tecnologie e meccanismi legati al **Campionamento del suolo planetario;** all'**Immagazzinamento e preparazione** dei campioni per le missioni di Sample Return (riporto del campione sulla Terra) e alla **Trasmissione wireless** per conoscere dall'esterno lo stato del campione sigillato nel contenitore stagno;
- **Bracci Robotici** dotati di sensori ad elevate prestazioni, anche per sessioni di "scienza opportunistica", cioè demandati ad una intelligenza a bordo del sistema che decide quale campione prelevare e come analizzarlo in loco. I bracci robotici sono sistemi autonomi impiegati in molteplici applicazioni ed hanno largo impiego nell'ambito dell'esplorazione planetaria ai fini della manipolazione di oggetti, raccolta di campioni e supporto agli astronauti.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Lo sviluppo delle tecnologie robotiche, se fatto in maniera organica e tenendo in considerazione concetti quali flessibilità e modularità, permetterà di acquisire un background di conoscenza utilizzabile nelle missioni di esplorazione, dove si prevede l'impiego di sistemi robotici autonomi ed anche in quelle missioni future dove è prevista la presenza dell'uomo, opportunamente assistito da sistemi robotici.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

L'esplorazione della Luna da parte di sistemi robotizzati risale agli anni '60 ed è sempre stata monopolio di Russia e Stati Uniti. L'ultimo **Rover Autonomo** atterrato su Marte è **Curiosity**, progetto NASA (USA), al pari dei precedenti Rover **Spirit** e **Opportunity** (Mars Exploration Rovers), artefice di missioni di grande successo e le cui scoperte sulla potenzialità di Marte ad ospitare forme di vita stanno monopolizzando l'attenzione della comunità scientifica. In Europa, **Beagle2** è stato l'unico tentativo di inviare un'apparecchiatura automatizzata per l'esplorazione di Marte: si prevedeva l'atterraggio di un Lander sulla superficie del pianeta.

Il progetto **Exomars** rappresenta in larga parte lo stato dell'arte in Europa; prevede un **primo lancio (2016)** di un satellite che rilascerà un modulo di discesa e si immetterà in Orbita Marziana. Il modulo di discesa validerà le tecniche ingresso nell'atmosfera marziana e della discesa medesima. Il Lander, trasportato dal modulo di discesa, validerà a sua volta le tecniche di atterraggio sul pianeta (**Entry, Descent and Landing**).

Un **secondo lancio (2018)** prevede di portare un secondo Lander ed un Rover sulla superficie del pianeta con l'obiettivo di trovare tracce di vita, presente o passata. L'**Italia** è in prima linea nello sviluppo della missione: italiano è il Prime Contractor di ESA (**Thales Alenia Space Italia**), responsabile dell'implementazione di tutta la missione, ed italiane sono alcune tecnologie chiave della missione, come ad esempio **la trivella** (realizzata da **Selex ES**) montata sul Rover che sarà in grado di raccogliere campioni del suolo fino a due metri di profondità sotto la superficie di Marte, con uno spettrometro ad immagini miniaturizzato che riesce a riprendere il campione nel sottosuolo prima di prelevarlo. Studi avanzati per la Guida, Navigazione e Controllo e funzioni associate del Rover di Exomars sono in fase di sviluppo in Inghilterra.

Per quanto riguarda la Manipolazione in ambiente spaziale, un ruolo importante è svolto dal Canada, che concorre anche ai programmi di esplorazione ESA per la realizzazione di Rover (MDA). L'industria Italiana (**Selex ES**) ha portato avanti una serie di studi per la prototipazione di sistemi di **manipolazione robotica** (bracci manipolatori) in supporto sia all'esplorazione planetaria (per esempio: DELIAN), sia in supporto alle operazioni extra-veicolari effettuate dagli astronauti, per esempio sulla ISS come DEXARM. I bracci robotici sviluppati per esplorazione planetaria sono utilizzabili anche per la manutenzione di sistemi, inclusi i satelliti.
Da sottolineare la possibilità fornita nell'ambito della ricerca dal progetto **STEPS/STEPS2** "Progetto cofinanziato dalla U.E. sulla "Misura Piattaforme Innovative" – Fase 2 del POR FESR 2007/2013", sviluppato in collaborazione tra grandi e piccole industrie con le Università/Politecnico) per l'accrescimento di esperienze e sviluppo di tecnologie.
Alcune attività di ricerca hanno interessato molti aspetti connessi alla mobilità di un rover tra cui vanno evidenziate le tecniche di:

- **Generazione di mappe digitali** (DEM) utilizzando vari tipi di sensori (stereo-camere, camere time-of-flight). La tecnologia include la tecnica di unione di varie mappe digitali allo scopo di creare una mappa unica dell'area esplorata.
- **Definizione di un Percorso di Riferimento** del Rover tenendo in considerazione le implicazioni derivanti dal terreno (crateri, rocce) modellate nelle mappe digitali e le caratteristiche del sistema di locomozione (sterzata, dimensione ruota).
- **Valutazione della Posizione e dell'Assetto** del Rover in tempi successivi, tramite il riconoscimento di alcuni parametri di riferimento dell'area esplorata.
- **Generazione di Algoritmi per il Rilevamento di Assetto e Posizione Relativa** tra camera e specifici sistemi di codici (tipo codici a barre). La tecnologia include la tecnica di riconoscimento ed inseguimento di un obiettivo da definire dalla stazione di controllo oppure automaticamente.
- **Logica di Gestione di Sistemi Autonomi** come i Rover. Tale architettura gestisce il sistema autonomo assicurando le interfacce con gli elementi fisici di bordo, con i vari moduli S/W, gestendo la comunicazione tra i vari moduli e molte delle funzioni richieste, semplificandone l'implementazione.

Esperienze nel campo applicativo sono state acquisite tramite il coinvolgimento italiano nello sviluppo del rover di **Exomars** e lo sviluppo del progetto **Eurobot**, per cui sono pianificati esperimenti di teleoperazione con l'ISS. L'industria Italiana ha portato avanti lo studio per un sistema robotizzato in supporto alla stazione spaziale ed ha sviluppato un prototipo in ambiente **"wet"** per la validazione di prestazioni chiave sia di movimento, che di controllo e visione.
Una adeguata attenzione deve essere data allo sviluppo di Laboratori e Metodologie per Verificare i Sistemi Robotici, onde ridurre i rischi della missione.
La verifica di Rover si può realizzare in un'apposita area tecnologica con superfici aventi caratteristiche (tipologia, morfologia) similari a quelle di Marte o Luna, supportate da un **Centro di Controllo per la Gestione dei Sistemi Autonomi e della Comunicazione**, eventualmente anche

con enti esterni. Nell' area tecnologica, si ha la possibilità di verificare alcune basilari prestazioni dei sistemi autonomi Rover, tra cui evidenziamo la **capacità di movimentazione**, l'**abilità nell'inseguire specifici oggetti**, la **compatibilità del sistema con l'ambiente circostante** e la **valutazione della loro posizione ed assetto** con il relativo recupero di eventuali errori dovuti alla precisione dei sensori, algoritmi ed altro.
Un laboratorio per la verifica di Rover è stato realizzato nell'ambito del progetto STEPS/STEPS2 ed è ubicato in **T**hales **A**lenia **S**pace **I**talia sito di Torino.



FIG. 120 – FASE DI VERIFICA DELLE TECNOLOGIE DI ESPLORAZIONE PLANETARIA
(Courtesy of Thales Alenia Space Italia)

Le importanti competenze dell'apparato industriale trovano riscontro negli ambienti universitari, dove conoscenze approfondite nel campo della Meccatronica, così come nell'elaborazione di algoritmi, sono presenti a livello di assoluto rilievo. Come esempi indicativi della collaborazione tra Industria e Istituzioni, si evidenziano i programmi co-finanziati: **STRONG** (Systems Technology and Research National Global Operations) – nell'ambito del progetto Space Advanced Project for Excellence in Research and Enterprise (**SAPERE**) – supportato dal Ministero Italiano della Ricerca ed Università (**MIUR**) e **STEPS/STEPS2** in cui le sinergie tra i diversi attori coinvolti nello studio, hanno permesso di incrementare la conoscenza in molti settori e sviluppare tecnologia.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 5

TECNOLOGIE PER IL RIENTRO ATMOSFERICO E PER L'ESPLORAZIONE

DESCRIZIONE

Nell'ambito dei sistemi di trasporto spaziale giocano un ruolo fondamentale alcune discipline tecnologiche spesso identificate come vere e proprie tecnologie quali l'Aerodinamica & Aerotermodinamica e la Guida, Navigazione e Controllo. La prima fornisce i carichi meccanici e termici cui il veicolo sarà soggetto durante la prima fase dell'ascesa e durante la fase di rientro atmosferico o ingresso in atmosfere di altre pianeti. La seconda rappresenta il vero cervello del sistema rendendone possibile la missione attraverso la sensoristica ad esso asservita che ne fornisce l'input e i sistemi di controllo (superfici aerodinamiche, thrust vectoring, reaction control system) che fungono da output.

Aerodinamica, Aerotermodinamica e CFD

L'aerodinamica e l'aerotermodinamica sono da sempre discipline in cui l'Italia ha giocato un ruolo importante sia per la forte eredità aeronautica che per le competenze maturate in campo spaziale. Le attività in questo settore si possono dividere in numeriche e sperimentali. Dal punto di vista sperimentale per le tematiche riguardanti il rientro atmosferico e l'ingresso planetario vanno citate la piccola facility SPES disponibile presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale di Napoli, capace di testare in piccola scala materiali per i sistemi di protezione termica sia in atmosfera terrestre che planetarie. Un'altra importante galleria del vento ipersonica è HEAT in ALTA capace di simulare numeri di Mach fino a 16. Sicuramente bisogna menzionare il Plasma Wind Tunnel del CIRA. È l'impianto più potente al mondo, con una potenza massima di 70 MW, per la simulazione aerotermodinamica dei sistemi di protezione termica dei veicoli spaziali. Al suo interno sono stati provati numerosi TPS da diversi attori internazionali (ESA, NASA, ISRO,..) in ambiente aerotermochimico rilevante.

Dal punto di vista numerico anche in questo caso le università e i centri di ricerca italiani hanno sviluppato importanti capacità nella customizzazione di codici commerciali per applicazioni spaziali ma soprattutto una notevole competenza nello sviluppo di codici proprietari. CIRA storicamente ha sviluppato codici CFD proprietari che coprono tutti i regimi di moto dal subsonico all'ipersonico (ZEN, SIMBA, H2NS, H3NS) ampiamente validati con confronti numerici e sperimentali. In tal senso bisogna ricordare il programma CAST finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana finalizzato alla realizzazione e validazione di un software particolarmente evoluto per la simulazione di flussi in non equilibrio cinetico per applicazioni aerospaziali. A tale attività, guidata dal CIRA, hanno contribuito numerose realtà della ricerca nazionale come CNR e Università (Bari, Bologna, Napoli, Roma, Torino) e del mondo industriale come ALTA, ELV e TAS-I.

A complemento del panorama dei codici di CFD applicata e finalizzata alla simulazione di flussi in non equilibrio termo-chimico è da citare lo sviluppo del codice proprietario TAS-I denominato ANASTASIA. Finanziato interamente da TAS-I per la parte termo-fluidodinamica, ha costituito la base per l'implementazione e lo sviluppo di un codice integrato (simulazione fenomeni di ablazione e risposta termica materiale accoppiata), con il finanziamento del progetto di ricerca STEPS/STEPS2 della Regione Piemonte, che ha visto il contributo di realtà regionali PMI (Optimad Engineering, Exemplar Solutions) e del Dipartimento DIMEAS del Politecnico di Torino. Tale approccio e' stato seguito nell'ottica di sviluppare una più ampia metodologia di ottimizzazione integrata di progettazione, analisi e simulazione multi-disciplinare. Il livello di maturità tecnologica allo stato attuale (TRL 4/5) sarà esteso al livello TRL 7 avvalendosi delle misure effettuate in volo e dell'opportunità delle attività di analisi di correlazione post-volo della missione IXV.

Sistemi di Guida, Navigazione e Controllo

Dal punto di vista dei sistemi di GNC, l'esperienza del CIRA con i voli dei due velivoli Castore e Polluce nell'ambito del programma aerospaziale nazionale USV-1 hanno dato evidenza di una notevole capacità in tale ambito. In particolare gli algoritmi implementati hanno consentito il controllo della missione dallo sgancio da pallone avvenuto a circa 30 km fino al raggiungimento di Mach 1.23 (nella seconda missione) con manovre in volo fino alla simulazione di una manovra di atterraggio. Il CIRA sta proseguendo gli studi all'interno del programma GNC-2 all'interno del programma aerospaziale nazionale PRORA e grazie alla partecipazione al programma Hexafly finanziato da ESA e Comunità Europea dimostrerà le capacità dei propri algoritmi durante il volo ipersonico del dimostratore fino a Mach 8. Va segnalato, inoltre, il contributo del CIRA negli algoritmi per i RACS di VEGA, questo perché durante il rientro atmosferico l'utilizzo degli RCS è fondamentale e la riduzione del consumo del propellente così come dimostrato dagli algoritmi implementati nel software di VEGA, potrebbe tornare estremamente utile nell'ambito di una missione di rientro.

Protezioni termiche e Strutture

Guardando più strettamente alle tecnologie, uno degli aspetti più critici del trasporto spaziale riguarda i sistemi di protezione termica che, durante le fasi di volo ad elevatissima velocità, devono resistere a sollecitazioni termiche e meccaniche estreme, causate dell'interazione con l'atmosfera. Altrettanto importanti sono le strutture primarie cui si richiede sempre più efficienza strutturale con la riduzione dei pesi nell'ottica di una sempre più spinta massimizzazione dei payloads e riduzione dei costi di accesso allo spazio.

In funzione della configurazione aerodinamica del velivolo da rientro e del suo profilo di missione varia di molto la tipologia di protezione termica che è necessario adottare per garantire l'integrità del velivolo stesso durante la fase di rientro in atmosfera. Nei rientri veloci, che prevedono quindi la dissipazione dell'energia cinetica per attrito con l'atmosfera in un breve lasso di tempo (e.g. rientri balistici), gli scudi termici sono investiti da notevoli flussi di calore, anche se per tempi ridotti: per sostenere le elevatissime temperature tipiche di questa tipologia di rientro è necessario dotare il velivolo di scudi termici ablativi.

I materiali ablativi garantiscono l'isolamento termico andando incontro, se sollecitati da elevati

flussi termici, ad una serie di trasformazioni chimico-fisiche (pirolisi, outgassing, ablazione, etc.) che permettono lo smaltimento di parte del carico termico. Di particolare interesse sono in questo ambito i materiali ablativi a bassa densità costituiti da substrati fibrosi ceramici parzialmente impregnati con matrici polimeriche: esempio ne sono i materiali carbon/fenolici che a fronte di una ridottissima densità, che può essere anche inferiore ai 250 kg/m3, riescono a sostenere efficientemente flussi termici molto elevati, anche maggiori di 10 MW/m2.
Gli scudi termici ablativi, degradandosi durante il rientro, non sono riutilizzabili e devono essere sostituiti o ripristinati ad ogni missione. Lo sviluppo di materiali ablativi per alti e bassi flussi termici vede un discreto numero di attori, sia industriali che accademici, coinvolti sul territorio nazionale. In particolare importanti test di qualifica in Plasma Wind Tunnel sono stati condotti all'interno di programmi ESA su ablativi carbon/fenolici a bassa densità nati dalla collaborazione tra l'Università di Roma, La Sapienza e THALES ALENIA SPACE Italia. Inoltre, sempre maggiore è lo sguardo orientato verso le nanotecnologie, che hanno le potenzialità per incrementare enormemente le prestazioni di questa classe di materiali.
Nei rientri nei quali le superfici aerodinamiche sviluppano portanza e permettono una certa manovrabilità del velivolo (e.g. IXV), l'attraversamento dell'atmosfera può avvenire in maniera maggiormente controllata, smaltendo l'energia cinetica in tempi più lunghi e garantendo quindi flussi termici (e quindi temperature) inferiori. In questi casi è possibile prevedere l'utilizzo di sistemi di protezione termica di tipo "riutilizzabile", generalmente realizzati in materiali compositi a matrice ceramica (CMC). Nel breve termine, sono particolarmente importanti i materiali basati su compositi a matrice ceramica (CMC), ed in particolare:

- Compositi C/C (fibre di carbonio, matrice carbonio) che trova un'applicazione strategica per l'industria aerospaziale italiana come costituente degli inserti di gola di ugelli per propulsori a propellente solido di elevate prestazioni.
- Compositi C/SiC e SiC/SiC (fibre in carbonio o carburo di silicio, matrice carburo di silicio) entrambe componenti essenziali di protezioni termiche per veicoli spaziali e per stabilizzatori di fiamma in propulsori airbreathing (che utilizzano l'aria atmosferica come comburente).

La produzione di CMC sul territorio nazionale è fortemente condizionata dall'assenza di realtà industriali in grado di garantire volumi produttivi e soprattutto dimensioni dei componenti in linea con i più importanti produttori europei e mondiali. Tuttavia gli attori accademici ed industriali impegnati nello sviluppo di tali materiali hanno già dimostrato in molteplici progetti di possedere un importante know-how che ha reso possibile la progettazione e produzione di componenti in C/C e C/SiC di medie dimensioni testati positivamente in condizioni significative di prova.
Un ulteriore classe di materiali ceramici, adatta all'uso in applicazioni ad altissima temperatura, sono i cosiddetti UHTC (Ultra High Temperature Ceramics) i quali risultano essere, grazie alle buone proprietà meccaniche, all'alto punto di fusione ed all'ottima resistenza all'ossidazione, dei candidati ideali per le protezioni termiche di nuova generazione. Questi materiali renderanno infatti possibile la realizzazione di profili aerodinamicamente affilati dei bordi di attacco dei futuri veicoli spaziali, permettendone un netto miglioramento delle prestazioni durante la fase di volo transatmosferico.

Lo sviluppo di materiali ceramici UHTC vede l'Italia come un punto di riferimento nel panorama europeo grazie alla pluralità di attori coinvolti (ISTEC-CNR, CSM SpA, CIRA, università); tuttavia l'estrema fragilità (bassa tenacità) di questi materiali ne limita l'utilizzo e spinge verso lo sviluppo di compositi con matrici UHTC tenacizzate e anche fibro-rinforzate, ambito nel quale sono ancora possibili molteplici possibilità di sviluppo tecnologico.

Nel settore dei sistemi di protezione termica, l'Italia sta sviluppando alcune tecnologie di punta nel campo dei materiali ceramici. Una costante collaborazione e coordinazione tra diversi enti nazionali ha portato allo sviluppo di numerosi componenti che sono stati testati sia al suolo nella gallerie del vento ipersonica PWT (Plasma Wind Tunnel) del CIRA sia in reali condizioni di volo su razzi sonda.

In particolare con l'Istituto di Scienza e Tecnologia dei Materiali Ceramici (CNR-ISTEC), leader a livello mondiale nella progettazione e realizzazione di materiali ceramici strutturali avanzati, capaci di resistere ad elevatissime temperature ed al Centro Sviluppo Materiali (CSM) sono state sviluppato competenze all'avanguardia nella deposizione, tramite termo spruzzatura con torcia al plasma, di sottili strati di materiale ceramico con lo scopo di proteggere il substrato da ossidazione ed erosione, anche ad elevatissime temperature. Il team così composto, supportato anche da diverse università tra cui quelle di Roma e di Napoli in particolare, ha sviluppato tali tecnologie basate sui ceramici e sono stati ottenuti risultati riconosciuti dalla comunità scientifica internazionale. Oltre al gran numero di test condotti negli impianti di prova, che tra l'altro rendono il team di ricerca leader a livello mondiale anche per le capacità di test, sono stati realizzati diversi prototipi per test in reali condizioni di volo. Nell'ambito del progetto europeo EXPErimental Reentry Testbed (EXPERT), gestito da THALES ALENIA SPACE Italia come prime industriale per il sistema e l'integrazione, CIRA ha contribuito alla realizzazione della capsula spaziale come coordinatore degli esperimenti scientifici, nei calcoli aero-termodinamici e con diversi esperimenti tra cui una coppia di alette in materiale ceramico avanzato (Fig. 121).

Con la Capsula SHARK, lanciata nel 2010 dal razzo sonda europeo MAXUS-8, CIRA non solo ha testato in volo un altro campione di materiale ceramico, ma ha anche aperto una nuova strada per la sperimentazione nel campo del rientro, realizzando per la prima volta una capsula che, sganciandosi dal razzo MAXUS, esegue una missione autonoma di rientro. A dimostrazione del successo di SHARK, il prossimo vettore MAXUS-9 trasporterà una capsula del tutto simile a SHARK per il test in volo di un paracadute per il rientro in atmosfera. Più recentemente nel 2013 CIRA ha realizzato un'altra coppia di alette, composte sia di materiali ceramici sia di parti metalliche rivestite in ceramico, per il volo del razzo sonda australiano SCRAMSPACE, lanciato dalla base europea di Andooya in Norvegia.

Attualmente, i progressi dell'Italia nell'ambito dei materiali ceramici, ed in particolare dei rivestimenti termo-spruzzati, hanno suscitato anche l'interesse del ministero della difesa italiano e del dipartimento della difesa degli Stati Uniti d'America, che hanno ritenuto opportuno far partire una collaborazione con il CIRA, che si avvarrà delle competenze del CSM, ed i laboratori di ricerca della Air Force americana (AFRL).



FIG. 121 – CAPSULA EXPERT DURANTE I TEST FINALI

Strutture avanzate

Guardando agli obiettivi di massimizzazione del payload, strutture primarie più leggere e più efficienti dal punto di vista strutturale per i sistemi di rientro atmosferico sono un aspetto non trascurabile. Concetti innovativi che possono essere applicati sia in ambito lanciatori che veicoli da rientro riguardano le strutture Anisogrid. Grazie ad un finanziamento dell'ASI, CIRA ha sviluppato il concetto e dimostrato la validità qualificando una versione scalata (1:1,25) dell'interstadio 2/3 di VEGA. Tale concetto applicato ad una struttura assialsimmetrica è stato recentemente ampliato verso strutture tridimensionali guardando a fusoliere di veicoli spaziali. Tale attività è attualmente in corso presso il CIRA attraverso un confronto tra concept strutturali Anisogrid e concept in composito convenzionali.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'attuale visione strategica, disegnata dall'agenzia spaziale europea e nazionale, punta a sviluppare e consolidare le iniziative di ricerca sui sistemi di trasporto spaziale quali lanciatori, satelliti e veicoli di rientro traguardando:

1. il consolidamento della capacità sistemistica e tecnologica della leadership europea nello sviluppo dei lanciatori;
2. il rafforzamento del ruolo di primo piano nei sistemi, tecnologie e dimostratori di rientro in atmosfera terrestre ed in quella di altri pianeti del sistema solare;
3. lo sfruttamento delle orbite terrestri e l'esplorazione dello spazio.

Tali obiettivi sono stati perseguiti nel corso degli anni tramite la partecipazione italiana ai programmi ESA di sviluppo dei lanciatori della famiglia europea e dei veicoli di rientro, e proseguiranno grazie agli impegni italiani assunti alla recente Conferenza Ministeriale 2014 in Lussemburgo. Infatti, è stata sottoscritta la partecipazione all'avvio degli sviluppi delle configurazioni evolute dei lanciatori Ariane e Vega, oltre che la partecipazione, quale nazione leader, al programma PRIDE per lo sviluppo di un veicolo di rientro atmosferico con capacità di atterraggio, che raccoglie l'esperienza della missione IXV e proietta le competenze nazionali verso un nuovo traguardo.
In ambito Exploration e Rientro sugli altri pianeti, nello stesso Consiglio Ministeriale dell'ESA, sono state disegnate le linee di indirizzo degli Stati Partecipanti i quali hanno deciso di prevedere, a partire dal 2017, una evoluzione del programma ISS Exploitation al fine di comprendere anche le attività ESA di esplorazione umana dello spazio oltre l'orbita bassa, ed in particolare di esplorazione lunare oltre che, nell'ambito del programma European Space Exploration Programme – Aurora, con il progetto ExoMars, lo sviluppo di capacità autonoma europea di eseguire un atterraggio controllato sulla superficie marziana, operare sul suolo marziano in mobilità di superficie, accedere al sottosuolo per prelevarne campioni e analizzarli in situ. Inoltre, è da sottolineare un'attenzione particolare verso le missioni di capsule automatiche di " sample return" dalla Luna (e.g. Lunar Polar sample return) e da Phobos (MARS moons sample return) nell'ambito di future missioni autonome dell'ESA o in collaborazione con Roscmos.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Attraverso la partecipazione a progetti internazionali e nazionali (e.g. PRORA – Programma di Ricerca Aerospaziale), l'Italia è riuscita nell'ultimo decennio a consolidare le sue capacità nel trasporto spaziale e nei sistemi di rientro e relative tecnologie attraverso i progetti di seguito brevemente descritti:

- **IXV,** Intermediate eXperimental Vehicle, finanziato e coordinato dall'Agenzia Spaziale Europea, ha come obiettivo lo sviluppo di tecnologie abilitanti per il rientro atmosferico, attraverso la realizzazione di un veicolo spaziale di tipo sperimentale capace di rientrare, in modo autonomo, da orbita bassa eseguendo dei test in volo. La progettazione e la realizzazione di questo dimostratore tecnologico sono state affidate da ESA ad un team industriale composto dalle principali aziende e centri di ricerca spaziali europei e guidato da THALES ALENIA SPACE-Italia.
- THALES ALENIA SPACE Italia, prime industriale di IXV, che ha gestito tutte le attività di sistema, integrazione e implementazione della missione, si è avvalso di numerose altre aziende italiane che hanno fornito un contributo importante al successo della missione: ALENIA

AERMACCHI, AVIO, AEROSEKUR, ALTEC, SELEX, TELESPAZIO, TELEMATIC SOLUTIONS, F.lli NERI.

- **USV,** partito nel 2000 il programma finanziato dal PRORA e gestito da CIRA, ha un obiettivo di tipo incrementale. Infatti, la prima parte si è focalizzata sulla realizzazione di un laboratorio volante per la validazione di tecnologie abilitanti del volo transonico mediante sperimentazione in volo. I due "laboratori volanti" gemelli Castore e Polluce, dedicati al volo transonico e basso-supersonico (circa 1.200 chilometri orari) sono stati lanciati tramite pallone stratosferico dalla base di Arbatax in Sardegna. La prima missione è stata realizzata il 24 febbraio 2007 dalla piattaforma Castore, durante la quale si è raggiunta la velocità massima di Mach 1.07, ha permesso di acquisire milioni di dati dagli oltre 500 sensori a bordo; durante la seconda missione, effettuata l'11 aprile 2010, è stato raggiunto Mach 1.23 e sono state eseguite in modo completamente autonomo e gestite dal computer di bordo complesse manovre con virate e variazioni di assetto, fino all'ammarraggio. La presenza a bordo di due "passeggeri" ha rappresentato un altro elemento caratterizzante di questa seconda missione. Si tratta di due esperimenti: uno proposto da una PMI campana, Strago Ricerche, basato sull'uso di tecnologia MEMS (sistemi elettromeccanici miniaturizzati) per la misurazione delle accelerazioni caratteristiche del volo fino all'ammaraggio; l'altro, ideato da alcune scuole medie superiori della Puglia, finalizzato alla rilevazione dell'opacità dell'atmosfera collegata alla presenza di aerosol. La seconda parte del programma prevede la validazione di tecnologie abilitanti del volo orbitale tramite la missione ORT (Orbital Reentry Test).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 6

SISTEMI AVANZATI PER INTEGRAZIONE, RIFORNIMENTO, TRASPORTO E RIMOZIONE SATELLITI/DETRITI IN ORBITA

DESCRIZIONE

Nell'ultimo quinquennio, in ambiti del settore spaziale molto diversi tra loro, dall'Esplorazione spaziale umana del sistema solare alla regolamentazione ed ottimizzazione dell'accesso allo spazio vicino per ragioni scientifiche, commerciali e militari, si è evidenziata la necessità, o quantomeno l'opportunità, di avere a disposizione degli elementi nuovi, tendenzialmente "space based", provvisti di funzionalità flessibili e caratteristiche di riusabilità.

Questi moduli di servizio, o rimorchiatori spaziali (**Space Tug**, nel seguito) dovranno avere, in funzione dei diversi scenari di missione, vari livelli di abilità.

Ad esempio saranno utilizzati per il **trasferimento orbitale** di satelliti di piccole o medie dimensioni dall'orbita di lancio all'orbita di destinazione. In questo modo si potrà ottimizzare l'utilizzo di piccoli e medi lanciatori che potranno collocare in orbita più bassa una massa maggiore e si potrà ottimizzare il carico utile del satellite che non avrà più bisogno di un sistema di propulsione primario, in quanto questa funzione sarà delegata allo Space Tug. Per satelliti di piccole dimensioni, si potrà addirittura ricorrere, al posto dei lanciatori tradizionali, a veicoli suborbitali o grandi aerei, per raggiungere una quota minima di altitudine alla quale attivare uno Space Tug per il trasferimento all'orbita finale. In questo caso lo "Space Tug" costituirebbe in realtà l'ultimo stadio del sistema di lancio e potrebbe essere destinato ad un'unica missione.

Per questa categoria di Space Tug la **tecnologia portante è la propulsione**, che deve essere altamente efficiente (per limitare il consumo di propellente), deve essere in grado di operare diversi cicli di accensione-spegnimento (per supportare missioni multiple), e deve essere regolabile nella potenza erogata (per supportare le varie fasi della missione). Per gli Space Tug anche la durata della vita operativa è estremamente importante ed è critica in particolare per il sistema di propulsione. Sono attualmente allo studio vari sistemi di propulsione **elettrica** a bassa spinta che offrono motori potenzialmente di lunga durata e sistemi a propulsione **chimica ibrida** (combustibile solido ed ossidante liquido) che offrono la possibilità di regolare la potenza in modo continuo. La scelta tra le tecnologie di propulsione dipenderà di volta in volta dall'applicazione tenendo conto anche delle relative limitazioni; per esempio, la propulsione elettrica, basata su piccole spinte continue induce tempi di trasferimento più lunghi rispetto ai motori chimici. La propulsione elettrica inoltre prevede l'utilizzo di grandi potenze elettriche, per generare e gestire le quali è necessario sviluppare adeguati sistemi; ad esempio pannelli solari di grande superficie, flessibili ed ultraleggeri e sistemi di distribuzione innovativi. Per orbite più distanti dalla terra, esempio or-

bite geostazionarie, anche sistemi ad energia nucleare vengono considerati. Un'altra importante applicazione a breve termine sarà quella di raggiungere, catturare e rimuovere (de-orbitare o re-orbitare in orbita "cimitero") satelliti non più operativi o **detriti spaziali** di grosse dimensioni. Gli scenari più promettenti attualmente allo studio, prevedono Space Tug operanti in orbite basse, in quanto le più affollate di detriti, che siano in grado di operare missioni multiple e perciò dotati di sistemi robotici per la cattura di oggetti non collaboranti, non controllati e spesso capitombolanti. Per questa classe di elementi sono critiche le **tecnologie di controllo, navigazione e guida** per la fase di **rendez-vous** con il detrito e, naturalmente, la **cattura**. Entrambe infatti devono essere funzioni autonome e quindi basate sull'utilizzo di sensori ed architetture s/w e algoritmi in grado di percepire in tempo reale la posizione ed il moto del target. Anche l'avionica collegata deve essere di conseguenza altamente efficiente dal punto di vista della capacità e velocità computazionale.
Nel caso di uno Space Tug destinato a missioni multiple che sia appunto, "space based", anche la capacità di **rifornimento in orbita** deve essere necessariamente prevista, e anch'essa deve poter essere eseguita in modo autonomo. Sistemi robotizzati per il rifornimento automatico di propellenti liquidi sono allo studio da parte dei maggiori attori del settore spaziale. NASA ha già eseguito dimostrazioni di trasferimento liquidi in pressione sulla ISS.
In uno scenario di riduzione dei costi ed ottimizzazione dell'utilizzo dei nuovi satelliti, la funzione degli Space Tug potrebbe anche essere indirizzata ad **operazioni di servicing**. I nuovi satelliti potrebbero avvalersi di un elemento esterno per compiere operazioni come **aggiustamenti di orbita** e di rifornimento periodico; di conseguenza potrebbero essere singolarmente più leggeri, semplificati nel design ed economici. Altre operazioni orientate al servicing potrebbero essere richieste da satelliti esistenti per prolungarne la vita operativa, ad esempio la sostituzione di batterie. Anche in questo caso lo Space Tug dovrà essere dotato di tecnologie per la navigazione e rendez-vous, cattura, e in generale, della **capacità di manipolazione robotica autonoma** in funzione delle operazioni richieste.
Spostandoci in un orizzonte temporale un po' più lontano ma non meno importante, possiamo facilmente comprendere come gli Space Tug siano elementi essenziali in supporto all'**esplorazione umana**. In accordo alle roadmap internazionali lo scenario post- ISS sembra poter passare da una stazione cis-lunare (ad esempio nel punto lagrangiano denominato EML2) vista come uno snodo per attività di teleoperazioni sulla Luna oppure come trampolino verso mete più lontane nel sistema solare. In questo scenario sarebbe indispensabile disporre di uno o più Space Tug non solo per **attività di assemblaggio in orbita** bassa dei complessi di esplorazione, ma anche e soprattutto per il **trasporto degli elementi** della nuova stazione post-ISS (magari recuperando quelli più recenti della Stazione Internazionale al termine della sua vita operativa) alla posizione finale.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il **numero dei detriti spaziali esistenti**, soprattutto nella fascia LEO, è considerato dagli studiosi ormai **oltre la soglia critica**. Gli stati e le agenzie stanno finalizzando regolamentazioni internazionali per imporre ai nuovi satelliti di prevedere la propria rimozione dall'orbita in sicurezza alla fine della vita operativa. Purtroppo questa misura sembra non essere sufficiente: da analisi eseguite dalla NASA e dall'ESA risulta che è necessario rimuovere ogni anno almeno cinque detriti di

grandi dimensioni, tra quelli già presenti, per prevenire l'effetto cascata di collisioni con ulteriore formazione di nuovi detriti altrimenti noto come Effetto Kessler. Gli Space Tug riutilizzabili dotati di sistema robotico per la cattura dei detriti, sembrano essere una delle soluzioni maggiormente condivise per affrontare il problema della rimozione nei tempi brevi.

Inoltre, i **nuovi scenari per le reti di satelliti commerciali** prevedono a breve una enorme moltiplicazione di piccoli satelliti in orbita bassa, secondo le intenzioni di multinazionali quali Google, Amazon, Facebook e Apple, che hanno interesse a diffondere l'accesso ad Internet a tutta la superficie del pianeta, ovvero ai tre miliardi di persone che ancora faticano a connettersi. Grandi investimenti sono già stati stanziati per lo sviluppo di piccoli satelliti estremamente economici; la necessaria semplificazione del design del singolo satellite potrebbe rendere necessario l'utilizzo di elementi esterni come gli Space Tug che suppliscano periodicamente ad alcune funzioni come per esempio l'aggiustamento di assetto e posizione.

Dal punto di vista nazionale, l'utilizzo di uno Space Tug potrebbe altresì promuovere ed incrementare l'utilizzo del piccolo lanciatore Vega che potrebbe dunque essere utilizzato per portare piattaforme di massa fino a due tonnellate in orbita geostazionaria, avvalendosi appunto del supporto di uno Space Tug.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

L'idea di uno Space Tug riutilizzabile risale agli **anni '60-'70**, quando **NASA** considerò un modulo propulsivo comune a cui si potessero attaccare a seconda delle necessità, un veicolo abitato o altri payload. Era previsto anche come opzione un sistema per l'allunaggio. Lo studio fu poi interrotto a causa della riduzione dei fondi del programma Apollo.

In anni più recenti(2005) l'**agenzia Russa Energia** ha proposto lo Space Tug PAROM per supportare il trasferimento di equipaggio e cargo alla ISS. Anche Lockheed Martin propone attualmente lo Space Tug Jupiter, progettato per il rifornimento della ISS ma anche per operazioni di Servicing su satelliti essendo dotato di un braccio robotico. Jupiter è anche compatibile con missioni di esplorazione. Con finalità di esplorazione spaziale anche l'attività di Ad Astra Rocket Company, che sta lavorando per sviluppare uno Space Tug derivato dal motore a plasma VASIMR. L'americana Spaceflight Inc. ha invece proposto uno Space Tug chiamato Sherpa compatibile con il razzo Falcon 9 di SpaceX per il trasporto di payload secondari in orbita; il primo lancio è previsto nel 2017. Anche l'organizzazione per la ricerca spaziale indiana (ISRO) ha costruito un upper stage chiamato PAM-G a motore chimico ipergolico per trasferire carichi da orbite a basse ad orbite medie e alte. Il **DARPA** (Defense Advanced Research Projects Agency) è impegnato nel **programma Phoenix** di sviluppo tecnologico per realizzare un sistema di servicing robotico autonomo a satelliti in orbita geostazionaria.

L'Europa è attiva sul fronte degli Space Tug e dello sviluppo delle relative tecnologie abilitanti. Si ricordano soprattutto il progetto svedese PRISMA che ha dimostrato in orbita aspetti di rendez-vous e volo in formazione, il **programma ESA eDeorbit** , per la rimozione di grandi detriti (in questo caso il satellite Envisat, del peso di circa 8 tonnellate), il programma DEOS finanziato dall'agenzia tedesca DLR per una missione dimostrativa in orbita delle tecnologie per la cattura.

Inoltre, a livello nazionale l'Italia è impegnata in un programma di ricerca che fa parte dei Cluster

Tecnologici Nazionali, il **progetto SAPERE-STRONG**, per lo sviluppo di uno Space Tug compatibile con il lanciatore Vega. Il progetto, triennale, include tutti i maggiori attori industriali e accademici del compartimento spaziale italiano, ed è orientato allo sviluppo di tecnologie di propulsione, tecnologie per il rendez-vous and docking, tecnologie robotiche e per rifornimento in orbita ed allo sviluppo dei relativi dimostratori tecnologici.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 7

TECNOLOGIE E APPLICAZIONI PER LA SICUREZZA NELLO SPAZIO

DESCRIZIONE

Il programma **"Space Situational Awareness" (SSA)** è stato oggetto negli ultimi anni di una grande attenzione presso la Comunità Europea e l'Agenzia Spaziale Europea (ESA).
SSA è l'acronimo ben noto per indicare l'insieme delle tematiche volte a sviluppare la conoscenza dell'ambiente spaziale e la consapevolezza delle sue potenziali minacce alle attività umane, sia incombenti direttamente sugli assetti (*assets*) spaziali e/o terrestri che indirettamente sui servizi ad essi connessi.
La finalità ultima è **la tutela dei cittadini**, della loro qualità della vita, del loro benessere e sicurezza, e la garanzia dell'indipendenza europea nell'accesso allo spazio ed alla fornitura di servizi spaziali.
Le minacce provenienti dall'ambiente spaziale sono essenzialmente:

- gli **Space Debris (SD)**, ovvero i detriti spaziali, che mettono a rischio l'integrità dei satelliti e dei veicoli spaziali orbitanti intorno alla terra e la disponibilità dei servizi connessi, con un possibile incremento del rischi di collisione a cascata a seguito di impatti;
- i **Near Earth Objects (NEOs)**, ovvero corpi celesti la cui orbita può divenire prossima a quella della terra e che, quindi, sono potenzialmente a rischio di impatto;
- lo **Space Weather (SWE)**, ovvero eventi fisici solari particolarmente intensi, in grado di influenzare l'ambiente spaziale fra sole e terra, la magnetosfera, l'atmosfera, la geosfera e molti sistemi tecnologici sensibili a tali perturbazioni;
- dove NEOs e lo Space Weather rappresentano minacce naturali, mentre gli Space Debris sono derivanti dalle attività umane.

L'obiettivo attuale dei programmi di SSA è rivolto a porre le condizioni per **la protezione degli assetti critici spaziali e terrestri** da tali minacce. Al fine di mitigarne i rischi e di porre in campo iniziative di gestione degli stessi, in Europa si è dato il via al processo di integrazione delle risorse e dei servizi esistenti, di individuazione delle esigenze di ulteriori sviluppi, di definizione delle infrastrutture necessarie e di definizione ed erogazione di servizi precursori di informazione, allerta ed intervento. La protezione e l'allerta nei confronti delle minacce provenienti dallo spazio è un tema ormai rilevante sia per le attività spaziali sia per quelle terrestri, considerata la crescita del numero di sistemi ed applicazioni dipendenti da dati ed infrastrutture spaziali.

Space Surveillance and Tracking (SST) per protezione da Space Debris

I **detriti orbitali** spaziali sono tutti quegli oggetti artificiali in orbita intorno alla terra, che non ser-

vono più per uno scopo utile. La categoria dei detriti spaziali comprende oggetti di qualsiasi dimensione, dell'ordine del metro, come nel caso dei satelliti non più operativi e stadi superiori di razzi lanciatori, del centimetro e millimetro, come per il caso di frantumi generati da esplosioni e collisioni, e anche molto piccoli (dimensioni sub-millimetriche) come per le particelle di vernice, o le scorie solide di motori a razzo o polvere.

Le traiettorie dei detriti sono stimabili a partire da **osservazioni frequenti e accurate**. Tali osservazioni possono essere utilizzate per misurare le posizioni dei detriti, sia attraverso gli angoli su immagini ottiche sia attraverso distanze ed angoli e loro variazioni su dati radar. Combinando le posizioni misurate con i tempi di rilevazione dei dati, è possibile stimare i parametri orbitali dei detriti con metodi di determinazione orbitale. Maggiore è il numero di osservazioni disponibili, più precisa sarà l'orbita predetta. Le osservazioni non sono importanti solo per prevedere le possibili collisioni, ma anche per monitorare a lungo termine l'ambiente spaziale e l'evoluzione del suo popolamento. I detriti spaziali possono essere rilevati con osservazioni ottiche, grazie alla luce del sole riflessa dalle loro superfici. Data l'irradianza solare spettrale, il contenuto di energia è maggiore nella banda visibile. Per essere rilevati, gli oggetti devono essere illuminati dal sole, mentre il cielo sullo sfondo è scuro. Osservazioni terrestri con telescopio ottico di oggetti in orbita bassa o Low Earth Orbit (LEO), possono essere eseguite solo durante una-due ore, in funzione della stagione e della latitudine di osservazione, dopo il tramonto e prima dell'alba. A fronte di questa limitazione temporale, che non investe i sistemi radar, i sensori ottici hanno un grande vantaggio: la loro sensibilità a parità di dimensioni dell'oggetto diminuisce proporzionalmente al quadrato della distanza piuttosto che con la quarta potenza caratteristica del radar. Questo è il motivo per cui i telescopi ottici sono utilizzati principalmente per indagare l'ambiente dei detriti ad alta quota. L'output delle osservazioni ottiche sono le misure degli angoli, che identificano la posizione dell'oggetto sulla proiezione del cielo, e le misure fotometriche, come la luminosità e l'angolo di fase, per la caratterizzazione dell'oggetto.

I radar hanno dimostrato d'altra parte di essere molto efficienti per rilevare e tracciare oggetti di piccole dimensioni (da pochi centimetri o anche più piccoli) in orbita LEO, cioè al di sotto di 2000 km di altezza rispetto alla superficie terrestre. Il principale vantaggio dei sensori radar è che essi, rispetto agli ottici, non sono limitati dalle condizioni d'illuminazione e sono molto sensibili a piccoli oggetti. D'altro lato, la sensibilità dei radar diminuisce con la quarta potenza della distanza, quindi questo tipo di sensore non può essere usato per osservare detriti in orbite più alte della classe delle Medium Earth Orbit (MEO).

Due tipologie di radar sono utilizzabili per questo scopo. Il primo tipo sono i radar a campo di vista ristretto, costituiti da un piatto di antenna parabolica, che controllano la direzione di visualizzazione meccanicamente. Nella seconda categoria ricadono i "phased-array radar", caratterizzati da un ampio campo visivo e da un controllo elettronico della direzione del fascio. I radar "phased array" sono ideali per scopi di indagine in quanto possono rilevare e monitorare più oggetti contemporaneamente in un campo visivo tipicamente ampio 120 gradi, estendibile ai 360°. A causa del loro ampio campo di vista, tuttavia, la precisione della rilevazione angolare del radar di tipo "phased-array" è generalmente inferiore rispetto a quella di antenne paraboliche con dimensioni di antenna simili, a meno di sviluppare antenne phased array di dimensioni e costi rilevantissimi.

Grazie però all' ampio angolo di vista tali radar possono essere efficacemente utilizzati per creare un "fence" (pennello) nello spazio in cui si rilevano passaggi di oggetti nuovi o che hanno modificato significativamente la loro orbita rispetto a quelli normalmente tenuti sotto controllo dai cataloghi spaziali (funzione di sorveglianza). Le antenne paraboliche, d'altro canto, possono inseguire solo oggetti singoli in un ristretto campo di vista, con un diametro inferiore a qualche decimo di grado e, dovendo esservi puntati meccanicamente, possono monitorare solo oggetti già noti, ma sono in grado poi di rilevarne la posizione con grande precisione angolare, migliorando l'accuratezza della predizione dell'orbita. È chiaro quindi che una combinazione delle due tipologie di radar ed un sistema di fusione dati, è capace di incrementare notevolmente le prestazioni raggiungibili.

Allo stato dell'arte i radar possono raggiungere la sensibilità sufficiente per rilevare, in orbita LEO, oggetti delle dimensioni critiche per le problematiche di impatto con diametri da pochi centimetri a vari metri. I radar misurano la posizione dell'oggetto, in termini di distanza o range e di angoli, e la sua velocità (variazione di range). Le osservazioni ottiche e quelle radar possono essere eseguite sia da terra che dallo spazio.

Quelle eseguite dallo spazio beneficiano di alcuni vantaggi rispetto a quelle eseguite da terra. Tali vantaggi possono riassumersi nelle seguenti considerazioni:

- non ci sono limitazioni dovute alle condizioni atmosferiche, al ciclo notte/giorno e alla luce riflessa dalla luna: le osservazioni dallo spazio sono sempre possibili (queste limitazioni non impattano neanche le osservazioni ground based effettuate con sensori radar);
- una più grande area del cielo è disponibile per l'osservazione, ed è possibile quindi implementare la sorveglianza di differenti orbite. Inoltre, una copertura totale del cielo da terra sarebbe possibile solo con una ampia rete di sensori installati in maniera diffusa su tutta la superficie terrestre, soluzione molto gravosa ed estremamente difficile da implementare, considerando ad esempio le estensioni degli oceani. Una costellazione di sensori satellitari permetterebbe di colmare le lacune dei sistemi di terra attraverso opportune strategie di osservazione;
- non ci sono limitazioni geografiche e geopolitiche. Come discusso al punto precedente, per accedere a particolari regioni nel cielo è necessario situare i sensori di terra in zone geografiche specifiche. Ad esempio, per la sorveglianza delle orbite GEO, sarebbe necessaria una rete di sensori distribuiti omogeneamente intorno all'equatore. Oltre alle limitazioni dovute alla presenza degli oceani, operare uno strumento in un paese estero non comporta solo potenziali problemi geopolitici, ma anche un aumento dei costi di funzionamento e manutenzione;
- sensori satellitari possono osservare determinate regioni del cielo in maniera più rapida dei sensori di terra. Questa è una caratteristica di grande importanza se si desidera un sistema di sorveglianza e monitoraggio in grado di rispondere ad eventi "time-critical";
- grazie alla mancanza di perturbazioni atmosferiche (turbolenza e assorbimento), alla minore intensità di fondo, a distanze minori dei target in gioco e a velocità angolari generalmente più basse, i sensori satellitari consentono di raggiungere una maggiore sensibilità. Questo migliora la conoscenza della posizione del target e quindi la sua determinazione orbitale, e rende più semplice il rilevamento di oggetti più piccoli.

I vantaggi delle osservazioni con sensori radar di terra sono invece i seguenti:

- non ci sono limitazioni dovute alle condizioni atmosferiche, al ciclo notte/giorno e alla luce riflessa dalla luna: le osservazioni radar da terra sono sempre possibili;
- non ci sono limitazioni di peso, dimensioni ed alimentazione tipiche degli strumenti da lanciare nello spazio;
- reti di sensori radar a terra sono già esistenti ed interconnesse, per esempio a scopo di Difesa Aerea, con possibilità di impiego duale.

I sensori, siano essi installazioni terrestri o dispiegati su satelliti, rappresentano le sorgenti dei dati di osservazione di un sistema completo (end to end) di monitoraggio. Infrastrutture e centri di raccolta ed elaborazione dei dati devono necessariamente completare tale sistema, affinché questo sia in grado di federare le varie sorgenti, armonizzare il loro contenuto differente (complementare) e produrre con le modalità e le tempistiche necessarie le informazioni verso gli utilizzatori finali. Risulta evidente la necessità di poter disporre di tecnologie e sistemi in grado di fronteggiare i rischi da space debris, focalizzandosi sulla capacità di raccogliere dati e informazioni sui possibili impatti, nello spazio e/o a terra, e attivare le necessarie azioni di mitigazione del rischio stesso. Ciò richiede la capacità di monitorare satelliti e detriti spaziali, catalogare la loro posizione, identificare possibili collisioni in tempo utile per poter intervenire adeguatamente. Queste attività sono identificate con la sigla SST (Space Surveillance and Tracking) e si basano sulle seguenti tecnologie hardware e software, applicabili sia a sensori installati a terra che su piattaforme spaziali:

- sensori (radar e telescopi) idonei al Survey and Tracking dei detriti;
- applicazioni software per la "Fusione Dati" di caratteristiche diverse, provenienti da più sensori come prima descritti, asincroni e da sincronizzare;
- applicazioni software per la propagazione e determinazione orbitale di satelliti e detriti;
- applicazioni software per la "Collision Avoidance", in grado di effettuare l'analisi della congiunzioni e la valutazione del rischio di impatto;
- applicazioni software per l'analisi del rientro, in grado di determinare l'orbita di rientro di eventuali detriti a terra e il sito di impatto a terra;
- applicazioni software per l'analisi della frammentazione, in grado di analizzare i rischi derivanti dalla frammentazione di possibili impatti in orbita.

Ovviamente, la reale efficacia di un sistema SST è determinata dalla abilità di integrare tali tecnologie in un centro nazionale o internazionale di Space Surveillance and Tracking in grado di assicurare le seguenti capacità:

- processamento dei dati provenienti da una rete dedicata di sensori, la determinazione delle orbite degli oggetti osservati, la correlazione con quelle degli stessi oggetti osservati precedentemente, l'aggiornamento del catalogo degli "space objects" e la pianificazione di nuove richieste di osservazioni;
- gestione ed erogazione di un servizio operativo permanente che preveda "collision avoidance analysis", "fragmentation and reentry analysis", "risk assessment and warnings";
- monitoraggio di frammentazione da impatto e di rientro di satelliti a fine vita.

Near Earth Objects

I Near Earth Objects (NEO) sono corpi celesti del sistema solare di ridotte dimensioni che nel loro moto orbitale transitano nei pressi della Terra, e aventi precisamente il perielio a distanza minore di 1.3 unità astronomiche. I NEO non sono considerati particolare fonte di rischio per gli assetti spaziali, ma, se di grandi dimensioni, rappresentano una minaccia per parti più o meno ampie del pianeta e per le forme di vita da esso ospitate. La "Scala Palermo" del rischio di impatto per NEO di dimensioni caratteristiche dell'ordine dei 5 km prevede il rilascio di energia dell'ordine di 10^8 megatoni con effetti su scala globale (il NEO conosciuto di maggior diametro, 38.5 km, è 1036 Ganimede).

Il passaggio ravvicinato alla Terra di NEO non è un fenomeno raro; considerati i possibili effetti di un eventuale impatto, la scoperta e la determinazione orbitale efficace e tempestiva di un NEO in rotta di collisione con la Terra sono indispensabili per fornire margini temporali sufficienti all'adozione delle necessarie contromisure (evacuazione, missione di deflessione).

Poiché la popolazione di NEO è elevata (ad oggi sono conosciuti circa 12.410 oggetti) e le condizioni di osservabilità sono transitorie, l'incertezza sulla stima della loro posizione è legata alla bontà delle osservazioni, al loro numero, alla visibilità dell'oggetto (quantità di luce riflessa e dimensioni proprie), al tempo trascorso dalle ultime osservazioni, alla sua riosservabilità, etc.

È dunque necessario disporre di una rete di sensori (per lo più ottici, considerate le grandi distanze, e solo per gli oggetti molto vicini alla terra anche radar) per la scoperta e l'inseguimento continuo o reiterato nel tempo, e poi implementare soluzioni operative atte ad affrontare le problematiche di gestione integrata delle osservazioni (planning, scheduling, tasking), di successiva elaborazione dei dati, di disseminazione delle informazioni verso la comunità globale, la comunità scientifica, gli organi di comunicazione, gli stakeholders e infine i decision makers.

È necessario altresì disporre di enti autoritativi che provvedano alla validazione delle osservazioni, al processamento, allo storage e alla disseminazione dei dati relativi ai NEO osservati, alla previsione delle orbite a lungo termine ed valutazione della loro accuratezza, alla determinazione del rischio, delle coordinate di impatto, della sua energia, come di tante altre informazioni di fondamentale importanza per la definizione di azioni di mitigazione e contromisure. Di fondamentale importanza è lo sviluppo di asset spaziali orbitanti dedicati alla scoperta dei NEO, posizionabili in orbita terrestre o nei punti Lagrangiani del sistema sole terra.

Space Weather

Lo Space Weather è l'insieme di fenomenologie legate ad eventi solari, quali flares, eiezioni coronali di massa, emissioni di radiazioni e particelle ad alta energia, che perturbano il livello di emissioni di fondo e che, una volta raggiunte la magnetosfera e l'atmosfera terrestre inducono in esse una serie di fenomeni fisici particolari, quali tempeste geomagnetiche, riconnessione e sconnessione delle linee di campo elettromagnetico, aurore boreali, ionizzazione a quote ionosferiche, accumulo di carica elettrica, correnti elettriche in atmosfera ed al suolo, scintillazioni, espansione della termosfera. Tali eventi, se particolarmente intensi, possono avere effetto sulla propagazione delle onde elettromagnetiche nei mezzi perturbati e su una gran varietà di sistemi il cui funzionamento è influenzato dai fenomeni summenzionati.

La realizzazione di un centro per l'erogazione di servizi di SWE richiede lo sviluppo delle seguenti tecnologie e funzionalità:

- sviluppo di sensori capaci di effettuare osservazioni e misure delle varie classi perturbazioni di origine solare, ed integrare opportunamente le fonti di dati disponibili;
- sviluppo di modelli per la valutazione dello stato attuale in base alle misure raccolte ed ai dati disponibili (now casting);
- sviluppo della modellistica fisica delle fenomenologie soggiacenti e di strumenti software per la predizione dell'evoluzione e degli effetti dello SWE a breve, medio e lungo termine;
- definizione/update di scale di rischio in funzione dell'entità delle perturbazioni e dei sistemi coinvolti;
- capacità di catalogazione degli effetti in funzione dei livelli di perturbazione e valutazione dei rischi connessi;
- valutazione della degradazione delle performances dei sistemi in funzione del livello delle perturbazioni;
- definizione, progettazione, integrazione test e validazione di infrastrutture hardware per la gestione dei dati, calcolo delle previsioni e disseminazione dei risultati;
- definizione delle azioni di mitigazione da intraprendere in funzione dell'entità degli eventi, del tipo di allerta da emettere;
- definizione e coinvolgimento degli stakeholders, decision makers ed user communities;
- integrazione di facilities, capacità ed iniziative nazionali con le analoghe portate avanti in campo europeo.

Fra le tecnologie abilitanti di maggior spicco per la fornitura di un servizio prototipale figurano:

- studio architetturale fisico-funzionale del centro per l'erogazione di servizi SWE, a partire dai requisiti utente/cliente, risorse esistenti (assets, facilities, sensori, basi di dati, modelli, prodotti, ℰ), identificazione dei gaps, definizione della roadmap degli sviluppi;
- sviluppo di telescopi MOTH per il monitoraggio e previsione di eventi solari responsabili di scintillazione ionosferica;
- sviluppo ed aggiornamento di strumenti per l'analisi dei dati forniti dalla spettrometro PAMELA ed AMS02 per monitoraggio dei flussi galattici di protoni;
- algoritmi per la generazione di ionogrammi in tempo reale partire da dati rilevati da ionosonde e da ricevitori GNSS;
- apparati per la determinazione degli spettri radio solari ed indici radio in tempo reale relativi alla banda VHF;
- apparati per il monitoraggio della emissione radio solare nella banda VHF per rilevare potenziali interferenze causate da intensi burst radio solari;
- apparati per il monitoraggio della densità di flusso e percentuale della polarizzazione circolare dell'emissione radio solare nella banda L per la rilevazione di potenziali interferenze causate da intensi radio burst solari;
- metodi di analisi di regressione logistica applicata a parametri di precursori solari, quali i brillamenti nei raggi X e i radio burst di tipo III per la previsione a breve termine degli eventi di SEPs;

- modelli di stima probabilistica delle condizioni eruttive del sole basati su database di brillamenti solari e coronal mass ejection, accoppiati ad analisi delle condizioni geofisiche in prossimità della Terra per la valutazione degli effetti sul sistema geofisico e della probabilità di innesco di tempeste geomagnetiche, da utilizzarsi nei modelli ionosferici della propagazione dei segnali di navigazione GPS/GNSS e comunicazioni in banda HF;
- metodi di analisi di regressione logistica applicata a parametri di precursori solari, quali i brillamenti nei raggi X e i radio burst di tipo III per la previsione a breve termine degli eventi di SEPs;
- apparati per il monitoraggio della densità di flusso e percentuale della polarizzazione circolare dell'emissione radio solare nella banda L per la rilevazione di potenziali interferenze causate da intensi radio burst solari;
- Upgrade di magnetometri per la monitoraggio dei processi dinamici in magnetosfera che si originano dall'interazione con il Vento Solare;
- Modellistica dei sistemi di correnti ionosferiche e magnetosferiche durante periodi di intensa attività geomagnetica;
- Sviluppo di modelli per il calcolo dell'interscambio di particelle ionizzanti tra ionosfera e plasmasfera durante intensa attività geomagnetica.

Come nel caso di Space Debris e Near Earth Objects, anche per lo Space Weather è fondamentale disporre di una rete distribuita di sensori, di infrastrutture per la raccolta, l'elaborazione, la gestione e l'archiviazione dei dati, la disseminazione e la fruizione delle informazioni, attraverso l'implementazione di servizi "user oriented", l'individuazione ed il coinvolgimento dei decision makers nella gestione degli interventi e delle azioni di prevenzione.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Space Debris

Dall'inizio dell'era spaziale, l'umanità ha eseguito diverse migliaia di lanci nello spazio. Tutto il materiale associato a queste missioni può rientrare nell'atmosfera terrestre, finire nello spazio profondo o rimanere in orbita attorno alla Terra. Quest'ultima categoria di detriti popola le stesse regioni nello spazio che sono utilizzate per i satelliti operativi. I detriti spaziali si trovano quindi soprattutto nelle orbite geocentriche con altitudini che vanno da 300 a 40.000 km.

I frammenti derivanti da esplosioni e collisioni, le piccole particelle di vernice, le scorie solide di motore a razzo e la polvere, fanno tutti parte della categoria di detriti da frammentazione e costituiscono più della metà della popolazione detriti. I detriti spaziali rappresentano uno dei principali rischi per le missioni spaziali. Ciò è particolarmente vero data l'elevata velocità relativa tra i vari oggetti in orbita.

Nel caso di una collisione in orbita bassa, la velocità relativa tra i due oggetti collidenti può arrivare fino a 16 km/s. La probabilità di collisione, data l'ampia distribuzione spaziale e le velocità relative mediamente inferiori in gioco (500 m/s), è più bassa in orbite geostazionarie. Inoltre, poiché gli stadi superiori dei razzi e gli spacecraft sono lasciati in orbita al di sopra o di sotto di orbite

GEO, il numero di oggetti intatti incontrollati che intersecano la regione GEO sta aumentando con un ritmo più lento di quanto non facciano quelli in orbite LEO.
La gravità delle collisioni aumenta con la dimensione dell'oggetto. Una collisione con un oggetto di dimensioni maggiori di 10 centimetri è in grado di condurre a una frammentazione catastrofica. I detriti di grandi dimensioni (>10 cm) hanno orbite note, e possono essere evitate attraverso attente e di solito costose manovre di "collision avoidance". La classe più pericolosa di detriti è rappresentata da oggetti le cui dimensioni variano tra 0,1/1 e 10 cm, troppo piccoli per essere rilevati in anticipo e, allo stesso tempo troppo grandi per essere schermati in modo efficiente. Dunque le tipologie di rischio rappresentate dai detriti spaziali sono essenzialmente due: il rischio di collisione in orbita e il rischio derivante dal rientro di tali detriti con il relativo impatto a terra. L'incremento dei detriti spaziali rende sempre più alto il rischio che insidiosi frammenti, anche di dimensioni ridotte, danneggino o addirittura mettano completamente fuori uso i satelliti o che, ricadendo sulla terra, possano produrre danni a infrastrutture e/o alla popolazione. Ciò può avere gravi ripercussioni sulla sicurezza dei cittadini o di natura economica, strategica e di sicurezza militare, se si considerano i numerosi servizi e le applicazioni supportate da sistemi e infrastrutture satellitari ed il loro utilizzo ormai pressoché sistematico e permeante la vita di tutti i cittadini. È indispensabile che l'Italia sviluppi le tecnologie necessarie ad avere una capacità di difesa autonoma da tali rischi, dal momento che il settore spaziale è da diversi decenni ritenuto strategico nel nostro Paese e sono ormai tanti gli assets spaziali per telerilevamento, telecomunicazioni, navigazione ed esplorazione scientifica su cui sono stati e saranno fatti enormi investimenti a livello nazionale.

Near Earth Objects

Il rischio legato ai NEO è essenzialmente quello di impatto. I danni al suolo sono direttamente legati alle proporzioni dell'oggetto, il cui diametro potrebbe essere dell'ordine delle decine di chilometri. Un impatto di NEO di grandi proporzioni avrebbe conseguenze catastrofiche ed effetti su scala globale. La possibilità di deviare NEO di grandi dimensioni richiederebbe un preavviso dell'ordine di un centinaio di anni. Una previsione di impatto errata, nel caso di NEO di grandi dimensioni potrebbe risultare comunque catastrofica. Impatti rilevanti in zone densamente popolate porrebbero il problema di evacuazione di un gran numero di abitanti e la necessità di affrontare e risolvere tutte le problematiche connesse.
È auspicabile che l'Italia contribuisca, in uno sforzo congiunto a livello europeo, allo sviluppo delle tecnologie necessarie alla valutazione, alla gestione e alla mitigazione del rischi connessi alla possibilità di impatto dei NEO sul pianeta.

Space Weather

Le perturbazioni indotte dallo SWE interferiscono su vasta scala con l'ambiente e gli apparati tecnologici, in primis gli assets spaziali ed i relativi servizi: dai satelliti, al traffico aereo, alle reti di telecomunicazione (spaziali e terrestri), alle comunicazioni radio, al controllo remoto di velivoli senza pilota, alle catene di comando C4I, alla reti di distribuzione di energia. La rilevanza crescente dello Space Weather è da ricondursi alla diffusione e all'incremento del livello tecnologico dei

sistemi in uso in seno alla società odierna, che li rende maggiormente sensibili alle perturbazioni di origine solare. Le azioni di mitigazione e le misure di prevenzione si basano essenzialmente sulla raccolta e sfruttamento delle basi di dati relativi all'attività solare ed ai suoi effetti e sulla disponibilità di sistemi capaci generare uno stato di allerta con adeguato anticipo. La possibilità di intervento è quindi legata alla capacità di effettuare osservazioni e misure (da terra e dallo spazio), alla capacità di elaborazione di dati eterogenei, alla disponibilità di modelli di nowcast e previsione a breve medio e lungo termine degli eventi solari e dell'intensità del loro effetto su eliosfera, magnetosfera e geosfera, e sui sistemi tecnologici, che consentano una sufficientemente accurata previsione degli effetti dell'attività solare. Uno sviluppo di centro di erogazione di servizi di SWE è pertanto di fondamentale importanza.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Space Debris

Gli Stati Uniti hanno implementato ed utilizzano da anni un Sistema di "Space Surveillance and Tracking" gestito sotto la responsabilità del "Joint Functional Component Command for Space" (JFCC-SPACE), parte dello "United States Strategic Command" (USSTRATCOM). Il Sistema è operato dal Joint Space Operations Center (JSpOC) e il suo obiettivo primario è rilevare, identificare e tracciare tutti gli oggetti artificiali in orbita attorno alla Terra. Si avvale di una rete mondiale di 29 sensori identificata con la sigla SSN (Space Surveillance Network), costituita da radar e telescopi ottici, sia militari che civili, adibiti alla sorveglianza dello spazio, attraverso la quale vengono raccolti i dati necessari ad alimentare lo "Space Catalog", il data base di tutti gli oggetti artificiali in orbita terrestre, inclusi satelliti attivi e non, parti di razzi inattivi, detriti e frammenti.

Le principali funzionalità assolte dal Sistema sono:

- Prevedere se, quando e dove un oggetto spaziale decadente rientrerà nell'atmosfera terrestre;
- Rilevare nuovi oggetti artificiali nello spazio;
- Produrre e aggiornare i dati orbitali di oggetti spaziali artificiali nel relativo catalogo;
- Mappare correttamente gli oggetti in orbita terrestre, tracciare graficamente la posizione attuale e i previsti percorsi orbitali.
- Evitare che il rientro di un oggetto spaziale possa innescare un falso allarme in sensori antimissile-attacco degli Stati Uniti e di altri paesi.
- Informare NASA relativamente ad oggetti che possono interferire con i satelliti in orbita e/o con la Stazione Spaziale Internazionale

Per quanto concerne l'Europa, l'accesso alle informazioni relative a "Space Surveillance and Tracking" è stato, fino ad oggi, in gran parte dipendente da fonti non-europee. Negli ultimi anni, ad esempio, i dati per attivare segnalazioni di potenziali collisioni tra satelliti europei e detriti spaziali sono stati utilizzabili grazie alla collaborazione e disponibilità di altre nazioni che hanno già sviluppato capacità in tale ambito (Stati Uniti in primo luogo). Per questa ed altre ragioni, l'Europa ha necessità di sviluppare una capacità SST autonoma e in tal senso ha avviato, sotto l'egida di ESA

prima e dell'Unione Europea poi, un programma per la realizzazione di un sistema completo di "Space Surveillance and Tracking" sia attraverso la integrazione di asset, tecnologie e competenze già esistenti sia attraverso lo sviluppo e validazione di quelle da realizzare o che necessitano di ulteriori sviluppi tecnologici e/o applicativi.

In Francia, dal 2005, a valle di un'attività di sviluppo di circa 15 anni, grazie all'uso del RADAR bistatico GRAVES (appartenente alla FR-MOD GRAVES – Grande Réseau Adapté à la Veille Spatiale) è attivo un sistema di sorveglianza spaziale in grado di individuare i satelliti in orbita intorno alla Terra e determinare la loro orbita. L'elaborazione dei dati e la generazione di elementi orbitali satelliti viene eseguita presso il Complesso Balard Air a Parigi.

La Germania si avvale di un radar appartenente al Fraunhofer Institute, basato su di un riflettore parabolico, L-Band e Ku-Band (TIRA) di 34m. Il sistema di Tracking & Imaging Radar (TIRA) del Fraunhofer FHR (Wachtberg) funge da struttura centrale per lo sviluppo e la ricerca di tecniche radar per il rilevamento e la ricognizione degli oggetti nella spazio, la valutazione della situazione di detriti orbitali e relativa caratterizzazione fisica e la valutazione del rischio del rientro di satelliti. I dati acquisiti dal TIRA costituiscono la base per lo sviluppo di tecniche di classificazione basata su immagini e algoritmi di identificazione.

In Italia, sono presenti *assets*, strumenti e competenze a differenti livelli di maturità tecnologica, come indicato di seguito a titolo di esempio:

- FADR è il "Fixed Air Defense Radar" (RAT-31 DL), di proprietà di ITAF (Italian Air Force), distribuito in numerosi siti che coprono tutta l' estensione del paese, collegati in rete. Si tratta di un assetto adeguato, operativo nella sua componente per la Difesa Aerea che necessita di alcuni limitati sviluppi per consentirne l' adeguamento alle specifiche esigenze dell' SST e soprattutto il funzionamento "dual use" con "firewall" tra la "difesa aerea" e la funzione SST. Attività sperimentali già effettuate ne confermano la capacità di iniziare a contribuire all' SST entro la fine del 2015 per poi raggiungere nel 2017 la sensibilità per la scoperta ed il tracking dei LEO di dimensioni minimali. Potendo essere impiegato come trasmettitore in banda L (1.4 GHz) potrebbe poi anche essere sviluppata la sua capacità di utilizzo come componente di un sistema bistatico con i Radiotelescopi (Medicina e SRT) rispettivamente dell' INAF e di INAF-ASI.
- Nell'ambito del programma COSMO-SkyMed dell'Agenzia Spaziale Italiana, Telespazio ha sviluppato e opera i tools "Debris Monitor" e "Collision Avoidance", per l'analisi delle congiunzioni, la valutazione del rischio di impatto in orbita e la gestione di manovre elusive per i satelliti della costellazione COSMO-SkyMed.
- Nell'ambito di attività di ricerca e sviluppo nel campo dello Space Surveillance and Tracking, il Politecnico di Milano ha sviluppato due tool prototipali per la propagazione orbitale avanzata in grado di studiare la dinamica di oggetti in orbita terrestre:
- Il tool prototipale PlanODyn per la propagazione orbitale veloce, basato su tecniche semi-analitiche;
- Il tool prototipale AIDA (Accurate Integrator for Debris Analysis) per la propagazione accurata di orbite, basato sull'integrazione numerica della dinamica di oggetti in orbita terrestre (Infrastructure belonging to ASI, IT-MOD and INAF).

Le potenzialità nazionali risultano comunque estremamente elevate, dato che il settore spaziale nazionale nel campo delle scienza e dell'Osservazione è a tutt'oggi molto sviluppato garantendo capacità di progettazione, sviluppo, implementazione ed operazione sia di infrastrutture di terra a supporto di un servizio integrato di SSA/SST, sia di piattaforme satellitari adeguate sia, infine, di sensoristica ottica e radar per le osservazioni da terra e/o da satellite.

Near Earth Objects

L'Italia riveste da tempo un ruolo di primo piano a livello mondiale nello studio dei NEO. Le principali infrastrutture Europee che forniscono informazioni sui NEO sono il sito NeoDys-2 dell'l'Università di Pisa e il NEO Control Centre dell'Agenzia Spaziale Europea di ESRIN a Frascati.
Il NEO Coordination Center operativo di Frascati mette a disposizione tutte le informazioni più importanti disponibili in Europa sui Near Earth Objects, fra cui:

- liste dei NEO che potrebbero impattare in futuro sulla Terra (dimensioni, data di impatto, probabilità di impatto, valori della scala Palermo, velocità, giorni di presenza nella lista);
- priorità di osservazione per il raffinamento delle informazioni astrometriche;
- passaggi ravvicinati alla Terra;
- visualizzazioni grafiche delle orbite dei NEO;
- le proprietà fisiche e orbitali dei NEO;
- le statistiche relative alle scoperte dei NEO;
- database delle immagini provenienti dagli osservatori federati;
- altre notizie generiche sui NEO.

Negli Stati Uniti sono attivi il NEO Program presso il Jet Propulsion Laboratory della NASA e il Minor Planet Center (MPC) presso lo Smithsonian Astrophysical Observatory di Cambridge in Massachusetts.

Space Weather

A parte l'Unione Europea e gli Stati Uniti, poche altre potenze spaziali hanno a loro disposizione infrastrutture di SWE di osservazione e previsione. Le infrastrutture europee ed americane di primo piano sono:

- **il portale europeo per lo SWE (ESWeP)**: ESWeP è un portale web che fornisce un punto di accesso centralizzato alla comunità SWE per la condivisione le loro conoscenze e dei risultati. Avviato sotto la COST Action 724 e ospitato dall'Istituto Belga di Aeronomia Spaziale. I servizi offerti includono la possibilità di accedere ai dati SWE, sia in forma grafica che in diversi formati numerici. Una delle capacità più importanti è fornire previsioni di condizioni di SWE e/o degli effetti sui sistemi tecnologici. Tra i servizi di now-casting e previsione vi sono il Servizio UAH-SW che avvisa di intensi disturbi geomagnetici e il tool di previsione dei SEPs in tempo reale.
- **ESA-SSA Space Weather Service Network (SWENET):** il campo di applicazione peculiare SWENET è l'accesso e l'utilizzo indipendente a informazioni SWE e strumenti di previsione. Esso fornisce informazioni tempestive e accurate riguardanti l'ambiente spaziale, in parti-

colare per quanto riguarda i rischi per le infrastrutture in orbita e al suolo. Essa è limitata dal limitato numero di nodi della rete sorgenti di dati.

- **National Oceanic and Atmospheric Administration – Space Weather Prediction Center (NOOA-SWPC)**: lo SWPC del NOAA è il fornitore primario di servizi SWE negli Stati Uniti. Il SWPC raccoglie dati, sia spaziali e terrestri, da una varietà di fonti per fornire le previsioni, osservazioni, allerte, avvisi e riepiloghi così come i prodotti SWE operativi per utenti civili e commerciali. Le fonti primarie di informazioni su attività solare, condizioni di vento solare, ed ambiente geospaziale sono il NASA Advanced Composition Explorer (ACE), i satelliti GOES e POES del NOAA, i magnetometri e le reti di osservazione solare della US Air Force. Fonti secondarie includono SOHO, STEREO e SDO, nonché una serie di altre strutture a terra. Attualmente, lo SWPC del NOAA può fare previsioni di probabilità di eventi SWE con vari gradi di successo. Ad esempio, lo SWPC può, con moderata confidenza, prevedere la probabilità di occorrenza di una tempesta geomagnetica o fi una una flare di classe X con un anticipo cha va da 1 a 3 giorni, mentre la capacità di fornire previsioni di disturbi ionosferici a breve termine o lungo termine è scarsa.
- **US Air Force Meteo Agency (USAF-AFWA):** il AFWA risponde alle esigenze della comunità degli utenti militari. Essi forniscono analisi di missione dedicate, previsioni e avvisi, utilizzate per la pianificazione di missioni e consapevolezza dello stato ambientale per le agenzie statunitensi, operatori del Dipartimento della Difesa, reparti di combattimento e decision makers.
- **National Agency for Space Administration (NASA)**. La NASA è il terzo elemento principale nelle infrastruttura SWE statunitense. Anche se il ruolo della NASA è scientifico e non operativo, missioni scientifiche della NASA come ACE forniscono informazioni SWE critiche, il programma NASA "Living with a star" si pone come obbiettivi ricerche e tecnologie rilevanti per le operazioni. Prodotti che sono candidati per l'eventuale trasferimento dalla ricerca alle operazioni includono la tecnologia dei sensori e modelli SWE che possono essere mutati in strumenti operativi per la previsione e la definizione dello stato attuale dell'ambiente SWE.

SOLARMONITOR

È un sistema web di monitoraggio solare, gestito e sviluppato da un team di ricercatori del Trinity College di Dublino. Essa raccoglie i dati da tutti i recenti satelliti di osservazione solare e contiene informazioni elaborate in tempo (quasi) reale od archiviate sulle regioni attive e l'attività solare. Anche se, fisicamente con sede in UE, il Database è composto principalmente da dati satellitari degli Stati Uniti, con l'eccezione dei vecchi dati di SOHO e della recente aggiunta delle immagini UV SWAP-PROBA2 (2010).

Va osservato che in Italia è da lungo tempo attiva una numerosa comunità scientifica operante in ambito Space Weather, riunitasi di recente nell'associazione SWICO (Space Weather Italian Community).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 8

TECNOLOGIE PER ANTENNE A BORDO DI SATELLITI

DESCRIZIONE

Le antenne a bordo di satelliti si diversificano in quattro aree: telecomunicazioni a larga banda; osservazione della Terra; navigazione e conoscenza (primariamente esplorazione del sistema solare, orbite aperte).

Le antenne di telecomunicazione abbracciano un vasto spettro di frequenze, dalla banda L fino alla banda Ka ed oltre (banda Q/V) diversificandosi in numerose configurazioni; a riflettore, ad array diretto (planare o conforme) e ad apertura ed infine in configurazioni attive o semi attive ed utilizzanti diversi domini tecnologici trasversali alle diverse applicazioni (tecnologie in composito per riflettori solidi o grigliati, meccanismi ad alta fatica e risoluzione per il puntamento fine, architetture per grandi antenne a rete dispiegabili in volo, catene a radiofrequenza ad elevate prestazioni di potenza e purezza di polarizzazione, tecnologie stampate per *array* a *patches*, reti integrate in composito multistrato, elementi radianti filtrati e compatti per l'integrazione in array attivi ecc.).

Le antenne dispiegabili in volo (sui pannelli laterali del satellite) sono tipicamente in banda L/S per i servizi di Digital Audio Broadcast e Mobile Satellite Services, in banda C per i servizi FSS e in banda Ku/Ka (shaped, multibeam o multimode per servizi FSS, DBS e multimedia). Le antenne sono a riflettore solido in fibra di carbonio (classe 2-5 m) o a mesh (unfurlable, classe 6-12m). Le tecnologie più usate e sulle quali sviluppi specifici verranno concentrati sono Thick shell, Thin shell, membrane triassiali, riflettori grigliati e riflettori dispiegabili alle quali si affiancano le tecnologie dei meccanismi di ritenzione e rilascio e dei sistemi di illuminazione a radiofrequenza. Nelle antenne a riflettore solido, si può prevedere nell'arco dei prossimi 3-5 anni un notevole impegno nello sviluppo delle tecnologie per i riflettori leggeri per applicazioni TLC in banda C/Ku ed S e di sistemi di illuminazione ottimizzati per le alte potenze, bassi livelli di intermodulazione, basse perdite e pesi.

Le antenne fisse da top floor investono tipicamente gli spettri di frequenza nelle bande X, Ku, Ka e Q. Le antenne sono a riflettore solido in fibra di carbonio (classe 0.6-2 m) e le tecnologie più usate sono quelle del Thick shell, Thin shell, membrane triassiali con sandwiwch di honeycomb) e superfici selettive in frequenza. Anche per i riflettori dispiegabili solidi si affiancano le tecnologie dei meccanismi e dei sistemi di illuminazione.

Le antenne ripuntabili a fascio fisso o variabile, tipicamente per le comunicazioni in banda X, Ku o Ka, consentono di aumentare la flessibilità dei payload di comunicazione. I prodotti più in uso sono antenne a singolo o doppio riflettore con movimentazione su due/tre assi e ripuntamento del fascio tramite steering meccanico del solo riflettore principale o di tutta l'antenna. Le antenne a tre assi offrono una flessibilità in più in quanto consentono, oltre allo steering, la rotazione di un

fascio ellittico, permettendo di aumentare la riconfigurabilità di copertura. L'esigenza di aumentare la flessibilità dei sistemi di comunicazione porta ad una evoluzione verso la movimentazione a quattro assi, permettendo di realizzare anche la funzione di zoom (fascio ellittico allargato e/o circolare). Nel medio-lungo termine l'evoluzione è verso antenne a riflettore alimentate da schiere di illuminatori con amplificazione distribuita allo scopo di disporre di ulteriore flessibilità nel payload (riconfigurabilità di coperture, potenza disponibile per singolo canale per beam).
Le antenne ad array diretto passivo sono usate a frequenze relativamente basse (UHF/L/S) fino alla banda X. A frequenze più alte sono primariamente usate come board radianti di antenne attive. Alla tecnologia degli array dispiegabili si affiancano le tecnologie dei meccanismi, tipicamente ADM (Antenna Deployment Mechanism) e HRM (Holdown e Release Mechanism). Si possono prevedere nel medio termine ricerche nel campo dei materiali e processi per realizzare board radianti di antenne attive a bassissime perdite e compatibili con integrazione di reti formatrici di fascio passive a doppia polarizzazione in tecnologia "suspended " fino all'interfaccia dell'elemento attivo.
Le antenne attive per applicazioni TLC satellitari abbracciano una vasta gamma di configurazioni; multi fascio riceventi con capacità anti disturbo, trasmittenti e riceventi ed antenne multifascio ripuntabile elettronicamente, a riflettore con schiere di illuminatori ad amplificazione distribuita e front end integrati ed infine phased array in banda Ku e Ka per terminali di comunicazione.
Gli sviluppi recenti nelle antenne per l'osservazione della Terra si sono concentrati nelle antenne attive ad array diretto e pannelli dispiegabili allocati sui pannelli laterali del satellite o su riflettori dispiegabili alimentati con feed array attivi, in entrambe i casi per applicazioni di tipo RADAR ad apertura sintetica (SAR).

I phased array diretti, hanno amplificazione distribuita con centinaia di moduli T/R, in singola e/o doppia polarizzazione, e realizzano un fascio Tx/Rx a scansione elettronica in uno o entrambi i piani principali d'apertura (along track e cross track direction).
Nel breve-medio termine sono previste evoluzioni rivolte alla riduzione della massa complessiva, alla riduzione dei costi, con configurazioni di antenna ancora più integrate rispetto alle attuali attraverso lo sviluppo di moduli T/R con un numero ridotto di dispositivi e al miglioramento dell'efficienza complessiva dell'antenna (efficienza degli amplificatori, del sistema di alimentazione). In questa classe rientrano le tecnologie abilitanti relative ai moduli T/R a larghissima banda, elevata potenza (> 16w per modulo) ed alta efficienza (>35%) necessari a realizzare delle mattonelle radianti con elevata capacità di scansione (+/-30°) ed elevata densità di potenza (> 2000w/m^2).
Nel medio–lungo termine si prevede un aumento della flessibilità dell'antenna tramite l'utilizzo contemporaneo di più fasci e forme d'onda. Questo richiede la realizzazione di tecniche di "digital beam forming" (DBF) sia in ricezione che in trasmissione. Le tecniche di DBF prevedono sostanzialmente la riduzione del "front-end" analogico al solo modulo T/R (HPA e LNA) spostando tutta le funzioni relative alla equalizzazione e calibrazione dei canali e alla formazione (anche adattiva) del fascio in un back-end digitale. L'utilizzo delle tecniche di DBF richiede lo sviluppo di tecnologie abilitanti quali: la conversione A/D e D/A a larga banda e a bassi consumi; lo sviluppo di nodi di calcolo (processori di canale e di RADAR) ad alta velocità e basso consumo; bus e protocolli per trasferimento dati ad elevata capacità.
Per le grandi antenne a riflettore fino a 5/6 m di diametro, si dovrà investire nelle tecniche di di-

spiegamento con lo sviluppo di meccanismi ad hoc e nelle tecnologie composite leggere ad alta rigidezza. Le configurazioni con riflettori unfurlable classe 9-15 m, adatte a SAR in banda P,L,S o C, prevedono avanzamenti tecnologici per ridurre la massa e migliorare l'accuratezza dimensionale della mesh, nonché sistemi meccanici / elettronici per il controllo accurato del puntamento.

Le antenne per la navigazione si basano sulla tecnologia delle antenne planari a patches con l'utilizzo di reti formatrici di fascio a bassa perdita. Si caratterizzano per l'alta stabilità di fase e del transit time durante la vita operativa ed il diagramma di radiazione realizzato è isoflusso per provvedere una intensità costante di densità di potenza a terra. Uno spillover sviluppato recentemente di tali configurazioni è rappresentato dalle antenne per la radio occultazione operanti su segnale GPS di satellite.

Antenne per la conoscenza: le antenne di telecomunicazione per l'esplorazione planetaria sono antenne a riflettore ad alto guadagno, operanti nella banda X e Ka in polarizzazione circolare doppia per problemi di ridondanza. Un sistema completo di antenne per missioni scientifiche prevede oltre all'antenna ad alto guadagno per la trasmissione dati con la terra, una o più antenne a medio guadagno, ripuntabili meccanicamente o elettronicamente, per il collegamento con sonde dedicate calate su lune locali del pianeta. I requisiti principali per antenne scientifiche sono fortemente dipendenti dalla missione. In generale la configurazione e la tecnologia dell'antenna deve tener conto delle condizioni operative durante il viaggio e sul pianeta (temperature, plasma..), nonché dei severi limiti di ingombro, di massa di potenza e dei carichi al lancio. È possibile che per missioni specifiche l'antenna debba essere multifunzione e multibanda. Tali antenne devono essere a bassissima massa (sotto i 2 Kg/m2) ed altissima stabilità dimensionale per rendere compatibile la larghezza di fascio con l'accuratezza di puntamento del satellite in orbita. Le antenne in banda Ka ad esempio sono molto sensibili anche a piccole deviazioni termoplastiche del riflettore in orbita.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'evoluzione dei sistemi satellitari nei diversi segmenti applicativi dalle telecomunicazioni all'osservazione della terra, dalla navigazione all'esplorazione planetaria rappresentano la motivazione principale per il mantenimento e lo sviluppo della capacità di concepire, progettare e produrre sistemi di antenna complessi che inferiscono direttamente nel servizio .

Le antenne per telecomunicazione a bordo di satelliti richiedono prestazioni e funzioni sempre più spinte sia in termini di efficienza, di riuso di frequenza e di apertura (purezza di polarizzazione) e non ultimo in termini di peso. Avendo inoltre il sistema antenna un forte impatto sull'intero sistema satellite, tutti i leader del settore mantengono una completa capacità tecnica produttiva e competitiva in questo campo. Per poter far fronte a tale competitività l'unica via è proporre soluzioni innovative con prestazioni sempre più spinte e che consentano di far fronte alla contrazione dei tempi di reazione richiesti dal mercato. Ciò è possibile solo se si possiedono elevate capacità progettuali, competenze e strumenti di progetto (HW e SW) all'avanguardia.

Nell'ambito dell'osservazione RADAR ad altissima risoluzione (i.e. SAR terza generazione) e' necessario garantire risoluzioni sub metriche attraverso segnali con bande molto larghe e tali da consentire un'ampia versatilità d'impiego (modi STRIPMAP, SPOTLIGHT). All'interno di questa clas-

se di sensori si devono distinguere i prodotti orientati all'altissima risoluzione per applicazioni di difesa/sicurezza in cui si massimizza la prestazione "risoluzione" privilegiando l'utilizzo dei modi SPOTLIGHT e STRIPMAP. Una seconda sottoclasse comprende quei sistemi, per applicazioni sicurezza, civile istituzionale, commerciale e scienza, orientati alla ottimizzazione della prestazione "swath/risoluzione" (es. maritime surveillance). In entrambe i casi la disponibilità di "sistemi antenna" avanzati risulta fondamentale per il mantenimento di un rapporto prestazioni/prezza tale da garantire la permanenza sul mercato del prodotto nazionale.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In Italia lo stato dell'arte è di livello molto elevato con ragguardevoli progressi sviluppati nell'ultimo triennio nel settore delle antenne riconfigurabili e delle antenna attive per sistemi SAR satellitari. Aziende USA e francesi sono attive in questo campo e possiedono tecnologie parimenti avanzate.

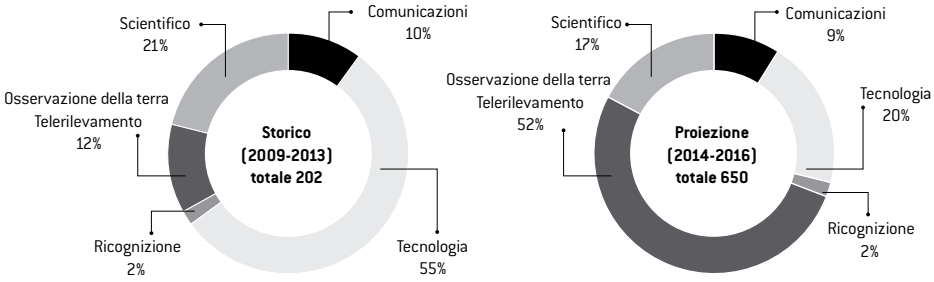
TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 9

TECNOLOGIE DI MINIATURIZZAZIONE EQUIPAGGIAMENTI PER MICROSATELLITI, PAYLOAD COMPATTI E RELATIVE APPLICAZIONI DI EMERGENZA

DESCRIZIONE

Negli ultimi anni i **micro** (10 kg < m < 100 kg) ed i **mini** (100 kg < m < 400 kg) satelliti sono diventati sempre più interessanti dal punto di vista industriale, grazie al loro minor costo di sviluppo, alle piccole dimensioni ed a tempi di realizzazione ridotti. Il settore dei micro e mini satelliti, da tempo monitorato anche attraverso studi di settore ed analisi di mercato, si prospetta in forte espansione, sia relativamente al numero di piattaforme che saranno lanciate fino al 2020, sia per l'incremento delle loro applicazioni in ambito commerciale.

Inoltre, mini e micro satelliti rappresentano uno strumento flessibile, con un gran ventaglio di applicazioni potenziali (dal monitoraggio della Terra per avere una risposta rapida in caso di improvvise crisi su varie scale geografiche – ad es. terremoti, inondazioni, stabilità morfologica, devastazioni da fattori multipli, incendi, ecc.- a veri e propri satelliti per Earth Observation, a formazioni di satelliti con payloads distribuiti per utilizzo scientifico, civile o militare).



FUTURI TRENDS DI APPLICAZIONE DI NANO E MICRO SATELLITI [SPACEWORKS]

L'impiego di una classe di satelliti medio piccola apre la strada alla possibilità di dispiegare un numero di risorse maggiore di quello utilizzato nei grandi sistemi attualmente esistenti (COSMO-SkyMed) o in via di realizzazione (COSMO Seconda Generazione, PRISMA) ottenendo così un drastico miglioramento della velocità di risposta nei casi di "crisi".
Il trade-off naturale che viene eseguito tra dimensioni dello spacecraft e sua funzionalità, a causa dei progressi tecnologici di **miniaturizzazione** e di **integrazione**, sta via via perdendo di significato. Sono già disponibili o in fase avanzata di sviluppo strumenti di osservazione a microonde per micro/mini satelliti e nano satelliti, architetture distribuite, **camere iperspettrali** a media risoluzione e ad infrarossi termici (per applicazioni e servizi in ambito di emergenze), sensori stellari

e di sole miniaturizzati (**sensori di assetto "on-chip"**), mini CMG, etc. Sono anche in via di definizione e sviluppo nuovi algoritmi e servizi per la gestione e l'analisi dei dati ottenuti dai nuovi sensori. Va infine considerata la grande potenzialità delle **costellazioni di piccoli satelliti**, per moltiplicare il tempo di rivisita, oppure per **frazionare il payload** su piattaforme diverse, ciascuna delle quali rimane in questo modo nell'inviluppo di massa della classe 'mini'.

Applicazioni del dato satellitare utili in casi di emergenza

Nella Fig. 122 sono riportate, divise per tipo di rischio, alcune applicazioni derivate dall'elaborazione di dati satellitari, acquisiti mediante sensori ottici e radar. Viene indicata, per ogni applicazione, la fase del ciclo di vita dell'emergenza (**Preparedness** – fase che precede l'emergenza, **Response** – ha inizio e conclusione corrispondente al verificarsi dell'emergenza, **Recovery** – ripristino della normalità, **Mitigation** – fase in cui si attuano le misure adeguate affinché l'emergenza non si verifichi nuovamente) e il **tempo di rivisita** utile. Si comprende come i sistemi satellitari debbano rispondere in maniera rapida alle emergenze e garantire una elevata frequenza temporale delle acquisizioni. Questa esigenza viene soddisfatta mediante la realizzazione di piccoli satelliti, in quanto a basso costo e facilmente organizzabili in **costellazioni**.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

In un tale contesto, i sistemi spaziali di **Osservazione della Terra** (OT) possono giocare un ruolo chiave, fornendo osservazioni sistematiche anche a grande scala. Il ruolo strategico dell'osservazione della Terra dallo spazio per il monitoraggio delle emergenze ambientali e come sistema di supporto alle decisioni è stato da tempo riconosciuto a livello mondiale.

Dal punto di vista dei sensori, il settore dell'osservazione della Terra è stato solo marginalmente interessato all'evoluzione tecnologica in corso sulla miniaturizzazione della sensoristica e sullo sviluppo di dispositivi meccatronici sempre più compatti e in grado di operare autonomamente per lunghi periodi di tempo.

Allo stesso tempo si osserva una pervasiva diffusione di dispositivi **MEMS**, motivata in gran parte dall'integrazione di sensori di movimento, luce e temperatura in smartphones e tablets, che rende il prezzo di questi dispositivi sempre più basso.

È anche pressoché giunta a maturazione la cosiddetta Internet delle cose, con il drastico abbassamento del prezzi dei transponder wireless (Wi-Fi in primis) e la conseguente facilità di distribuire le reti di sensori su scala geografica ampia con costi estremamente bassi.

È facile fare un confronto di prospettiva con quanto accaduto per i dati di localizzazione. L'abbassamento dei prezzi dei dispositivi GNSS ha permesso la loro integrazione nelle auto e la disponibilità di questa enorme massa di dati di geo-localizzazione permette di ricavare predizioni di traffico sempre più attendibili che vengono utilizzate per proporre servizi aggiuntivi agli utenti.

In modo simile la disponibilità di dati quali temperatura, umidità, irraggiamento solare può servire per iniziare a costruire modelli di correlazione sempre più efficaci, e predittivi, per la stima di parametri di interesse per l'agricoltura, l'ambiente e la protezione civile.

FIG. 122 – APPLICAZIONI DERIVATE DALL'ELABORAZIONE DI DATI SATELLITARI DIVISE PER TIPO DI RISCHIO.

RISCHIO	FASE DEL CICLO DI EMERGENZA	APPLICAZIONE	TEMPO DI RIVISITA
TERREMOTI	Response	Stima del danno ad infrastrutture ed edifici	due volte/giorno o più di frequente
	Response	Mappa aree danneggiate	due volte/giorno o più di frequente
	Preparedness/Responce	Stima movimento del suolo	due volte/giorno o più di frequente
	Mitigation	Mappe aree a rischio sismico	annuale/mensile
VULCANI	Preparedness/Response	Emissione di gas (altezza estensione e volume)	3 – 6 ore
	Preparedness/Responce	Temperatura del Cratere	3 – 6 ore
	Response	Emissione di Lava	3 – 6 ore
INONDAZIONI/ALLUVIONI	Response	Stima del danno ad infrastrutture ed edifici	due volte/giorno o più di frequente
	Response	Estensione e localizzazione dell'area alluvionata	due volte/giorno o più di frequente
	Response	Rilevamento rapido dell'area alluvionata	due volte/giorno o più di frequente
FRANE	Response	Stima del danno ad infrastrutture ed edifici	due volte/giorno o più di frequente
	Response	Estensione e localizzazione dell'area danneggiata	due volte/giorno o più di frequente
	Mitigation/Preparedness/ Response	Mappe di rischio (es. deforestazione, erosione del suolo	annuale/mensile
FUOCHI	Response	Mappe aree bruciate	due volte/giorno o più di frequente
	Preparedness	Rilevamento fuochi	5 – 15 min
	Mitigation / Preparedness	Monitoraggio della vegetazione, mappe aree rischio incendio	24 ore
RISCHIO INDUSTRIALE (Terra)	Response	Identificazione area inquinata ed estensione	due volte/giorno o più di frequente
	Response/Recovery	Stress ambientale	1 volta/settimana
RISCHIO INDUSTRIALE (Mare)	Preparedness	Identificazione area inquinata ed estensione	due volte/giorno o più di frequente
	Recovery	Valutazione impatto (Qualità delle acque)	2 volte/settimana

Per fare questo è necessario poter archiviare l'informazione dei sensori; normalizzare i dati degli stessi per tenere conto delle variabilità di costruzione, errori di misura, ecc.; indicizzare i dati dei sensori per poterli recuperare su base geografica, temporale, tipologia ecc.; sviluppare sistemi di analisi multi-dimensionali sempre più efficaci e, non da ultimo, integrare il tutto con i dati di osservazione della Terra.

È altresì necessario, particolarmente per un Paese come l'Italia, sviluppare nuovi sensori in grado di meglio "misurare" la variabilità e le specificità dei nostri territori; il primo settore da considerare è la **integrazione tra satellite e piattaforme UAV** e sensori in-situ "compatibili". La spettroscopia ad alta risoluzione spettrale, ad esempio, è uno dei settori meno esplorati, ma non per questo meno promettenti. In Italia sono presenti delle eccellenze sia industriali (Selex ES) che scientifiche che stanno portando, per esempio, alla realizzazione (lancio previsto: 2017) della missione iperspettrale PRISMA e all'uso dei suoi prodotti.
Sarà necessario sviluppare tecniche di elaborazione in tempo reale sempre più veloci e sofisticate e sarà necessario poter sincronizzare, in modo pressoché automatico, i voli di dispositivi di tipo UAV con le acquisizioni satellitari. Ugualmente si dovranno sviluppare tecniche di archiviazione e trattamento dei dati acquisiti da sensori MEMS posti su centraline fisse e su dispositivi UAV. Tali dati non saranno necessariamente omogenei per qualità (grado dei sensori, geo-localizzazione, tarature e invecchiamento) e sarà quindi necessario sviluppare algoritmi di armonizzazione totalmente nuovi.
Le ragioni che spingono con urgenza ad uno sviluppo nel dominio dei micro e mini satelliti sono essenzialmente 5:

- dispiegare un sistema basato su una rete di micro/mini satelliti capace di soddisfare i requisiti di massima agilità ed immediata responsività in caso di improvvise crisi localizzate in particolari aree geografiche (crisi sia ti tipo ambientali che politico/militari);
- avere dei costi di mantenimento ed aggiornamento ridotti senza per questo pagare in degrado di performance;
- stimolare la collaborazione di cooperazione tra centri di ricerca ed industria italiana in modo da rimanere competitivi nel dominio della tecnologia avanzata;
- possibilità di utilizzare sistemi di lancio da piattaforme aeree, con riduzione dei costi rispetto ai più tradizionali lanciatori;
- esser pronti e reattivi di fronte alle esigenze del mercato in vista dell'ingresso di nuovi attori/clienti del calibro di Google, Amazon, Facebook ed Apple.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Per capire quanto sia importante tentare di tenere il passo con il resto del mondo, basta osservare che la NASA dedica un report (NASA/TP-2014-216648/ Small Spacecraft Technology State Of The Art, che viene aggiornato di continuo) in cui descrive le tecnologie abilitanti per i piccoli satelliti (per la NASA con massa da 1 kg a 500 kg) per ognuno dei seguenti domini: satellite, potenza, propulsione, controllo di assetto, struttura, materiali e meccanismi, controllo termico, TMTC e data handling, comunicazioni, integrazione, lancio e deployment, segmento di ground e operations.
La miniaturizzazione (vedi MEMS) ed i processi e le tecniche di integrazione hanno fatto passi da gigante negli ultimi anni. L'avvento delle università nel mondo dei nano e pico satelliti ha poi fatto si che, accanto alla integrazione di mini satelliti con qualità e procedure di test paragonabili a quelle di grandi satelliti, si siano anche realizzati satelliti integrati direttamente nei laboratori universitari ed utilizzando **componentistica commerciale** *off the shelf*, talvolta anche non quali-

ficata spazio. In Italia varie Università (Bologna, Roma, Politecnico di Torino) hanno acquisito una notevole esperienza con nano/pico satelliti, anche se i dati sul rateo di successo di questi satelliti non sono disponibili da fonti ufficiali. L'esperienza industriale si limita invece ai mini satelliti **MITA** (anno di lancio 2000) ed **AGILE** (anno di lancio 2007) della allora Carlo Gavazzi Space ed a 2 micro satelliti della **MegSat** (anni di lancio 1999 e 2000).

In Thales Alenia Space Italia sono in via di sviluppo da qualche anno due versioni di piattaforma specializzata per mini/micro satelliti, **NIMBUS-S** per spacecrafts sino a 150 kg, e **NIMBUS-H** per spacecrafts sino a 350 kg. In parallelo si stanno sviluppando mini-CMG e schede integrate, oltre che a sensori e attuatori dedicati esclusivamente a mini e micro satelliti. Si stanno poi implementando (HW e SW) schede multiprocessore di ultima generazione (qualificata spazio) per affrontare le tematiche di capacità di calcolo distribuite (su singolo satellite).

All'estero oltre alle università sono assai attive anche le industrie (ad es. Aerospace and Defence con mini satelliti per utilizzo militare – gli Essaim ed altri -, OHB con i mini satelliti Orbcomm per comunicazioni, SSTL con mini satelliti per Earth Observation, etc.).

La disponibilità di power per i piccoli satelliti non è un problema, grazie alle celle solari a tripla giunzione e con basso peso specifico (circa 85 mg/cm^2), ed alle batterie a ioni di litio con performance di circa 200 W*hr/kg. In questo dominio l'Italia è ben posizionata rispetto al resto d'Europa ed agli Stati Uniti.

La propulsione dedicata ai mini satelliti è un settore in rapida espansione, anche se forse quello meno maturo. Si va dai thrusters a gas a quelli al plasma, dalla propulsione chimica basata sui green propellant a quella elettrica (varie tipologie). C'è infine la propulsione con thrusters colloidali, che è però al momento dominio esclusivo degli Stati Uniti; è in sviluppo anche un sistema di propulsione specifico per micro satelliti basata su acqua (Tethers Unlimited). In Europa ci sono vari costruttori specializzati sia nella propulsione chimica che in quella elettrica. In Italia ci sono solide competenze per quanto riguarda la propulsione chimica e la propulsione a gas freddo (cold gas). Per quanto riguarda la propulsione elettrica, inoltre, l'Italia vanta una posizione di leadership per tutte le possibili varianti (incluso i FEEPs), avendo sviluppato tutti gli equipaggiamenti necessari: motori, scatole di gestione e controllo della potenza e componenti fluidici, ma anche camere di prova e diagnostica.

I **sensori** e gli **attuatori** per il controllo di assetto di micro e mini satelliti stanno beneficiando dei progressi tecnologici in termini di processi e materiali, che hanno permesso la miniaturizzazione e l'integrazione di più sensori e la disponibilità di nuovi dispositivi per l'imaging, di maggior potenza di calcolo, e di algoritmi innovativi. Si pensi che su nano satelliti della classe **CubeSat** gli Star Tracker hanno errori inferiori ai 2°, mentre per micro e mini satelliti si parla di 0.1°. In Italia ci sono competenze specifiche sia per i sensori che per gli attuatori, e ci sono studi avanzati per sensori e attuatori ad alta performance. In Europa e nel resto del mondo ci sono sviluppi tecnologicamente molto innovativi.

Una tecnologia fortemente innovativa su cui il mondo industriale e della ricerca americano, coinvolto nella progettazione e realizzazione degli "small satellites", sta investendo, è rappresentata dall'Additive Layer Manufacturing (ALM). Questa tecnica di fabbricazione offre due principali vantaggi: il significativo abbassamento dei costi di produzione derivante dall'assenza di attrezzi

e stampi, dalla completa automazione del processo, e la possibilità di integrare, all'interno della struttura (metallica o termoplastica) sensori e/o componenti direttamente durante la fase di realizzazione, riducendo dunque anche notevolmente i tempi di lavorazione. Un'ulteriore estensione applicativa di tale tecnologia ricade nello sviluppo di microsistemi propulsivi. NASA Glenn Research Center e Northrop Grumman hanno recentemente avviato studi congiunti sull'integrazione di sistemi micro-propulsivi all'interno di strutture small satellite realizzate in 3D printing.
Per quanto riguarda gli strumenti, il discorso è complesso visto il numero di attori presenti sul mercato internazionale.
Esistono infatti molti **payload** di taglia idonea per micro satelliti anche se la maggior parte sono stati sviluppati per missioni internazionali di tipo planetario (es: missioni Cassini e Rosetta) dove, per il fatto stesso che le sonde trasportano usualmente un numero significativo di strumenti, lo spazio e massa allocabili ad ognuno è sempre piuttosto ridotto.
Un esempio è costituito dallo strumento **SIMBIO-SYS**, sviluppato dall'industria italiana (Selex ES) in collaborazione con team di scienziati italiani, che farà parte del payload per la Missione Bepi Colombo verso il Pianeta Mercurio. La testa ottica, che pesa solo 11.5 kg, integra tre differenti strumenti: una camera (HRIC) ad alta risoluzione, uno spettrometro (VIHI) e una stereo camera (STC). Questo strumento, pur avendo le prestazioni richieste per una missione planetaria, può essere ancora migliorato per poter essere dedicato con efficacia all'osservazione della Terra, in ragione della diversa quota orbitale dalle aree osservate. L'adattamento di questo specifico strumento dall'osservazione planetaria a quella terrestre è realizzabile anche per altre classi di strumenti.

Per ottenere buone prestazioni con piccole dimensioni bisogna progettare con criteri ad hoc, eliminando ad esempio le classiche ridondanze della strumentazione spaziale e utilizzando tecnologie innovative e allo stato dell'arte.
Esempi di queste tecnologie sono gli "**spettrometri-on-a-chip**" realizzati integrando direttamente filtri ottici con rivelatori elettronici (tecnologia su cui anche in Italia si sta conducendo ricerca di punta) o l'uso di ottiche a specchi direttamente lavorate con tecniche a controllo numerico su meccaniche ultraleggere in alluminio o materiali simili. Per l'elettronica esistono già strumenti (es: HIPPS della NASA per missione PLUTO EXPRESS) che incorporano microprocessori direttamente nelle pareti dello strumento, eliminando dunque le schede elettroniche convenzionali.
La diffusione su scala mondiale delle piattaforme satellitari per acquisire, gestire e trasmettere immagini e dati sempre più fitti e voluminosi spinge verso lo sviluppo di **Digital Signal Processor** (DSP) di nuova generazione, in grado di svincolare il sistema orbitale che lo integra dagli attuali limiti operativi, dettati essenzialmente dalle contenute dimensioni, masse e consumi energetici. Il superamento di questi limiti attuali costituisce l'imprescindibile passo in avanti per la creazione di un sistema di monitoraggio integrato, con altre piattaforme (per es. aeronautiche tipo UAV) ed il segmento di terra, capace di collezionare e mettere a disposizione dell'utente finale le misure ed i rilevamenti effettuati con la frequenza e la risoluzione richieste.
L'integrazione con sensori in situ è da sempre un aspetto cruciale per garantire un uso efficace dei dati di osservazione della Terra.
In questo ambito relativamente poco è stato fatto su base sistematica, se si escludono i grossi

programmi di osservazione dei cambiamenti climatici (oceani e atmosfera) ed altre sporadiche applicazioni di nicchia su base locale (ad esempio i vigneti in zone di particolare pregio e vocazione). Manca un coerente programma per l'utilizzo integrato delle informazioni satellitari e dei dati misurati dai sensori ambientali.

"Space Segment" ed emergenze

Il panorama che lo "space segment" oggi offre è particolarmente ricco, con missioni satellitari in orbita polare e geostazionaria, con sensori attivi e passivi operanti sull'intero intervallo spettrale della **banda ottica** (dal UV all'IR lontano) e nelle **microonde** (in bande X/C/L).

Per quanto riguarda lo scenario internazionale, l'International Charter (IC) "Space and Major disasters" (http://www.disasterscharter.org/web/charter/home) è un'iniziativa sovra-nazionale, nata nel 2000, che vede ad oggi coinvolte tutte le maggiori agenzie spaziali mondiali, insieme ai principali attori industriali che gestiscono dati e missioni satellitari, nel fornire, a richiesta, dati ed immagini satellitari in seguito ad un evento naturale estremo o ad un'emergenza ambientale. Pur trattandosi di un servizio "a chiamata", le attivazioni sono andate sempre aumentando (attualmente il dato medio dell'ultimo quinquennio si è stabilizzato su un valore di circa 40 attivazioni/anno), a dimostrazione della sempre maggiore attenzione che gli utenti ed i decisori, preposti alla gestione delle emergenze, rivolgono al dato spaziale. Le richieste di attivazione dell'IC hanno riguardato praticamente tutti i principali rischi naturali, ambientali e tecnologici, con una prevalenza per, in ordine per numero di attivazioni, le alluvioni, i terremoti, gli incendi e le eruzioni vulcaniche.

Per quanto riguarda il contesto Europeo l'Emergency Management è da sempre stato un settore sul quale i programmi europei si sono focalizzati e concretizzati anche attraverso l'investimento massiccio di ingenti risorse. Nell'ambito del programma **GMES** (Global Monitoring for Environment and Security) la tematica della gestione delle emergenze ha assunto da subito un ruolo cruciale, tanto da rientrare tra i primi Fast Track services previsti e finanziati dal programma. Con il passaggio da GMES a **GIO** (Gmes Initial Operations) e quindi all'attuale fase operativa prevista con **Copernicus**, l'Emergency Management Service (EMS, emergency.copernicus.eu) è sicuramente uno, tra i sei servizi Core previsti dal programma, di quelli che si trovano già oggi in un'avanzata fase di maturità e che si avvia a diventare pienamente operativo nel prossimo settennio (sviluppo completo del programma Copernicus). Il GIO EMS attualmente fornisce i propri prodotti a richiesta, ed opera in due diverse configurazioni principali, in rush mode e non-rush mode, a seconda della urgenza richiesta dall'utente che attiva il servizio. Dal 2012 ad oggi, il servizio ha fornito prodotti e mappe OT in seguito a circa 100 richieste di attivazioni in totale, relative principalmente a richieste di supporto in seguito a calamità naturali di tipo idro-meteorologico, ad inondazioni e ad incendi (www.emergency.copernicus.eu).

Inoltre, la messa a disposizione d'informazioni aggiornate e frequenti sulla copertura del suolo e sull'uso del suolo (Land Cover / Land Use – mappa degli esposti) è sempre più importante non solo per la ricerca, ma anche per il monitoraggio dei cambiamenti ambientali, che avvengono sempre più repentinamente e con conseguenze poco prevedibili al momento, e per la creazione di indicatori ambientali a sostegno delle politiche correlate. A livello europeo, con la **CORINE Land**

Cover (CLC), tutta una serie d'informazioni relative alla land-use/land-cover esiste dal 1990 (con aggiornamenti nel 2000 e nel 2006). Nel contesto di Copernicus, la European Environment Agency (EEA) sta attualmente implementando le componenti pan-europee e locali delle GMES/GIO land che includono la mappatura dei 5 layers ad alta risoluzione (HRL) e le caratteristiche della copertura del suolo. Gli HRLs sono parte di un trend volto all'ottenimento di prodotti LU / LC a maggiore risoluzione spaziale e temporale. Questo trend sarà in parte reso possibile dalla nuova disponibilità di dati EO, ed in particolare con la prossima (lancio previsto nel 2015) disponibilità dei dati di Sentinel-2.

Sia nel caso dell'IC che del GIO EMS si tratta, però, di servizi sempre attivati ma non veramente guidati dagli utenti; essi cioè forniscono prodotti, immagini e mappe rilevanti, ottenibili con le tecnologie ad oggi disponibili che sono però state progettate e sviluppate senza un vero coinvolgimento della cosiddetta "user community". Per questo motivo le missioni attualmente operative non sempre soddisfano i requisiti specifici, spesso molto stringenti, che gli utenti pongono quando si tratta di prendere, in tempi rapidi, decisioni che implicano conseguenze rilevanti sulla sicurezza dei cittadini e sulla salvaguardia dell'ambiente.

L'insufficiente coinvolgimento degli utenti finali nella progettazione e programmazione dell'EO Space system ha peraltro fortemente limitato, insieme alle politiche di accesso ai dati (spesso troppo complesse e poco sostenibili), la domanda di tecnologie spaziali da parte degli utenti istituzionali preposti al controllo ed alla gestione del territorio. Il ricorso ai dati ed ai prodotti satellitari da parte dell'utenza pubblica risulta pertanto ancora troppo disomogeneo, discontinuo e non strutturato, rendendo di fatto tali tecnologie ancora largamente sotto-utilizzate (anche rispetto agli investimenti significativi che la CE ha sostenuto nell'ultimo decennio). Questa circostanza è peraltro riconosciuta implicitamente anche dalla Commissione Europea che con il nuovo programma di ricerca ed Innovazione **Horizon 2020** prevede di apportare alcune azioni correttive, ad esempio attraverso lo "sviluppo di sistemi di osservazione e informazione ambientale ampi e sostenuti" che dovrebbero garantire "la fornitura dei dati e delle informazioni a lungo termine" attraverso la promozione di "un accesso libero, aperto e privo di restrizioni a dati e informazioni interoperabili" in particolare per quanto riguarda le "tecnologie e le infrastrutture di dati relative all'osservazione e alla sorveglianza della Terra in grado di fornire costantemente informazioni, stime e proiezioni tempestive e dettagliate" (EC, 2011). Inoltre il programma Horizon 2020 prevede esplicitamente di "Rafforzare la capacità unitaria di gestione delle catastrofi naturali o causate dall'uomo, rafforzando il monitoraggio delle infrastrutture e lo sviluppo di un'allerta precoce globale a impostazione multi-rischio nonché lo sviluppo di sistemi informativi di gestione del rischio, avvalendosi dei quadri di osservazione della Terra via satellite".

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 10

TECNOLOGIE PER RADAR DA OSSERVAZIONE DELLA TERRA

DESCRIZIONE

L'osservazione del pianeta attraverso sensori radar satellitari ha avuto uno sviluppo importante negli ultimi decenni con un ruolo significativo dell'industria italiana. Radar ad **apertura sintetica** basati su **antenne attive** costituiscono la tecnologia chiave per tutte le possibili applicazioni, sia civili che *dual-use*, di telerilevamento con una pluralità di tipologie di sensori che possiamo raggruppare in alcune categorie principali:

- SR ad altissima risoluzione
- SAR per utenti commerciali a risoluzione medio-alta (SARCOM)
- SAR di peso, consumo e dimensioni ridotte (mini-SAR)
- SAR GEO per applicazioni interferometriche ad altissimo tempo di rivisita
- Ka RADAR per Space Surveillance, meteorologia e supporto al controllo e guida di moduli d'atterraggio interplanetario
- Tecniche di processamento per Moving target
- Tecniche di data fusion tra dati SAR multi-banda e con dati ottici VHR
- Tecniche di riconoscimento automatico dei target su immagini SAR (ATR – Automatic Target Recognition)
- Transponder SAR attivi per monitoraggio accurato della stabilità degli edifici e delle infrastrutture
- Tecnologie GaAs/GaN

SAR di immagine ad altissima risoluzione

SAR di immagine ad altissima risoluzione sono in grado di garantire **risoluzioni sub metriche** attraverso l'impiego di bande molto elevate, consentono un'ampia versatilità d'impiego (modi Strip, Spot e Scansar, multiple aperture in ricezione, polarimetria ed eventuale immunità ai disturbi attraverso funzionalità ECCM), alta efficienza, possibilità di riconfigurare lo strumento in volo ed eventuale elaborazione di bordo. All'interno di questa classe di sensori trovano posto i **multibeam-SAR**. caratterizzati dalla capacità di gestione separata di differenti aree della medesima antenna andando a realizzare la contemporanea presenza di più fasci di antenna. Puntabili su aree di superficie differenti. Propria caratteristica della categoria è quella di analizzare il segnale eco su differenti bande di ricezione (multi-banda), "semplificando" la gestione di segnali a larga banda.

I sistemi fanno uso di antenne planari **"phased array"**, che permettano l'implementazione di un

elevato numero di beam, **"digital beam forming"**, riconfigurazione dei fasci in volo e la partizione dell'antenna per l'impiego di modi speciali. La realizzabilità di questo tipo di sistemi è subordinata alla disponibilità di nuove tecnologie abilitanti qualificate per lo spazio. Ad esempio, la gestione separata di più fasci e/o di più partizioni di antenna porta a dover progettare sistemi multi-canale e a dover elaborare grosse moli di dati a bordo, con ovvie ricadute in termini di miniaturizzazione di trasmettitori e ricevitori, e con implicazioni molto sfidanti per le architetture delle unità digitali e per le prestazioni richieste ai nodi di calcolo. In tal senso va anche l'approfondimento necessario per l'investigazione della fattibilità di matrici di switch a MEMS per la gestione in ricezione di canali paralleli multi banda Necessario inoltre affrontare il tema della banda larga o larghissima sia a livello di moduli T/R delle antenne attive sia a livello di Front End RF (trasmettitore/ricevitore). Non ultimo è necessario concludere i processi in corso per la qualifica di moduli TR ed LNA in tecnologia GaN a bassa figura di rumore.

SARCOM

Sono sistemi SAR in grado di soddisfare le richieste di un settore mediano del mercato (1-5 m risoluzione @ 20–30 km swath width) con l'obiettivo di sviluppare sistemi in grado di garantire alte prestazioni, buona versatilità ma **contenendo costi, pesi, ingombri e consumi**. Caratteristica principale dello strumento è la capacità di essere competitivo sul mercato, garantendo compatibilità su lanciatori medio-piccoli ed un costo accessibile a varie tipologie di clienti e con tempi di sviluppo brevi. La filosofia progettuale si basa sull'utilizzo di tecnologie che permettano riduzione della complessità dello strumento.

Mini/Micro-SAR

Sono radar di immagine la cui caratteristica precipua è quella di avere dimensioni, consumi e pesi "light". Tale caratteristica li rende elemento principale delle tecniche di acquisizione basate su osservazioni multi-statiche, ovvero su **piattaforme "mini"** ad assetto di formazione od anche a sciame. La realizzazione in banda elevata (X, Ku, Ka) ne costituisce l'elemento caratterizzante assieme all'utilizzo di antenne del tipo a riflettore .

SAR GEO

In questa specifica tecnica il movimento necessario ad assicurare l'apertura sintetica e quindi la formazione di un'immagine 2D è assicurato dall'eccentricità intrinseca dell'orbita GEO, con il beneficio di tempi di persistenza sull'area osservata teoricamente infiniti e conseguente **tempo di rivista molto alto**. La sfida tecnologica in quest'area risiede nella richiesta di potenza trasmessa più alta che nei casi LEO e conseguentemente nello sviluppo e qualifica degli stadi di potenza (TWT, EIK, pulsati) e di grandi antenne in materiali leggeri.

Ka RADAR

La banda Ka in applicazioni anche non-imaging (come la detezione di DEBRIS a **scopo SST/SSA**) offre il grande vantaggio di consentire la riduzione di masse e volumi e quindi l'integrazione su satelliti mini/micro anche in orbita bassa (< 400 Km). Inoltre tale banda apre la possibilità a mis-

sioni interferometriche di singolo passaggio poiché in questo caso è richiesta una baseline interferometrica compatibile con un dispiegamento sul singolo satellite. In questi contesti è opportuno investigare architetture FMCW.

Moving Target

Il riconoscimento e l'analisi dei target in movimento è un passo fondamentale nelle analisi di Image Intelligence (IMINT). La possibilità di implementare questa tecnica risiede nella realizzazione di sistemi a multipla acquisizione (costellazioni o missioni tandem) accompagnate da tecniche di post-processing dedicate. Le tecnologie applicabili vanno dalla Quadratic Phase Compensation (essenzialmente un ri-processamento SAR "dedicato" agli oggetti in movimento fino all'utilizzo di tecniche Inverse-SAR (ISAR) applicate a dati acquisiti con un sistema SAR.

Data Fusion

La disponibilità di missioni satellitari SAR in diverse bande (X, C ed L) nonché di sensori imaging aerei in banda P apre il campo all'analisi combinata multi-banda, che permette lo sfruttamento delle diverse caratteristiche di interazione tra la radiazione ed i target (penetrazione chiome di alberi, differenti tipi di scattering€.); inoltre per le applicazioni di IMINT è di grande importanza l'utilizzo di dati Ottici VHR come riferimento base per il riconoscimento dei target, da associare all'analisi dinamica (attività) realizzata con i dati SAR.

ATR

La complessità dell'interazione tra segnale radar e bersagli umani complessi richiede lo sviluppo di metodologie di modellizzazione e simulazione necessarie per l'implementazione di procedure automatiche di riconoscimento dei target nelle immagini radar.

Active Transponder

Uno dei campi più proficui delle applicazioni SAR è quello della misura delle deformazione del terreno e delle infrastrutture attraverso la tecnica dell'interferometria. Lo sviluppo e la sperimentazione di transponder compatti (CAT) a basso costo costituisce un passo verso una maggior affidabilità ed accuratezza delle misure nei casi di monitoraggio della stabilità degli edifici e delle infrastrutture: Vi sono inoltre ulteriori opportunità di sviluppo nel campo della Difesa, attraverso ulteriori sviluppi sulla codifica del segnale.

Tecnologie GaAs/GaN

Le industrie nazionali e le PMI che operano nel settore dell'elettronica avanzata, detengono un considerevole livello di competitività nei settori progettuale e produttivo per lo sviluppo di apparati nelle frequenze a microonde e/o onde millimetriche. Tale competitività si basa su elevate competenze a livello di "sistema", con positivi riflessi sul successo commerciale dei prodotti, e su specifiche competenze a livello tecnologico, con conseguente mantenimento di un importante "know-how" in un settore così avanzato.

Tra tali competenze tecnologiche possono essere riconosciute come altamente strategiche, a

causa della loro difficile reperibilità sul mercato nazionale e internazionale, proprio quelle che consentono di progettare, realizzare e qualificare MMICs per specifiche applicazioni Spaziali. Questa capacità tecnologica è resa disponibile dalla presenza presso la grande industria nazionale di una Fonderia nazionale che dispone del know-how tecnologico su materiali III-V (GaAs e GaN) indispensabile per tale attività.

In questo scenario l'applicazione dei composti III-V a larga banda proibita ed in particolare delle eterostrutture di GaN su carburo di silicio (GaN/AlGaN/SiC), rappresenta, infatti, la soluzione per promuovere lo sviluppo di sistemi altamente innovativi anche per applicazioni spaziali. Sistemi che si contraddistinguono sia per il livello di prestazioni delle singole funzioni RF, sia per il grado di integrazione delle diverse funzioni, che non potrebbero essere realizzati in alcun modo con semiconduttori tradizionali (Si e GaAs).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Negli ultimi anni, anche a causa della congiunturale carenza di fondi istituzionali da destinare alla ricerca, è diventata sempre più pressante la necessità di affiancare allo sviluppo tecnologico – in cui il settore spaziale è sempre stato uno dei traini fondamentali -, l'esigenza di concretizzare il ritorno applicativo ed il beneficio concreto di tali tecnologie per la vita quotidiana dei cittadini. In tal senso vanno letti e motivati i temi su indicati. L'impiego di sistemi ad alta risoluzione supporta attività di **intelligence** e **sorveglianza del territorio**, garantendo in tempi brevi informazioni sensibili e di vitale importanza per la gestione di conflitti o di operazioni in zone di crisi o eventi naturali catastrofici. In particolare, un'elevata risoluzione permette l'approccio a concetti di identificazione e classificazione dei bersagli che permettono di determinare la classe di appartenenza degli oggetti e le loro dimensioni.

Lo sviluppo di SAR Commerciali a basso costo, di ridotte dimensioni in modo da poter essere stivato in piccoli lanciatori – o di supportare lanci multipli per costellazioni o formazioni – ed in grado di garantire buone prestazioni, rappresenta invece una soluzione vincente e di sicuro interesse strategico per rispondere efficacemente alla sempre più estesa richiesta da parte di stati emergenti, in Asia, Medio-Oriente e sud America, che vogliano dotarsi di sistemi satellitari per la sorveglianza ambientale e la sicurezza dei loro territori. Step ulteriore in questa direzione è assicurato dallo sviluppo di sistemi **mini-SAR** che permette di offrire un **"ultra-light-radar"** capace di gestire sia situazioni del tipo "ready-to-launch" (con piattaforme di dimensioni e peso molto ridotto lanciate in gruppo anche da lanciatori di stazza piccola o aviolanci), che acquisizioni multi statiche ovvero ad elevata sensibilità.

La specificità della configurazione GEO consente risoluzioni non troppo inferiori a quelle ottenibili in orbita LEO, con il vantaggio di assicurare sia immagini quasi continue sia rilevamento di piccole variazioni della scena osservata (Change Detection) estremamente utili per applicazioni di monitoraggio ambientale. Essa quindi copre il gap, difficilmente colmabile con costellazioni in orbita bassa, per le applicazioni in cui il tempo di rivisita sia dell'ordine dell'ora.

Le applicazioni di sensori radar in banda Ka spaziano dalla meteorologia alla Space Surveillance (detezione di Debris) oltre ad applicazioni scientifiche quali l'osservazione della variazione dello spessore e della conformazione dei ghiacciai nelle zone polari. Non secondaria applicazione è

l'utilizzo di tale banda per sensori radar doppler per la valutazione di distanza e velocità con risoluzione centimetrica a supporto di moduli d'atterraggio (manned o un-manned) per l'esplorazione dei pianeti.
È evidente che il dispiegamento di piattaforme satellitari orientate all'utente con un focus essenziale sull'utilizzo operativo esteso dei dati acquisiti fa da volano allo sviluppo del "data processing" e del "data exploitation". Pertanto gli sviluppi tecnologici sui sistemi radar di Osservazione della Terra devono essere affiancati da sviluppi applicativi, in quanto, come insegna l'esperienza dell'interferometria, c'è ancora ampio spazio di ricerca di nuove applicazioni basate su sistemi già esistenti o allo stato dell'arte.
I dispositivi GaN–HEMT (High Electron Mobility Transistor), al crescere della frequenza fino alla regione delle microonde e delle onde millimetriche, presentano prestazioni in termini di densità di potenza d'uscita, capacità di operare ad alte tensioni di alimentazione ed elevate temperature di funzionamento, figura di rumore e robustezza nei confronti di forti interferenze in ingresso che non possono essere raggiunte da nessuna tecnologia concorrente (PHEMT in GaAs e HBT in SiGe o GaAs). Grazie a tali caratteristiche i circuiti integrati su GaN/SiC offrono dunque potenzialmente considerevoli vantaggi nelle applicazioni satellitari in cui sia richiesta elevata potenza trasmessa associata a un alto grado di ri-configurabilità delle antenne di bordo. La risposta alle esigenze di aumento della frequenza di trasmissione richiede un continuo sviluppo e qualifica di processi tecnologici con la progressiva riduzione delle dimensioni critiche dei dispositivi (lunghezza di gate).

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Sistemi radar a risoluzione sub-metrica sono allo stato dell'arte in Europa e USA e l'Italia si sta mantenendo certamente in ottima posizione, in una competizione molto accesa soprattutto con la Germania. L'industria asiatica (Sud-Korea, Singapore fra altri) si sta recentemente affacciando alle tecnologie abilitanti per questi sistemi, forti della esperienza acquisita in ambito Telecom ed Elettronica in generale. È importante quindi stabilire o consolidare rapporti di partnership e collaborazioni specifiche su sia su temi tecnologici che sistemistici. *Le soluzioni cost-effective consentiranno di consolidare ed allargare il posizionamento sul mercato commerciale acquisito nell'ultimo decennio*. Per quanto riguarda soluzioni non imaging come i radar per Space Surveillance lo scenario è molto aperto e consentirebbe di occupare un mercato ed una esigenza che sono ad oggi non soddisfatti se non con sistemi terrestri.
Per quanto riguarda le applicazioni, l'Italia rappresenta un eccellenza in numerosi campi tecnologici (principalmente l'interferometria e le sue applicazioni, ma anche le tecniche di processa mento ISAR), tale eccellenza è articolata su tutta la catena del valore, a partire dalle università, fino alle PMI ed alla grande industria. C'è inoltre una grossa capacità industriale sulle tecnologie delle micro-onde (es. transponder).
La Fonderia GaAs/GaN rappresenta un fattore strategico per lo sviluppo di tecnologie innovative per applicazioni nel campo della sistemistica radar. La missione di questa capacità dell'industria italiana è orientata a:

- Identificare e sviluppare le tecnologie emergenti per la realizzazione di componenti elettroni-

ci a stato solido nel campo delle microonde e delle onde millimetriche;
- Mantenere il know-how e le competenze nella fabbricazione di MMIC per assicurare un rapido sviluppo e produzione di tali componenti altamente strategici eliminando il rischio di eventuali restrizioni nelle esportazione (ITAR);
- Mantenere il know-how e le competenze nella progettazione e nel testing di MMICs e dei relativi componenti attivi quali moduli T/R, ricevitori compatti e trasmettitori a stato solido;
- Essere il centro di eccellenza all'interno di Finmeccanica nella progettazione e sviluppo di dispositivi a stato solido a banda larga, alta velocità basati su III-V, III-N.

Negli ultimi 40 anni, la Foundry è stata impegnata nella fabbricazione di componenti allo stato dell'arte basati su tecnologie GaAs e GaN, acquisendo capacità tecnologiche all'avanguardia nella progettazione, nei processi produttivi e nell'assemblaggio di tali componenti. Le capacità produttive della Foundry sono state costantemente sviluppate in risposta alla crescente domanda di componenti MMIC e ad oggi sono stati completati investimenti per dotarla di oltre 700m2 di camere pulite (classe 100) e attrezzature e macchinari allo stato dell'arte, in modo da garantire una capacità di produzione di circa 1000 wafers per anno. I processi attualmente in produzione sono:
- Tecnologia MESFET (GaAs) con lunghezza di gate 0,5 µm per applicazioni in banda L,S,C,X;
- Tecnologia PHEMT (GaAs) con lunghezza di gate 0,5 µm per applicazioni in banda L,S,C,X;
- Tecnologia PHEMT (GaAs) con lunghezza di gate 0,25 µm per applicazioni banda X, Ku (Processo qualificato per lo Spazio entro il 2015)
- I processi attualmente in sviluppo e pre-produzione sono:
- Tecnologia GaN-HEMT con lunghezza di gate 0,5 µm per applicazioni in banda L,S,C;
- Tecnologia GaN-HEMT con lunghezza di gate 0,25 µm per applicazioni banda X, Ku (Processo qualificato per lo Spazio entro il 2016).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 11

SISTEMI DIGITALI A BANDA LARGA E TRASMISSIONE DATI A TERRA AD ALTISSIMA VELOCITÀ NELLE BANDE KA E X

DESCRIZIONE

La sempre più alta risoluzione richiesta ai moderni sensori ottici e ai radar di nuova generazione per l'osservazione della Terra implica *de facto* la contemporanea evoluzione dei sistemi dedicati all'acquisizione, alla memorizzazione e trasmissione verso Terra dei dati prodotti dai sensori stessi. In particolare, maggiore è la risoluzione richiesta maggiore è la quantità di dati nell'unità di tempo (data rate) e il volume di dati corrispondentemente prodotto.

Diventa quindi strettamente necessario l'utilizzo di sistemi digitali di memorizzazione capaci di gestire ingenti quantità di dati ed operare con throughput ingresso uscita particolarmente elevati. I grandi *data volumes* in gioco richiedono inoltre un conseguente aumento della capacità dei sistemi trasmissivi di bordo per il trasferimento dei dati acquisiti verso Terra.

Gli attuali sistemi di memorizzazione basati su moduli di memoria **SDR-SDRAM** presentano alte *performances* in termini di velocità Input/Output e notevoli capacità di *storage* che tuttavia non risultano sufficienti a coprire le esigenze delle future missioni di osservazione della Terra. In particolare, la tecnologia SDR SDRAM riuscirebbe ad offrire le prestazioni richieste solo al prezzo di elevati ingombri e consumi di potenza. Di conseguenza è necessaria la migrazione verso una tecnologia innovativa per la realizzazione dei moduli di memoria. A valle di uno studio comparativo tra memorie **DDR** e **FLASH**, la tecnologia **NAND FLASH** è risultata la risposta alle future esigenze grazie alle sue intrinseche caratteristiche:

- grandi capacità di memoria;
- capacità di *data retention* quando il modulo di memoria è spento;
- altissimi I/O throughput;
- consumi di potenza estremamente bassi;
- ingombri notevolmente ridotti.

L'utilizzo di tale tecnologia per i moduli di memoria richiede comunque una particolare attenzione verso i seguenti aspetti:

- tecniche di accesso alla memoria: le FLASH prevedono un accesso per pagine, non permettendo un accesso casuale come per le SDRAM;
- numero dei cicli di scrittura: limitato rispetto a quello delle SDRAM; particolare attenzione deve essere posta nella gestione del fenomeno di *memory wearing*: senza opportune strategie di compensazione potrebbe verificarsi che alcune locazioni di memoria siano continuamente

scritte a discapito di altre che rimangono invece completamente inutilizzate causando quindi la failure prematura del modulo di memoria;

- gestione dei bad blocks: così da poter identificare e gestire i settori di memoria danneggiati;
- fenomeni SEU/SEFI: il SEU (Single Event Upset) è un cambio di stato causato da radiazioni ioniche o elettromagnetiche; tipicamente il SEU di per sé non è considerato un danno permanente alle funzionalità dei circuiti a parte in alcuni casi particolari (es. Single Event Latch-up – SEL). Il SEFI (Single Event Functional Interrupt) è un SEE (Single-Event Effect) che si traduce in un'interferenza del normale funzionamento di un circuito digitale complesso ed è dovuto sempre alle radiazioni cosmiche. Il SEFI tipicamente indica una failure in un circuito di supporto, una perdita di capacità di configurazione, di una regione di configurazione della memoria o dell'intera configurazione del circuito stesso.
- velocizzazione delle operazioni di scrittura/lettura: tecniche di interleaving di operazioni di scrittura e lettura vengono utilizzate allo scopo.
- incremento del throughput di Ingresso/Uscita: ottenuto attraverso una parallellizzazione a livello di architetturale.

Per quanto riguarda invece i sistemi di *downlink*, un primo passo verso la realizzazione di elevate capacità di trasmissione è il possibile riuso della banda di frequenze attualmente riservata alle comunicazioni da Satellite verso Terra (Banda-X: 8025 ¸ 8400 MHz) attraverso sistemi in doppia polarizzazione.

La doppia polarizzazione si basa essenzialmente sulla diversificazione della polarizzazione dei segnali a radiofrequenza trasmessi. Per tale motivo è necessario assicurare un alto valore d'isolamento tra le due polarizzazioni simultaneamente utilizzate (RHCP e LHCP) al fine di minimizzare le interferenze indotte sul segnale trasmesso in una data polarizzazione dal segnale trasmesso sulla polarizzazione ortogonale. Inoltre l'adozione di sistemi di modulazioni ad alto ordine insieme a tecniche di codifica avanzate consentono l'aumento della quantità d'informazione trasferita per unità di banda.

Il passo successivo per il miglioramento delle prestazioni trasmissive delle future missioni di osservazione della terra è operare a più alte frequenze, dove è disponibile una maggiore quantità di banda riservata alla trasmissione dati (Banda-Ka: 25.5 GHz ÷ 27 GHz). La X-Band (8.025 GHz – 8.4 GHz) offre, infatti, una banda abbastanza limitata al fine di poter sostenere velocità di trasmissione più alte di 1Mbps ed inoltre presenta ormai un alto livello di congestionamento.

La migrazione verso la banda Ka, pur rendendo disponibile una maggiore quantità di banda, introduce importanti problemi di propagazione legati alla notevole attenuazione del segnale nell'attraversamento dell'atmosfera. Tipicamente il valore target di disponibilità del collegamento richiede l'impiego di un'antenna *steerable* per garantirne la raggiungibilità.

Fissata la *link availability*, l'attenuazione atmosferica si riduce notevolmente al crescere dell'angolo di elevazione dell'antenna di terra. Di conseguenza risulta chiaro come l'adozione di tecniche di codifica avanzate, **Variable Code Modulation (VCM)**, basate su una predizione statistica dell'attenuazione atmosferica e delle relative variazioni durante il collegamento ne contrasti fortemente l'effetto determinando, al tempo stesso, un miglioramento significativo del *data throughput* (fino

all' 80%). In particolare, le seguenti performances di downlink possono essere ottenute impiegando sistemi in doppia polarizzazione:

- massimo throughput raggiungibile in aree geografiche polari: 3.5Gbps;
- massimo throughput raggiungibile in aree geografiche temperate: 2.5Gbps.

Dai risultati di esperimenti condotti in ambito di propagazione atmosferica, è noto inoltre che solo poche orbite sono affette da fuori servizio dovuto alle precipitazioni, mentre per la maggior parte del tempo si possono considerare condizioni di *clear sky*. In tale contesto ben si inseriscono le tecniche **Adaptive Coding Modulation (ACM)** basate, appunto, sulla conoscenza effettiva dell'attenuazione atmosferica durante il link di trasmissione; tali tecniche unite a schemi di modulazione ad alto ordine riescono a incrementare ulteriormente le performances in termini di velocità di trasmissione.
Per gli aspetti RF è inoltre necessario considerare l'utilizzo dei composti III-V a larga banda proibita ed in particolare delle eterostrutture di GaN su carburo di silicio (GaN/AlGaN/SiC). Infatti sistemi ad alta prestazione per le singole funzioni RF e con elevato grado di integrazione delle diverse funzioni devono necessariamente avvalersi di tale tecnologia e non potrebbero essere realizzati in alcun modo applicando semiconduttori tradizionali (Si e GaAs).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'impiego di sistemi digitali a banda larga e trasmissione dati ad altissime velocità è l'unica possibilità per garantire ancora nel prossimo futuro l'operatività stessa delle missioni di osservazione. Ai sensori ottici e radar sono richieste ormai risoluzioni sempre più alte che rendono gli attuali sistemi di acquisizione e trasmissione dati sempre meno adatti a gestire i profili di missione ed i conseguenti flussi di dati in gioco.
Per quanto concerne invece le comunicazioni commerciali via satellite, queste sono oggi realizzate essenzialmente in banda L (1-2 GHz), C (4-6 GHz) e in banda Ku (11-14 GHz), la sola banda Ku copre l'80% dei servizi nei paesi industrializzati. L'aumento dei servizi nella banda Ku ha però reso tale banda sempre più affollata e quindi si è manifestata l'esigenza sempre più forte di identificare soluzioni alternative. Sin dagli anni 70-80 si è valutato l'utilizzo di frequenze più elevate, identificando la banda Ka (20-30 GHz) per servizi commerciali di telecomunicazioni e da subito l'Italia, attraverso l'ASI, si è fatta promotrice di tale sviluppo. Infatti, i sistemi satellitari sviluppati in banda Ka possono dare risposta alla crescente domanda di servizi a larga banda con terminali compatti e di piccole dimensioni e questa soluzione è particolarmente utile nelle applicazione di controllo del territorio e per comunicazioni di emergenza in caso di disastri naturali. Infatti utilizzando terminali di Utente con peso e dimensioni ridotti sono facilitate la trasportabilità e il dispiegamento, fattori essenziali per tutte le applicazioni di Protezione Civile.
Di alto interesse strategico è quindi lo sviluppo delle diverse tecnologie critiche necessarie a garantire l'evoluzione di tali sistemi per osservazione della Terra e per le telecomunicazioni. In particolare:

- sistemi di memorizzazione avanzati (acquisizioni multicanale ad alto throughput e moduli di memoria basati su tecnologia FLASH);

- sistemi di trasmissione avanzati (modulatori ad altissimo data rate operanti in X e Ka Band con tecniche di codifica variabile e/o adattativa ed antenne).

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In Italia sono in corso diverse iniziative per lo sviluppo degli elementi tecnologici necessari ai nuovi sistemi digitali a banda larga e trasmissione dati a terra ad altissima velocità nelle bande Ka e X. In particolare:

- sviluppo di memorie di massa ad altissima velocità e capacità basate su memorie flash attualmente in corso nell'ambito di programmi europei;
- modulatori: studi relativi all'utilizzo degli schemi di modulazione ad alto ordine con tecniche di codifiche avanzate attualmente in corso.
- antenne: sviluppo di antenne in X-band con alto isolamento di polarizzazione nell'ambito di programmi nazionali; sviluppo di elementi prototipali di antenne a steering elettronico in banda Ka.

La risposta a queste esigenze richiede un continuo sviluppo e qualifica di processi tecnologici con la progressiva riduzione delle dimensioni critiche dei dispositivi (lunghezza di gate). La Fonderia disponibile presso la Grande Industria italiana ha queste competenze nelle tecnologie emergenti per la realizzazione di componenti elettronici a stato solido nel campo delle microonde e delle onde millimetriche, senza vincoli ITAR per ricevitori compatti e trasmettitori a stato solido e per dispositivi a stato solido a banda larga, alta velocità basati su III-V, III-N.

In Europa d'altra parte sono attive numerose iniziative da parte soprattutto dei tedeschi e francesi relative allo sviluppo di tecnologie sia per le memorie di massa ad alte performance sia su modulatori in banda X e Ka capaci di operare ad alta velocità di trasmissione con schemi di codifica avanzati e modulazioni digitali ad alto ordine.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 12

OROLOGI ATOMICI SPAZIALI

DESCRIZIONE

Gli orologi atomici sono generatori di segnale di riferimento caratterizzati da una elevatissima accuratezza in frequenza e stabilità nel tempo. Il loro impiego principale è come riferimenti temporali nei sistemi di navigazione il cui funzionamento si basa sul metodo della triangolazione. Nota la distanza da almeno tre satelliti, il ricevitore a terra calcola la propria posizione. Le distanze sono ottenute misurando il tempo di percorrenza che il segnale trasmesso dal satellite impiega per percorrere la distanza fra il satellite e il ricevitore. Ogni segnale contiene informazioni sul riferimento temporale dell'orologio atomico a bordo del satellite e sull'orbita dello stesso, quindi grande importanza ha la sincronizzazione degli orologi atomici a bordo dei satelliti.

Per questo motivo, maggiore è la accuratezza e stabilità del segnale di riferimento, migliori sono le prestazioni garantite dal sistema e maggiore è la sua autonomia, per il maggior intervallo temporale di sincronizzazione richiesto. Il mercato dei sistemi di navigazione ha una prospettiva di crescita significativa: vari progetti di realizzazione sono in corso, dal sistema europeo **Galileo**, al **GPS di terza generazione** americano, al **GLONASS** russo, al sistema di navigazione satellitare **cinese**. Altre applicazioni, seppur meno rilevanti per volume, sono costituite da tutte le missioni scientifiche il cui successo è determinato dalla disponibilità di un segnale di riferimento stabile in frequenza e nel tempo come, ad esempio, nel caso dell'interferometria per la rilevazione e la misura delle onde gravitazionali.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

In Europa è stato sviluppato il primo Maser Passivo all'idrogeno **S-PHM** (Space Passive Hydrogen Maser) da utilizzare come orologio atomico per impiego spaziale. Questo orologio atomico vola, come orologio primario, con pieno successo da oltre tre anni sui satelliti del sistema di navigazione europeo Galileo. È da sottolineare il ruolo primario dell'industria italiana (Finmeccanica-Selex ES) nello sviluppo di questo prodotto, che la pone in una posizione di assoluta leadership a livello mondiale.

Per consolidare questo vantaggio competitivo è ovviamente necessario continuare lo sviluppo del prodotto esplorando le soluzioni tecnologiche e ingegneristiche mirate alla riduzione del peso e dei consumi di potenza elettrica, mantenendo le prestazioni del S-PHM in termini di stabilità e la compatibilità con l'ambiente spaziale, in vista della prossima generazione di sistemi di navigazione. A questo scopo è stato sviluppato il mini-PHM che malgrado una riduzione di circa 30% dei consumi e del peso mantiene la stessa prestazione del PHM.

Il successo dello sviluppo consentirà di mantenere e rafforzare la posizione del nostro Paese co-

me fornitore a livello mondiale di prodotti ad alte prestazioni per tutte le applicazioni di navigazione satellitari.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Il Maser Passivo all'idrogeno **S-PHM** rappresenta lo stato dell'arte per gli orologi atomici per sistemi satellitari di navigazione, consentendo di raggiungere accuratezze migliori di oltre un ordine di grandezza ($1x10^{-14}$/giorno) rispetto agli orologi al rubidio che sono utilizzati nei sistemi di navigazione attualmente operativi (GPS, GLONASS). Con tali caratteristiche, il S-PHM permette di determinare la posizione a terra del ricevitore con una precisione dell'ordine di 50 cm, proporzionale alla stabilità dell'orologio, senza necessitare di una elevata frequenza di ri-sincronizzazione del sistema.

Di contro gli orologi al rubidio sono più leggeri e compatti rispetto al S-PHM e per questa ragione sono state avviate diverse attività di ricerca finalizzate a sviluppare orologi atomici che garantiscano prestazioni analoghe a quelle del S-PHM in termini di precisione e stabilità, con un risparmio significativo su massa, dimensioni e consumo di potenza elettrica. Tra le varie tecnologie in fase di valutazione nell'ambito di programmi di sviluppo, una molto promettente appare essere il **MASER POP** (Pulsed Optical Pumping), in cui l'emissione atomica è ottenuta mediante pompaggio ottico tramite laser di una cella contenente vapori di rubidio. Questo orologio atomico consentirà di ottenere una accuratezza comparabile con quella del **S-PHM**, con un risparmio del **40%** sul peso e sul consumo di potenza elettrica Le caratteristiche di questa tecnologia sono state recentemente dimostrate nell'ambito di uno studio di fattibilità inquadrato in un contratto dell'Agenzia Spaziale Italiana condotto dall'industria spaziale nazionale (Selex ES) attraverso la collaborazione con istituti di ricerca (INRIM).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 13

TECNOLOGIE PER LA PROPULSIONE SPAZIALE

PROPULSIONE ELETTRICA

DESCRIZIONE

Nell'ultima decade questa tecnologia ha permesso lo sviluppo di applicazioni e modalità applicative che altrimenti non sarebbero state possibili. La propulsione elettrica, mediante l'utilizzo di propulsori al plasma, riesce a realizzare spinte, anche se di basse entità, con un impulso specifico elevatissimo, rispetto ai propulsori tradizionali, permettendo un significativo **risparmio di propellente**.

I satelliti per **Telecomunicazioni** sono stati tra i primi a beneficiarne dal punto di vista commerciale, utilizzando la propulsione elettrica dapprima per le manovre di **station keeping** (mantenimento della posizione e dell'assetto) e adesso anche per quelle di **orbit topping** (raggiungimento dell'orbita finale operativa).

A seguire i satelliti per **l'Osservazione della Terra**, operanti in orbita bassa, con la necessità di volare in modalità "**drag free**", come il satellite GOCE, molto noto alla comunità scientifica, soprattutto italiana. Dopo questi primi esempi di successo, l'utilizzo della tecnologia si sta estendendo ad applicazioni come quelle di **costellazioni di satelliti per la Navigazione**. La ragione è sempre legata al risparmio di propellente, favorendo l'aumento del carico pagante e della durata della missione.

Alcune tipologie di **missioni scientifiche**, poi, non sarebbero fattibili senza la propulsione elettrica. Si pensi nuovamente a GOCE o a BepiColombo e anche a missioni legate all'**esplorazione.**

I motori elettrici sono generalmente classificati in tre famiglie: Elettrostatici, Elettromagnetici e Elettrotermici. Sono i primi due a rivestire il maggiore interesse, in quanto forniscono le prestazioni migliori in termini di impulso specifico.

I **motori Elettrostatici** sono quelli i cui ioni, una volta generati, a prescindere dal meccanismo di generazione, vengono accelerati dalla forza di Coulomb di un campo elettrico nella direzione dell'accelerazione. Tra questi tipi di propulsori, le tecnologie maggiormente sviluppate sono: **HET** (Hall Effect Thruster), **GIE** (Gridded Ion Engines) e **FEEP** (Field-Emission Electric Propulsion Thrusters). Tutti questi motori hanno in comune il fatto che al loro interno viene iniettato una gas neutro, come lo **Xeno**, ma anche l'Argo e il Cripto, che viene **ionizzato** attraverso la collisione di elettroni emessi da un catodo e accelerati da un campo elettrostatico.

Alcuni di questi motori sono anche dotati di un **campo magnetico** che esercita una funzione diversa a seconda della tecnologia: blocco e concentrazione degli elettroni emessi dal catodo e confinamento del fascio di plasma per aumentarne la densità, e la sua efficienza e diminuirne la capacità erosiva.

I **motori Elettromagnetici** sono quelli i cui ioni vengono accelerati o mediante la forza di Lorentz o mediante un **campo elettromagnetico**, il cui campo elettrico corrispondente non è allineato alla

direzione di accelerazione. Tra questi tipi di propulsori vengono classificati i motori del tipo **HPT** (Helicon Plasma Thrusters), **MPD** (Magneto Plasma Dynamic Thrusters), **PPT** (Pulsed Plasma Thrusters) e il **VASIMIR** (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket). Alcuni motori di questa ultima serie non hanno ancora raggiunto una maturità di sviluppo tecnologico tale da poterli ritenere pronti all'utilizzo operativo.

Queste due tipologie di motori sono caratterizzate da **spinte molto basse**, se comparate con i più tradizionali motori a propulsione chimica. L'ordine di grandezza è quello del milli-N (da 1mN a 500mN). L'**impulso specifico**, grazie alla elevata velocità di uscita degli ioni, è bensì **molto elevato**: si va da 10,000 Ns/kg a 40,000 Ns/kg (di gran lunga superiore a quello dei propulsori chimici). L'utilizzo dei motori elettrici richiede quindi la revisione dell'approccio operativo, ma garantisce benefici tutt'altro che trascurabili.

I **motori Elettrotermici,** infine, sono una categoria di motori in cui un campo elettromagnetico genera un plasma, in maniera tale da riscaldare il propellente base (o i gas derivati dalla combustione), aumentandone così la sua energia cinetica, prima dell'espansione nell'ugello. Questo genere di motori ha **prestazioni inferiori** rispetto alle due categorie precedenti, per cui il loro utilizzo è più limitato. Quando si parla di sistemi di propulsione elettrica non ci si deve dimenticare che il soggetto dello sviluppo non è focalizzato solamente sui motori e la tecnologia a essi associata, ma anche su quei componenti fondamentali che compongono il sistema stesso, e che si avvalgono di tecnologie specifiche e altamente qualificate. Tra questi spicca senza dubbio l'apparato di **gestione e controllo della potenza**, estremamente critico per quanto riguarda i tempi e i costi dello sviluppo e sostanzialmente differente se si considerano le diverse tecnologie.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'utilizzo massiccio della propulsione elettrica, al posto di quella chimica tradizionale, sta generando una competizione molto dura tra i principali attori europei, sia nel campo delle **piattaforme satellitari**, che, soprattutto, nel campo delle **singole tecnologie**.

L'Europa, e l'Italia in particolare, che per anni ha rivestito un ruolo d'avanguardia nell'ambito della propulsione elettrica, sta soffrendo adesso di un'aggressione sia tecnica che commerciale da parte degli USA, che per primi sono riusciti a proporre sul mercato una piattaforma per telecomunicazioni completamente elettrica. Questo significa che con la propulsione elettrica si riescono a soddisfare meglio le opportunità di costo e operativo che i clienti del settore telecomunicazioni, sempre più esigenti, chiedono agli integratori prima e, di conseguenza a chi sviluppa tecnologie.

All'interno della comunità spaziale Europea, l'Italia è uno dei paesi che maggiormente ha contribuito allo sviluppo dei sistemi di propulsione elettrica, coprendo trasversalmente tutte le tecnologie riportate nel paragrafo precedente e, cosa importante, sviluppando tutti gli equipaggiamenti necessari: motori, scatole di gestione e controllo della potenza e componenti fluidici tra i principali, ma anche camere di prova e diagnostica.

L'attuale sfida dell'industria italiana, è quella di supportare la crescente domanda di potenza da parte delle piattaforme per favorire un aumento di prestazioni della stessa. Allo stesso tempo è anche quella di realizzare **moduli** funzionali, adattabili a diverse tecnologie di motori, che permettano una più semplice scalabilità verso l'alto della **potenza** fornita dall'apparato stesso.

Inoltre ci sono alcuni **equipaggiamenti**, quali le valvole di alimentazione del propellente, che fanno parte della **linea di flusso**; i neutralizzatori, necessari a mantenere neutra la carica complessiva del velivolo spaziale, che necessitano di sviluppi dedicati.
In questo periodo si sta affrontando un duplice incremento evolutivo, legato essenzialmente alle piattaforme per telecomunicazioni: a livello di **piattaforma** si stanno sviluppando piattaforme "**full electric**", laddove si prevede di effettuare tutte le manovre previste, inclusa quella del raggiungimento dell'orbita finale, con la propulsione elettrica; a livello di tecnologia, per poter rendere efficiente il punto di cui prima, è necessario sviluppare un sistema di propulsione della classe **5 kW**, a partire da quello già ben sviluppato della classe 1.5 kW; ultimo, ma non meno importante, è necessario dotare il network industriale di un numero, e dimensioni, di camere di prova sufficienti a far fronte all'aumento delle necessità di prova dei motori.
Le piattaforme per le telecomunicazioni sono quelle che stanno guidando lo sviluppo, definendone i requisiti fondamentali; ma questi sono anche la base e il punto di partenza per la realizzazione di applicazioni diverse e di pari importanza: piattaforme per la navigazione, come per esempio Galileo seconda generazione, o per i futuri sistemi di trasporto spaziale e quelli di esplorazione spaziale. Per questi infatti i sistemi di propulsione di classe 5kW, punto di arrivo delle attuali piattaforme per telecomunicazioni, sono la base di partenza per poter arrivare a quelli di classe **20 kW** o superiore. Per lo sviluppo di questi sistemi propulsivi di **alta potenza** saranno necessari impianti di prova che attualmente non esistono o sono sottodimensionati. Oltre a ciò è necessario potenziare l'attuale disponibilità di impianti di prova per motori di **potenza media**, per poter supportare l'elevato numero di propulsori che dovranno essere verificati per accettazione.
Insieme agli impianti occorre includere lo sviluppo degli strumenti per la **diagnostica**, per poter verificare le prestazioni del motore in maniera affidabile, come per esempio i sistemi intrusivi che posizionano cioè una sonda nel fascio di plasma del propulsore. L'apparato di gestione e controllo della potenza diventa quindi, all'interno di un sottosistema di propulsione ad alta potenza (>5 kW), il componente più critico in termini di costo e tempi di realizzazione. Fra gli obiettivi sfidanti dello sviluppo vi sono l'adozione di **moduli funzionali standard**, la minimizzazione delle modifiche per la gestione di diversi tipi di motori e l'adozione di soluzioni tecnologiche atte ad aumentare le prestazioni di efficienza pur contenendo massa e volume. L'utilizzo di tecniche di commutazione allo stato dell'arte e l'accurata selezione di component elettronici, così come l'utilizzo di trasformatori planari, sono le basi dello sviluppo richiesto per la maturazione di questo prodotto.
Lo sviluppo di unità ad **elevata potenza**, richiede anche lo sviluppo di **componenti elettronici a più elevato voltaggio**, per poter gestire flussi di corrente che siano compatibili. Sul fronte della gestione della potenza, si sta facendo strada anche la tecnica del "**direct drive**", che prevede di alimentare direttamente il sistema di propulsione a partire dai pannelli solari.
La realizzazione di motori a media e alta potenza si basa sia sulla finalizzazione degli sviluppi del **motore a effetto hall (HET)** sulla quale in Italia una consolidata conoscenza e esperienza, sia sullo sviluppo di quelle tecnologie abilitanti a raggiungere potenze elevate, che sono necessarie per missioni di **trasporto ed esplorazione**. Si parla quindi, per esempio, di **motori HPT (Helicon Plasma Thruster)** e motori **MPD** (Magneto Plasma Dynamic), per i quali è necessario consolidare sia il design che le prestazioni attuali (1 kW per HPT e 50 kW per MPD), che incrementarle fino a

raggiungere potenze di 20 kW e oltre per HPT e **200 kW** per MPD.
Tutti i motori fin qui citati utilizzano Xeno come propellente che viene ionizzato nella camera di scarica. Lo Xeno presenta buone caratteristiche di ionizzazione unità alla elevata efficienza volumetrica di immagazzinamento, grazie alle sue caratteristiche di fluido super-critico. Ma lo Xeno, oltre a essere molto raro in natura, e per questo anche molto costoso, vede un bilancio domanda/offerta negativo, senza considerare l'incremento del suo utilizzo in campo spaziale. È fondamentale quindi sviluppare la capacità di utilizzare **propellenti alternativi**, con caratteristiche simili allo Xeno, ma maggiormente disponibili, con i motori attualmente esistenti o adattarli al loro utilizzo, come, per esempio, il **Krypto, l'Anidride carbonica e lo iodio**.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Si stima che dal 2020 almeno il 50% dei **satelliti Geostazionari** saranno equipaggiati con sistemi propulsivi elettrici. Tale percentuale è destinata ad incrementare sensibilmente negli anni futuri con il parallelo aumento di potenza a bordo dei veicoli.
Tra le varie tecnologie di propulsione elettrica sviluppate, quella degli Hall Effect Thrusters (HET) domina il mercato dei satelliti GEO. Dopo una prima generazione di sistemi della classe da **1.5 kW** (Fakel SPT100, Snecma PPS-1350) attualmente tutte le maggiori Industrie del settore stanno qualificando nuovi sistemi propulsivi della classe di potenza **5kW** (Fakel SPT140, Snecma PPS5000, Aerojet BPT4000, SITAEL/ALTA HT5k).

Oltre a questa tecnologia consolidata, in Italia si sono sviluppati, o sono in fase di sviluppo, motori a radio-frequenza con antenna elicoidale (Helicon Plasma thrusters, **HPT**), per i quali esistono prototipi a partire da 70W fino a 1 kW presso l'Università di Padova, che ne ha curato lo sviluppo; i motori magnetoplasmadinamici (**MPD**), per i quali esistono prototipi presso SITAEL/ALTA fino a 50 kW. Queste due tecnologie sono particolarmente **promettenti** per lo sviluppo di motori a **elevata potenza.**
Considerando la scala di potenze investigata negli ultimi decenni si prevede che la prossima classe di propulsori di alta potenza sarà rappresentata dai modelli da 20kW e oltre. In questo momento esistono in Europa 4 grandi **impianti di prova**, di cui 3 in Italia (1 in SITAEL-Pisa, 2 in AEROSPAZIO-Siena) ed 1 in Germania (DLR-Gottinga).
Tutte le **iniziative** di sviluppo che potrebbero essere definite in **ambito nazionale**, si inseriscono in maniera **sinergica** con i programmi di sviluppo Europeo in ambito **H2020**. Per quanto riguarda la propulsione elettrica è stato infatti istituito uno Strategic Research Cluster, che ha dato vita a **EPIC** (Electric Propulsion Innovation and Competitiveness), che a sua volta gestirà programmi di sviluppo orientati a due obiettivi diversi:

- **migliorare le prestazioni**, l'efficienza e la competitività delle attuali tecnologie per **telecomunicazioni**;
- **sviluppare nuove tecnologie**, al di fuori di quelle che appartengono al filone precedente e che possano essere applicate a qualsiasi tipo di missione.

Il budget a disposizione non è equamente diviso tra i due soggetti, ma principalmente dedicato al miglioramento della competitività in ambito telecomunicazioni, lasciando una parte trascurabile alle nuove tecnologie.

PROPULSIONE AVANZATA

DESCRIZIONE

Ci sono diversi settori della propulsione che affondano le radici nel passato, ma che, per diverse ragioni, hanno subito solo recentemente un impulso significativo al loro sviluppo. Tra queste compaiono la **propulsione ibrida, la propulsione criogenica a metano liquido/ossigeno liquido** e la propulsione con **propellenti alternativi all'idrazina**, in quanto questa è sotto indagine da parte dell'Agenzia Chimica Europea per la sua messa al bando.

La propulsione **Ibrida** prevede l'utilizzo di propellente solido e ossidante fluido, che permette di raggiungere il non trascurabile obiettivo di realizzare **motori a spinta modulabile e intrinsecamente sicuri**, in quanto le due fasi della miscela non sono fisicamente a contatto e eliminando completamente il rischio di detonazione.

La scelta del combustibile ricade principalmente sia sulle **paraffine** che sull'Hydroxyl-terminated polybutadiene (**HTPB**), mentre la scelta dell'ossidante dipende dalle prestazioni richieste e dalle condizioni operative: **perossido di idrogeno ad alta concentrazione (> 98%),** protossido di Azoto, ossigeno liquido. Le necessità di sviluppo che servono per raggiungere gli obiettivi descritti nel paragrafo successivo investono principalmente le aree tecnologiche citate di seguito:

- camere di combustione fino a **150 kN**, passando per una prestazione intermedia quale 30kN;
- **grani di paraffina** associati alle prestazioni di cui sopra. La paraffina, da una parte porta a avere prestazioni maggiori, dall'altra richiede attenzioni particolari quando si vogliono realizzare grani di grandi dimensioni, in quanto le sue prestazioni meccaniche diventano critiche. I grani da sviluppare varierebbero infatti da 0.8m di lunghezza e 0.4m di diametro a dimensioni di **1.5m di lunghezza e 0.5m di diametro**;
- dispositivi di **modulazione del flusso di ossidante**, del tipo venturi cavitante, a sezione variabile, che permettano di limitare o sopprimere fenomeni di instabilità di bassa frequenza che sono tra le principali cause di fallimento dei motori ibridi;
- **concentratori di perossido di idrogeno**, che, a partire da una concentrazione di facile reperibilità commerciale e a basso costo, riescano a produrre concentrazioni elevate del medesimo e in quantità sufficiente a soddisfare le esigenze dei motori della taglia di cui sopra, senza dilatarne i tempi di attesa (es.: 5kg/ora per un concentratore di perossido fino al 98%),
- **laboratori e dispositivi di prova** motori ad alte prestazioni.

Un altro settore di primaria importanze è quello dei **motori criogenici a metano e ossigeno liquidi** (LNG). Questa tecnologia si sta affermando come un asset tecnologico dei lanciatori e del trasporto spaziale di futura generazione. Il metano, ad oggi, risulta essere una scelta interessante per quanto riguarda i propellenti per razzi a liquido in quanto, oltre a garantire **buone prestazioni** del sistema propulsivo, è caratterizzato da **facilità di stoccaggio**, **bassa pericolosità e nessuna tossicità**, ed inoltre da costi di estrazione e condizionamento piuttosto contenuti.

A supporto di questa applicazione è di fondamentale importanza sviluppare i gruppi **turbopompa** per liquidi criogenici, **estendendo la già consolidata esperienza** e conoscenza esistenti in Italia,

unitamente alla realizzazione e prova di **dimostratori** che, a partire da una spinta di 10kN, possano avvicinarsi ai valori di un motore di volo, realizzando valori intermedi da **30 kN**.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Nel recente passato sono stati effettuati studi a livello di sistema che hanno concluso quanto la **propulsione ibrida** sia **vantaggiosa** per una serie di applicazioni, grazie alle sue caratteristiche di sicurezza intrinseca, ai suoi costi ridotti, alla possibilità di modulare ampiamente la spinta e alle sue prestazioni, che sono comparabili alle tecnologie attualmente impiegate:

- **Lanciatori di piccole dimensioni**, estremamente versatili e poco costosi, con la capacità di portare in **orbita bassa carichi dell'ordine di 50 kg – 80 kg**.
- Velivoli **suborbitali**, anche "manned".
- Sistemi di propulsione per il "**soft landing" planetario** (es. Marte e Luna).
- **Secondi stadi** per lanciatori di stazza media.

Nel settore spazio si sta imponendo l'uso di **micro-nano satelliti**, sia a scopo di validazione in orbita di nuove tecnologie che per la realizzazione di funzioni di osservazione della Terra sia per scopi civili (monitoraggio eventi catastrofici, confini) che militari (monitoraggio scenari bellici); di funzioni di telecomunicazione web. Per questo scopo, **lanciatori di piccole dimensioni**, facilmente immagazzinabili e trasportabili riuscirebbero a **rendere più efficiente l'operazione di messa in orbita**, in quanto non sarebbe più necessario aspettare la disponibilità di un carico principale, su un lanciatore di medio-grandi dimensioni, di cui esserne il carico secondario.

In ambito "**Planetary landing**" la tecnologia **ibrida** diventa addirittura **abilitante**, in quanto è fondamentale le necessità di **modulare la spinta** con un rapporto **1:10.** Capacità che gli attuali motori a propellente liquido non sono in grado di effettuare e, a maggior ragione i motori a propellente solido.

Infine, per quanto riguarda l'applicazione dei motori ibridi nell'ambito dei lanciatori di nuova generazione, porterebbe a quella **riduzione di costi** che sta diventando sempre più necessaria a vincere le sfide di **accessibilità allo spazio**. Ovviamente, quando ci si confronta con il settore lanciatori, occorre considerare attentamente le capacità cui la tecnologia può tendere, evitando di porsi obiettivi irraggiungibili, quali primi stadi di lanciatori di medio- grosse dimensioni.

Quando si prendono in considerazione i **motori criogenici** a Ossigeno e Metano liquidi, si prevede di realizzare il **terzo stadio di VEGA** con prestazioni migliori per **incrementare** le **capacità** del lanciatore in termini di massa e orbita di rilascio del carico pagante, fino a 2000 kg e 700 km in Orbita Polare. Inoltre, non meno importante, si realizzerebbe uno **stadio a tecnologia nazionale**. Attualmente, infatti, si utilizza la tecnologia Ucraina, che impiega la UDMH (Unsymmetrical Dimethylhydrazine) e il tetrossido di azoto, che permette di raggiungere i 700 km (orbita polare) con 1500 kg di carico pagante.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

I motori **ibridi** in **Italia** sono stati e sono tutt'ora oggetto di sviluppo da parte **dell'Università di Padova, dell'Università di Napoli e del CIRA.** In questo ambito si sono raggiunti risultati molto im-

portanti, portando allo sviluppo di propellenti sia a base di HTPB che di paraffina, unitamente a ossidanti quali il perossido di idrogeno, l'ossigeno liquido e il protossido di azoto. Il perossido di idrogeno ad alta concentrazione (HTP) è attualmente l'ossidante che racchiude in sé il migliore compromesso tra prestazioni/costi e trasportabilità.

In **Europa** ci sono sviluppi in tal senso sia in Francia, ma, soprattutto in Norvegia, dove la **NAMMO** ha costruito un impianto per la gestione di grandi quantità di perossido di idrogeno.

Lo sviluppo della tecnologia a perossido di idrogeno può poi essere sfruttata anche nei sistemi di propulsione satellitare a monopropellente, laddove il perossido di idrogeno costituisce una valida alternativa all'idrazina, ma estremamente più sicura anche se con minori prestazioni.

Lo stato attuale dello sviluppo ha permesso a **Thales Alenia Space I**talia di realizzare un **dimostratore di "soft landing" su Marte**, utilizzando 4 motori ibridi a spinta variabile da 160 N a 1600 N, comandati simultaneamente da un unico sistema di Guida, Navigazione e Controllo. Per quanto riguarda invece la tecnologia **LOX/LCH$_4$** al momento è in fase avanzata di sviluppo sia in Italia, **AVIO e CIRA**, e Germania, che in Russia e USA. La NASA stessa sta provando nei suoi laboratori motori che prevedono la sostituzione del kerosene con il metano liquido.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 14

SVILUPPO NUOVI PROPELLENTI SOLIDI AVANZATI

DESCRIZIONE

14.1 PROPELLENTI COMPOSITI GREEN/SMOKELESS

Il principio del propellente composito è basato sulla necessità di avere una reazione di combustione auto sostenuta nella camera motrice per generare il flusso di gas attraverso l'ugello e conseguentemente ottenere la spinta. La reazione di combustione è fatta avvenire tra un ossidante e un riducente (combustibile), entrambi presenti in stretto contatto in una matrice solida.

Come legante è impiegato usualmente una gomma poliuretanica. Il polimero base è il polibutadiene ad ossidrili terminali (HTPB), liquido allo stato di materia prima e a questo vengono aggiunte, per mescolamento, le cariche solide. Durante la fabbricazione vengono, inoltre, addizionati isocianati che per reazione di polimerizzazione porteranno alla struttura poliuretanica. Questo processo è generalmente definito "curing". Il propellente passa, quindi, da una fase liquida viscosa, dove l'ossidante e il combustibile sono in sospensione, ad una gomma composita solida, in cui le particelle solide sono intrappolate nel reticolo della struttura poliuretanica. Il legante usualmente include anche agenti che migliorano la coesione dell'interfaccia polimero-cariche. Essi sono necessari per le diverse caratteristiche di polarità delle due specie che non tendono ad aggregarsi in maniera naturale. Altri additivi, i plastificanti, migliorano la lavorabilità e le caratteristiche meccaniche finali. Il legante è responsabile del comportamento meccanico del propellente e dell'incollaggio all'involucro motore (o agli isolanti termici). Inoltre è esso stesso un tipo di combustibile per la possibilità di generare una combustione.

Per quanto riguarda il combustibile principale, è usualmente impiegata polvere di alluminio (Al), per dare la reazione di combustione prevalente:

$$Al \xrightarrow{[O_2]} Al_2O_3$$

L'ossidante più utilizzato per propellenti solidi compositi è il perclorato di ammonio (AP).

La coppia di ossido-riduzione (redox) AP/Al è in realtà una combinazione molto energetica ed è la prima responsabile dell'alta spinta fornita dai propellenti compositi.

La velocità di combustione è influenzata dalla distribuzione delle particelle di AP per la differente superficie di combustione presentata da cristalli di differente grandezza. La reazione dell'AP, infatti, avviene allo stato solido, essendo una decomposizione indotta da stress termico (accensione) che fornisce ossigeno per la combustione dell'alluminio. La caratteristica di combustione del propellente dipende generalmente da alcuni altri parametri quali la pressione nella camera, determinata dall'area di gola dell'ugello per la compressione dei gas e la temperatura raggiunta. Tutti

questi parametri sono presi in considerazione, quando si progetta un grano propellente per un motore destinato a una specifica missione. Ogni sotto-componente deve essere finalizzato per poter raggiungere il requisito di spinta del motore. La forma del grano (a stella, a sigaretta, ecc.) influisce sul profilo di spinta così come la configurazione dell'ugello e il rapporto di espansione. La maturità della tecnologia di propulsione a composito solido permette ora una buona flessibilità nelle caratteristiche generali, insieme con alti livelli di affidabilità e ridotti costi di produzione. Tutte le materie prime per un propellente composito sono inerti finché AP e Al non sono miscelati. Solo in quel momento la miscela è classificata come "esplosivo" e mostra sensibilità a sollecitazioni esterne con la possibilità di reazione. Prove di sicurezza assegnano ai propellenti compositi la classe di rischio ONU 1.3.C che identifica la possibile reazione come "combustione" invece di "detonazione".

L'altro aspetto di questo miglioramento della tecnologia in termini di prestazioni e sicurezza è l'aumento delle emissioni dovuto alla produzione di specie tossiche, corrosive e tracciabili come l'acido cloridrico e le particelle solide di allumina. Questa è generata dall'ossidazione dell'alluminio ed è normalmente in fase liquida all'interno della camera di combustione, nell'area di gola e nella plume (emissione gassosa dall'ugello) a causa delle alte temperature. La presenza di questa fase condensata provoca la tracciabilità del razzo nella regione del visibile e può essere solo leggermente ridotta agendo sulla granulometria della polvere alluminio da cui dipendono in parte le dimensioni le micro – gocce di allumina. Se l'emissione di specie nocive per l'ambiente è un problema che coinvolge maggiormente il campo civile aerospaziale, l'emissione di specie tracciabili è un problema che può essere limitante in applicazioni militari.

14.2 PROPELLENTI CON ESPONENTE DI PRESSIONE NEGATIVO

La velocità di combustione di un propellente aumenta all'aumentare della pressione insistente sul propellente e all'aumentare del cosiddetto "coefficiente di pressione".

Un basso valore (o addirittura negativo) sarebbe altamente attrattivo al fine di minimizzare il rischio di esplosioni accidentali del motore. Un esponente di pressione negativo potrebbe inoltre creare ulteriori vantaggi riguardo la versatilità del motore stesso, potendo costituire la base per arrivare allo spegnimento del motore. È questo pertanto un interessante filone di attività di ricerca.

14.3 PROPELLENTI CONTENENTI LEGANTI ENERGETICI

In seguito alla sostituzione del perclorato di ammonio e all'eliminazione dell'alluminio nelle formulazioni di propellente composito, inevitabilmente si perde contenuto energetico in termini di impulso specifico e volumetrico. Le formulazioni green/smokeless (i.e. non inquinanti e a bassa tracciabilità) quindi non sarebbero competitive da questo punto di vista, rispetto alle formulazioni a base di perclorato di ammonio e alluminio. Il recupero dell'energia persa potrebbe essere risolto con l'impiego di leganti polimerici energetici al posto del legante inerte HTPB.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

I lanciatori spaziali di satelliti influenzano sempre di più la vita umana, contribuendo al miglioramento delle comunicazioni, dei sistemi di navigazione e di quelli per l'esplorazione terrestre. Nel

futuro il numero dei lanci è destinato quindi ad aumentare. Ad oggi i sistemi di lancio si basano sull'uso di motori a propellente solido perché più semplici e facilmente gestibili. Di contro, questi motori, considerata la modalità di funzionamento, non offrono elevata versatilità e competitività, rispetto, ad es., ai motori a propulsione liquida. Questi ultimi possono, infatti, essere spenti e riavviati a piacimento. Inoltre, fattori ambientali rischiano di aggravare ulteriormente la situazione. Il perclorato di ammonio ha si eccellenti caratteristiche per essere usato come ossidante nei propellenti solidi, ma ha un impatto negativo sull'ambiente e sulla salute dell'uomo, causando i seguenti effetti:

- eliminazione strato ozono,
- danneggiamento tiroide
- formazione piogge acide.

Inoltre, in futuro, regolamenti REACH potrebbero limitare di molto l'impiego di materiali largamente impiegati in questa tecnologia.
Per rendere sostenibile il futuro dei propellenti solidi è necessario, quindi, investigare su materiali innovativi, prodotti con tecnologie "green", che permettano di raggiungere caratteristiche di minore impatto ambientale, di minore tracciabilità (motori tattici), e di prestazioni balistiche comparabili agli attuali propellenti. Inoltre, la minimizzazione dell'esponente di pressione in seguito all'impiego di speciali materiali, potrebbe creare la possibilità di poter spegnere il motore e di veder quindi aumentata quella flessibilità di funzionamento, propria dei motori a propulsione liquida.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Da diversi anni sono in corso in Italia, attività di ricerca mirate al miglioramento della tecnologia in termini di riduzione delle emissioni acide (i cosiddetti "clean propellants", propellenti puliti) e sono state studiate nuove famiglie di propellente facenti uso di materiali energetici, in accordo con le tendenze della comunità scientifica mondiale che lavora sui razzi a propulsione solida, secondo le seguenti aree di sviluppo:

Aumento dell'energia

- Propellenti con leganti energetici (GAP e POLYNIMMO).
- Propellenti con legante inerte e aggiunta di nitrammine (HMX).

Riduzione emisisoni acide

- Propellenti contenenti nitrato di ammonio (AN).
- Propellenti "scavenged", con nitrato di sodio ($NaNO_3$), con riduzione delle emissioni acide dal 20 fino all'80%.
- Propellenti "neutralized", con magnesio (Mg), con riduzione delle emissioni acide fino al 40%.

All'estero le attività di ricerca sono rivolte ad ossidanti alternativi al perclorato di ammonio, oltre allo sviluppo di nuovi leganti energetici. Va comunque detto che ancora poco o nulla esiste su formulazioni industrializzate contenenti i materiali suddetti.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 15

SISTEMI DI SEPARAZIONE STADI E CONTROLLO SPINTA

DESCRIZIONE

I sistemi di separazione e di controllo della direzione di spinta dei propulsori sono due delle principali aree tecnologiche alla base, sia delle prestazioni, che dei costi dei sistemi di lancio. In particolare con **sistemi di separazione** si intendono sia quelli dedicati a separare uno stadio, alla fine della sua funzione propulsiva, dalla restante parte del lanciatore che prosegue la sua ascesa orbitale, sia quelli di separazione degli schermi protettivi del vano in cui è posto il carico utile (Fairing), che quelli che separano quest'ultimo dall'ultimo stadio del lanciatore, una volta raggiunta l'orbita finale richiesta. I sistemi di separazione essendo in generale fonte di azioni meccaniche impulsive e che agiscono su strutture abbastanza deformabili, costituiscono una elevata criticità tecnica: sia dal punto di vista strutturale (massa del lanciatore), che da quello dei carichi trasmessi al resto del veicolo e al carico utile (essenzialmente shock), sia da quello della affidabilità della missione nel suo complesso. È infatti facilmente comprensibile che una separazione non riuscita, o anche significativamente anomala provoca l'impossibilità di posizionare il carico utile sull'orbita finale desiderata (cioè provoca la perdita della missione del lanciatore).

Si vuole segnalare la particolare criticità di tre specifiche separazioni che sono non facilmente simulabili a terra e che generano solitamente buona parte dei rischi associati alla missione di un lanciatore:

- La separazione del primo stadio: essa avviene in condizioni atmosferiche ancora significative (i.e. ad una quota ove risulta ancora importante il carico aerodinamico destabilizzante il veicolo); per essa è fondamentale una attuazione estremamente rapida al fine di evitare la perdita di controllo del lanciatore in ascesa orbitale.
- La separazione degli schermi protettivi del carico utile durante la quale, a causa della loro elevata elasticità e della dinamica del lanciatore in ascesa, sono possibili fenomeni di interferenza tra gli schermi separati e il resto del veicolo e/o il carico utile.
- La separazione del carico utile, per la quale risulta importante ridurre al massimo i fenomeni di generazione di carichi di shock e di carichi meccanici destabilizzanti il carico utile separato (rischio di perdita di controllo di quest'ultimo dopo separazione finale).

Oggi è necessaria una evoluzione di tali sistemi di separazione in quanto sono disponibili tecniche e materiali che la rendono possibile; in particolare si segnalano:

- sviluppo di un sistema di "firing in the hole" per separazione degli stadi bassi del lanciatore: invece di separate fisicamente i due stadi e poi di attivare il propulsore di quello superiore, si attiva quest'ultimo e si sfrutta la pressione generata dal suo flusso in uscita dall'ugello per separare i due stadi.

- Sviluppo di sistemi di separazione non basati su attuatori pirotecnici (generanti elevati livelli di shock) ma su altri approcci (ad esempio innesco termico o mediante materiali a memoria di forma, o altro ancora).

I sistemi di controllo della direzione di spinta sono invece oggi costituiti in gran parte da sistemi chiamati TVC (Thrust Vector Control) e che prevedono l'utilizzo di martinetti idraulici, o elettrici, per comandare la deflessione del propulsore (o del solo ugello di spinta) verso la direzione comandata dal sistema di controllo del veicolo. Questo approccio ha il lato negativo di generare una complessità lato motore: infatti questo non deve solo generare la spinta richiesta nel modo più "efficiente" possibile (i.e. alto impulso specifico), ma deve anche essere costruito in maniera tale da rendere possibile, sicura, ripetibile e accurata la deflessione dell'ugello all'interno del range angolare richiesto per il controllo del lanciatore (ordine dei 5-10 deg). Numerosi approcci alternativi sono stati ipotizzati al fine di separare le funzioni di generazione spinta e quella del suo controllo di direzione, alcune, di significativo interesse, sono di seguito riportate:

- Utilizzo di flap orientabili posti all'interno del flusso uscente dall'ugello (fisso) facente parte del motore.
- Utilizzo di spillamenti estratti dall'ugello (fisso) e convogliati nella opportuna direzione di uscita.
- Utilizzo di "petali" di prolungamento dell'ugello (fisso) orientabili al fine di generare un effetto non assialsimmetrico e pertanto attivo nel creare orientamento della spinta totale del propulsore.
- Utilizzo di sistemi ausiliari di controllo di assetto (a propellente solido), specificatamente progettati per generare le coppie di controllo richieste durante la fase di spinta del motore principale.

Anche per tali sistemi, recenti evoluzioni nell'ambito dei materiali resistenti ad alte temperature e dei propellenti solidi, rendono possibile lo sviluppo di sistemi di controllo della direzione della spinta che potrebbero risultare globalmente molto convenienti al livello sistema veicolo; in particolare relativamente ad aspetti di costo ricorrente e di affidabilità (fondamentali in contesti competitivi internazionali).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le principali motivazioni strategiche che sono alla base della richiesta di sviluppo tecnologico sono di seguito riportate:

- Ridurre il costo dei sistemi di lancio.
- Aumentare l'affidabilità dei sistemi di lancio.
- Sviluppare innovativi sistemi di separazione e sistemi di controllo direzione di spinta che consentano penetrazione commerciale al livello europeo e mondiale.
- Aumentare l'affidabilità dei motori a solido per lanciatori e diminuirne il costo (tramite l'utilizzo di motori esclusivamente mirati all'ottimizzazione degli aspetti prestazionali (Impulso specifico) e senza l'impiego di giunti flessibili nell'ugello.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Alcuni sistemi tra quelli citati sono storicamente ben noti, e hanno costituito una base della fase pionieristica dei lanciatori (V1- V2 + alcuni motori dell'Unione Sovietica); oggi i materiali disponibili rendono possibile una totale revisione /evoluzione degli approcci sviluppati nel passato.

Sistemi di separazione stadi basati sull'approccio "firing in the hole" sono stati sviluppati in Francia per ambiti militari. Alcuni sistemi "non TVC" sono stati ipotizzati da ditte Europee e preliminarmente valutati in modo teorico.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 16
SISTEMI DI LANCIO ORBITALE

DESCRIZIONE

L'Italia ha, da molti anni, individuato il trasporto spaziale come una delle capacità strategiche nazionali da sviluppare e mantenere. Il volo del Lanciatore Vega, del 13 Febbraio 2012, ha dimostrato l'ottenimento di tali capacità, creando le basi per l'affermazione di una leadership Italiana del campo di tutte le "operazioni" in Orbita bassa (LEO).

L'importanza del conseguimento di tale leadership è sottolineata dalle prospettive del potenziale mercato: in effetti il prossimo decennio sembra indicare una crescita generalizzata del settore LEO relativamente ai satelliti per osservazione della terra, ricerca scientifica ed istituzionali in genere. Una ulteriore prospettiva si va delineando anche nel settore dei satelliti per telecomunicazioni grazie alla sostituzione della propulsione chimica con la propulsione elettrica. La rapida evoluzione della propulsione elettrica permette di ridurre la massa dei satelliti per telecomunicazioni fino al 50%, rendendo pertanto possibile la loro messa in orbita GEO mediante trasferimento da un'orbita iniziale LEO raggiunta con l'utilizzo di piccoli lanciatori (a costi assai ridotti rispetto a quelli grandi). Lo sviluppo di queste nuove opportunità, soprattutto dal punto di vista di raggiungimento del livello tecnologico adeguato, potrà essere conseguito solo se agevolato dalla presenza di programmi nazionali e locali da una parte, e dalle necessaire integrazioni tra Ministeri, Regioni e Distretti che, se ben coordinate e attuate, possono permettere quelle sinergie di complemento ai programmi dell'Agenzia Spaziale Italiana e porre l'Italia in posizione di leader mondiale nel settore del trasporto spaziale (e operazioni) per missioni in LEO. In questo contesto per "operazioni" in LEO intendiamo sia il raggiungimento da terra di tale orbita (segmento Lanciatore, "spendibile" o ri-utilizzabile), che le operazioni tipiche delle missioni operative in volo (segmento satellitare e di controllo a terra), che le operazioni eventuali di rientro al suolo (veicoli, capsule di rientro e moduli per il de-orbiting/ re-orbiting).

Condizione indispensabile per poter conseguire tale leadership è quella di poter disporre di un accesso nazionale e indipendente a tutte le inclinazioni orbitali in LEO (i.e da equatoriali a sun sincrone). Questo, considerata la localizzazione geografica del nostro Paese (i.e. nel cuore del Mar Mediterraneo), è particolarmente complesso perché qualsiasi sia la traiettoria di ascesa di un lanciatore decollante dal nostro suolo nazionale, questa sorvolerà comunque aree densamente popolate e quindi risulterà non compatibile con le massime probabilità di danno catastrofico per le popolazioni (casualty risk limit) oggi fissato dalle normative internazionali.

Sono state svolte, dall'Industria e dalla Agenzia Spaziale Italiana, diverse analisi di come superare l'inconveniente citato relativo alla sicurezza delle operazioni di ascesa in orbita, in particolare:

A utilizzo di una base (fissa) posta in acque extraterritoriali (vedi Malindi, anche se oggi facente parte dell'area posta sotto la sovranità del Kenya)

B utilizzo di una base galleggiante mobile
C utilizzo di un approccio aviotrasportato, con base di operazioni posta sul suolo nazionale e zona di lancio comunque selezionabile missione per missione sulla base di esigenze prestazionali e di sicurezza.

L'opzione A) è risultata strategicamente/ politicamente non percorribile in quanto l'allestimento e mantenimento di tale base costituirebbe un impegno economico maggiore, e la sua utilizzabilità sarebbe sempre sottoposta a decisione unilaterale del paese ospitante.
L'opzione B) risulta praticabile solo qualora il numero di missioni/ anno previste fosse maggiore alla decina, altrimenti il costo ricorrente di mantenimento della struttura mobile e della sua organizzazione risulterebbe proibitivo. In aggiunta, con tale approccio, sarebbe impossibile garantire i tempi minimi (circa 4 giorni) tra richiesta di lancio e immissione in orbita caratteristici di una missione di intervento rapidi per razione ad una situazione emergenziale ovunque posta sulla superficie della terra.
L'opzione C) risulta la più attraente, ed è stata analizzata in dettaglio tramite suddivisione nelle seguenti sub-opzioni:

C1) utilizzo di sistema tipo dirigibile
C2) utilizzo di velivolo fighter
C3) utilizzo di velivolo cargo

L'opzione C1) è risultata tecnicamente e logisticamente troppo complessa e con percentuali di "disponibilità" piuttosto ridotte e fortemente influenzata da fenomeni meteo. L'opzione C2), quando applicata a velivoli fighter a disposizione della Aeronautica Nazionale, è risultata con non sufficienti capacità di trasporto sotto la carlinga dell'aeromobile, sia in termini di massa totale che di diametro disponibile (distanza limitata tra velivolo e superficie di appoggio. L'opzione C3) è risultata la preferita, e analizzata in dettaglio basandosi sull'utilizzo del velivolo C130J (o C130-J30 che offre una capacità di crescita in termini di volume del lanciatore trasportato). La missione tipica del sistema è presentata nella seguente Fig. 123. In essa un piccolo lanciatore (con massa di circa 17ton) viene estratto dal velivolo cargo che ha raggiunto la zona prevista per l'ascensione orbitale. Dopo l'estrazione il lanciatore si separa dalla sua struttura di sostegno e interfaccia con il Velivolo di trasporto, attiva un paracadute che ha lo scopo di rallentare la sua caduta verso terra e smorzare le oscillazioni attorno alla verticale. Quando tali oscillazioni rientrano nei livelli compatibili con l'accensione del primo stadio, questo è attivato e il lanciatore, separato il paracadute, inizia la sua ascesa orbitale sino al raggiungimento dell'orbita finale per il rilascio del Payload.
Il piccolo lanciatore trasportabile tramite il velivolo citato consente il trasferimento in orbita di un carico utile dell'ordine di 100Kg.
Il sistema di accesso allo spazio sopra descritto è caratterizzato **da una sola area tecnologica maggiore che è al di fuori delle competenze disponibili in ambito nazionale (ed europeo**): quella costituita dalla capacità di estrarre, in sicurezza, e di separare un carico utile di circa 19t (17t lanciatore + 2t struttura di supporto) da un velivolo cargo. È quindi questa l'area tecnologica maggiore abilitante il sistema proposto.

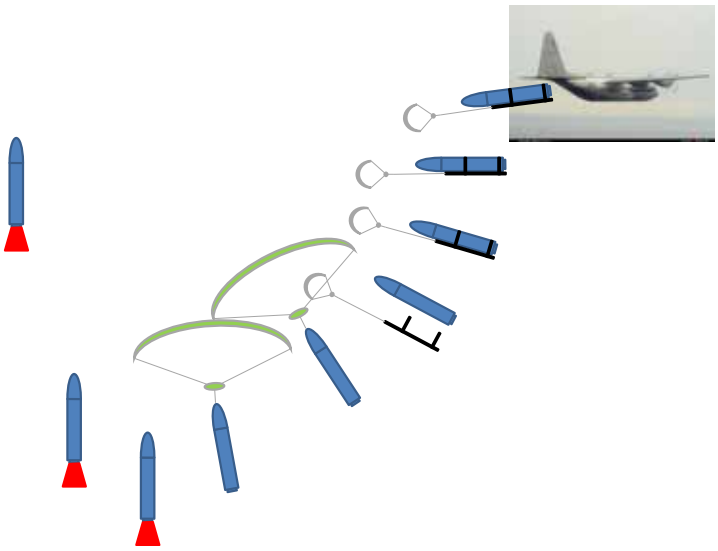


FIG. 123 – MISSIONE TIPICA DI LANCIO TRAMITE VELIVOLO CARGO

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le principali motivazioni che sono alla base della proposta di sviluppo della tecnologia descritta sono le seguenti:

- Acquisizione di una capacità italiana di accesso indipendente allo Spazio (anche senza disporre di un poligono di lancio sotto il controllo nazionale);
- Acquisizione di esperienza su tecnologie chiave per la realizzazione di sistemi di lancio aviotrasportati al fine di poter rivendicare ruoli di leadership nell'ambito dei futuri programmi per aviolancio previsti al livello europeo/ internazionale;
- Sviluppo e commercializzazione di un sistema di accesso in LEO per piccoli carichi utili, oggi non serviti dai lanciatori europei esistenti, e per i quali è possibile prevedere un forte sviluppo nel medio periodo.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Ad oggi non risultano operativi commercialmente sistemi di trasporto e lancio tramite velivoli cargo.

Nazioni extraeuropee (almeno USA e Russia) hanno effettuato trasporti e separazioni di lanciatori anche di massa superiori a quelle compatibili con il velivolo C130J.

Un documento di riferimento è quello elaborato dalla Scuola di Ingegneria Aerospaziale di Roma su commissione dell'Industria. Tale documento analizza in dettaglio lo stato dell'arte relativo ai sistemi orbitali per aviolancio.

A livello di interesse nazionale ed europeo per i sistemi di accesso allo spazio basati su aviolancio, si segnalano le seguenti posizioni:

EU: Il Trattato di Lisbona, e la ministeriale di Dicembre 2014, indicano con forza la rilevanza strategica dell'indipendenza dell'accesso allo spazio.
ESA: "L'accesso indipendente allo Spazio, la capacita cioè di poter mettere in orbita satelliti senza far ricorso a veicoli di lancio di Paesi terzi, e stato uno dei pilastri su cui e stata fondata l'Agenzia Spaziale Europea nel 1975.
Oggi l'importanza dell'accesso autonomo allo Spazio e unanimemente riconosciuta in Europa, e sancita dalla Risoluzione sulla Politica Spaziale Europea dello Space Council."
Segnaliamo infine che l'Europa continua ad essere attore primario nel mondo in termini di servizio commerciale di lancio senza uomo a bordo, grazie ad Ariane 5, Soyuz e Vega.
ASI: Il documento di visione strategica 2010-2020 di ASI definisce priorità strategica quella delle tecnologie di accesso allo spazio. In particolare definisce come una specifica responsabilità dell'ASI *"vigilare affinché le competenze tecniche nel settore finanziate dall'ASI, siano mantenute all'interno del sistema pubblico di ricerca, permettendo all'industria nazionale del settore il loro pieno sfruttamento a fini economici."*
Infine vogliamo sottolineare che la capacità di collaborazione internazionale in ambito bi-laterale nell'area dell'accesso allo spazio, costituisce un asset già oggi proficuamente utilizzato da ASI.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 17

SERBATOI E STRUTTURE DI NUOVA GENERAZIONE PER LANCIATORI E VEICOLI SPAZIALI

DESCRIZIONE

Le tecnologie legate ai serbatoi e alle strutture pressurizzate in materiale metallico sono abilitanti per la propulsione e per la realizzazione di moduli abitati operanti nello Spazio poiché hanno e avranno sempre di più, dal punto di vista della competitività, un'incidenza rilevante nelle future missioni in termini di ottimizzazione della massa e dei costi di produzione. La **riduzione di massa**, con leghe di nuova generazione e processi produttivi ad alto grado di automazione, si traduce infatti nella possibilità di aumentare da un lato il carico pagante andando così a ridurre i costi di missione e dall'altro di ridurre i costi del prodotto ricorrente. Nel caso specifico dei serbatoi, l'estensivo utilizzo della **propulsione criogenica**, caratterizzata da un basso impatto ambientale grazie alla combinazione di propellenti quali ossigeno-idrogeno o ossigeno-metano (**green propulsion**), contribuirà poi ulteriormente ad aumentare le prestazioni del lanciatore in tutte le sue fasi di volo.

I serbatoi e le strutture pressurizzate metalliche, per consentire un incremento delle attuali capacità di trasporto, dovranno quindi basarsi sia sull'innovazione introdotta da **leghe di alluminio di ultima generazione** (e.g. Al-Li e Al-Mg-Sc) sia su nuove tecniche di saldatura quali il **FSW (Friction Stir Welding**), abbinate alla serializzazione dei processi per gli elementi strutturali tipici che li compongono.

I **materiali compositi** trovano nelle strutture dei lanciatori spaziali, escluse al momento le applicazioni a serbatoi criogenici sopra citate, un campo ideale di applicazione grazie al margine di miglioramento delle prestazioni in peso rispetto ad equivalenti strutture in metallo. Tale aspetto gioca un ruolo fondamentale sia negli stadi bassi, dove le masse inerti sono ingenti, sia sulla parte alta del lanciatore, dove la riduzione di massa strutturale inerte si traduce in un immediato vantaggio in termini di capacità di trasporto.

Nell'ambito della famiglia dei lanciatori Europei, mentre Ariane e Soyuz adottano soluzioni progettuali classiche per le strutture primarie metalliche, nel piccolo lanciatore Vega i materiali compositi hanno trovato applicazione in gran parte delle strutture primarie pressurizzate (ad es. involucri dei propulsori a solido realizzati con tecnica "filament winding").

Tuttavia, rimangono ancora numerose le possibili aree di intervento, sia relativamente alla sostituzione di strutture metalliche con strutture in composito, sia relativamente all'ottimizzazione delle possibili soluzioni tecnologiche dei compositi stessi. Le **tecnologie automatizzate** oggetto di questo obiettivo realizzativo sono in generale concepite per garantire componenti ad alte prestazioni, grazie al controllo rigoroso dei parametri geometrici di deposizione, direzionalità delle fibre e precisione di taglio, rispetto alle tecnologie tradizionali.

In particolare si propone l'applicazione di compositi a serbatoi per motori a liquido della tipologia

"overwrapped" e per la realizzazione di strutture interstadio mediante tecnologie automatizzabili (tipo **"anisogrid deposition"**). La concezione dei componenti precedenti sfrutterà l'uso di tecnologie trasversali come il cosiddetto **"health monitoring"**.

Serbatoi e Strutture Pressurizzate Metalliche

I serbatoi metallici e in generale le strutture pressurizzate in lega di alluminio per l'aerospazio realizzate da TAS-I, richiedono consistenti attività di sviluppo tecnologico per la realizzazione e successiva giunzione degli elementi strutturali tipici, rappresentati da pannelli cilindrici a parete liscia o con costole di irrigidimento, calotte intere o a spicchi e anelli di interfaccia. Oltre alla nuova tipologia di saldatura FSW, lo sviluppo prevede la messa a punto di tecnologie dedicate alla realizzazione d egli elementi componenti la struttura primaria e che riguardano essenzialmente, in aggiunta al processo di saldatura, la formatura di pannelli cilindrici e di calotte con l'evoluzione a processi a più elevato livello di automatizzazione rispetto a quelli attualmente in uso.
Le applicazioni in campo spaziale riguardano:

- **Serbatoi per Motori a Razzo**, criogenici e non criogenici, in linea con l'evoluzione prevista per gli attuali sistemi di lancio spendibili ma anche per veicoli di lancio e rientro riutilizzabili: oltre al contenimento di pressione in entrambe le tipologie di applicazione è inoltre previsto che i serbatoi svolgano anche funzione portante dei carichi di volo per ottimizzare la massa del lanciatore.
- **Moduli Spaziali Abitati** permanenti in orbita o a moduli cargo di rifornimento di stazioni orbitanti (e.g. Stazione Spaziale Internazionale).

Le tecnologie sono volte allo sviluppo di serbatoi di grandi dimensioni indicativamente date da diametri tra i 4 e 6 m e lunghezze comprese tra i 10 ed i 15 m e di moduli abitati aventi gli stessi diametri 3-5 ma con lunghezze limitate ai 5-7 m.
Le tecnologie abilitanti sono strettamente legate alla giunzione e alla realizzazione di parti di questa tipologia di strutture:

Tecnologia di Saldatura FSW

La saldatura per FSW è ormai considerata la tecnologia di riferimento per la giunzione di strutture pressurizzate in ambito Spazio poiché offre una serie di vantaggi rispetto alle tecniche di fusione tradizionalmente usate finora. In primo luogo il materiale del giunto non arriva a fusione ma è portato allo stato viscoso dal calore generato dall'attrito di una spalla e dal rimescolamento operato da un perno che affonda tra i 2 lembi di saldatura senza richiedere l'introduzione di materiale di apporto. Questo comporta una minore degradazione del giunto per effetto della temperatura che si riflette immediatamente in prestazioni meccaniche più elevate e in una difettologia prossima a zero. In particolare tale tecnica consente di unire anche quelle leghe di alluminio ad alte prestazioni non saldabili con le normali tecniche per fusione. La FSW consente inoltre di unire leghe a diversa composizione chimica permettendo così l'utilizzo di leghe più prestanti per le parti strutturalmente più critiche. Questo processo si caratterizza inoltre per il più basso consumo energetico rispetto alle normali tecniche per fusione.

Tecnologia di Formatura di Pannelli Cilindrici

L'alta efficienza strutturale demandata ai serbatoi aventi anche funzione portante richiede, per i pannelli componenti la parte cilindrica, l'utilizzo di configurazioni a parete irrigidita con costole longitudinali e circonferenziali che possano garantire, rispetto alla configurazione a parete liscia, un'ottimizzazione spinta della massa. L'eventuale sinergia con leghe di Al ad alte prestazioni quali l'Al-Li fornisce ulteriori margini di miglioramento. Gli attuali metodi di formatura per pannelli a parete irrigidita, seguono una procedura consolidata ma con necessità di ottimizzazione, previo dedicato sviluppo tecnologico, per incrementarne il grado di automatizzazione e la ripetibilità di processo: in particolare sviluppando un processo di formatura a controllo numerico per pannelli irrigiditi che riduca i tempi di produzione rispetto alle attuali tecniche di brake forming e creep forming.

Tecnologia di Formatura di Calotte

La doppia curvatura tipica delle calotte a profilo semisferico o ellissoidale richiede particolari tecniche di formatura su strutture in parete sottile e su diametri di calotta compresi tra i 3 e 6 m. La precisione richiesta rispetto ad analoghe dimensioni di calotta per serbatoi in altre applicazioni industriali differisce spesso di un ordine di grandezza, ne consegue la necessità di sviluppare un processo che consenta di raggiungere dimensioni e precisioni elevate.

Le tecniche più promettenti riguardano ad esempio il "peen forming" che consente, mediante un processo di pallinatura a controllo numerico, di realizzare degli spicchi di calotta con curvature molto precise da unire poi anche in questo caso mediante saldatura (sinergia con processo FSW) oppure in pezzo unico, tramite processi di stampaggio a caldo e successivo invecchiamento allo stato finale di tempra.

Le tecnologie evidenziate concorrono alla realizzazione completa di strutture pressurizzate metalliche di grandi dimensioni che vanno dai 3 ai 5 metri di diametro con parti cilindriche composte dalla giunzione di segmenti e aventi lunghezza totale dai 5 ai 15 metri. A tale scopo le priorità di ricerca riguardano i seguenti punti:

- Messa a punto delle tecnologie abilitanti indicate sopra per le varie parti della struttura metallica (saldatura e formatura degli elementi).
- Sperimentazione su leghe di Al innovative ad elevate prestazioni e/o compatibili con il contenimento di fluidi criogenici.
- Prove di sviluppo tecnologico per materiali base e saldati e su dimostratori rappresentativi di singoli elementi strutturali.
- Messa a punto di un catalogo di difetti di riferimento per giunti saldati con l'applicazione di tecniche di controllo non distruttivo.
- Realizzazione prova di un prototipo in scala 1:1 in ambiente rilevante.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

I requisiti delle strutture dei futuri lanciatori spendibili e riutilizzabili, e gli obiettivi sui costi di produzione delle unità ricorrenti rendono necessaria l'evoluzione delle attuali tecnologie di saldatura e formatura delle parti costituenti e la loro sperimentazione su elementi rappresentativi e prototi-

pi. La disponibilità di tecnologie di fabbricazione e di progetto evolute abbinate a leghe innovative può abilitare l'industria nazionale a rafforzare e avanzare la propria posizione nello sviluppo sia dei sistemi di lancio sia delle strutture orbitanti.
L'incremento di competitività si traduce in possibilità di successo nella partecipazione a programmi spaziali commerciali e delle Agenzie governative. In particolare nel caso di programmi a elevato numero di ricorrenti annui sono inoltre evidenti le ricadute di lavoro nel tempo per l'azienda ed il suo indotto.
I risultati dello sviluppo non sarebbero solo specifici al settore, poiché l'interesse nel campo delle tecnologie di fabbricazione di serbatoi di grosse dimensioni può avere ricadute anche altri settori industriali (e.g. serbatoi per industria chimica, per termovalorizzatori) dove la qualità spinta del prodotto "spazio" può essere sfruttata per l'incremento della sicurezza ambientale.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

I maggiori sviluppi nel campo delle tecnologie di saldatura FSW e formatura automatizzata di pannelli cilindrici per serbatoi, sono in questo momento riscontrabili soprattutto negli USA in relazione al programma Orion. Per quanto riguarda invece la produzione di calotte intere o a spicchi per applicazioni a veicoli spaziali, le tecnologie più evolute risiedono sia in USA sia in Germania.
In Italia la capacità di saldatura FSW è stata sviluppata su prototipi in scala ridotta e diverse tipologie di formatura per pannelli cilindrici sono disponibili ma è necessario estenderne il grado di automazione per produzioni ad alto numero di ricorrenti e per incremento di competitività. La formatura di calotte, anche di grandi dimensioni, è disponibile per applicazioni industriali meno demandanti e con utilizzo di materiali diversi da quelli per applicazioni spaziali. Esistono in sostanza delle capacità ed un tessuto industriale che costituiscono una buona base di partenza per l' auspicata l'evoluzione delle tecnologie per serbatoi e strutture pressurizzate metalliche in ambito Spazio.

Strutture ad Alta Stabilità Dimensionale e Serbatoi in Composito

a) Strutture anisogrid

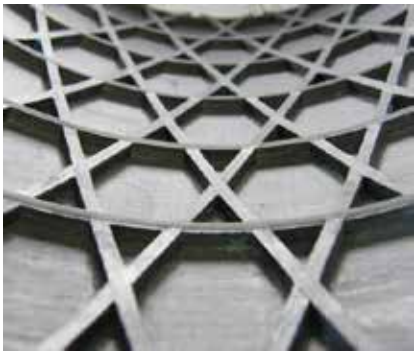


FIGURA 124 – ESEMPIO DI STRUTTURA "ANISOGRID" A CELLE ESAGONALI IN FIBRA DI CARBONIO

Nell'ambito delle soluzioni per strutture ad alta stabilità dimensionale, come ad esempio gli interstadi e gli adattatori per il supporto del payload di lanciatori, un posto centrale è ricoperto dalle strutture innovative cosiddette **"anisogrid"** (ovvero anisotropic-grid). Esse rappresentano un concetto più generale e strutturalmente efficiente della più nota tipologia "isogrid" a semplici celle triangolari (originariamente realizzata in alluminio lavorato di macchina) che caratterizza molte delle strutture pannellari critiche in peso dei lanciatori Statunitensi. La struttura anisogrid consiste in un sistema regolare di nastri "tow" in fibra di carbonio interlacciati secondo traiettorie elicoidali e circonferenziali che formano sul pannello una serie di celle esagonali. La struttura anisogrid viene completata (ove richiesto per ulteriore incremento delle prestazioni strutturali) da una sottile pelle esterna "skin" in composito, co-curata all'ossatura di elementi di rinforzo unidirezionali.

b) Serbatoi in composito (overwrapped)

L'idea alla base del serbatoio overwrapped (COPV, Composite Overwrapped Pressure Vessel), è quello di disaccoppiare la funzione di impermeabilità ai gas (o liquidi) dalla resistenza strutturale. La barriera alla permeazione può essere costituita da un sottile involucro interno **"liner"** in materiale metallico o polimerico, rivestito da un rinforzo strutturale in fibra da alta resistenza. In questo modo è possibile minimizzare il peso della barriera, la cui deformazione è contenuta dall'**avvolgimento esterno (overwrapping)**. Nel campo dei recipienti in pressione, la tecnologia del **"filament winding"** offre grandi vantaggi soprattutto dal punto di vista prestazionale e tecnologico, con un processo di deposizione automatica del materiale composito altamente ripetibile e affidabile.

Altro indiscutibile vantaggio di tali serbatoi è quello di risolvere aspetti critici delle strutture in pressione legati alla sicurezza: i serbatoi overwrapped sono infatti naturalmente in grado di soddisfare il requisito di **LBB (Leak Before Burst)**, poiché l'eventuale propagazione di cricche nel "liner", con conseguente perdita di tenuta, provoca una depressurizzazione controllata del serbatoio. Nell'ambito delle normative internazionali sul rientro in orbita terrestre di oggetti spaziali, è inoltre non trascurabile il vantaggio offerto da strutture leggere, capaci di perdere integrità strutturale a causa dell'intenso riscaldamento aerotermico, rispetto ai tradizionali serbatoi metallici – ad es. in titanio- che spesso sono tornati al suolo integri (requisito di disintegrazione al rientro).

I vantaggi prestazionali dei COPV rispetto a quelli in materiale metallico (alluminio, titanio), vanno coniugati con l'attenzione al contenimento dei costi: la scelta di materiali di tipo commerciale, e la massima spinta all'automazione dei processi e dei controlli deve essere perseguita fin dalle prime fasi di progetto e di definizione del flusso di MAIT (Manufacturing Assembly & Integration).

Ci sono però molti aspetti di tipo tecnologico che vanno messi a punto, a partire dalla progettazione del sistema "liner" con avvolgimento in composito, fino ai dettagli dell'intero ciclo di manufacturing. Infatti, l'alta efficienza del sistema è legata alla capacità realizzativa di "liner" a parete sottile (spessori che spesso scendono sotto il millimetro), che necessitano elevata precisione in fase di formatura, saldatura e controllo non distruttivo. Anche la fase di avvolgimento e polimerizzazione dell'avvolgimento esterno può diventare dimensionante per questo tipo di oggetti. Da qui la necessità di prevedere e tenere sotto controllo il comportamento della struttura anche durante il ciclo tecnologico di fabbricazione (carichi durante avvolgimento e polimerizzazione). La

congruenza del progetto passa quindi anche attraverso la gestione e messa a punto di strumenti di simulazione di processo.

L'obiettivo realizzativo è quello di produrre prototipi di 2 famiglie di COPV che hanno immediata ricaduta applicativa nell'ambito spaziale:

- Serbatoi di gas pressurizzante, caratterizzati da un contenuto volume interno (diametro massimo 500 mm) e da pressioni molto elevate (centinaia di bar). Questa tipologia di serbatoi ha applicazioni sia nel campo dei lanciatori per satelliti che nella propulsione satellitare stessa. Il prototipo di riferimento avrà un diametro di circa 400 mm.
- Serbatoi per propellente liquido. Le pressioni di esercizio sono intermedie (decine di bar). Il prototipo di partenza è un serbatoio di circa 600 mm di diametro. Nel caso specifico non verrà richiesta resistenza ai carichi di volo (ipotesi di alloggiamento del serbatoio su struttura primaria), ma viene richiesto di fornire un'interfaccia meccanica sul piano equatoriale del serbatoio.

Le attività più rilevanti sono:

- Analisi dei requisiti di base e preparazione della specifica tecnica
- Scelta dei materiali per il "liner" e delle tecnologie associate (e.g. tecnica di saldatura)
- Qualifica materiali e dei processi tecnologici
- Fabbricazione prototipi e messa a punto del processo tecnologico
- Prove funzionali e di qualifica sui prototipi
- Scale up del processo

La Tecnologia di Structural Health Monitoring (SHM)

Le strutture in materiale composito usate largamente nel settore aerospaziale accanto agli innegabili vantaggi prestazionali esibiscono una elevata **sensibilità ai danni da impatto**. Impatti a bassa velocità che possono essere indotti durante le fasi di produzione, integrazione, movimentazione (danni accidentali) e in servizio, nonostante la progettazione safe-life ormai consolidata dei componenti, possono condurre in mancanza di appropriate fasi di controllo ad eventi catastrofici per l'intero sistema.
I principali problemi associati con il danneggiamento da impatto possono essere:

- Identificazione della tipologia di danno (micro cracking, delaminazione o rottura di fibra);
- Mutua interazione tra le diverse tipologie di danno da impatto;
- Valutazione della degradazione delle caratteristiche meccaniche rispetto all'ammissibile usato in fase di progetto.

Le **tecniche "attive"** per il rilevamento di danni da impatto sono caratterizzate da attuazione o eccitazione della struttura con successivo monitoraggio della sua risposta. Tra queste le più usate sulle strutture in composito sono le tecniche basate su ultrasuoni, Raggi X, tecniche modali, metodi ottici (shearografia e olografia).
Sistemi basati su ultrasuoni sono largamente usati nel settore aerospaziale comunque tali tecni-

che, sebbene affidabili, comportano un elevato dispendio in termini di tempo e costo non solo dal punto di vista del personale ma anche dell'hardware. Tali problematiche risultano meno critiche per le **tecniche "passive"** basate sul monitoraggio della struttura attraverso la valutazione di risposte indirette di tipo termico o di emissione acustica
Entrambe le tecniche comunque necessitano di informazioni locali e globali sulla struttura attraverso una **rete di sensori**. Le *fibre ottiche*, basate sui *reticoli di Bragg*, possono essere considerate come i canditati ideali per applicazioni di SHM su componenti in composito.

I sistemi di SHM verranno dimostrati per strutture in materiale composito di grandi dimensioni, come involucri motore e interstadi, realizzando tecnologie di ausilio per:

- Controllo stress residui (al termine del processo di manufacturing);
- Accettazione dei componenti attraverso prove meccaniche;
- Identificazione danneggiamenti durante prove di accettazione;
- Identificazione di danni da impatto nella struttura durante le fasi di trasporto ed integrazione finale per il lancio.

Obiettivo generale è lo sviluppo di tali tecnologie attraverso la realizzazione di **prototipi** in scala del componente reale che sono caratterizzati da requisiti di monitoraggio strutturale diversi in termini di grandezze fisiche da misurare e di funzionalità del sistema di SHM. Una volta dimostrata la **tecnologia su piccola scala** saranno realizzati i dimostratori in scala reale.

A tale scopo, le priorità di ricerca riguardano i seguenti punti:

- Messa a punto delle tecnologie abilitanti indicate sopra.
- Prove di sviluppo tecnologico su dimostratori rappresentativi di serbatoio e interstadi.
- Definizione e realizzazione di un network di sensori per SHM in grado di monitore il comportamento strutturale e rilevare la presenza di difetti eccedenti i criteri di accettazione.
- Realizzazione prova di un prototipi in scala 1:1 in ambiente rilevante.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Strutture anisogrid

La progettazione di strutture primarie ad altissima efficienza, soggette ai carichi di compressione e flessione quali ad esempio gli interstadi dei lanciatori spaziali, non può che evolversi nella direzione dei materiali compositi per le note proprietà di resistenza, rigidezza e leggerezza. Meno evidente, tuttavia, è quale sia il concetto tecnologico-strutturale in grado di sfruttare in maniera ottimale il materiale base e quale il processo di manifattura sia tale da determinare un quadro complessivo di relativa economicità che possa giustificarne il salto tecnologico. È noto che il rispetto delle buone norme progettuali per il materiale composito in taluni casi limita fortemente il risultato atteso in termini di risparmio di massa effettivo, rendendo meno appetibile l'applicazione, anche in relazione all'impiego dei costosi pre-impregnati e degli impianti a corredo.
Questa duplice esigenza (risparmio di massa e processo economico) trova invece una valida risposta nell'impiego di architetture in composito grid che, almeno per le grandi strutture assialsimmetriche cilindriche come quelle degli interstadi o tronco-coniche come quelle degli adattato-

ri, sono in grado di soppiantare efficacemente gli attuali concetti a guscio rinforzato propri delle analoghe strutture in lega di alluminio. Questa tecnologia trova ideale applicazione a strutture in materiale composito di grandi dimensioni, come ad esempio gli interstadi del lanciatore VEGA.
Nelle applicazioni in oggetto, il **design strutturale** è dominato da meccanismi di *instabilità strutturale locali e globali* sotto gli elevatissimi carichi di compressione e flessione della fase di lancio. L'impostazione di progetto che ne deriva, pertanto, deve tendere a strutture discretizzate in cui la maggior parte della massa e della capacità di assorbimento dei carichi possa concentrarsi sugli elementi di rinforzo, relegando ad un eventuale skin di base, estremamente sottile, un ruolo secondario volto ad incrementarne ulteriormente la stabilità strutturale.
Oltre allo sviluppo di modelli, di criteri di progetto e di ottimizzazione, suffragati da validazioni sperimentali, sul fronte propriamente tecnologico è stato messo a punto e brevettato un processo di **avvolgimento robotizzato (robotic winding)** di fibre di carbonio secche seguito da infusione di resina con sacco a vuoto. Il brevetto riguarda in particolare lo sviluppo di una testa di deposizione automatizzata in grado di svolgere con continuità la deposizione contemporanea delle traiettorie elicoidali e circonferenziali. Il brevetto ha segnato un marcato miglioramento di efficacia e versatilità rispetto alla tecnica di avvolgimento russo (in cui è necessario avvalersi di un circuito elicoidale di raccordo tra i diversi avvolgimenti circonferenziali).

Serbatoi in composito

Alla base di tutte le applicazioni proposte c'è la possibilità di subentrare in mercati, in parte legati al mondo spaziale ed in parte a quello aeronautico, che possono diventare fonte di espansione per la nostra azienda. In particolare:

- È evidente lo spostamento della propulsione spaziale verso l'utilizzo di motori a liquido: in questo ambito Avio ha investito sulla messa a punto di questo sistema di propulsione, ma al momento non può fornire un sistema completo e deve approvvigionare esternamente tutto ciò che è inerente ai serbatoi.
- Sugli stadi alti del lanciatore diventa sempre più importante ridurre la massa inerte per recuperare le performance del lanciatore; il risparmio di massa deve però essere compatibile con costi sostenibili.
- L'applicazione dell'health monitoring permette di tenere costantemente sotto controllo lo stato delle strutture orientando l'impiego delle tecnologie di fabbricazione anche verso settori più prettamente aeronautici dove il susseguirsi di missioni con cicli di manutenzione possono avere importanti impatti sulla vita delle strutture.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La **struttura anisogrid** è diffusamente impiegata nei lanciatori russi fin dagli anni '80. Dieci anni fa, alcuni ricercatori del CIRA intuirono l'interesse e la portata di tale applicazione, dapprima attraverso i primi articoli russi che cominciavano ad affacciarsi in letteratura agli inizi del 2000. Sulla scia dell'esperienza russa, è stato prodotto in questi anni un corpo di attività teoriche, numeriche e sperimentali che, sebbene ancora confinate all'ambito prototipale, hanno evidenziato il raggiungimento di competenze apprezzate in tutto il mondo, come testimoniato anche dal fatto che

l'Agenzia Spaziale Giapponese (JAXA) ha avviato gli studi e le sue attività sperimentali in ambito "anisogrid structures" partendo proprio dalle pubblicazioni italiane su riviste di settore. Il brevetto CIRA sul tema segna inoltre un marcato miglioramento di efficacia e versatilità rispetto alla tecnica di avvolgimento russo (in cui è necessario avvalersi di un circuito elicoidale di raccordo tra i diversi avvolgimenti circonferenziali).

Il mercato dei **serbatoi overwrapped** nel campo spaziale è prevalentemente extraeuropeo (USA), e legato allo sviluppo della propulsione satellitare e dei bisogni legati alla ISS. In Europa c'è un TRL elevato solo per i serbatoi metallici, che vengono considerati la baseline nelle applicazioni correnti.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 18

ADDITIVE MANUFACTURING

DESCRIZIONE

Le tecnologie additive, o Additive Manufacturing (AM), permettono di realizzare parti riscaldando localmente granelli di polvere, di diversi tipi di materiale, nelle posizioni definite da un modello virtuale (per esempio generato da un CAD).

Nel settore spazio, la principale Tecnologia Additiva atta alla realizzazione di parti con l'utilizzo di materiali metallici, è identificata come Additive Layer Manufacturing (ALM). Come si evince dal nome, la costruzione del componente avviene per strati, il componente accresce uno strato alla volta. Ogni singolo strato viene ottenuto depositando uno strato di polvere su uno già esistente, successivamente la polvere viene sinterizzata o fusa tramite somministrazione di una quantità di energia in modo controllato, dando origine al profilo della sezione. Alla fine del processo, il componente viene estratto dalla macchina e ripulito della polvere in eccesso, che viene recuperata per lavorazioni successive.

Negli ultimi anni sono state sviluppate diverse tecnologie ALM che consentono la fabbricazione di componenti multifunzionali di forma complessa a partire da polveri di leghe metalliche commercialmente disponibili. Queste tecnologie, nate e sviluppate inizialmente per rispondere ad esigenze di "rapid prototyping", sono poi evolute come "direct digital manufacturing".

I principali vantaggi derivanti dall'utilizzo di tecnologie ALM risiedono nel poter realizzare forme complesse non realizzabili con l'impiego di tecniche classiche (asportazione di truciolo), con cavità interne, pareti sottili e microstrutture interne (net structures). Inoltre, la capacità di realizzare piccole tirature di geometrie customizzate, a basso costo, rende l'ALM estremamente appetibile per un settore particolare come quello spaziale.

Il principale limite, ad oggi, risiede nell'impossibilità di realizzare componenti di grandi dimensioni con le macchine presenti in commercio.

Le due principali tecniche ALM sono la "Selective Laser Sintering e Melting" e la "Electron Beam Melting".

Selective Laser Sintering e Melting (SLS o SLM)

Con questa tecnologia, i granelli che compongono gli strati di polvere, vengono selettivamente sinterizzati o fusi in atmosfera di gas inerte con un laser controllato con alta precisione, consentendo di produrre componenti con eccellenti finiture superficiali e tolleranze dimensionali. Trattamenti termici di post-lavorazione conferiscono al componente delle proprietà meccaniche comparabili con quelle dei pezzi ottenuti con le tecnologie tradizionali. Possono essere impiegati diversi materiali come ad esempio materiali termoplastici, cera, metalli e sabbia.

Electron Beam Melting (EBM)

Come la SLS o SLM anche in questa tecnologia il pezzo viene costruito per strati, ognuno dei quali ottenuto dalla fusione selettiva di letti in polvere di metallo. A differenza della tecnologia laser, la fusione delle polveri viene ottenuta per mezzo di un fascio elettronico, in vuoto spinto (10^{-5} bar) e a temperature superiori ai 500 °C. Queste condizioni di lavoro consentono di eliminare la possibilità di inglobare impurezze e ridurre gli stress residui nel manufatto. Un altro vantaggio di questa tecnologia rispetto alla SLS è l'elevata produttività.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le motivazioni che infondono nella comunità scientifica un interesse sempre più crescente verso le tecnologie di Additive Manufacturing risiedono nei molteplici aspetti vantaggiosi che queste tecnologie offrono in contrapposizione a quelle tradizionali sottrattive e che vengono di seguito riassunti:

- La quasi totalità di libertà sulle forme producibili grazie ai minori vincoli tecnologici, tanto da rendere inadeguati i sistemi attuali di modellazione CAD sviluppati per le tecnologie di produzione sottrattive. Per cui è richiesto ai produttori dei modellatori CAD un loro sviluppo, in modo tale da poter sfruttare appieno questa possibilità offerta dalle tecnologie additive;
- Riduzione drastica dei tempi di sviluppo di un nuovo prodotto e conseguente riduzione del time to market: le fasi di affinamento di un componente vengono effettuate intervenendo direttamente sul relativo modello CAD senza grande impatto sui cicli di lavoro e senza modifica di stampi ed attrezzature legate alla sua produzione, sia prototipica che a seguire;
- La gestione delle parti nella fase produttiva si semplifica notevolmente sia per la maggiore integrazione delle parti stesse (filiera di produzione più corta), che negli aspetti delle varianti e delle modifiche evolutive nel tempo direttamente operate sul modello CAD destinato alla produzione, che per gli aspetti di magazzino, virtualmente riducibile a zero;
- Riduzione del rapporto buy-to-fly, ovvero tra il peso del materiale impiegato per la realizzazione del componente grezzo e il peso del componente finito. Ne deriva una riduzione degli scarti e del consumo energetico tale da poter definire "green" tali tecnologie;
- La possibilità, per alcune tecnologie, di stampare componenti e meccanismi già assemblati, con la conseguente eliminazione dei costi di manodopera per l'assemblaggio;
- Possibilità di processare metalli caratterizzati da bassa lavorabilità (Leghe di Titanio, Superleghe a base di Nichel come l'inconel, leghe innovative di Alluminio, etc.).

Per quanto concerne il settore Spazio, è necessario sottolineare che molti sistemi spaziali in servizio richiedono regolare manutenzione, con un ingente impatto economico: una stima approssimativa indica in 20'000 USD/kg il costo necessario al lancio ed alla messa in operatività di sistemi spaziali in orbita bassa (LEO).

Nell'obiettivo di ridurre i costi, la tecnologia AM può giocare un ruolo di primo piano, sia se intesa come tecnologia "**per lo spazio**" sia se intesa come tecnologia "**nello spazio**".

Nel primo caso, "per lo spazio", la riduzione del costo di lancio e messa in servizio è il principale obiettivo di molte attività di ricerca, soprattutto qualora le missioni prevedono la possibilità di so-

stituire componenti in servizio. Infatti, in questo caso, il progetto con ottimizzazione topologica permette di avere un design spinto, con sensibile riduzione di massa a parità di prestazioni strutturali. Oltre al fattore peso, le tecniche AM consentono di avere, soprattutto per le classi dei piccoli satelliti (pico-nano-micro), un livello molto spinto di integrazione termo-meccanica con sensibile riduzione dei tempi e dei costi realizzativi. Stesso obiettivo, oggi solo limitato dalle dimensioni dei volumi di stampa, sarà progressivamente posto per le realizzazioni di dimensioni più impegnative, a cui peraltro già oggi si sta puntando con una tecnologia di AM a filo che però ancora prevede un minimo di rilavorazione meccanica per il recupero delle tolleranze finali (e comunque con minimo consumo sia di tempo che di materiale rispetto ad una lavorazione tradizionale).
Nel secondo caso, "nello spazio", lo scenario predominante è quello delle missioni di esplorazione spaziale, per le quali non è pensabile la fornitura fisica di componenti di ricambio. L'idea è quella di attrezzare le basi spaziali con sistemi AM, per la realizzazione di parti di ricambio in situ, con l'evidente vantaggio di non doversi dotare di un "magazzino" ricambi.
Inoltre, generalizzando, AM significa poter realizzare componenti on-demand, concetto importantissimo per tutti i siti di produzione situati in zone remote, poco accessibili, o con difficoltà ambientali. Questo concetto è tanto più vantaggioso quanto più le produzioni sono a bassa tiratura e quanto più la giacenza del ricambio deve essere assicurata per un periodo medio-lungo.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Al giorno d'oggi il crescente impiego delle tecniche di Additive Manufacturing, dovuto ad una riduzione dei loro costi nonché all'incremento delle prestazioni di queste macchine e allo sviluppo dei materiali impiegati, sta portando ad una riorganizzazione di tutto il sistema produttivo. Ciò induce molti ad associare l'avvento dell'AM all'avvio di una terza rivoluzione industriale, dovuta ad una radicale ristrutturazione del settore manifatturiero caratterizzata dal Reshoring, ovvero la ricollocazione di una parte della produzione che precedentemente è stata delocalizzata in paesi stranieri.
Tuttavia l'AM è al giorno d'oggi conveniente solo per produzioni in pezzo unico o in piccole serie, o per le produzioni di prodotti con geometrie molto complesse che risulterebbero molto onerosi in termini di tempi e costi produttivi, o che semplicemente sarebbero impossibili da produrre con le tecnologie tradizionali. Ad oggi le applicazioni delle tecnologie di AM per uso industriale trovano impiego nel settore aerospaziale e nel settore automotive, con particolare attenzione al comparto racing. Inoltre si sta avendo una notevole diffusione anche nel settore della produzione orafa e del gioiello e nel settore biomedicale per la realizzazione di protesi personalizzate per ortodonzia e l'implantologia maxillofacciale e cranica.

L'AM nel settore aerospaziale

Nel settore aerospaziale si può citare un caso particolarmente importante nel settore manifatturiero italiano, ovvero il caso di Avio Aero. Il suo stabilimento di Cameri (Novara), inaugurato il 14 Dicembre 2013, è uno degli stabilimenti più grandi al mondo concepito appositamente per l'AM, con 2.400 mq e la capacità di ospitare fino a 60 macchine di AM. Oltre allo spazio per le macchine AM, vi è anche lo spazio per l'installazione di due atomizzatori per la produzione diretta delle polveri, e due impianti per il trattamento termico dei componenti. Le due tecnologie impiegate da Avio Aero sono L'Electron Beam Melting (EBM) e la Direct Metal Laser Sintering (DMLS). Si sta

puntando a queste tecnologie poiché esse rispondono alle esigenze dell'aerospazio del futuro, permettendo di realizzare in tempi più contenuti componenti più robusti e leggeri, che consentono di ottenere una drastica riduzione dei consumi. Nel Gennaio 2015, i ricercatori della Monash University (Australia) hanno prototipato il primo motore jet al mondo interamente stampato con tecnologia additiva.

Tali prototipi sono realizzati con una velocità di circa 4 volte superiore a quella necessaria per la realizzazione di prototipi con tecnologia tradizionale. Tale evento rappresenta un punto di svolta tecnologico che potrà condurre alla realizzazione di motori jet più efficienti, più leggeri e meno costosi.

Thales Alenia Space Italy (TAS-I) sta attualmente lavorando su due filoni, rispettivamente seguendo le due filosofie di *AM-in-space* ed *AM-for-space*. Il progetto POP3D (*AM-in-space*), finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana, punta alla realizzazione della prima stampante 3D Europea a tecnologia FDM da imbarcare nella Stazione Spaziale Internazionale. Altri progetti in corso puntano allo sviluppo di processi produttivi per la qualifica di componenti spaziali realizzati con tecnologia AM (*AM-for-space*).

Thales Alenia Space France (TAS-F) ha già realizzato, nel maggio 2014, primi prototipi volanti di componenti strutturali in AM per il modulo AR6B.

Il Centro Italiano Ricerche Aerospaziali (CIRA) è impegnato nello sviluppo secondo tecnologia ALM/EBM di componenti di antenne satellitari, di motori aeronautici per l'aviazione generale e di motori per lanciatori. In particolare, nell'ambito del programma HYPROB, si sta mettendo a punto il processo per la realizzazione, post-lavorazione, qualifica e test di teste di iniezione di endoreattori a propellente liquido e camera di combustione rigenerativa.

Airbus ha realizzato una serie di elementi di struttura secondaria in materiale metallico, ha eseguito test a livello di materiale e di parti, con conseguente caratterizzazione finalizzata all'ingresso in servizio per i nuovi modelli. Per l'A350, prevede di iniziare la produzione di componenti in materiale plastico entro il primo semestre 2015. Curtis Carson, capo del "research and technology for industrial systems in the Manufacturing Engineering Centre of Competence" di Airbus, ha recentemente dichiarato: *"Even with small components we'll see around 50% weight savings and a cost savings of 60 to 70% on production parts"*.

Airbus Defence and Space ha già realizzato diversi componenti satellitari utilizzando la tecnologia laser.

Sempre in Europa, GE Aviation ha dichiarato che entro il 2016 introdurrà diversi componenti realizzati con tecnologia AM nelle piattaforme propulsive sviluppate in cooperazione con la francese Snecma (SAFRAN), mentre in Gran Bretagna presso l'Università di Cranfield si sta mettendo a punto la tecnologia del Wire based AM (deposizione a filo) per pezzi metallici di grandi dimensioni (fino a 1.5m).

Molti altri attori del settore, soprattutto negli Stati Uniti, stanno da tempo lavorando con l'AM: Lockheed nello sviluppo di propulsion tanks e componenti satellitari, NASA nello sviluppo di stampanti 3D per applicazioni in gravità zero sulla Stazione Spaziale Internazionale. Il NASA's Marshall Space Flight Center di Huntsville, Alabama (USA), ha recentemente testato parti di motori a razzo di una complessità mai realizzata finora con tecnologia AM.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 19

TECNOLOGIE SPAZIALI DI TELECOMUNICAZIONE PER COLMARE IL DIVARIO DIGITALE

DESCRIZIONE

L'Agenda Digitale Europea (ADE) definita dalla Commissione Europea (CE) e l'Agenda Digitale Italiana (ADI) stabilita dal Governo Italiano nel 2012 hanno identificato come priorità di intervento il superamento del **divario digitale** *(digital divide)* e la promozione e lo sviluppo dei **servizi digitali**.
In tale contesto, un'infrastruttura di telecomunicazioni che fornisca una connettività a **banda ultra-larga** (cioè, con velocità di trasferimento dati superiori ai 30 Mb/s e con obiettivo finale di 100 Mb/s) su copertura nazionale è considerata un elemento strategico fondamentale. Al fine di raggiungere questo obiettivo sul 100% del territorio nazionale e per il 100% della popolazione, la complementazione delle reti terrestri fisse e mobili con un'infrastruttura per **telecomunicazioni satellitari** (SatCom System Infrastructure) è considerata un fattore chiave.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le elevate prestazioni richieste a tale **infrastruttura SatCom**, sia in termini di velocità di trasmissione dati che di capacità complessiva, inducono necessariamente all' impiego di elevate bande di frequenza, in particolare l' impiego delle Bande K/Ka e delle Bande Q/V.
Se, da un lato, l'impiego delle bande K/Ka (20/30 GHz) per il collegamento d'utente è una scelta ampiamente condivisa, considerando anche la disponibilità già sul mercato da alcuni anni di terminali d' utente COTS (*commercial-off-the-shelf*) su tali bande, dall'altro lato, l'utilizzo delle bande Q/V (40/50 GHz) per il collegamento di *feeder link* (cioè tra stazione *gateway e satellite*) viene considerata una scelta vantaggiosa, soprattutto per decongestionare la banda K/Ka a beneficio di un maggiore traffico d'utente da potersi supportare.
L'utilizzo di elevate bande di frequenza, unitamente a sfidanti prestazioni a radio-frequenza (RF) del carico utile di Satellite, in particolare gli elevati valori di parametri prestazionali a Radio Frequenza (EIRP e G/T) di Satellite, con copertura multi-fascio della area di servizio nazionale italiana, operando anche con ri-uso delle bande di frequenza sui vari fasci d' antenna del Satellite, permettono di raggiungere velocità di trasmissione di simbolo (*symbol rate*) molto elevate, così come richiesto dalle sfidanti richieste di capacità traffico da parte della utenza. Tali elevatissime *symbol rates*, supportate dai terminali d'utente, permetterebbero di soddisfare i requisiti di capacità di traffico, consentendo allo stesso tempo di conseguire un'elevata efficienza di impiego delle risorse di bordo (ad esempio Amplificatori di Potenza TWTA operati in singola portante ovvero con ridotto numero di portanti, in questo caso con valori di *Output Back Off (OBO)* ridotti, cioè massimizzando l' impiego di potenza offerta da parte delle risorse di Potenza Trasmissiva del Satellite.
Inoltre, l'utilizzo di protocolli di comunicazione standard come DVB-S/RCS e la loro evoluzione DVB-S2X/RCS2 permette collegamenti ad elevata efficienza spettrale (rapporto tra capacità di trasmis-

sione in bit/s e banda utilizzata in Hz), allo stesso tempo garantendo una potenziale elevata penetrazione nei mercati di massa.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Tale scenario prevede l'utilizzo e lo sviluppo delle seguenti tecnologie chiave, allo stato dell' arte, sia in Italia che all' estero, per il carico utile allocato su Satellite:

- utilizzo di tecnologie sulle bande Q/V, con conseguente progettazione e sviluppo di unità che operano sulle bande 40/50 GHz (ad esempio: *RF Front End / LNA / Demultiplexers / Down-converters in banda V, Amplificatori di Potenza (anche a Stato Solido) ed Output Multiplexers in banda Q,* prevedendo quindi lo sviluppo delle unità necessarie all'implementazione di catene complesse e complete;
- catene complete per la conversione da 50 GHz a 20 GHz per i collegamenti di andata (forward links);
- catene complete per la conversione da 30GHz a 40 GHz per la amplificazione di potenza per i collegamenti di ritorno (return links);
- antenne multi fascio ad elevate prestazioni per le bande K/Ka, in grado di supportare anche fasci molto direttivi di trasmissione e ricezione sulle bande Q/V.

Per il segmento di terra, l'utilizzo delle bande Q/V, per il collegamento di *feeder link*, per le stazioni di terra *(Gateways)*, necessariamente richiede:

- lo sviluppo di soluzioni per implementare *meccanismi di diversità geografica*, basati ad.es. sulla duplicazione dei sottosistemi RF/Antenna, delle stazioni di terra (*gateways*), su due o più siti, ben distanti e geograficamente separati, al fine di massimizzare la disponibilità di collegamento complessivo, contrastando le ben note elevate attenuazioni causate da fenomeni di pioggia, sui collegamenti in banda Q/V, in un singolo sito;
- la disponibilità di *demodulatori e decoders (chip),* ad altissima *symbol rate*, per terminali d'utente in grado di demodulare portanti di traffico ad altissima velocità di trasmissione (dell'ordine di varie centinaia di mega-simboli per secondo).

Tale scenario prevede ulteriormente l'utilizzo e lo sviluppo delle seguenti soluzioni e tecnologie per la **Piattaforma del Satellite**:

Propulsione elettrica, con soluzioni ottimizzate per:

- meccanismi di vettorizzazione della spinta di motori elettrici nel caso di piccole piattaforme (*Hall Effect Thrusters, HET*),
- contromisure agli effetti di contaminazione e degradazione su superfici (ad es. pannelli) e appendici del satellite (sensori, antenne e solar array) da parte della *plume* elettrica generata dai motori, ottimizzazione del controllo delle potenze gestite dall'Unità di Controllo della Potenza (*Power Control Unit, PCU*) per aumentare l'efficienza e ridurre le dissipazioni in funzione dei requisiti del sistema elettrico e sulla base delle esigenze di missione.

Radiatori dispiegabili, in grado di soddisfare il controllo termico del satellite durante la fase di trasferimento LEO-GEO ed sulla posizione orbitate di operatività.

Additive Layer Manufacturing *(ALM)* per le realizzazione della struttura di supporto dei feed e per speciali inserti al fine di minimizzare le problematiche tipiche di piccole piattaforme, relative cioè a massa ed ingombri.

Software per segmento di controllo satellite a terra*:* sviluppo di SW per la generazione automatica di procedure di volo e di stack di telecomandi in coerenza con il database TM/TC di missione.

Piattaforma compatibile *con il lanciatore VEGA Standard* sia in termini di ingombri che di massa al lancio.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 20
GNSS BASED APPLICATIONS

DESCRIZIONE

L'ampio sviluppo di cui è oggetto la tecnologia **GNSS** (Global Navigation Satellite System) con il dispiegamento di nuove costellazioni (**Galileo**), l'irradiazione di nuovi segnali e l'ampliamento della gamma di frequenze disponibili, fa sì che i sistemi di navigazione satellitare rappresentino ad oggi lo strumento tecnologico più rilevante per l'erogazione di servizi avanzati di navigazione nell'aviazione civile. In particolare, la navigazione satellitare consente di implementare procedure di avvicinamento con guida verticale (**APV** – Approach Procedure with Vertical guidance) secondo il "Performance-Based Navigation Manual", come richiesto dalla risoluzione ICAO (International Civil Aviation Organization) A37-11: la costellazione GPS (**Global Positioning System)** e il sistema **EGNOS** (European Geostationary Navigation Overlay System) consentono attualmente di supportare operazioni di avvicinamento APV-1 in Europa.

Il pieno dispiegamento della costellazione Galileo (attualmente in fase IOV – In Orbit Validation), l'adozione diffusa delle tecnologie **GBAS** (Ground Based Augmentation System) in ambito europeo e le nuove versioni di EGNOS consentiranno di raggiungere prestazioni più elevate delle attuali, in grado di garantire sicurezza e maggiore efficienza delle operazioni aeronautiche.

L'erogazione di servizi di radioassistenza satellitare include, oltre alla diffusione dei segnali GNSS e alle procedure aeronautiche previste, l'implementazione di servizi aggiuntivi tra i quali:

- registrazione dati grezzi per indagini post incidente;
- verifica periodica di Accuratezza, Integrità, Disponibilità e Continuità (parametri valutativi della qualità dei sistemi di localizzazione e navigazione);
- determinazione dei periodi in cui il GNSS non può supportare particolari operazioni previste;
- analisi prestazioni GNSS di flight trials;
- certificazione dei sistemi GNSS futuri.

Inoltre la tecnologia GNSS può essere utilizzata per ottimizzare e migliorare la sicurezza dei servizi aeroportuali erogati, non solo per quanto riguarda gli aeromobili presenti in aeroporto, ma anche i veicoli terrestri coinvolti in tutte le operazioni accessorie che vengono svolte nell'ambito del sedime aeroportuale (trasporto bagagli, manutenzione e rifornimento degli aerei, circolazione di mezzi di assistenza e soccorso, trasporto dei viaggiatori e del personale, ε), ovvero il cosiddetto **Apron Management**:

- monitoraggio in tempo reale di veicoli e velivoli in movimento nell'apron;
- monitoraggio della fornitura di servizi aeroportuali e controllo del tempo utilizzato per l'erogazione del servizio (time monitoring) e notifica del TOBT (Target Off Block Time) all'ATC (A**ir Traffic Control)**;

- sorveglianza del percorso e della localizzazione dei veicoli in movimento nell'apron con generazione di allarmi nel caso in cui il percorso effettuato non coincida con quello consentito o si verifichi l'ingresso del veicolo in aree "proibite";
- controllo dei possibili conflitti tra i veicoli in movimento nell'apron e invio di allarmi ai conducenti.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Focalizzare l'attenzione sulle opportunità che si dischiuderanno con la disponibilità di nuove costellazioni e nuovi segnali è fondamentale. Lo sviluppo dei sistemi GNSS e delle tecnologie collegate ed il loro fattivo sfruttamento permetterebbero di alleggerire le strutture a terra necessarie alla navigazione ed al controllo del traffico aereo, spostando in una certa misura la complessità a bordo degli aeromobili, con i seguenti benefici a lungo termine:

- possibilità di rendere più economica l'installazione e la manutenzione delle strutture necessarie al controllo ed al management del traffico aereo (si pensi alla complessità e ai costi di gestione di radiofari, sistemi VOR/DME (Very high frequency Omnidirectional Range/ Distance Measuring Equipment), o sistemi di atterraggio ILS (Instrument Landing System);
- implementazione di nuove *tecnologie di supporto all'ATC* e aumento della capacità degli aeroporti;
- possibilità di definire nuove rotte per l'avvicinamento all'aeroporto, con l'obiettivo di diminuire l'impatto in termini di rumore (centri abitati);
- *ottimizzazione delle rotte*, con conseguente risparmio di carburante e minor impatto ambientale.

Nel breve termine, l'obiettivo è quello di migliorare la sicurezza, avendo a disposizione un affidabile strumento di backup per i sistemi di navigazione che soddisfi gli standard aeronautici.
Analogamente, l'operatore aeroportuale vedrebbe incrementata la "awareness" dei propri mezzi a terra, riducendo i tempi morti, aumentando l'efficienza nella gestione della propria flotta e migliorando gli aspetti di sicurezza. La fornitura di questo tipo di servizi può essere identificata come un obiettivo a breve/medio termine, non avendo gli stessi requisiti stringenti delle applicazioni "safety-critical", ma essendo considerata a tutti gli effetti una applicazione "liability-critical".
Gran parte dei fornitori di servizi e dell'industria manifatturiera europea ed americana sta concentrando la propria attenzione su questi aspetti.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In previsione dell'ampio spettro di opportunità che si renderà disponibile con la definitiva operatività del sistema Galileo e con l'incremento della copertura e dei servizi offerti da EGNOS, tutti i maggiori fornitori di servizi ed aziende manifatturiere dell'aerospazio stanno partecipando allo *sviluppo di nuove applicazioni e nuovi standard*, in particolare riguardo ai seguenti aspetti tecnici o procedurali:

- definizione degli standard per ricevitori GNSS avionici multicostellazione/ multifrequenza;
- definizione degli standard di nuova generazione per l'utilizzo di tecnologie GBAS multicostel-

lazione / multifrequenza, con miglioramento delle prestazioni (fino a CAT-II/III) in termini di Integrità, Accuratezza, Disponibilità e Continuità (GAST-F);

- definizione di standard per il calcolo dell'integrità autonoma (Advanced RAIM – **Receiver Autonomous Integrity Monitoring**) a bordo dell'aeromobile arrivando a soddisfare requisiti di sicurezza più stringenti (fase di volo "LPV-200");
- sviluppo di nuove procedure di approccio che permettano di ridurre l'occupazione delle piste (diminuzione della congestione, incremento della capacità operativa e dell'efficienza), utilizzando tecnologie GBAS e GNSS che consentano il pieno sfruttamento di concetti innovativi (Adaptive Increased Glide Slope, Adaptive Runway Aiming Point);
- sviluppo di tecnologie e procedure per l'identificazione, la mitigazione o l'isolamento di disturbi intenzionali o accidentali (interferenze, "spoofing");
- definizione di algoritmi e metodologie di monitoraggio in tempo reale della qualità dei segnali GNSS;
- definizione di algoritmi e metodologie di predizione a breve termine della qualità dei segnali GNSS e delle prestazioni raggiungibili;
- sfruttamento della tecnologia GNSS per il controllo e la navigazione degli UAV (Unmanned Aerial Vehicles).

I suddetti sviluppi sono realizzati in stretto contatto con i maggiori provider ATC/ATM (Air Traffic Management) e l'industria manifatturiera aeronautica in ambito europeo.


WE BRING A NEW DIMENSION
TO YOUR HORIZONS
ThalesAlenia
Space
A Thales / Finmeccanica Company

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore 8 – Spazio

THALES ALENIA SPACE	Antonio Gammarota (Coordinatore)	
	Ornella Bombaci	Marco Nebiolo
	Giuseppe Catastini	Pasquale Pellegrino
	Stefano Cesare	Mario Pessana
	Cosimo Chiarelli	Andrea Pietropaolo
	Simona Ferraris	Andrea Torre
	Giacinto Losquadro	P aolo Venditti
	Mauro Montabone	Roberto Venturini
	Giorgio Musso	
CIRA	Antonio Concilio	Gianluca Amendola
	Stefania Cantoni	Nicola Paletta
	Ignazio Dimino	Giovanni Totaro
	Marco Marini	
	Giuliano Marino	
	Camillo Richiello	
INSTM	Giovanni Pulci	
UNIVERSITÀ DI TOR VERGATA	Piergiorgio Picozza	
TELESPAZIO	Paolo Bellofiore	
	Antonella Catucci	
	Salvatore Farruggia	
	Pierpaolo Pilloni	
	Damiano Valletta	
SELEX-ES	Marco Molina	
	Sandro Strappavecchia	
AVIO	Mauro Balduccini	

con la collaborazione di:
ASI – Agenzia Spaziale Italiana
SPIN-IT – Piattaforma Tecnologica Nazionale

Si ringraziano Patrizia Bruno e Anne Techel di Thales Alenia Space per il supporto alla progettazione grafica e alla revisione delle bozze.

SETTORE 9

>BENI STRUMENTALI PER L'INDUSTRIA E I SERVIZI<

PROFILO DEL SETTORE

Il *Manifatturiero* – nel cui ambito si collocano i *Beni Strumentali (BS)* – è un *settore* fondamentale, sia nei Paesi Avanzati che in quelli in via di Sviluppo. In effetti, a partire dalla Rivoluzione Industriale in Inghilterra, lo sviluppo economico e sociale dei Paesi è stato reso possibile dallo sviluppo dell'Industria Manifatturiera.

A livello Europeo, l'Industria manifatturiera, secondo i dati Eurostat 2011, è il primo "contribuente" alla crescita economica dell'Europa. Il suo fatturato e valore aggiunto sono, rispettivamente, 7.000 e 1.650 miliardi di euro (il 45% del valore aggiunto proviene dalle PMI). Dà lavoro, a più di 30 milioni di persone direttamente e a oltre 60 milioni nell'indotto. Il suo export al di fuori dell'Unione ammonta a oltre 1.500 miliardi di euro (più di Cina e Stati Uniti). Il mercato interno è costituito da 500 milioni di consumatori. 500.000 ricercatori e innovatori operano nei settori che costituiscono il manifatturiero. La crisi finanziaria ed economica, iniziata nel 2008; la competizione crescente di Cina, India, e altri Paesi emergenti; la competitività dei produttori europei ancora inferiore a quella pre-crisi; la necessità di evolvere verso una Globalizzazione Sostenibile, nel cui ambito si realizzi lo Sviluppo Sostenibile; costituiscono *grandi sfide*, economiche-sociali-ambientali-tecnologiche, che toccano il Manifatturiero e i suoi stakeholders, dalle imprese, alle istituzioni di ricerca, alle pubbliche autorità.

L'Europa intende sviluppare – *attraverso attività di ricerca e innovazione, formazione* – risposte altamente innovative, costituite da prodotti e servizi, processi e business models, nuove imprese, altamente competitive e sostenibili.

Si tratta quindi di promuovere e rafforzare un nuovo Manifatturiero, che per la sua elevata sostenibilità e competitività, fondata sull'innovazione, possa contribuire significativamente alla crescita di una nuova *economia sociale, intelligente, sostenibile, inclusiva*, che – tra l'altro – vede nelle *grandi sfide* nuovi mercati ad alto valore aggiunto.

A livello Nazionale, il Manifatturiero italiano riveste un ruolo rilevante in termini economici-sociali per il Sistema Paese. Esso, infatti – secondo i dati Eurostat 2011 – è costituito da 425.000 imprese, genera un fatturato di 921 miliardi di euro e dà lavoro direttamente a 3,9 milioni di persone. L'Italia è il secondo Paese manifatturiero industriale in Europa. Nel 2011 il valore aggiunto generato direttamente dal settore manifatturiero italiano è stato di 208 miliardi di euro, dietro alla Germania (490 miliardi) ma davanti alla Francia (195 miliardi) e al Regno Unito (178 miliardi). Negli ultimi anni il sistema manifatturiero italiano è stato messo a dura prova, dalla globalizzazione iniziata alla fine degli anni '90 e, successivamente, dalla crisi economica mondiale tuttora in corso. In entrambe le situazioni, secondo Fortis, il "made in Italy" – cioè le 4 A (Abbigliamento-moda, Arredo-casa, Alimentari-vini e Automazione- meccanica-gomma-plastica) – ha rappresentato una rilevante opportunità di crescita per la nostra economia. È da notare come all'interno delle 4A, l'Automazione-meccanica-gomma-plastica rappresenti ormai i 2/3 di ciò che viene comunemente definito come il made in Italy: nei primi anni del nuovo millennio essa ha più che bilanciato l'erosione del surplus del resto delle 4A. Negli ultimi 12 anni, uno dei fenomeni più rilevanti che hanno interessato l'economia italiana è stato sicuramente il notevole sviluppo dell'export di *macchine e apparecchi* (*Beni Strumentali , BS*) per l'industria e per impieghi generali. Essi costituiscono la componente più tecnologica del *made in Italy*. Questo fenomeno testimonia il riorientamento del Made in Italy verso i prodotti ad alta tecnologia e maggiore valore aggiunto. Esso ha spostato significativamente gli equilibri della specializzazione manifatturiera internazionale del nostro Paese, che oggi non è più soltanto cibo, moda e mobili (prodotti che restano comunque grandi punti di forza) (figura 125).

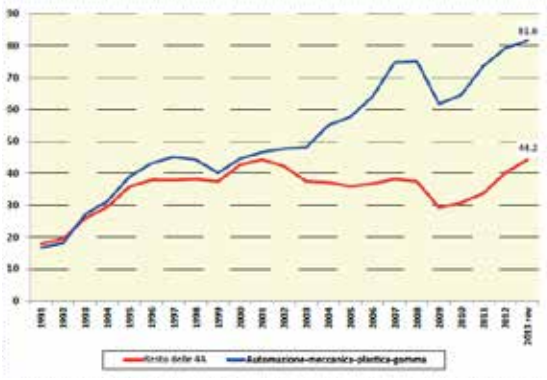


FIG. 125 – L'EVOLUZIONE DEI SETTORI DEL "MADE IN ITALY"
(valori in miliardi di euro)
Fonte: elaborazione Fondazione Edison su dati Istat

I *Beni Strumentali* hanno giocato un ruolo decisivo. Nel 2014, la bilancia commerciale italiana con l'estero di *macchine e apparecchi* è stata di ben 55 miliardi di euro, la terza migliore al mondo.

Nel 2012 l'Italia è entrata a far parte del ristretto club dei Paesi del mondo che possono vantare un surplus commerciale con l'estero per i prodotti industriali superiore ai 100 miliardi di dollari: alle spalle di Cina (866 miliardi), Germania (394 miliardi), Giappone (292 miliardi) e Corea del Sud (205 miliardi), il nostro Paese ha fatto registrare un attivo per i manufatti non alimentari di 113 miliardi di dollari.

Assieme a queste quattro nazioni, l'Italia si riconferma inoltre tra le sole cinque economie del G-20 a presentare un surplus strutturale con l'estero per i manufatti. La riprova della vivacità del sistema manifatturiero italiano viene fornita anche dall'ultimo aggiornamento del Trade Performance Index.

I Beni Strumentali sono *prodotti tecnologici* che consentono di effettuare specifici processi o servizi dal *primario* al *terziario*. Possiamo citare, per la loro rilevanza generale:

- nel *primario*, i BS per lavorazioni agricole e quelli per produzioni alimentari,
- nel *secondario*, i BS per la produzione industriale di prodotti di consumo e dei BS impiegati in tutti gli altri settori,
- nel *terziario* i BS mirati alla "salute".

In questo studio si intende considerare, concettualmente, i *Beni Strumentali* quali prodotti tecnologici che contribuiscono al nostro export e, tra questi, si considereranno con una particolare enfasi quelli per la produzione industriale. Per questi ultimi, in particolare, si terrà presente anche la loro natura di *tecnologia*, che attua una serie di processi produttivi e/o di servizi – *nelle fabbriche* – per la produzione di tutti gli altri BS e dei Beni di consumo.

Come schematizzato in figura 126, i BS si basano su *tecnologie* sia *specifiche* che *trasversali (comuni a diversi settori)*. I BS presentano cicli di vita che comprendono le fasi di progettazione, produzione, distribuzione, uso e manutenzione, dismissione e riciclo.

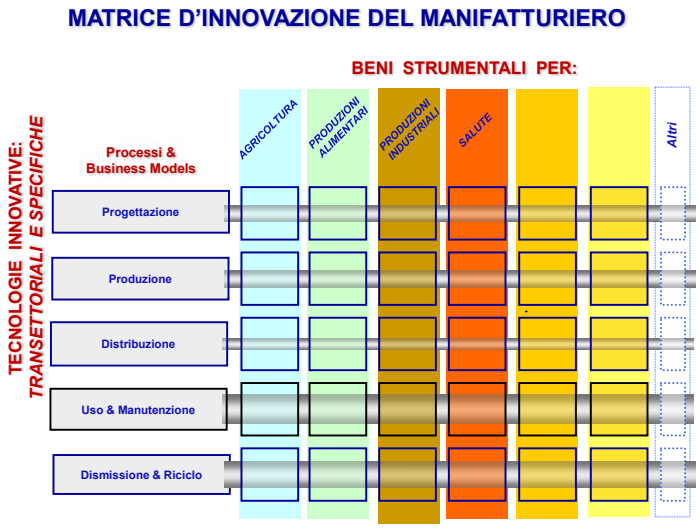


FIG. 126 – BENI STRUMENTALI PER L'AGRICOLTURA, LE PRODUZIONI ALIMENTARI, L'INDUSTRIA, LA SALUTE

MERCATO

A. Beni strumentali per l'Agricoltura

Il settore agricolo ha subito negli ultimi decenni una notevole evoluzione, soprattutto nei *Paesi più avanzati*, rafforzando l'interconnessione fra l'aspetto manifatturiero e quello della produzione agricola, amplificando anche gli aspetti legati alla gestione del territorio, alle ricadute in materia ambientale e ai temi legati alla tutela della salute nel settore agroalimentare.

Nei Paesi in via di sviluppo sono ancora prevalenti gli aspetti di carattere economico, causando di fatto una netta differenziazione fra i Beni Strumentali (macchine e attrezzature) e le metodologie (prassi gestionali) utilizzate nei Paesi più industrializzati.

A livello europeo il mercato ha avuto forte espansione del periodo 2011-2013. Il 2014 ha visto uno spostamento verso un clima recessivo, estensibile all'anno in corso. Il calo delle vendite è ascrivibile, in sensibile misura, al calo dei prezzi delle "commodities", quali i cereali ed il latte, che causa una ridotta propensione all'investimento da parte degli agricoltori e l'introduzione di nuovi meccanismi di incentivazione introdotti dalla Politica Agricola Comunitaria (CAP).

Lo scenario muta se osservato in funzione della tipologia di macchine. Per la trattrice agricola, il 2014 ha visto una contrazione significativa in Francia ed

Austria (-22% e -19% rispettivamente), mentre Spagna, Belgio e Turchia hanno visto crescite superiori al 10% (15% per la Turchia). Se Germania, Italia, Regno Unito e Olanda hanno visto cali inferiori al 2%, nel suo complesso l'Europa ha visto un calo di circa il 4%, che si prevede confermato in una calo del 5% nel 2015.

A livello globale, può essere significativo osservare come vi sia una netta differenziazione sul grado di meccanizzazione delle attività agricole. Se come indicatore viene utilizzato il numero di trattrici in esercizio ogni 1000 addetti all'agricoltura, si nota come in Europa e Stati Uniti si oscilli fra 700 e 1850 unità (circa una macchina per addetto) ad un valore medio di 3-6 per Cina, Africa e India.

Lo scenario rende i Beni Strumentali per l'agricoltura come un pilastro fondamentale di ogni politica di sviluppo sociale, aumentando la produttività, la disponibilità di cibo, il livello di benessere nelle aree rurali dei Paesi in via di sviluppo, ovviamente con elementi di contrasto nella dinamica demografica, nei tassi di urbanizzazione, negli effetti sul clima e nel rispetto dei vincoli sulla disponibilità di terreni e di risorse idriche.

A livello Nazionale – Il settore delle macchine agricole in Italia rappresenta un elemento trainante del settore manifatturiero, ma ancora di più è elemento qualificante di tutto il settore agricolo inteso come filiera che coinvolge aspetti legati alla manifattura meccanica, alla tutela e conservazione dell'ambiente, al bilancio energetico e alla salute nel settore agroalimentare, con profonde interconnessioni a livello di prodotto e di processo.

Il panorama nazionale vede un numero straordinariamente alto di aziende agricole, potenziali recettori della produzione di macchine destinate alla meccanizzazione che, resta stabilmente attestato attorno alle 1.6 milioni di unità [3]. Appare interessante notare come il numero sia calato (-32,4%) rispetto al 2000, ma come sia aumentata la dimensione media in termini di superficie agricola utilizzata (SAU, +44,2%).

La pressione sociale proveniente da tematiche di ampio respiro, ed una sempre maggiore consapevolezza dell'interconnessione dei temi di natura ambientale, sanitaria ed energetica con le pratiche agricole e con gli interventi infrastrutturali saranno oggetto di forti pressioni di tipo legislativo e normativo, in grado di orientare fortemente la *richiesta di Ricerca*, con evidenti riflessi già nella struttura delle *sfide sociali di H2020 e degli associati programmi nazionali di ricerca.*

B. Beni Strumentali per le Produzioni Alimentari

In base ai dati di preconsuntivo del mercato, il 2014 è stato un anno di crescita (0.9) per il settore *della tecnologia ed attrezzature per prodotti alimentari.* I dati dei tredici settori che compongono l'*industria della tecnologia ed attrezzature per*

prodotti alimentari mostrano che le vendite sui mercati esteri sono aumentate anche se di poco (0.9).

Il valore della produzione è aumentato, dello 0.9%, attestandosi a 5,028 miliardi di euro. Le esportazioni hanno raggiunto il valore di 3,302 miliardi (+0.9% sull'anno precedente).

EVOLUZIONE DEL SETTORE 2013-14
(milioni di euro)

	2013	2014*	14/13
Produzione	4.981	5.028	+0,9%
Export	3.273	3.302	+0,9%

Preconsuntivi
Fonte: ANIMA*

La produzione delle imprese appartenenti ai 13 comparti che attualmente compongono l'*industria della tecnologia ed attrezzature per prodotti alimentari* è cresciuta, come detto, a poco meno di 5 miliardi di euro nel 2014.

Un significativo contributo fornito all'economia italiana dal settore è dato dalle vendite all'estero: con 3,3 miliardi di euro. Infatti, una caratteristica distintiva dell'*industria italiana della tecnologia ed attrezzature per prodotti alimentari,* che si è rafforzata negli anni della crisi, è la forte propensione all'export.

Il saldo commerciale complessivo dei settori che formano *l'industria della tecnologia ed attrezzature per prodotti alimentari,* nel 2014, è stato positivo. Per rendersi conto di quanto questo risultato sia importante per l'economia italiana, bisogna ricordare che il saldo complessivo della bilancia commerciale nel 2014 è stato attivo per 51,3 miliardi di euro. Per quanto attiene all'occupazione, l'*industria della tecnologia ed attrezzature per prodotti alimentari* impegna una forza lavoro di oltre 22.000 addetti, in leggera decrescita rispetto al 2013.

C. Beni Strumentali per l'Industria manifatturiera

In base ai dati di preconsuntivo, il 2014 è stato un anno di ripresa per il settore dei Beni Strumentali per l'industria, dopo due anni di crisi, ripresa che avvicina il pieno recupero delle perdite subite nel 2009.

I dati dei tredici settori che compongono l'industria della meccanica strumentale mostrano che le vendite sui mercati esteri, che hanno sostenuto il settore durante la crisi, hanno fatto segnare ulteriori aumenti. Anche le vendite sul mercato interno hanno finalmente dato un forte segnale.

Il valore della produzione è aumentato, del 4,2%, attestandosi a 36,5 miliardi di euro. Le esportazioni hanno raggiunto il valore di 26,2 miliardi (+2,5% sull'anno precedente), segnando un nuovo record.

Le consegne interne sono aumentate in misura significativa (+8,9%), a 10,2

miliardi. La ripresa del mercato italiano, +7,4%, per un consumo pari a 16,8 miliardi, ha premiato anche gli importatori (+5,1%). La quota di mercato soddisfatta da macchinari stranieri si attesta al 39%.

EVOLUZIONE DEL SETTORE 2012-14
(milioni di euro)

	2012	2013	2014*	13/12	14/13
Produzione	35.160	34.985	36.450	-0,5%	+4,2%
Export	25.397	25.589	26.220	+0,8%	+2,5%
Consegne interne	9.763	9.396	10.230	-3,8%	+8,9%
Import	6.253	6.223	6.543	-0,5%	+5,1%
Consumo apparente	16.016	15.619	16.773	-2,5%	+7,4%

* Preconsuntivi
Fonte: FEDERMACCHINE

La produzione delle 4.600 imprese appartenenti ai 13 comparti che attualmente compongono Federmacchine è cresciuta, come detto, a poco meno di 36,5 miliardi di euro nel 2014, che corrispondono al 2,3% del Prodotto Interno Lordo.

Il contributo più rilevante fornito all'economia italiana dal settore è dato dalle vendite all'estero: con 26,2 miliardi di euro, le vendite di macchinari all'estero coprono una quota del 5,5% sul totale delle esportazioni italiane. Infatti, una caratteristica distintiva dell'industria italiana costruttrice di Beni Strumentali, che si è rafforzata negli anni della crisi, è la forte propensione all'export, che, nel 2014, ha raggiunto il 72% del fatturato (tutti i settori hanno registrato un rapporto tra esportazioni e fatturato almeno del 60%, con punte massime che superano l'80%).

Il saldo commerciale complessivo dei settori che formano Federmacchine, nel 2014, è stato positivo per 19,7 miliardi di euro (+1,6%). Si tratta del quinto anno di crescita, dopo il crollo del 2009, e del nuovo record assoluto.

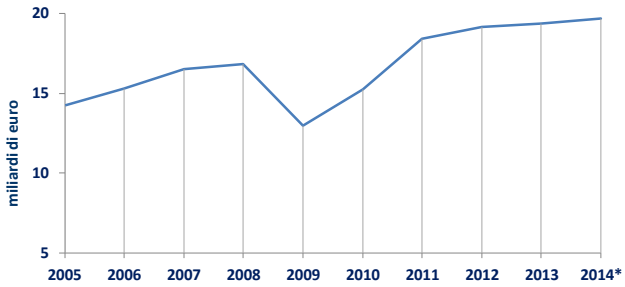


FIG. 127 – IL SALDO COMMERCIALE ITALIANO NEI BENI STRUMENTALI
* Preconsuntivi
Fonte: FEDERMACCHINE

Per rendersi conto di quanto questo risultato sia importante per l'economia italiana, bisogna ricordare che il saldo complessivo della bilancia commerciale nel 2014 è stato attivo per 51,3 miliardi di euro.

Per quanto attiene all'occupazione, la produzione dei Beni Strumentali per l'industria impegna una forza lavoro di oltre 178.000 addetti, in crescita (+0,3%) rispetto al 2013. Tale valore rappresenta il 4% del totale degli addetti nell'industria manifatturiera italiana.

I dati relativi al numero degli addetti e delle imprese e permettono di tracciare la mappa per regioni dell'industria italiana.

La Lombardia occupa una posizione di assoluta preminenza, con oltre il 40% degli addetti e quasi il 45% delle imprese.

Al secondo posto si trova l'Emilia Romagna, con quasi un quarto degli addetti e un quinto delle imprese, che infatti sono di dimensioni maggiori della media nazionale.

DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA DELL'INDUSTRIA
(quote sul totale)

	ADDETTI	IMPRESE
Lombardia	41,1%	44,5%
Emilia Romagna	23,8%	19,6%
Veneto	12,1%	11,6%
Piemonte	11,3%	9,2%
Marche	3,6%	2,6%
Toscana	2,6%	6,5%
Friuli Venezia Giulia	2,3%	2,0%
Altre regioni	3,1%	3,9%

Fonte: FEDERMACCHINE

Al terzo posto il Veneto, con il 12% degli addetti e delle imprese. Segue l'ultima grande regione industriale, il Piemonte, con l'11% degli addetti e il 9% delle imprese.

Volendo fare un confronto a livello internazionale, è necessario usare lo standard internazionale (la classificazione NACE/ISIC) e che fa riferimento alla produzione di macchinari e attrezzature: questa definizione è più ampia di quella italiana ma la comprende e permette quindi un paragone significativo.

La Cina (ma non ci sono dati ufficiali disponibili) è diventato il principale attore mondiale per quello che riguarda la produzione di macchinari, con oltre 4,3 milioni di addetti del settore.

L'Unione Europea si piazza al secondo posto, con più di 3,7 milioni di persone occupate nell'industria costruttrice di macchinari.

Al terzo posto, a sorpresa, troviamo la Russia: il dato riflette molto poco la reale capacità produttiva e competitiva dell'industria in quel paese. Forse è più

in relazione alla vecchia struttura economica e al tentativo di mantenere in vita un settore tradizionalmente strategico.

A seguire ci sono il Giappone (la grande potenza emergente nella seconda metà del XX secolo, prima che la Cina occupasse il centro della scena) e gli Stati Uniti, che nello stesso lasso di tempo hanno perso la supremazia e faticano a mantenere una posizione di rilievo nel settore.

All'interno dell'Europa la Germania occupa la prima posizione, con oltre un milione di addetti. L'Italia è seconda, con poco meno di 460.000 persone occupate nel settore, e precede nettamente il Regno Unito, terzo con 199.000 unità.

Da notare come la Polonia abbia più adetti nell'industria dei macchinari della Repubblica Ceca e della Spagna e come la Turchia, che non fa parte dell'Unione, sia davanti alla stessa Polonia.

D. Beni Strumentali per la salute

I dispositivi medici possono essere considerati Beni Strumentali che contribuiscono al processo di "mantenimento della salute" si caratterizza per l'eterogeneità delle famiglie di prodotti che ne fanno parte ed è campo di applicazione di numerose discipline scientifiche e tecniche che lo rendono un settore ad alta intensità tecnologica e di innovazione.

La multidisciplinarietà dell'apporto scientifico-tecnologico è anche l'origine dell'estrema eterogeneità del settore che, se da un lato ne rappresenta una ricchezza, dall'altro implica un ostacolo all'analisi. Al fine di ridurre il grado di articolazione e frammentazione del complesso di prodotti trattati, è possibile ricondurli a 7 comparti più omogenei sotto il profilo tecnologico. I comparti considerati sono: attrezzature tecniche, biomedicale, biomedicale strumentale, borderline, diagnostica in vitro (IVD), elettromedicale diagnostico, servizi e software.

Le imprese di produzione del settore operanti in Italia sono 1.217, delle quali 223 sono multinazionali (18%), 111 sono estere (9%). 228 imprese producono esclusivamente per conto terzi (19%), mentre le restanti 989 si occupano anche (o esclusivamente) di produzione di dispositivi medici a proprio marchio. Questa articolazione delle relazioni industriali configura quello dei dispositivi medici come un settore a "fabbrica diffusa". Il fatturato totale delle imprese di produzione ammonta a 7,8 miliardi di euro e i dipendenti sono nel complesso circa 30000. I segmenti tecnologici più rilevanti per numero di imprese, dipendenti e fatturato sono rappresentati dalle imprese dei comparti biomedicale e biomedicale strumentale.

Caratteristica del settore è la forte concentrazione territoriale. L'82% delle imprese di produzione, infatti, si trova in sole sei regioni che generano l'88% dell'occupazione e l'89% del fatturato. Si tratta di Lombardia, Emilia-Romagna,

Lazio, Veneto, Toscana e Piemonte. Sono territori che ospitano i principali insediamenti industriali del settore e alcune tra le specializzazioni territoriali più rilevanti, tra cui il distretto di Mirandola, specializzato nel mercato dell'infusione, trasfusione e dialisi, che rappresenta la realtà produttiva d'eccellenza del settore; e la provincia di Vercelli, specializzata nei mercati della diagnostica in vitro.

A testimonianza della vocazione all'innovazione del settore è possibile citare la rilevante presenza di start-up ad alto contenuto tecnologico. Il censimento, infatti, ha rilevato 255 start-up con attività di interesse per il settore dei dispositivi medici, di cui il 61% è concentrato in quattro regioni (Lombardia, Emilia-Romagna, Toscana e Piemonte); il 55% ha origine come spin-off della ricerca pubblica; poco più del 36% è stato incubato.

ANDAMENTO DEGLI INVESTIMENTI IN R&I (MILIONI DI EURO)

	2010	2011	2012	2013
R&S	598,4	249,1	368,8	442,7
Var annua (%)		-58,4%	48,1%	20,0%
Studi clinici	165,2	126,7	240,4	227,2
Var annua (%)		-23,3%	89,8%	-5,5%
Totale	763,7	375,8	609,2	669,8
Var annua (%)		-50,8%	62,1%	9,9%

Fonte: elaborazioni Centro studi Assobiomedica, dati Assobiomedica 2013.

Per quanto attiene ai flussi commerciali, le esportazioni mondiali di dispositivi medici sono state nel 2012 pari a circa 300 miliardi di dollari.

L'aumento del 2,3% rispetto all'anno precedente, ha contribuito all'aumento del peso del settore sul commercio mondiale, passato dall'1,85% all'1,95%.

L'80% circa delle esportazioni mondiali proviene dalle economie avanzate: gli Stati Uniti confermano il ruolo di leader, con una quota sulle esportazioni mondiali del 17,5%, seguiti dalla Germania e dalla Cina. L'Italia consolida la quota registrata nel 2011 (2,5%). Al contrario, la Germania e, in modo più contenuto, la Francia riducono le rispettive quote. La Cina aumenta ancora la sua quota sulle esportazioni totali, passando dal 6,3% al 7,1%.

La Cina aumenta il suo peso anche sulle importazioni mondiali, raggiungendo il terzo posto nel *ranking* internazionale. Tra le economie avanzate, i paesi dell'area euro sperimentano, dopo quello dello scorso anno, un ulteriore ridimensionamento. L'Italia, in particolare, riduce la sua quota di importazioni dello 0,4%. Tra le altre economie industrializzate, gli Stati Uniti e il Canada consolidano sostanzialmente la loro quota, mentre il Giappone fa segnare una rilevante ripresa della domanda – probabilmente da mettere in relazione alla delocalizzazione produttiva nei paesi limitrofi di alcune fasi del processo produttivo.

Se consideriamo la posizione italiana rispetto al contesto internazionale, si

può evidenziare che le esportazioni italiane di dispostivi medici si caratterizzano per l'elevata diversificazione dei mercati di sbocco, diversificazione superiore a quella degli altri principali player del settore, il cui orientamento geografico è più focalizzato. Il posizionamento equilibrato dell'Italia da un lato la rende meno esposta ai rischi connessi a mutamenti di natura geopolitica, talvolta improvvisi e repentini, dall'altro però implica la necessità di penetrare maggiormente molti mercati esteri. Le quote di mercato più elevate si registrano nel bacino del Mediterraneo, nell'Europa centro-orientale e in Africa.

Gli anni di crisi economica hanno determinato la progressiva contrazione del mercato interno dei dispositivi medici a causa fondamentalmente della riduzione delle spesa pubblica. La domanda pubblica di dispositivi medici ancora rappresenta la componente principale del mercato interno (73,4%), anche se in passato la componente privata – seppur lentamente – era progressivamente cresciuta. Tra il 2012 e il 2013 però si è ridotta anche la domanda privata contribuendo alla contrazione di quasi 4 punti percentuali del mercato interno.

I dati ISTAT sul commercio internazionale consentono una valutazione dei risultati conseguiti dall'Italia nel 2013. Le esportazioni di dispositivi medici sono aumentate del 2,8% rispetto all'anno precedente, mentre quelle complessive della manifattura sono rimaste invariate. Nel complesso il saldo si mantiene negativo (poco meno di 1 miliardo di euro), con un miglioramento però del 3,6% (oltre 30 milioni di euro in valore assoluto).

Le informazioni presentate in questo documento sono tratte da:

- ASSOBIOMEDICA, (2013), Produzione, ricerca e innovazione nel settore dei dispositivi medici in Italia – Rapporto 2013
- Settore dei dispositivi medici e investimenti in ricerca e innovazione: Giulia Bizzotto – Centro studi Assobiomedica
- Flussi di commercio internazionale: Felice Cincotti e Piero Esposito – Centro Europa Ricerche (CER\)

RICERCA E SVILUPPO

L'Europa intende promuovere e rafforzare un nuovo Manifatturiero che, per la sua elevata *sostenibilità* e *competitività*, possa contribuire significativamente alla crescita di una nuova *economia – sociale,intelligente, sostenibile, inclusiva* – che veda nelle *grandi sfide* nuovi mercati ad alto valore aggiunto.

Il Manifatturiero Competitivo e Sostenibile deve realizzare

- la *sostenibilità economica*, coniugando la qualità con la produttività e generando ricchezza
- la *sostenibilità sociale*, integrando le capacità umane con la tecnologia e generando posti di lavoro ad alto valore aggiunto

- la *sostenibilità ambientale*, riducendo il consumo di risorse e la generazione di rifiuti

Il Manifatturiero Competitivo e Sostenibile
- si fonda su Prodotti e Servizi, Processi e Business Models, i cui cicli di vita rispettano e attuano le condizioni dianzi indicate
- la cui necessaria innovazione è correlata al ciclo della conoscenza (ricerca-innovazione-mercato)
- realizzando cosi alti livelli di valore aggiunto.

Il Manifatturiero Competitivo e Sostenibile deve essere sviluppato e attuato
- a vari livelli, dal macro al livello operativo,
- all'interno di differenti contesti: economico, sociale, ambientale, tecnologico
- coinvolgendo gli stakeholders dalle Imprese, alle Istituzioni di Ricerca e Innovazione, Alta Formazione e non soltanto, alle Istituzioni finanziarie, alle Pubbliche Amministrazioni.

A tal fine, in un quadro di globalizzazione orientata alla crescita economica, che dovrà progressivamente orientarsi verso la sostenibilità, è necessario operare, come sintetizzato nella figura 128. Questa mostra che l'*offerta*, in risposta alla *domanda*, peraltro sempre più sensibile alla sostenibilità, dovrà essere costituita da prodotti e servizi – e relativi processi e business models- competitivi e sostenibili, il cui alto valore aggiunto sarà legato alla catena del valore Ricerca,Innovazione, Mercato. Naturalmente, la formazione avrà un ruolo determinante.

Questo processo, che si realizza a vari livelli, dovrà essere indirizzato e sostenuto da ***Policy Instruments*** che coprono dalle piattaforme tecnologiche, che sviluppano visioni, agende strategiche di ricerca e roadmaps, ai programmi di ricerca, innovazione e formazione, fondati su finanziamenti pubblici e privati, ed operando a livello regionale, nazionale, europeo, internazionale.

Programmi e attività di Ricerca e Innovazione – relativi al Manifatturiero – sono in corso nei Paesi Avanzati (es: UE, USA, Giappone e in quelli emergenti (es: Cina ed India). Ad essi si stanno aggiungendo paesi di recente industrializzazione.

Nella figura 128 è riportata la *filiera* dei principali *Policy Instruments*, operanti dal livello Europeo a quello Nazionale e Regionale, a cui si rapporta il Manifatturiero.

È in questo ambito che sono presenti iniziative che riguardano i Beni Strumentali per l'Agricoltura, le Produzioni Alimentari, l'Industria Manifatturiera e la Salute, intesi quali prodotti tecnologici che contribuiscono al nostro export.

Per i Beni Strumentali per l'Industria Manifatturiera sarà considerata anche e fondamentalmente la loro natura di ***tecnologia****, che attua una serie di processi produttivi e/o di servizi – nelle fabbriche – e consente la produzione di tutti gli altri Beni Strumentali e dei Beni di Consumo*

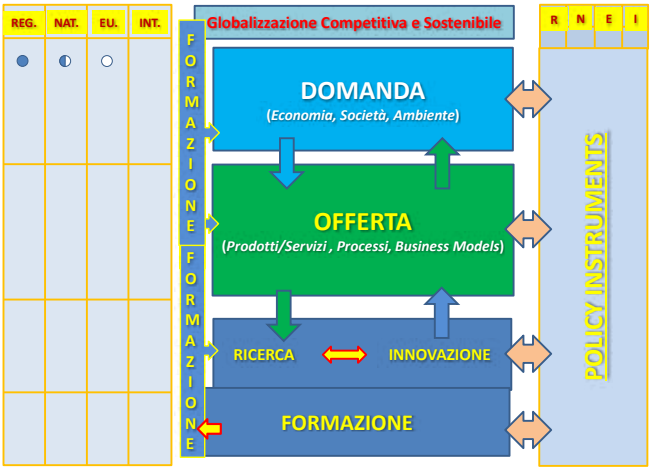


FIGURA 128 – VERSO UN MANIFATTURIERO COMPETITIVO E SOSTENIBILE AD ALTO VALORE AGGIUNTO

Livello europeo

L'Europa intende sviluppare – attraverso attività di ricerca e innovazione, formazione – risposte altamente innovative, costituite da prodotti e servizi, processi e business models, nuove imprese e loro reti, altamente competitive e sostenibili. A tal fine l'Europa ha lanciato e gestito i *Policy Instruments* di seguito illustrati: Piani e Programmi (a), Strumenti per studio e proposizione(b) e Visioni per il futuro(c).

a) Piani e Programmi

Nel **2008**, l'Unione Europea, in risposta alla crisi economica e *puntando all'economia globalizzata del futuro,* lanciava un ***Piano Europeo di Ripresa Economica*** che poggiava su *due pilastri* fondamentali: un forte apporto di *potere d'acquisto* nell'economia e un'azione a breve termine, costituita da *investimenti "intelligenti e sostenibili"*, volta a rafforzare la competitività a lungo termine dell'Europa. A tal fine, con un investimento congiunto pubblico-privato stimato a 1.2 miliardi di euro per il periodo 2009-2013, veniva lanciata il Partenariato Pubblico-Privato (PPP) Factories of the Future, sviluppato dalla Commissione Europea in collaborazione con la Piattaforma Europea Manufuture. Conseguentemente,

la parte private del partenariato costituiva la European Factories of the Future Research Association (EFFRA). I drammatici eventi negativi generati dalla crisi in atto e da una globalizzazione che – se ha favorito la crescita economica dei paesi emergenti – ha indotto profonde lacerazioni nei paesi avanzati, hanno portato ad una rifocalizzazione dell'agenda politica sullo sviluppo sostenibile e sulla rilevanza dello sviluppo locale regionale. In altri termini, occorre muovere verso una Globalizzazione che coniughi l'attuale modello orientato alla competitività, con un modello orientato alla sostenibilità socio-economica e ambientale, fondato sugli ecosistemi locali di innovazione.

In questo quadro, l'Unione Europea ha lanciato le quattro Iniziative fondamentali che seguono: *Strategia Europea 2020, Orizzonte 2020, RIS3 e il Piano di Investimenti del Presidente della Commissioner Europea* Jean-Claude *Juncker.*

La *Strategia UE 2020,* lanciata nel **2010**, è tesa a *trasformare* - coinvolgendo tutti gli attori e tutte le Regioni nel ciclo dell'innovazione- l'UE in un'economia:

- *intelligente*, basata sulla conoscenza e sull'innovazione,
- *sostenibile*, fondata su un più efficiente uso delle risorse, più verde e più competitiva,
- *inclusiva*, caratterizzata da alti livelli di occupazione, produttività e coesione sociale".

La strategia contiene riferimenti ai quattro domini oggetto di questo studio.

Il *Programma Orizzonte 2020, lanciato* **nel 2013 per il periodo 2014-2020,** persegue la Crescita intelligente, sostenibile e inclusiva dell'UE. Il Programma indirizza le risorse verso *tre priorità distinte* (*pilastri)* che si integrano mutuamente e rappresentano un evidente valore aggiunto dell'Unione. *Le priorità sono: Scienza di eccellenza, Leadership industriale e Sfide della Società.*

Esse rispondono alla necessità di elevare il livello di eccellenza della ricerca scientifica europea e, allo stesso tempo, promuovere lo sviluppo innovativo delle Imprese e rispondere alle pressanti sfide sociali

I Beni Strumentali considerati in questo studio trovano riferimento, in particolare,nella seconda e terza priorità.

L*'Iniziativa RIS3* (Strategie di innovazione nazionali o regionali per la specializzazione intelligente. Politica di coesione 2014-2020), lanciata dall'UE nel 2012, interessa le 1768 regioni e i 28 Stati Membri che costituiscono l'Europa.

L'iniziativa è uno strumento fondamentale per l'integrazione multilivello nell'ambito dell'Area Europea della Ricerca. Essa promuove lo sviluppo sostenibile e la rinascita del Manifatturiero competitivo e sostenibile, a livello regionale e interregionale.

Le azioni di RIS3 supportano l'innovazione tecnologica e promuovono gli investimenti nel settore privato, assicurando la piena partecipazione dei soggetti coinvolti e incoraggiando l'innovazione e la sperimentazione. I relativi piani, in

corso di definizione a livello regionale, prevedono *interventi relativi ai Beni Strumentali considerati in questo studio.*

Inoltre collaborazioni tra regioni sono possibili così come testimonia l'iniziativa Europea *"Vanguard – New Growth Through Smart Specialization"*, che vede la collaborazione di 24 Regioni Manifatturiere Europee per la definizione congiunta di strategie di innovazione industriale sinergiche.

Nel 2014 è stato lanciato il **Piano degli Investimenti del Presidente della Commissione Europea Jean-Claude Juncker**. Esso prevede la creazione di un nuovo Fondo europeo per gli investimenti strategici (FEIS), garantito con fondi pubblici, per mobilitare non meno di 315 miliardi di euro di investimenti aggiuntivi nel corso dei prossimi tre anni (2015-2017). Saranno considerati *settori strategici chiave* per l'Europa, quali *l'energia, i trasporti, la banda larga, l'istruzione, la ricerca e l'innovazione.*

b) Strumenti per studio e attuazione: ETPs e PPPs.

Le Piattaforme Tecnologiche Europee (ETPs) sono state costituite a partire dal 2003, su iniziativa della Commissione Europea, per definire agende strategiche di Ricerca e Sviluppo tecnologico a medio e lungo termine e individuare delle roadmap per il conseguimento degli obiettivi definiti nelle agende. Esse riuniscono tutti gli attori rilevanti (imprese, istituzioni, università, gruppi finanziari) intorno ad una visione ed un approccio comuni per lo sviluppo di tecnologie in particolari settori di innovazione europea.

Ad oggi le ETP riconosciute dalla Commissione Europea sono 38. Le ETP di maggior interesse, in relazione alle tematiche qui affrontate, risultano afferire al dominio dell'ICT e dei processi produttivi. Fra queste ultime:

- la Piattaforma Tecnologica Europea per le Tecnologie Industriali, Manufuture,
- la Manufuture sub-platform Agriculture Engineering and Technologies (AET),
- la Piattaforma Tecnologica Europea "Food for Life".

La *missione* di Manufuture nell'ambito di Orizzonte 2020 copre: – lo studio della evoluzione politica, economica, sociale, ambientale e del panorama tecnologico globale – l'attivazione di strategie, mobilitazione e diffusione; – considerando un approccio multilivello, che copre dal livello internazionale, a quelli europeo, nazionale e regionale.

Parallelamente, sono state sviluppate anche tre iniziative cross-cutting, pensate per abbracciare trasversalmente il tema dell'innovazione nella produzione: Nanofutures, Industrial Safety e PROSUMER.net.

Prosumer parte dalla considerazione che la spesa per il consumo rappresenti,

in Europa, il 56,4% del prodotto interno lordo. Per supportare l'industria Europea nella veicolazione di tale trend, Prosumer (European Consumer Goods Research Initiative) ha promosso la formazione di un network Europeo di soggetti partecipanti al design dei prodotti di consumo, in grado di convergere su priorità di sviluppo comune e trasformarle in azioni concrete di sviluppo condiviso

Public Private Partnerships (PPPs). Per unire le forze dell'Unione, quelle del settore privato e e del settore pubblico (EC e Stati membri) e ottenere risultati nel campo della ricerca e innovazione in una data area strategica, che un paese o un'azienda da soli non potrebbero conseguire, la Commissione ha sviluppato uno strumento di particolare efficacia: il Partenariato Pubblico Privato (PPP).

Partendo dall'esperienza delle prime tre PPP pilota, lanciate nell'ambito del *Piano Europeo di Ripresa Economica,* la EC ha lanciato – in Orizzonte 2020 – nove Public Private Partnerships. Esse rivestono un'elevata importanza strategica per l'industria Europea e prevedono più di 6,5 miliardi di euro di fondi Europei in totale. In particolare la PPP Factories of the Future, attraverso EFFRA e la collaborazione con Manufuture, ha svolto un esteso lavoro che ha portato alla definizione di una *roadmap 2013-2020,* con fondi Europei stimati di 1.15 miliardi di euro per il periodo 2014-2020.

La roadmap 2013-2020, orientata alle *"Fabbriche del Futuro"* e condivisa dal mondo industriale, prevede che le imprese manifatturiere dovranno sviluppare e implementare soluzioni produttive innovative, competitive e sostenibili, orientate alla *fabbricazione dei prodotti del futuro* e alla *Sostenibilità economica, sociale e ambientale*.

I settori manifatturieri europei devono subire trasformazioni orientate all'innovazione.

La PPP *"Fabbriche del Futuro"* identifica e realizza queste trasformazioni perseguendo una serie di priorità di ricerca lungo le seguenti aree di ricerca e innovazione: Advanced manufacturing processes; Adaptive and smart manufacturing systems; Digital, virtual and resource-efficient factories; Collaborative and mobile enterprises; Human-centred manufacturing; Customer-focused manufacturing.

La situazione italiana

In accordo con le priorità Horizon 2020 e le caratteristiche distintive per l'Italia, le aree di Specializzazione Nazionale Intelligente per il nostro Paese sono state state identificate in:

1) Industria intelligente e sostenibile;
2) Salute, sicurezza, qualità della vita, alimentazione;
3) Agenda Digitale, Smart Communities, mobilità intelligente;

4) Patrimonio culturale, design, made in Italy, creatività;
5) Aerospazio e Difesa.

Nell'ambito di una Strategia Paese orientata all'Europa, fondata sulle eccellenze a livello nazionale e regionale,aperta ad una globalizzazione che consideri la sostenibilità accanto alla competitività, uno strumento di assoluto rilievo è rappresentato dagli ***Cluster Tecnologici Nazionali*** :

Fabbrica Intelligente, Chimica verde, Scienze della Vita, Mezzi e sistemi per la mobilità di superficie terrestre e marina, Agrifood, Aerospazio, Tecnologie per le Smart Communities, Tecnologie per gli ambienti di vita.

I Cluster Tecnologici Nazionali sono delle aggregazioni organizzate di imprese, università, soggetti pubblici e privati attivi nel campo dell'innovazione. Essi rappresentano un importante interlocutore per le istituzioni, in quanto realtà individuate come propulsori della crescita economica sostenibile dei territori e dell'intero sistema economico nazionale.

In particolare, il Cluster Fabbrica Intelligente ha svolto, nell'ultimo anno, attività di roadmapping per individuare e definire visioni e strategie per il futuro del manufacturing italiano.

L'attività ha portato all'elaborazione di una Roadmap strategica pluriennale, che verrà periodicamente aggiornata e che costituisce un documento di posizionamento ufficiale per il manufacturing. Muovendo dalla vocazione manifatturiera del nostro paese e dai mega-trend in atto a livello Europeo e globale – quali il cambiamento climatico e demografico, la scarsità delle risorse, l'accelerazione tecnologica e l'emergere di nuovi mercati –, essa indica delle *Linee di Intervento* all'interno delle quali occorre indirizzare le *Priorità di Ricerca e Innovazione* nazionali. Indirizzare tali priorità comporta lo sviluppo di una serie di *Tecnologie Abilitanti* per il Manifatturiero. Le *Linee di Intervento* prioritarie sono:

- *Sistemi produttivi per la produzione personalizzata*
- *Strategie, metodi e strumenti per la sostenibilità industriale***:** verso le tre dimensioni della sostenibilità (economica, ambientale e sociale).
- *Sistemi per la valorizzazione delle persone nelle fabbriche*
- *Sistemi di produzione ad alta efficienza*
- *Processi produttivi innovativi*
- *Sistemi di produzione evolutivi e adattativi*
- *Strategie e management per i sistemi produttivi di prossima generazione*

La Roadmap considera i trend in atto a livello Europeo in quanto contempla i mega-trend citati dalle principali roadmap Europee e fa riferimento ad una mappa di tecnologie abilitanti, messa a disposizione da AFIL – Associazione Fabbrica intelligente Lombardia, che sintetizza le principali tecnologie abilitanti indicate da queste in vari ambiti del Manifatturiero. Allo stesso tempo, essa ri-

sulta contestualizzata alla situazione italiana poiché i mega-trend sono stati declinati in *Sfide Specifiche* per il nostro paese e poiché le Tecnologie Abilitanti sono state filtrate rispetto ai vari documenti di programmazione regionale.

Altra iniziativa di rilievo nel settore è rappresentata dal ***Progetto Bandiera "La Fabbrica del Futuro"***, coordinato dal CNR, iniziato nel gennaio 2012 e che terminerà nel 2016. Muovendo dalle peculiarità del sistema manifatturiero italiano e dall'evoluzione del contesto industriale europeo e globale, il Progetto ha lo scopo di attivare importanti iniziative di ricerca per aumentare la competitività dell'industria italiana e in particolare del "Made in Italy" nel contesto globale.

Esso contempla diverse tipologie di iniziative che, oltre a generare innovazioni di importanza strategica, sono anche volte alla creazione di una community nazionale di eccellenza e duratura nel tempo che possa elaborare le direzioni future di innovazione del Manifatturiero italiano e che possa rappresentarlo nel contesto internazionale.

Il Progetto Bandiera "La Fabbrica del Futuro" rappresenta un'importante iniziativa di collegamento con la dimensione europea della ricerca per il settore manifatturiero. Condivide gli obiettivi chiave fissati dal Programma Quadro Europeo per la Ricerca e l'Innovazione Horizon 2020.

"La Fabbrica del Futuro" si basa sulla realizzazione di cinque macro-obiettivi realizzativi: fabbrica per prodotti personalizzati, fabbrica evolutiva e riconfigurabile, fabbrica ad elevate prestazioni, fabbrica sostenibile, fabbrica per le persone. Essi sono stati definiti coerentemente con le "grand-challenges" identificate a livello europeo dai più recenti documenti strategici relativi alla definizione di "Roadmap" e "Strategic Research Agenda", sviluppati, in particolare, in ambito UE, dall' Associazione Europea EFFRA, dal programma di ricerca Europeo "Factories of the Future" e dalla piattaforma Europea "Manufuture".

Rispetto alle attività del Cluster Fabbrica Intelligente, esso si colloca per sua natura più a monte nella filiera della ricerca e innovazione, avendo l'obiettivo di stimolare la ricerca manifatturiera contestualizzando le priorità Europee al contesto specifico del Made in Italy.

A completamento del quadro generale, va infine ricordata, quale esempio di motore di ricerca e innovazione regionale allineato con il contesto nazionale ed Europeo, **L'Associazione Fabbrica Intelligente Lombardia (AFIL).** Essa è il frutto di un processo, guidato da Regione Lombardia, volto alla creazione di una struttura di governance regionale in grado di rappresentare le priorità di ricerca e innovazione di imprese ed organizzazioni operanti negli ambiti di specializzazione regionale.

L'Associazione, riconosciuta dalla Regione Lombardia, ha rilasciato una Roadmap che identifica macro-tematiche e temi di sviluppo strategici per il Manifatturiero avanzato in Lombardia, contestualizzando su scala regionale le priorità di ricerca e innovazione espresse a livello Europeo. AFIL, che a livello

nazionale partecipa alle attività del Cluster Fabbrica Intelligente quale membro del suo organo direttivo, sta contribuendo sul fronte europeo a rappresentare la Lombardia in rilevanti iniziative internazionali che muovono dal concetto della *Smart Specialization Strategy* (S3) promosso dall'Europa.

In particolare, nell'iniziativa "Vanguard" sopra citata, AFIL è coordinatore Europeo, insieme alla Regione della Catalogna, della "*Pilot initiative ESM-Efficient and Sustainable Manufacturing*", che ha l'obiettivo di concepire e realizzare un network europeo integrato di impianti pilota a supporto dei processi di innovazione delle imprese.

Occorre, inoltre, ricordare l'ampia presenza in Lombardia di Centri di Ricerca e Trasferimento Tecnologico, CRTT, così come documenta Questio. Essi hanno un ruolo molto rilevante nel processo di innovazione industriale e presentano configurazioni sensibilmente diverse. Interessanti esempi sono costituiti dallo Smilab e dal Cefriel.

TECNOLOGIE PRIORITARIE

Nella precedente edizione dello studio AIRI sulle Tecnologie Prioritarie, si rilevava che l'industria manifatturiera italiana – per rispondere alle grandi sfide economiche, sociali e ambientali e alla concorrenza con i Paesi emergenti e quelli in via di sviluppo – avrebbe dovuto agire sullo *Sviluppo di nuovi processi, macchine e sistemi produttivi eco-sostenibili*, nonché *nuovi concetti e soluzioni di automazione altamente flessibili e ad alta precisione/qualità.* A tal fine, tenuto conto del know how di eccellenza detenuto dalla industria Italiana, si riteneva che dovessero essere sviluppate e implementate alcune nuove *Tecnologie Abilitanti*.

Alla luce del nuovo quadro di riferimento europeo, nazionale e regionale – precedentemente illustrato – si ritrova la validità del ruolo di alcune tecnologie precedentemente proposte e, nel contempo, la necessità di apportare alcune integrazioni e rivisitazioni. Tali considerazioni hanno condotto alla identificazione delle seguenti 11 Tecnologie Prioritarie per il prossimo triennio:

- Macchine e sistemi di produzione intelligenti eco-sostenibili sviluppati secondo il paradigma della Smart-Factory / Ind 4.0.
- Nuovi strumenti ad alto contenuto di conoscenza per la progettazione, simulazione e messa in produzione di prodotti avanzati.
- Strumenti CAD-CAM basati sulla conoscenza per la progettazione e produzione di prodotti di alta qualità ed alta variabiltà.
- Metodi e standard per la automazione ed integrazione di sistemi produttivi complessi in grado di gestire produzioni on demand e just in time.
- Metodi e tecnologie ICT basate su Internet per la integrazione in tempo reale degli attori della filiera dal retail, ai produttori, ai fornitori.
- Tecnologie per il controllo, il monitoraggio, la supervisione, la diagnosi e la

manutenzione per aumentare ciclo di vita ed efficienza dei sistemi di produzione.
- Tecniche e soluzioni software per la pianificazione in tempo reale della produzione e della logistica.
- Sensori e componenti meccatronici ad alte prestazioni per migliorare efficienza e qualità della produzione e dei prodotti finali.
- Nuove configurazioni di macchine e sistemi eco-sostenibili per ottimizzare efficienza energetica ed impatto ambientale dei sistemi di produzione.
- Nuove tecnologie di processo eco-sostenibili per ridurre consumi ed emissioni dei processi industriali.
- Nuovi macchinari, processi e materiali per la manifattura di prodotti avanzati tramite tecniche additive.

RISORSE ECONOMICHE TOTALI

Circa 400 milioni di euro.

TEMI STRATEGICI A MEDIO/LUNGO TERMINE

Il panorama economico globale sta cambiando. Nuovi equilibri a livello macro-economico e geo-politico si profilano.

La globalizzazione in corso è condotta, nei *Paesi di recente industrializzazione (PRI)*, da imprese globali, alla ricerca di competitività a livello globale, che trovano in quei Paesi basso costo del lavoro, vantaggi fiscali, normative ambientali e sociali meno vincolanti. I PRI si stanno anche orientando verso la ricerca, l'innovazione e l'alta formazione. Si prevede che nel 2025 la maggior parte dei consumi interesserà i *Paesi di nuova industrializzazione*, le cui economie sono in via di *Sviluppo*, creando così nuove opportunità di mercato per le aziende di produzione globali. La globalizzazione in corso sta creando gravi problemi su larga scala -dalla disoccupazione alla crescita lenta- in particolare nei Paesi Avanzati. Ciò avviene all'interno di un quadro altamente drammatico quale è quello sotto riportato, nel quale si riscontra una asimmetria altamente negativa per i Paesi Avanzati, che potrebbe aumentare per la globalizzazione in atto.

I Paesi Avanzati dovranno fronteggiare – a livello locale e globale – una domanda frammentata e differenziata, generata dalle grandi sfide. Essa richiede prodotti e servizi, personalizzati, innovativi e intelligenti, basati su *Ricerca, Innovazione e Formazione*.

È necessario orientarsi verso un nuovo modello di Sviluppo, fondato su *Ecosistemi* locali di Innovazione, costituiti da Imprese, Centri di Ricerca e Università, che dovranno operare nella logica dello Sviluppo Sostenibile: accanto all' Economia, dovranno essere considerati Società ed Ambiente.

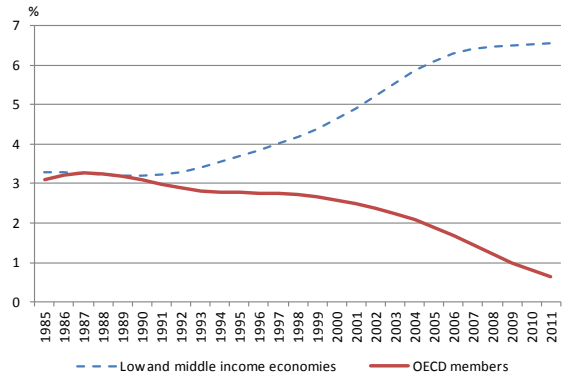


FIGURA 129 – LA FORBICE TRA PAESI AVANZATI E IN VIA DI SVILUPPO
Fonte: OECD (2013)

Per generare posti di lavoro e crescita, è quindi necessario re-industrializzare a livello *regionale/nazionale*, adottando strategie di specializzazione intelligente, perseguendo competitività e sostenibilità. Un nuovo tipo di industrie manifatturiere dovrà emergere, fondato su nuove tecnologie abilitanti.

Il "Rinascimento" del Manifatturiero nei Paesi Avanzati e il ritorno alle politiche industriali nei singoli Paesi segnano l'inizio di una nuova consapevolezza strategica. Esempi importanti di questo *ripensamento* sono significative iniziative promosse negli Stati Uniti d'America (USA), nel Regno Unito (UK) e in Francia. In Europa, la Commissione – con le iniziative per il *Manifatturiero Avanzato*, nell'ambito di Orizzonte 2020 – mira ad aumentare la quota del settore industriale da circa il 16% del prodotto interno lordo (PIL) al 20% per il 2020.

Considerando che il Manifatturiero – come proposto dal McKinsey Global Institute- può essere classificato in relazione a *dove si produce, dove si vende, dove si svolgono le attività di ricerca e innovazione*, in una visione strategica di confluenza nel paradigma della globalizzazione competitiva e sostenibile, si possono ipotizzare due situazioni estreme che corrispondono a

- Imprese multinazionali veramente globali,che – al pari di Google – operino in qualsiasi locazione del pianeta, con **pvr** *disperso*, e "qualsiasi utente, è un suo cliente potenziale". Esse commerciano in conoscenza, servizi e beni intangibili e, pertanto, per definizione sono ecosostenibili;
- Imprese che – incardinate in ecosistemi di Innovazione, produrranno beni fisici prevalentemente per il mercato locale (**pvr** *concentrato*). Il processo produttivo di tali beni si modificherà in modo consistente sfruttando appieno le potenzialità della rivoluzione digitale. Estremizzando il prodotto verrà "stampato 3D" dallo stesso consumatore, acquistando in Cloud i "Big Data" che ne permetteranno la generazione.

Gli strumenti ICT permetteranno sempre più di lavorare con catene di fornitura globali, in cui la specializzazione sarà il primo criterio di selezione delle aziende per i propri partner/fornitori.

La produzione del bene fisico avverrà poi il più vicino possibile al punto di consumo.

Quanto sopra ovviamente comporta la soluzione di problematiche ancora irrisolte, dalla proprietà intellettuale dei dati alla sicurezza degli stessi e alle tematiche legali di responsabilità prodotto.

Una dimostrazione di questo trend si può trovare in parte nel mercato automotive che generalmente anticipa di diversi anni gli altri settori manifatturieri. È infatti sempre più raro poter acquistare un autoveicolo di medio livello (un discorso a parte va fatto per i beni "di lusso") prodotto in un continente e esportato in un altro. Le fabbriche di automobili e i suoi fornitori primari si sono localizzati dove avvengono i consumi.

Lo studio: *No ordinary disruption* del McKinsey Global Institute recita:

" Today our world is undergoing an even more dramatic transition than the Industrial Revolution of the late 18th and early 19th centuries, due to the confluence of four fundamental disruptive forces-any of which would rank among the greatest changes the global economy has ever seen. Compared with the Industrial Revolution, we estimate that this change is happening ten times faster and at 300 times the scale, or roughly 3,000 times the impact.

The four fundamental disruptive forces are:

- *The age of urbanization*
- *Accelerating technological change*
- *Responding to the challenges of an aging world*
- *Greater global connections."*

Riflettere su temi strategici di Medio/Lungo Termine dovrà essere… *un'attività quotidiana.*

Sintonia con le linee europee

L'analisi presentata nel capitolo Ricerca e Sviluppo mostra l'esistenza di un sistema Ricerca e Sviluppo che copre, dal livello Europeo a quello Nazionale e Regionale, ed è in progressiva integrazione sinergica. Europa 2020 e,poi, Orizzonte 2020 sono considerati, dai policy makers nazionali e regionali, come visioni e potenzialità strategiche da coniugare con le esigenze e quindi le iniziative nazionali e regionali.

D'altro canto l'iniziativa ***RIS3*** (Strategie di innovazione nazionali o regionali per la specializzazione intelligente. Politica di coesione 2014-2020), ha portato

le regioni e gli stati membri a definire potenzialità e sviluppi che, comunicati all'Unione Europea, portano non solo a possibili finanziamenti, ma anche ad una integrazione, che rafforza lo spazio europeo della Ricerca e Sviluppo.

Le autorità nazionali e regionali coinvolte stanno elaborando *strategie di specializzazione intelligente* per favorire l'utilizzo più efficiente dei Fondi strutturali e di investimento europei (Fondi ESI) e raggiungere *maggiori sinergie* tra le diverse politiche UE, nazionali e regionali, nonché tra gli investimenti pubblici e privati.

Le iniziative *RIS3* sono programmi di trasformazione economica integrati e basati sul territorio che incentrano il sostegno della politica e gli investimenti su fondamentali priorità, sfide ed esigenze di sviluppo basato sulla conoscenza a livello nazionale e regionale, valorizzando i punti di forza, i vantaggi competitivi e il potenziale di eccellenza di ogni paese o regione.

Nel Manifatturiero, in generale e per *i settori considerati*, le *grandi sfide* sono attentamente considerate, ai livelli europeo, nazionale e regionale. Esse costituiscono nuovi mercati e ad esse vengono indirizzate risposte costituite da prodotti e processi innovativi ad alto valore aggiunto.

Inoltre il Manifatturiero, nel quadro dianzi delineato, gioca un ruolo determinante per la crescita economica e la sostenibilità . Gli Advanced Manufacturing Systems (AMS), che costituiscono la sesta KET trasversale, sono chiamati a produrre prodotti competitivi,ad alto valore aggiunto, basati sulla conoscenza.

Gli Advanced Manufacturing Systems (AMS) comprendono sistemi di produzione e i relativi servizi, processi, impianti e attrezzature, ivi compreso l'automazione, robotica, sistemi di misura, l'elaborazione delle informazioni cognitive, elaborazione dei segnali e controllo della produzione attraverso sistemi di informazione e di comunicazione ad alta velocità.

Gli AMS sono essenziali per conseguire aumenti di produttività in settori quali l'aerospaziale, automotive, prodotti di consumo, elettronica, ingegneria, ad alta intensità energetica, alimentare e agricolo e nelle industrie ottiche.

Essi possono anche dare una risposta efficace alle sfide sociali, compresa la salute, il cambiamento climatico, l'efficienza delle risorse. Inoltre possono contribuire alla creazione di posti di lavoro e l'evoluzione dei sistemi di produzione.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 1

MACCHINE E SISTEMI DI PRODUZIONE INTELLIGENTI ECO-SOSTENIBILI SVILUPPATI SECONDO IL PARADIGMA DELLA SMART-FACTORY / IND 4.0

DESCRIZIONE

La trasformazione digitale di tutte le componenti dell'economia è una tendenza ormai ineluttabile. La digitalizzazione e lo strumento Internet hanno già rivoluzionato i mercati dei beni di consumo, le comunicazioni, il mondo dello spettacolo e i servizi. Per significare questo cambiamento è stato coniato l'acronimo GAFA (Google, Apple, Facebook, Amazon) che indica chiaramente quali sono le aziende attese a dominare questo nuovo mercato.

Analogamente il settore manifatturiero sta vivendo una simile trasformazione. I principali acceleratori di innovazione attesi sono:

- la robotica avanzata collaborativa, ossia robot sempre più intelligenti e flessibili, in grado di operare insieme a operai umani in processi non predefiniti;
- la manifattura additiva (3D printing) che permetterà realmente l'implementazione di processi "one piece flow";
- "utensili" digitali avanzati disponibili come servizi cloud a basso costo.

L'estensione del concetto di "Internet of Things" – IoT al settore manifatturiero è l'elemento fondante per la realizzazione del paradigma della Smart-Factory. Attualmente, i dispositivi presenti nello shopfloor presentano un'autonomia decisionale e una capacità di calcolo in costante miglioramento, nonché la possibilità di essere interconnessi l'uno all'altro. L'esistenza di questo network di oggetti fisici interconnessi (in Internet), dotati di capacità di calcolo e di tecnologia capace di percepire ed interagire con l'ambiente (comunemente definiti come Cyber-Physical Systems – CPS), si concretizza nella convergenza del mondo fisico e di quello virtuale. Questo paradigma trova ragione fondante e si concretizza nell'analisi dello scenario atteso per la fabbrica del futuro:

- prevalenza di tecnologie Internet-based;
- prevalenza di Cyber-Physical Systems per l'esecuzione e il controllo delle attività;
- generazione, e necessità di gestire, enormi masse di dati (Big-Data);
- complessità crescente (personalizzazione di prodotto, requisiti dinamici della supply-chain, integrazione di svariate tecnologie in prodotti complessi, meccanismi dinamici di cooperazione fra aziende, ε);
- integrazione verticale dei sistemi IT (dall'ERP al field-level);

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Lo scenario dove le tecnologie digitali rendono possibile lo sviluppo di un ambiente smart in cui beni strumentali, magazzini, layout e processi presentano una integrazione, basata su un uso pervasivo dell'ICT, dalla logistica inbound alla consegna dei prodotti si sta già realizzando. Questo

scenario permette una configurazione flessibile del sistema di produzione, capace di meglio gestire i requisiti dei clienti e di presentare un elevato grado di resilienza a fattori esterni ed interni. In sintesi, il potenziale dell'implementazione del concetto di Smart-Factory, può portare a:

- soddisfacimento dei requisiti individuali dei clienti, a fronte di lotti anche molto piccoli (anche definita come "Mass Customisation");
- flessibilità e configurazione dinamica della fabbrica ;
- implementazione di un meccanismo di gestione consapevole dello stato attuale, dove la fabbrica, in ogni sua dimensione, diventa un oggetto trasparente per il decision-maker;
- ottimizzazione continua della produzione, caso per caso, producendo il massimo output per volume di risorse impiegate;
- possibilità di sviluppare nuovi servizi B2B che possano integrarsi con la Smart-Factory;
- sviluppo di nuovi ruoli operativi nelle fabbriche.

L'elemento fondante di questa transizione risiede nella rivisitazione dei modelli classici, a base gerarchica, di gestione dell'automazione di fabbrica. Tradizionalmente la piramide dell'automazione è un paradigma utilizzato per descrivere i diversi livelli di una soluzione manifatturiera.

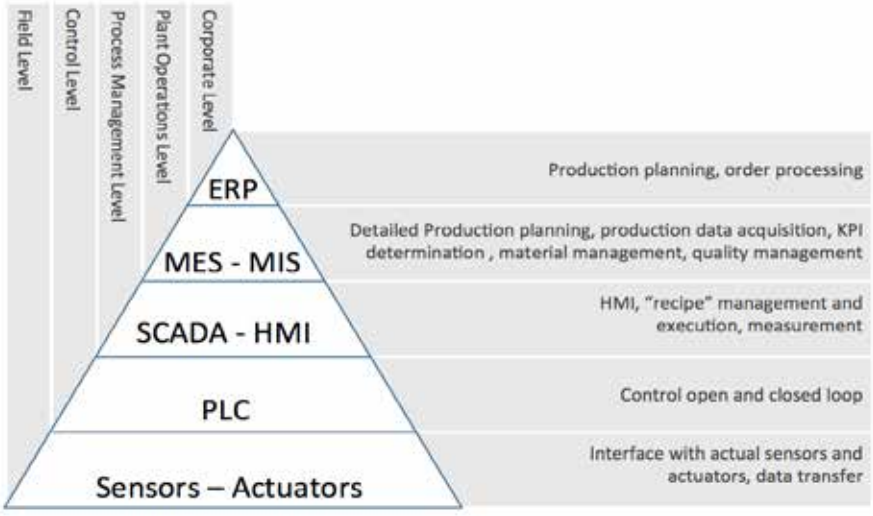


FIGURA 130 – LA PIRAMIDE DELL' AUTOMAZIONE

Questo approccio, presentato in fig. 130 sopra riportata, è considerato inadeguato per rappresentare una situazione dove l'esistenza stessa del CPS è in contrasto con la nozione di "struttura rigidamente gerarchica", in considerazione del fatto che ogni CPS è capace di funzioni complesse ed articolate (e che quindi partecipa a più livelli della piramide dell'automazione. Deve quindi essere implementato un nuovo modello, che può ispirarsi alla figura di seguito rappresentata, dove ogni elemento del sistema produttivo è potenzialmente capace di funzioni su più livelli, ma dove comunque una struttura gerarchica resta preservata.

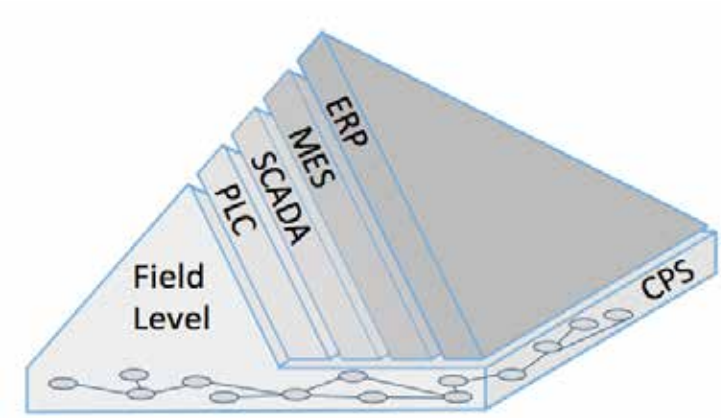


FIGURA 131 – NUOVO MODELLO DI AUTOMAZIONE

Per poter concretamente implementare macchine e sistemi di produzione intelligenti e eco-sostenibili sviluppati in accordo con il paradigma della Smart-Factory è quindi necessario agire sulle fondamenta stesse dell'attuale approccio al sistema fabbrica, supportando azioni di ricerca industriale mirate alle seguenti tematiche prioritarie:

1) Standard e Piattaforme software aperte per l'architettura di riferimento. La necessità delle aziende di costituire dei network manifatturieri, con la conseguente necessita di integrare diverse tecnologie (per tempi anche brevi) e nonostante diversi business model adottati, fa sì che sia sempre più necessaria la creazione di un'architettura di riferimento, ovvero un modello generale che si applica a tutti i prodotti e servizi e fornisce un framework per strutturare, sviluppare, integrare e rendere operativi i sistemi tecnologici rilevanti in un'azienda manifatturiera. Sebbene diversi standard siano già in uso dalle diverse discipline tecniche e dai gruppi di lavoro, è necessario avere una visione "coordinata" degli standard esistenti da incorporare in una nuova architettura di riferimento globale.
2) Gestione, modellazione e simulazione. Lo sviluppo della smart-factory, pur accompagnato dai vantaggi prima menzionati, comporta un livello di complessità superiore rispetto agli attuali sistemi (anche perché è pensato per realizzare prodotti complessi e variabili) e necessita quindi di strumenti di modellazione e forecasting capaci di abbracciare, e quindi supportare, l'intero ciclo di vita di fabbrica e prodotto. Le informazioni create ed elaborate nelle prime fasi del life-cycle della fabbrica e del prodotto devono essere mantenute ed arricchite lungo tutte le fasi successive, realizzando così una immagine digitale della fabbrica, sincronizzata costantemente con la sua controparte reale. È quindi necessario sviluppare approcci e strumenti di progettazione per i sistemi produttivi, macchine ed attrezzature e sistemi di controllo che insistano su una immagine digitale della fabbrica che nasce con la progettazione della stessa, si evolve ed è continuamente sincronizzata con la fabbrica reale.
3) Sviluppo e implementazione di infrastrutture industriali a banda larga. Il paradigma della smart-factory implica intrinsecamente la possibilità di scambiare alti volumi di dati. È quindi

di vitale importanza il potenziamento delle infrastrutture attuali in un'ottica semplicità, scalabilità, sicurezza, disponibilità e economicità.

4) Training e sviluppo continuo delle competenze professionali. L'implementazione della smart-factory è destinata a cambiare il mercato del lavoro e delle skill. È quindi necessario promuovere parallelamente all'introduzione della fabbrica intelligente diverse azioni volte ad adeguare i meccanismi di formazione, riqualificazione e collocamento dei lavoratori.
5) Efficienza nell'utilizzo delle risorse. Lo sviluppo di sistemi di assessment, capaci di effettivamente valutare il sistema produttivo in termini di utilizzo delle risorse, passa attraverso lo sviluppo di metriche e KPI adeguati, i cui fondamenti sono solo parzialmente oggigiorno esplorati.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Grazie ad un'importante spinta politica al "reshoring" ossia a creare le condizioni per riportare in patria le attività manifatturiere gli Stati Uniti d'America sono sicuramente il paese realmente trainante nella rivoluzione digitale del settore manifatturiero. In quest'ambito l'amministrazione Obama ha varato ad esempio un programma per lo sviluppo delle tecnologie additive per 1 M$, mentre i già citati giganti della galassia Internet stanno guardando con crescente interesse al settore manifatturiero come mercato di sbocco dei loro prodotti, basta a questo riguardo ricordare il ruolo altamente innovativo che sta giocando Google nei settori della robotica e dell'automotive.

In parallelo in Germania è stato sviluppato il programma strategico "Industrie 4.0" concentrato sulla componente digitale della 4a rivoluzione industriale. Il programma riprende molti dei temi precedentemente discussi inquadrandoli nel contesto economico manifatturiero tedesco molto diverso ad esempio per la dimensione media delle imprese germaniche decisamente superiore dagli altri sistemi manifatturieri europei.

In questo contesto il terzo paese industriale occidentale, l'Italia non ha ancora sviluppato una vera strategia politicamente condivisa per l'evoluzione digitale del proprio settore produttivo. E, alla pari degli altri paesi europei, l'adozione acritica del modello "Industrie 4.0" non è proponibile dato che il tessuto imprenditoriale italiano è dominato da PMI tipicamente a conduzione familiare. Si ritiene che un progetto strategico per le Fabbriche del Futuro debba essere appunto focalizzato sulle esigenze delle PMI in un contesto di manifattura collaborativa e distribuita, anche e specialmente al di fuori dei confini nazionali, basato su una catena di fornitura ampia e sempre più globale. In parallelo occorrerà tenere conto che probabilmente il modello di manifattura basato sull'esportazione di beni completamente prodotti in una singola locazione permarrà solo per poche tipologie di prodotti tipicamente di "top class", mentre per prodotti di fascia media sempre più si imporrà la necessità di creare valore in prossimità del consumatore. Considerando che la popolazione attuale del pianeta conta circa 7,3 miliardi di persone è poco probabile che paesi di 60-80 milioni di abitanti possano produrre fisicamente ed esportare percentuali importanti dei prodotti mondiali.

In tale contesto pertanto la necessità di aggiungere localmente valore diventerà sempre più importante e anche in tale contesto le tecnologie digitali saranno tecnologia abilitante. Nei prossimi anni probabilmente saranno più i dati delle merci fisiche a viaggiare su infrastrutture digitali.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 2

NUOVI STRUMENTI AD ALTO CONTENUTO DI CONOSCENZA PER LA PROGETTAZIONE, SIMULAZIONE E MESSA IN PRODUZIONE DI PRODOTTI AVANZATI

DESCRIZIONE

Il settore manifatturiero è caratterizzato da dinamiche produttive sempre più complesse in cui la domanda dei consumatori evolve molto repentinamente e si basa su una elevata diversificazione dell'offerta con l'obiettivo di proporre soluzioni di prodotti e servizi sempre più customizzati.

Dal punto di vista produttivo, la crescente complessità geometrica, funzionale e tecnologica dei prodotti si unisce quindi ad una elevata variabilità degli stessi e, di conseguenza, esercita un forte impatto sulle modalità produttive e le dinamiche di filiera che vedono una progressiva trasformazione della cooperazione tra i vari players e una maggiore valorizzazione delle competenze specifiche locali, utilizzabili in reti di fornitura planetarie.

Questo scenario richiede al mondo della produzione maggiore integrazione e capacità di evoluzione, ed enfatizza, più ancora che in passato, il ruolo delle tecnologie dell'informazione e della conoscenza, e gli strumenti di supporto ai cicli di vita di prodotti, processi e sistemi di produzione.

Un aspetto chiave è relativo alla rappresentazione e modellazione delle informazioni dei prodotti e processi, nonché alla condivisione di dati e protocolli, attraverso standard concepiti in modo incrementale, per poter integrare le frequenti innovazioni, e per includere conoscenza al di là dei dati geometrici e tecnologici.

Ciò comporta la necessità di concepire nuovi strumenti di progettazione orientati alla conoscenza, in grado di riconoscere le parti da produrre sulla base delle loro scansioni 3D, di ricostruirne la geometria e di identificare la famiglia di lavorazioni da eseguire ed i relativi processi produttivi che consentono il raggiungimento dei requisiti di qualità e prestazioni meccaniche nella maniera più efficiente.

Inoltre, la crescente diffusione di assiemi costituiti da componenti in materiali diversi sia dal punto di vista chimico che tecnologico e funzionale rappresenta una sfida complessa per gli strumenti di progettazione di nuova generazione che saranno chiamati a includere logiche di progettazione ibrida per metalli, compositi e plastiche.

Infine una logica di produzione on-demand, con l'enfasi posta sulla riduzione dei lead-time, richiederà di incorporare negli strumenti di progettazione del processo produttivo, modelli sempre più completi, non solo degli aspetti cinematici, ma anche di quelli dinamici e ausiliari delle risorse produttive, spostando al mondo digitale porzioni sempre più consistenti delle fasi di produzione.

Per i costruttori ed integratori di macchine operatrici e sistemi di produzione, l'evoluzione di prodotti e tecnologie viene gestita sviluppando soluzioni che presentino caratteristiche di adattabilità, riconfigurabilità, e integrazione sui vari livelli della fabbrica, dal singolo componente meccatronico alla singola risorsa produttiva fino alla rete logistica globale.

Le fabbriche evolutive, ed integrate in reti di fornitura globali, oltre a richiedere tra i propri elemen-

ti abilitanti modularità e riuso, dovranno essere intelligenti. Sulla base dei dati rilevati dal campo, la fabbrica evolutiva sarà in grado di interpretare le informazioni ed implementare in modo autonomo strategie adattative e di riparazione modificando le proprie prestazioni, i propri modi e dinamiche operative, nonché le politiche di pianificazione, gestione ed ottimizzazione della produzione.

Anche per tale aspetto, ci si affiderà ad infrastrutture ICT distribuite, che garantiscano il continuo flusso informativo attraverso i vari livelli della fabbrica, ma anche al di fuori di questa, come pure attraverso le varie fasi del ciclo di vita dei prodotti, dalla loro progettazione alla loro produzione e distribuzione.

Trasversalmente al paradigma della fabbrica evolutiva subentrano le strategie e gli obiettivi che regolano il modo con cui le entità della fabbrica sono progettate ed utilizzate. Prime tra tutte risultano le logiche di sostenibilità e produttività. Il concetto di produttività riguarda le strategie di progettazione e gestione di sistemi al fine di incrementarne l'efficienza e le prestazioni ed al tempo stesso favorire un flusso continuo di informazioni nella fabbrica volte alla diagnostica dello stato del sistema in tempo reali ed al conseguente miglioramento continuo dell'intero apparato produttivo. Il concetto di sostenibilità della produzione coinvolge diversi aspetti che vanno dalla sostenibilità economica legata ad investimenti focalizzati sugli specifici requisiti produttivi dei clienti, alla sostenibilità ambientale caratterizzata da una elevata attenzione all'impatto di prodotti, processi e gestione delle risorse per terminare con una sostenibilità sociale che tra i molti aspetti prevede anche un crescente processo formativo dell'essere umano nel sistema fabbrica nonché una completa integrazione e cooperazione tra l'uomo ed i dispositivi produttivi con i quali interagisce.

Lo sviluppo di nuovi paradigmi produttivi, sta evidenziando una possibile collaborazione tra uomo e macchina (in particolare con robot antropomorfi) sulle stesse aree di lavoro attribuendo alla macchina un ruolo di assistente non specializzato. Si delineano quindi ambienti di lavoro collaborativo a volte anche molto complessi. Infatti, in un contesto evolutivo, fortemente competitivo e dinamico, i processi di fabbricazione dovranno fare sempre maggiore affidamento sulle capacità umane coinvolgendo gli operatori sia fisicamente sia intellettualmente nella gestione e nella conduzione del processo stesso. La necessità di rendere sempre più usabili gli strumenti a disposizione dell'operatore in un ambiente gradevole e non stressante porta a una revisione ergonomica delle interfacce uomo macchina. Questo significa creare un ambiente di lavoro sicuro, confortevole e produttivo che garantisca benessere e possibilità di valutazione attenta degli operatori da assegnare alle differenti postazioni di lavoro oltre che un costante monitoraggio delle condizioni biometriche ai fini della sicurezza.

In sintesi, l'innovazione in tema di progettazione e configurazione di macchine e dispositivi dovrà dare priorità ai seguenti aspetti:

- Nuovi approcci e strumenti di progettazione a supporto dell' adattabilità e riconfigurabilità di sistemi produttivi, macchine ed attrezzature, sistemi di controllo e di gestione della produzione, sia dal punto di vista fisico che logico.
- Sviluppo di metodologie e strumenti a supporto della progettazione integrata di prodotti e processi produttivi in grado di adattarsi alle evoluzioni del mercato.

- Ideazione di approcci di ottimizzazione del funzionamento della fabbrica che ne riguardino i diversi livelli e che si basino su logiche ed obiettivi innovativi dall'aspetto energetico a quello cognitivo a supporto del miglioramento continuo.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La produzione on-demand di prodotti complessi in reti di fornitura globale rappresenta una sfida da cui le aziende manifatturiere potranno uscire vincenti solo se saranno in grado di mettere in atto nuove strategie di progettazione ed utilizzo di tutte le componenti del sistema produttivo.
La possibilità di utilizzare standard e strumenti evoluti a supporto della progettazione comporta numerosi benefici per le aziende.
In prima istanza, la condivisione di formati dati e modalità di rappresentazione riduce drasticamente gli errori dimensionali, di tolleranze e di parametri di processo, contribuendo ad una compressione temporale della fase di progettazione ed una riduzione delle iterazioni tra i vari players della filiera produttiva.
L'utilizzo di strumenti di progettazione in cui incorporare modellazioni evolute delle risorse ed algoritmi che rispondono ad i più recenti obiettivi produttivi (come l'ottimizzazione del consumo energetico) consente di eseguire analisi più accurate e rapide a supporto della definizione delle specifiche progettuali garantendo una maggiore qualità dei prodotti ed efficienza dei processi.
Infine, la capacità di integrare modifiche progettuali trasversalmente a diversi strumenti così come interpretare le informazioni dal campo nella fase di realizzazione effettiva dei processi produttivi convergerebbero a favore di un percorso di miglioramento continuo di prodotti, processi e sistemi produttivi e di conseguente riduzione dei costi dovuti a scarti, guasti e ritardi.

Lo sviluppo di soluzioni innovative di dispositivi, macchine e sistemi di produzione che rispondano ai paradigmi progettuali di riconfigurabilità, flessibilità ed adattabilità porterebbe ai seguenti benefici.
In prima istanza, l'utilizzo di soluzioni intelligenti che adattino le proprie caratteristiche sulla base della domanda produttiva e dello stato del sistema nel tempo permette di ridurre drasticamente gli interventi manuali legati all'implementazioni delle modifiche con conseguente riduzione di tempi e costi ad essi collegati.
Globalmente le soluzioni di nuova generazione risulterebbero notevolmente più performanti dal punto di vista del throughput, del consumo energetico e della qualità garantita di prodotti e processi. La latenza delle informazioni da condividere nella fabbrica verrebbe compressa mediante le nuove architetture ICT a servizio della produzione così da favorire una rapida ed efficiente diffusione delle modifiche attraverso i vari livelli della fabbrica.
Inoltre, il concetto di prodotto (dispositivo, macchina e sistema) non sarebbe più unicamente rappresentato dalla specifica risorsa fisica realizzata dal costruttore ed utilizzata dal cliente, ma sarebbe corredato di una serie di servizi integrativi a supporto della gestione della riconfigurabilità nel tempo così come di attività volte alla ottimizzazione delle prestazioni di sistema. Le dinamiche di cooperazione tra i costruttori ed utilizzatori si articolerebbero in una sinergia duratura nel tempo in cui si condividono i benefici, rischi e costi dell'innovazione.
Infine, la disponibilità di metodologie e strumenti integrati a supporto della progettazione e ge-

stione di tali soluzioni lungo il loro ciclo di vita, consentirebbe di rispondere alle richieste dei clienti in modo competitivo per tempi e costi, ovvero garantendo tempi drasticamente ridotti per la concezione, sviluppo ed implementazione della soluzione e riducendo i costi legati agli eccessi di flessibilità ed al sovradimensionamento delle risorse.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La produzione on-demand presenta di sicuro numerosi elementi di complessità. Esempi sono la selezione delle risorse fisiche da utilizzare nel sistema produttivo, la progettazione di un sistema di automazione estremamente performante e soluzioni di gestione della produzione orientate alla minimizzazione del lead-time.

Nonostante il concetto di produzione su richiesta vede la sua comparsa negli anni '80, la sua completa implementazione è solo in parte stata realizzata. Dal punto di vista industriale, infatti, i forti investimenti in equipaggiamento ed il know-how legato alla gestione degli impianti ne hanno severamente limitato la diffusione.

Esempi moderni di produzione on-demand riguardano spesso soluzioni produttive caratterizzate da famiglie di prodotti limitate così da abbattere la complessità di gestione dei magazzini, nonché la complessità produttiva legata alla realizzazione di numerosi set-up ed attrezzaggi di sistema. Questi aspetti, se non ottimizzati in modo strutturato, costituiscono fonti di inefficienza di difficile risoluzione. Essi hanno infatti attirato l'attenzione del mondo della ricerca per numerosi anni con l'obiettivo di sviluppare soluzioni di impianti automatizzati caratterizzati da elevatissimi troughput ed affidabilità.

La capacità italiana di realizzare prodotti che coniugano design, tecnologia, personalizzazione e la grande tradizione nel settore delle macchine di produzione e nell'automazione (l'Italia è il secondo produttore Europeo di macchine utensili), rappresentano una grande opportunità per costituirsi come cardine sui temi di progettazione ed ottimizzazione delle fabbriche di nuova generazione.

Affinché si possa percorrere con successo tale percorso di innovazione risulta fondamentale l'impegno nella ricerca e nell'innovazione. Con riferimento specifico al tema della progettazione di macchine e sistemi, lo stato dell'arte evidenzia svariate tendenze. Con riferimento alla progettazione di macchine e dispositivi, le principali innovazioni riguardano la possibilità di configurare soluzioni di macchine utilizzando materiali innovativi ed integrando logiche di monitoraggio energetico indirette, ovvero derivate dal comportamento dinamico della macchina durante il processo di lavorazione. Tuttavia non esistono ancora approcci robusti di progettazione che generino soluzioni di macchine dove le logiche di ottimizzazione energetica siano direttamente implementate come funzioni di controllo.

La fase di progettazione di prodotti e processi è tuttora gestita con soluzioni fortemente proprietarie di strumenti CAD/CAM. Le grandi aziende forniscono generalmente piattaforme integrate di progettazione basate su formati dati proprietari e funzionalità piuttosto rigide. Le piccole aziende di contro si concentrano su strumenti con funzionalità specifiche e di norma caratterizzate da un maggiore margine di customizzazione. Complessivamente esiste una elevata latenza nell'integrazione di nuovi standard negli strumenti commerciali gravando negativamente sul grado di in-

teroperabilità tra strumenti software diversi CAD/CAM come pure tra gli stessi strumenti software prodotti da fornitori diversi.
In aggiunta, le soluzioni software commerciali non sono ancora mature per una gestione dinamica ed interattiva delle informazioni e delle modifiche durante il ciclo di vita dei prodotti, rallentando significativamente i tempi di progettazione ed industrializzazione degli stessi.
Un ultimo aspetto riguarda la possibilità di integrare gli strumenti CAD/CAM con modellazioni matematiche di processi e risorse. Ad oggi, questo tipo di attività viene solitamente gestita nel campo della ricerca mediante lo sviluppo di modelli e soluzioni software a supporto di ottimizzazioni dinamiche delle macchine utensili, della qualità superficiale dei finiti così come di analisi LCA (Life Cycle Assessment) o specificatamente legate al consumo energetico durante l'esecuzione di alcune operazioni. Tali modelli sono generalmente sviluppati all'esterno degli ambienti di sviluppo CAD/CAM a causa della loro scarsa flessibilità, limitandone quindi la robustezza del software per applicazioni industriali. Analogamente, l'integrazione di strumenti CAD/CAM con tecniche di riconoscimento visivo che hanno come obiettivo la definizione di prodotti e processi performanti e conseguente diagnostica di sistema risulta affrontato in maniera ancora preliminare sia a livello di ricerca che ancor più nelle applicazioni industriali.
In aggiunta, il concetto di riconfigurazione il cui principio progettuale si fonda sull'esistenza di una serie di moduli e dispositivi che possano essere integrati per ottenere soluzioni ed architetture di macchine diverse non è ancora maturo per un utilizzo intensivo. I costruttori di macchine esplicano il concetto di modularità normalmente a livello di attrezzature ausiliarie (es: scambiatori utensili, scambiatori pallet, magazzini bordo macchina) poiché la sua estensione a livello di corpo della macchina è ancora troppo complesso.

Sul tema della configurazione di sistema, si opera principalmente sullo sviluppo di soluzioni analitiche complesse che utilizzano politiche predittive ed alberi degli scenari per modellare le evoluzioni della domanda e determinino un set di soluzioni di sistemi produttivi nel tempo. La modellazione analitica viene solitamente associata ad una fase di valutazione delle prestazioni dei sistemi che spesso si serve di tecniche di simulazione ad eventi discreti. Questo approccio consente di effettuare valutazioni strutturate nel tempo ma generalmente si basa su una conoscenza aprioristica a supporto della definizione degli scenari futuri. Ne consegue che ogni cambiamento repentino non previsto in fase iniziale non può essere incorporato in modo efficiente ed i tempi di reazione sono spesso fortemente invalidanti. A complemento di questo aspetto, l'assenza di approcci e strumenti ICT di comprovata robustezza industriale a supporto della configurazione limita anche la possibilità di realizzare in modo strutturato delle analisi di retrofitting degli impianti esistenti con l'obiettivo di iniettare dispositivi e soluzioni innovative. Di conseguenza, il costo che un utilizzatore di sistema dovrebbe affrontare per intervenire in modo massivo diventa proibitivo per l'azienda e la scelta di lasciare il layout e l'architettura dello shop-floor in condizioni di stallo diventa di solito la soluzione più perseguita.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 3

STRUMENTI CAD-CAM BASATI SULLA CONOSCENZA PER LA PROGETTAZIONE E PRODUZIONE DI PRODOTTI DI ALTA QUALITÀ ED ALTA VARIABILTÀ

DESCRIZIONE

I prodotti di nuova generazione sono caratterizzati da geometrie sempre più complesse, materiali estremamente performanti e funzionalità molto articolate. Essi sono spesso concepiti come soluzioni modulari così che il consumatore possa selezionare e customizzare una variante di prodotto che più corrisponde alle proprie esigenze. La forma estrema di questo processo di customizzazione è rappresentata dalla produzione di prodotti one-of-a-kind che sono definiti, progettati e realizzati esclusivamente per un consumatore specifico. Dal punto di vista produttivo, la complessità geometrica, funzionale e tecnologica dei prodotti si unisce quindi ad una elevata variabilità degli stessi e, di conseguenza, esercita un forte impatto sulle modalità produttive e le dinamiche di filiera che vedono una progressiva trasformazione della cooperazione tra i vari players. Da soluzioni basate sul beneficio economico in cui delle porzioni di produzione sono generalmente delocalizzate laddove il costo della manodopera è basso si acquisisce sempre più la consapevolezza di dover operare sulle competenze specifiche locali organizzando la filiera produttiva come una rete di poli di eccellenza distribuita nel mondo.

Le fasi di progettazione dei prodotti di nuova generazione e dei relativi processi produttivi assumono una importanza di rilievo sia a livello di condivisione delle informazioni che di strumenti software a supporto delle varie fase del processo di sviluppo degli stessi.

Con riferimento alla rappresentazione e modellazione delle informazioni dei prodotti e processi, la condivisione di dati e protocolli rappresenta ancora una tematica gestita in modo parziale e destrutturato. Il raggiungimento di una completa interoperabilità all'interno della singola fabbrica e nella filiera si basa sulla definizione di standard per la formalizzazione delle informazioni che consentano di descrivere la conoscenza per molteplici categorie di prodotti. Tali standard dovrebbero, inoltre, essere concepiti in modo incrementale con l'obiettivo di poter integrare le frequenti innovazioni.

In relazione agli strumenti software a supporto della progettazione dei prodotti e dei relativi processi, le principali azioni di innovazione dovrebbero riguardare i seguenti aspetti chiave. Innanzitutto gli strumenti CAD/CAM dovrebbero consentire di incorporare un contenuto informativo arricchito rispetto alle famiglie di dati geometrici e tecnologici. Ciò comporta la necessità di concepire nuovi strumenti CAD/CAM orientati alla conoscenza ovvero in grado di riconoscere le parti sulla base delle loro scansioni 3D, di ricostruirne la geometria e di identificare la famiglia di lavorazioni da eseguire ed i relativi processi produttivi che consentono il raggiungimento dei requisiti di qualità e prestazioni meccaniche nella maniera più efficiente. Inoltre, la crescente diffusione di assiemi costituiti da componenti in materiali diversi sia dal punto di vista chimico che tecnologico e funzionale rappresenta una sfida complessa per i sistemi CAD/CAM di nuova gene-

razione che saranno chiamati a includere logiche di progettazione ibrida per metalli, compositi e plastiche.
Congiuntamente alla modellazione ed analisi di parti complesse, tali strumenti dovranno anche consentire nella fase di progettazione di processo produttivo, l'integrazione di modelli cinematici e dinamici delle macchine che realizzano le lavorazioni come pure di fenomeni tradizionalmente considerati secondari ma che solo recentemente sono stati identificati come cruciali nel processo, come per esempio la modellazione fluidodinamica, meccanica e chimica dei vari liquidi di raffreddamento. Ciò renderebbe possibile l'utilizzo di modelli matematici innovativi basati su una modellazione completa delle risorse fisiche che partecipano il processo manifatturiero. In tal senso l'obiettivo di efficienza energetica potrebbe essere perseguito mediante modellazioni avanzate che coinvolgono la progettazione del prodotto, la definizione del processo di lavorazione nonché delle risorse fisiche che implementano il processo stesso.
Nella fase di progettazione, inoltre, i vari strumenti software utilizzati dovrebbero essere coordinati così che ogni modifica realizzata nella fase di progettazione geometrica o di processo possa essere automaticamente inclusa negli altri strumenti software. Questa interazione non dovrebbe essere solo trasversale agli strumenti, ma dovrebbe poter essere connessa con le risorse fisiche che in un tale momento operano le trasformazioni stesse. La chiusura dell'anello logico sulle macchine reali dei sistemi produttivi consentirebbe di interpretare la reale esecuzione del processo e, sulla base della nuova conoscenza e delle previsioni sul comportamento reale delle macchine, adattare in tempo reale le variabili significative che riguardano la progettazione del prodotto e del processo.

Gli strumenti CAD/CAM di nuova generazione dovrebbero inoltre essere progettati in modo da consentirne un uso semplice ed efficace, con interfacce che supportino le dinamiche interattive con l'utilizzatore, anche durante le fasi di realizzazione del processo in macchina. La possibilità di poter integrare nuove informazioni che arricchiscano e migliorino le fasi progettuali deve poter esplicarsi non solo nel dipartimento di progettazione ma anche a bordo macchina. Pertanto tali strumenti dovrebbero consentire una diversificazione delle interfacce, delle funzioni e delle modalità di fruizione dei dati a seconda delle modalità di utilizzo e della tipologia di utilizzatore.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La fase progettuale di prodotti e processi produttivi racchiude di sicuro le maggiori criticità dell'intero ciclo di vita dal momento che ogni decisione si ripercuote sulle fasi successive – dall'industrializzazione e produzione fino alla dismissione.
Pertanto la possibilità di utilizzare standard e strumenti evoluti a supporto della progettazione comporta numerosi benefici per le aziende. In prima istanza, la condivisione di formati dati e modalità di rappresentazione riduce drasticamente gli errori dimensionali, di tolleranze e di parametri di processo, contribuendo ad una compressione temporale della fase di progettazione ed una riduzione delle iterazioni tra i vari players della filiera produttiva.
L'utilizzo di strumenti CAD/CAM in cui incorporare modellazioni evolute delle risorse ed algoritmi che rispondono ad i più recenti obiettivi produttivi (come l'ottimizzazione del consumo energetico) consente di eseguire analisi più accurate e rapide a supporto della definizione delle specifi-

che progettuali garantendo una maggiore qualità dei prodotti ed efficienza dei processi.
Infine, la capacità di integrare modifiche progettuali trasversalmente a diversi strumenti così come interpretare le informazioni dal campo nella fase di realizzazione effettiva dei processi produttivi convergerebbero a favore di un percorso di miglioramento continuo di prodotti, processi e sistemi produttivi e di conseguente riduzione dei costi dovuti a scarti, guasti e ritardi.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La fase di progettazione di prodotti e processi è tuttora gestita con soluzioni fortemente proprietarie di strumenti CAD/CAM. Le grandi aziende forniscono generalmente piattaforme integrate di progettazione basate su formati dati proprietari e funzionalità piuttosto rigide. Le piccole aziende di contro si concentrano su strumenti con funzionalità specifiche e di norma caratterizzate da un maggiore margine di customizzazione. Complessivamente esiste una elevata latenza nell'integrazione di nuovi standard negli strumenti commerciali gravando negativamente sul grado di interoperabilità tra strumenti software diversi CAD/CAM come pure tra gli stessi strumenti software prodotti da fornitori diversi. In aggiunta, le soluzioni software commerciali non sono ancora mature per una gestione dinamica ed interattiva delle informazioni e delle modifiche durante il ciclo di vita dei prodotti, rallentando significativamente i tempi di progettazione ed industrializzazione degli stessi. Un ultimo aspetto riguarda la possibilità di integrare gli strumenti CAD/CAM con modellazioni matematiche di processi e risorse. Ad oggi, questo tipo di attività viene solitamente gestita nel campo della ricerca mediante lo sviluppo di modelli e soluzioni software a supporto di ottimizzazioni dinamiche delle macchine utensili, della qualità superficiale dei finiti così come di analisi LCA (Life Cycle Assessment) o specificatamente legate al consumo energetico durante l'esecuzione di alcune operazioni. Tali modelli sono generalmente sviluppati all'esterno degli ambienti di sviluppo CAD/CAM a causa della loro scarsa flessibilità, limitandone quindi la robustezza del software per applicazioni industriali. Analogamente, l'integrazione di strumenti CAD/CAM con tecniche di riconoscimento visivo che hanno come obiettivo la definizione di prodotti e processi performanti e conseguente diagnostica di sistema risulta affrontato in maniera ancora preliminare sia a livello di ricerca che ancor più nelle applicazioni industriali.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 4

METODI E STANDARD PER LA AUTOMAZIONE ED INTEGRAZIONE DI SISTEMI PRODUTTIVI COMPLESSI IN GRADO DI GESTIRE PRODUZIONI ON DEMAND E JUST IN TIME

DESCRIZIONE

La produzione di prodotti complessi e fortemente modulari, le cui specifiche sono veicolate dal consumatore, rappresenta generalmente una sfida per le aziende del manifatturiero. Questa strategia produttiva è infatti caratterizzata da notevoli costi di investimento per la realizzazione di soluzioni produttive fortemente agili nonché da elevati costi operativi e costi di gestione delle scorte.

Per ridurre il rischio associato ad una produzione fortemente variabile le imprese competitive tenderanno ad orientarsi verso soluzioni di fabbriche che producono on-demand. Tale politica produttiva si affiderà ad infrastrutture ICT che garantiscano il continuo flusso informativo attraverso le varie fasi del ciclo di vita dei prodotti – dalla loro progettazione alla produzione e distribuzione – come pure attraverso i vari livelli della fabbrica.

I sistemi produttivi concepiti per questo tipo di produzione saranno caratterizzati da livelli elevati di complessità e da soluzioni ibride per gestire andamenti variabili della produzione. Essi necessiteranno pertanto di macchine e sistemi ausiliari modulari e riconfigurabili come pure di una solida architettura di automazione che abiliti il pieno utilizzo delle capacità del sistema. Sulla base delle richieste produttive specifiche elaborate nel dipartimento di progettazione prodotto, i sistemi produttivi dovranno potersi equipaggiare con le risorse necessarie ad esplicare le corrette funzionalità tecnologiche. Nei sistemi produttivi di nuova generazione, questa fase potrà essere gestita in maniera automatica basandosi su approcci innovativi che, a partire dalle specifiche progettuali e dai requisiti meccanici, funzionali e di qualità del prodotto, identificano il processo più performante nonché il set di macchine e risorse ausiliarie in grado di realizzarlo nella maniera più efficiente.

Con l'obiettivo di garantire un comportamento agile dei sistemi, le soluzioni di automazione dovranno essere caratterizzate da un'architettura distribuita che consenta un utilizzo differenziato delle varie porzioni del sistema produttivo così come rapide riconfigurazioni. Ciò prevede inoltre la necessità di sviluppare nuove soluzioni di supervisione e coordinamento in grado di garantire la cooperazione e sincronia tra le risorse fisiche estremamente eterogenee. Sarà infine necessario disporre di nuove politiche di controllo che siano in grado di selezionare dinamicamente le funzioni ed i set-point a seconda delle esigenze produttive. Lo sviluppo di nuovi paradigmi produttivi sta inoltre evidenziando una possibile collaborazione tra uomo e macchina (in particolare con robot antropomorfi) sulle stesse aree di lavoro attribuendo alla macchina un ruolo di assistente non specializzato. Si delineano quindi ambienti di lavoro collaborativo a volte anche molto complessi. In un tale contesto evolutivo, fortemente competitivo e dinamico, i processi di fabbricazione dovranno fare sempre maggiore affidamento sulle capacità umane coinvolgendo gli operatori sia fisicamente sia intellettualmente nella gestione e nella conduzione del processo stesso. La ne-

cessità di rendere sempre più usabili gli strumenti a disposizione dell'operatore in un ambiente gradevole e non stressante porta a una revisione ergonomica delle interfacce uomo macchina. Questo significa creare un ambiente di lavoro sicuro, confortevole e produttivo che garantisca benessere e possibilità di valutazione attenta degli operatori da assegnare alle differenti postazioni di lavoro oltre che un costante monitoraggio delle condizioni biometriche a fini di sicurezza.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

La produzione on-demand rappresenta una strategia con notevoli benefici per le aziende. Essa, infatti, consente una riduzione drastica delle scorte ed un profondo cambiamento degli approcci produttivi tradizionalmente orientati al make-to-stock. I rischi ed i costi associati alle giacenze o la mancata vendita di lotti produttivi di parti finite viene drasticamente contenuto. In aggiunta, le aziende hanno più ampio margine per rinnovare continuamente il portfolio di prodotti sfruttando l'agilità e le leve di riconfigurabilità dei sistemi di produzione. Questi aspetti dovranno fondarsi su un'architettura di automazione di nuova concezione, fortemente distribuita ed orientata alla riconfigurazione. L'obiettivo ultimo sarebbe una produzione snella e caratterizzata da lead-time molto bassi, nonché il vantaggio competitivo di far fronte in modo efficiente alle specifiche richieste del consumatore.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

La produzione on-demand presenta di sicuro numerosi elementi di complessità. Esempi sono la selezione delle risorse fisiche da utilizzare nel sistema produttivo, la progettazione di un sistema di automazione estremamente performante e soluzioni di gestione della produzione orientate alla minimizzazione del lead-time. Nonostante il concetto di produzione su richiesta vede la sua comparsa negli anni '80, la sua completa implementazione è solo in parte stata realizzata. Dal punto di vista industriale, infatti, i forti investimenti in equipaggiamento ed il know-how legato alla gestione degli impianti ne hanno severamente limitato la diffusione. Esempi moderni di produzione on-demand riguardano spesso soluzioni produttive caratterizzate da famiglie di prodotti limitate così da abbattere la complessità di gestione dei magazzini, nonché la complessità produttiva legata alla realizzazione di numerosi set-up ed attrezzaggi di sistema. Questi aspetti, se non ottimizzati in modo strutturato, costituiscono fonti di inefficienza di difficile risoluzione. Essi hanno infatti attirato l'attenzione del mondo della ricerca per numerosi anni con l'obiettivo di sviluppare soluzioni di impianti automatizzati caratterizzati da elevatissimi troughput ed affidabilità.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 5

METODI E TECNOLOGIE ICT BASATE SU INTERNET PER LA INTEGRAZIONE IN TEMPO REALE DEGLI ATTORI DELLA FILIERA DAL RETAIL, AI PRODUTTORI, AI FORNITORI

DESCRIZIONE

Il sempre più rapido time to market dei nuovi prodotti, in relazione alle sempre più rapide dinamiche del mercato di consumo, rende necessario lo sviluppo di nuove soluzioni ICT basate su Internet per integrare in tempo reale gli attori della filiera: dal consumatore, al punto vendita, al distributore, al produttore, ai fornitori di semilavorati, componenti, materiali e tecnologie, risalendo sino ai designer ed ai progettisti dei prodotti stessi.

Un tale integrazione deve sfruttare le emergenti potenzialità della rete e nuove soluzioni fortemente interoperabili al fine di agevolare interazioni rapide e complete fra gli attori della filiera. In particolare:

- il sistema del retail, in stretto contatto con i consumatori finali, deve essere in grado di rilevare e trasmettere ai produttori le esigenze dei consumatori in modo veloce ed efficace;
- i produttori devono recepire con continuità le aspettative del mercato e devono essere capaci di progettare e produrre nuovi prodotti per soddisfare tali esigenze, in tempi molto brevi, riducendo al minimo le interazioni successive con i propri fornitori;
- i fornitori devono potere cogliere in tempo reale le esigenze dei produttori al fine di potere fornire agli stessi semilavorati, componenti, materiali e tecnologie che ne soddisfano le esigenze riducendo il numero ed i tempi delle interazioni.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Integrare gli attori della filiera da retail a produzione a fornitura è elemento fondamentale per ridurre time to market e costi di prodotti sempre meglio in grado di soddisfare rapidamente le esigenze dei consumatori. Tecnologie ICT basate su Internet che supportano tale integrazioni rappresentano quindi tecnologie abilitanti fondamentali per la competitività delle filiere, in particolare nei settori maggiormente orientati a variabilità della domanda ed a rispondere alle aspettative dei consumatori finali.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Oggi la integrazione fra gli attori della filiera è spesso poco strutturata e non supportata da tecnologie ICT appropriate: molte interazioni avvengono tramite lo fornitura diretta di prodotti, semilavorati, componenti, materiali e tecnologie fra gli attori della filiera, motivo per cui la integrazione avviene di fatto fisicamente in fase di produzione, rendendo quindi spesso inevitabili rivisitazioni successive di prodotti e fornitori, che aumentano il time to market e quindi riducono la competitività della filiera.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 6

TECNOLOGIE PER IL CONTROLLO, IL MONITORAGGIO, LA SUPERVISIONE, LA DIAGNOSI E LA MANUTENZIONE PER AUMENTARE CICLO DI VITA ED EFFICIENZA DEI SISTEMI DI PRODUZIONE

DESCRIZIONE

La nuova generazione di sistemi di produzione dovrà essere concepita sulla base di requisiti di intelligenza ed adattabilità per far fronte a dinamiche produttive complesse e variabili nel tempo. Tali sistemi saranno quindi chiamati ad evolvere lungo il proprio ciclo di vita adattando le proprie caratteristiche e comportamento operativo sulla base dei requisiti produttivi e contemporaneamente garantendo livelli elevati di efficienza e di salute delle risorse del sistema. Dal punto di vista delle risorse fisiche che operano negli impianti, ciò comporta soluzioni modulari su diversi livelli – dal dispositivo meccatronico ad intere celle produttive. La modularità di tali soluzioni ne consente un utilizzo differenziato in accordo con l'esigenze produttive nonché una rapida riconfigurazione, sostituzione ed integrazione delle risorse esistenti con nuove porzioni di sistema. Sistemi produttivi caratterizzati da tali livelli di complessità dovranno fare affidamento a tecnologie innovative a supporto dell'automazione e gestione, dal controllo e supervisione alla diagnosi e manutenzione delle risorse. Tali tecnologie dovranno supportare il continuo campionamento dei dati dal campo nonché la loro interpretazione. Ciò consentirebbe di costruire una immagine dello stato del sistema istante per istante nel tempo e di identificare eventuali azioni di miglioramento o interventi correttivi sui vari livelli dell'impianto con l'obiettivo di garantire i threshold di produttività, efficienza energetica e qualità dei prodotti finiti. Ne consegue che il sistema di automazione deve essere progettato in modo da garantire il controllo ed il coordinamento di singoli dispositivi e contemporaneamente esaminare l'impatto di una decisione sulle altre entità produttive. Questo approccio di gestione multi-livello consente di integrare logiche di adattatività puntuali con strategie di ottimizzazione globali. Pertanto, aspetti di controllo real-time, coordinamento e supervisione, manutenzione e gestione della produzione rappresenteranno risposte sui diversi livelli della medesima logica di miglioramento globale. Tuttavia, il perseguimento di tale logica lungo il ciclo di vita del sistema pone notevoli sfide con riferimento sia alla gestione ed interpretazione dei dati e della reciproca correlazione che allo sviluppo di modelli e strumenti olistici che definiscano delle strategie di recovery coordinate sui vari livelli della fabbrica. Tecnologie basate sull'apprendimento cognitivo, l'auto-diagnosi e la riconfigurazione costituiranno il fondamento per tale percorso di ottimizzazione. Tali tecnologie potrebbero essere ulteriormente implementate in piattaforme integrate di nuova concezione per il supporto alla visualizzazione e simulazione delle risorse e della produzione e la cooperazione interattiva con gli operatori.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'adozione di tecnologie a supporto dell'integrazione dei diversi livelli logici della fabbrica, dal controllo e supervisione alla diagnostica e manutenzione, costituisce una forte leva competitiva per

le aziende. Le soluzioni produttive di nuova generazione ne risulterebbero avvantaggiate in primo luogo dal punto di vista produttivo dal momento che si ridurrebbero i tempi ed i costi legati agli scarti di prodotti che derivano da processi produttivi degradati o non ottimizzati. Inoltre, le risorse fisiche che operano nello shop-floor verrebbero costantemente monitorate e controllate con l'obiettivo di implementare politiche correttive e di miglioramento dell'efficienza. Ciò comporterebbe notevoli benefici in termini di riduzione dei guasti e delle inefficienze mediante l'utilizzo di tecnologie basate sull'apprendimento che consentono di modellare il ciclo di degradazione naturale delle risorse congiuntamente a fenomeni esogeni. In aggiunta, l'adozione di soluzioni di automazione fortemente integrate con i livelli di gestione e monitoraggio consentirebbe una drastica riduzione dei tempi di diagnostica ed identificazione di eventuali comportamenti fuori controllo dei sistemi, favorendo quindi l'implementazione di politiche ed azioni di correzione.
Infine un ulteriore beneficio sarebbe rappresentato da una elevata reattività al cambiamento. Eventuali modifiche legate alla domanda di produzione piuttosto che riconfigurazioni di sistema o cambiamenti di logiche produttive potrebbero essere gestite con tempi di ramp-up e set-up drasticamente inferiori come risultato di una condivisione trasversale e congiunta delle funzioni di controllo, monitoraggio e gestione.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le soluzioni di controllo, manutenzione e gestione della produzione sono solitamente indipendenti tra loro. Ciascun livello logico della fabbrica risponde quindi a politiche miopi di controllo ed ottimizzazione, senza considerare in modo strutturato l'impatto esteso di una specifica scelta. Ciò comporta la realizzazione di task disgiunti che spesso rispondono a logiche in disaccordo tra loro, causando complessivamente svariate inefficienze nei sistemi produttivi nonché tempi troppo lunghi per diagnosticare e reagire ad eventuali comportamenti anomali delle risorse.
Benché la progettazione di soluzioni metodologiche e tecnologiche che supportino la gestione della fabbrica su livelli molteplici sia di condivisa importanza, la complessità realizzativa che da essa scaturisce non è stata ancora affrontata in modo verticale e completo. Esistono numerose attività di ricerca nella direzione di arricchire le tradizionali tecnologie di controllo, manutenzione, diagnostica e gestione con soluzioni evolute basate sull'analisi dello stato reale del sistema e la sua conseguente correzione di anomalie. Tuttavia, tali attività fanno generalmente riferimento a problematiche molto specifiche, come per esempio il controllo adattativo e la manutenzione predittiva.
Con riferimento ad applicazioni industriali esistono rari esempi di eccellenza in Italia nell'integrazione di diverse tecnologie a supporto di sistemi produttivi intelligenti ed adattativi. Tali esempi si fondano su una forte integrazione di know-how nei campi della meccanica, elettronica, robotica e gestione degli impianti. Le aziende che sfruttano questi aspetti in modo competitivo costituendo poli di eccellenza mondiale appartengono sovente al mondo dei costruttori di risorse ed integratori di sistemi.
Di contro, nella grande maggioranza dei casi, le aziende che non hanno una conoscenza approfondita e puntuale delle risorse hardware che operano nello shop-floor riescono difficilmente a definire politiche congiunte di miglioramento dell'efficienza del sistema lungo il suo ciclo di vita.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 7

TECNICHE E SOLUZIONI SOFTWARE PER LA PIANIFICAZIONE IN TEMPO REALE DELLA PRODUZIONE E DELLA LOGISTICA

DESCRIZIONE

L'elevato tasso di variabilità dei trend che sempre più caratterizzano il mercato globalizzato odierno, in cui la richiesta e la nascita di nuovi prodotti, oltre che di nuove intere categorie di prodotto, diventano sempre più frenetiche: risulta quindi fondamentale che le aziende siano in grado di garantire un altrettanto elevata variabilità e adattabilità della catena di produzione, sia all'interno delle mura della fabbrica, sia in un coinvolgimento complessivo dell'intera filiera.

In questo contesto di vincoli imposti dalle esigenze e dinamiche di mercato, è indispensabile riuscire a tenere in considerazione contemporaneamente sia i tradizionali aspetti di produttività che quelli di sostenibilità, economica, energetica ed ambientale; ne deve risultare un quadro di equilibrio virtuoso della fabbrica, in cui le soluzioni adottate per soddisfare le esigenze dei clienti vengono interpretate e diventano anche elementi abilitanti per il miglioramento progressivo dell'intero processo produttivo.

Per supportare adeguatamente questo tipo di approccio, è necessario che la fabbrica si doti di tecnologie, ma anche di metodologie, che portino all'implementazione di capacità di analisi, ottimizzazione e pianificazione della produzione in tempo reale, tenendo conto dei vincoli esposti e al contempo garantendo reattività e tempi di risposta brevi a cambiamenti repentini delle condizioni al contorno. Questo implica ovviamente un adeguamento anche delle componenti di logistica, necessarie per supportare e garantire il corretto funzionamento del sistema produttivo; in termini pratici, l'obiettivo di ridurre i tempi di produzione e di consegna in relazione alle richieste dei clienti, richiede che l'orizzonte di miglioramento si estenda anche al di fuori dei confini della fabbrica, coinvolgendo direttamente il sistema di interazioni con fornitori e distributori.

Dal punto di vista tecnologico è necessario integrare nell'attuale architettura ICT dell'azienda dei nuovi strumenti software di pianificazione, basati sul recupero e la combinazione di informazioni eterogenee ad ogni livello della fabbrica, che siano in grado di valutare in tempo reale strategie differenti (piani di produzione, ottimizzazione delle risorse, modifiche di layout,ε) per mantenere elevata la produttività a fronte di variazioni, anche consistenti, nelle condizioni al contorno del mercato.

Questi obiettivi possono essere raggiunti solo combinando, all'interno del sistema, principi sia lean che green, intendendo con ciò una strutturazione che miri a migliorare la qualità del prodotto, i tassi di produzione, il tempo di attraversamento e la flessibilità dei sistemi di produzione, riducendo però al contempo energia, materiali utilizzati, scarti e prodotti inquinanti.

La possibilità di estendere questi concetti a comprendere la logistica inter-fabbrica si basa invece sulla capacità di creare una rete di fornitura sostenibile (sia economicamente che dal punto di vista energetico/ambientale) che sia in grado di ristrutturare velocemente e dinamicamente i

collegamenti all'interno dell'insieme di unita produttive e distributive, distribuite geograficamente ma elettronicamente collegate, in una sorta di fabbrica virtuale estesa. Questo approccio permetterebbe l'instaurarsi di una supply network con caratteristiche avanzate di: alto livello di customizzazione, tempi ciclo ridotti, costi di magazzino quasi nulli, oltre che naturalmente flussi di materiali ed energia ottimizzati durante la produzione e la distribuzione.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Nel corso dell'ultima decade le sfide imposte a livello industriale dal processo ancora in corso di globalizzazione economica hanno indotto una significante riduzione del rapporto produzione/importazione di prodotti, in particolare nei settori con processi manifatturieri ad alto contenuto di manodopera. In questo contesto, la competizione sul prezzo imposta dai produttori esteri, soprattutto extra-europei, ha forzato le compagnie italiane a seguire differenti strategie: i grossi player hanno spostato la produzione in paesi con costi di manodopera più bassi, le piccole e medie imprese passive hanno dovuto ammettere la sconfitta e chiudere le loro fabbriche, mentre le PMI più innovative hanno cercato di reagire muovendosi verso un modello produttivo in grado di rispondere in modo più puntuale all'incerta e fortemente variabile richiesta dei clienti.

È quindi con specifico riferimento a quest'ultimo gruppo che lo sviluppo di tecnologie atte ad aumentare la flessibilità e reattività della produzione può avere un forte impatto sulla competitività delle aziende coinvolte. Agendo in questa direzione, esse sarebbero infatti in grado di offrire al mercato tempi di reazione ai cambiamenti delle richieste impossibili da raggiungere attraverso un approccio classico, ottenendo quindi un notevole vantaggio competitivo.

Attraverso l'integrazione di strumenti di pianificazione in tempo reale, sia della produzione che della logistica, offrirebbero in termini quantitativi un incremento della reattività al cambiamento, permettendo di gestire riconfigurazioni di sistema o cambiamenti di logiche produttive in tempi di ramp-up e set-up drasticamente notevolmente ridotti.

Altrettanto importante sarebbe il risultato di estendere queste tecniche al di fuori del perimetro della fabbrica, coinvolgendo quindi in modo diretto nel processo di efficientamento ed aumento della flessibilità anche gli altri attori della filiera; ne risulterebbero, complessivamente, da una parte una riduzione dei costi di prodotto, e dall'altra una considerevole riduzione del time-to-maket.

Elemento chiave di questa linea di sviluppo sarebbe infine l'accettazione ed integrazione, a pari livello con i vincoli di produttività, dei concetti di efficienza energetica e sostenibilità ambientale; in questo modo infatti, non solo si permetterebbe alla fabbrica di migliorare le proprie prestazioni riducendo i flussi in ingresso (materie ed energia), ma si avrebbe anche un ritorno di immagine sul mercato sufficiente per garantire un significativo aumento dell'indotto.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Sistemi di pianificazione complessi, in grado di intervenire in tempo reale sul processo produttivo e sulla logistica dello stesso, differiscono in modo sostanziale dalla loro controparte classica, in quanto presentano la necessità di doversi adattare a vari livelli alla variabilità delle condizioni al contorno in cui si trovano ad operare.

Tale adattabilità è infatti collegata e guidata dalla necessità di tenere in considerazione variazioni sia interne che esterne, deterministiche o non prevedibili; in aggiunto, il sistema di pianificazione dovrebbe essere in grado di valutare l'impatto di una specifico evento e modificare il comportamento del sistema per adeguarsi.

Nella pratica attuale il sistema di adattamento della pianificazione, laddove presente, è basato su un insieme di modi operazionali predefiniti, che possono essere attivati, più o meno automaticamente, in base alle esigenze. L'introduzione di strumenti software in grado di gestire autonomamente anche solo un parte di queste situazioni permetterebbe un salto generazionale nel livello di reattività della produzione alle richieste del mercato.

Di pari importanza rispetto alla componente algoritmica, un elemento chiave per permettere la coordinazione inter-fabbrica è un'adeguata rete di comunicazione fra gli attori della filiera chiamati a far collaborare le loro strategie dinamiche. Al momento attuale, al di fuori di grossi gruppi industriali, formati da più compagnie differenti ma collegati da una comune infrastruttura IT, le interazioni fra fornitori, produttori, distributori e clienti si basano su semplici tecniche e soluzioni di standardizzazione delle interfacce. La sfida in questa direzione è quella di integrare fra loro tecnologie di pianificazione dinamica con soluzioni di condivisione remota di informazioni, abilitando la costituzione di una sorta di sistema multi-agente distribuito che permetta il coordinamento di moduli operativi separati fisicamente ed eterogenei.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 8

SENSORI E COMPONENTI MECCATRONICI AD ALTE PRESTAZIONI PER MIGLIORARE EFFICIENZA E QUALITÀ DELLA PRODUZIONE E DEI PRODOTTI FINALI

DESCRIZIONE

Le esigenze crescenti di produttività ed affidabilità dei sistemi di produzione richiede la progettazione di soluzioni che garantiscano livelli di prestazioni molto elevati mediante l'ottimizzazione dei processi, delle risorse fisiche e logiche operanti nello shop-floor, delle politiche di gestione e manutenzione delle risorse nonché delle tecniche di ispezione e controllo della qualità. Il raggiungimento di tali obbiettivi comporta lo sviluppo di dispositivi meccatronici evoluti congiuntamente alla progettazione di un complesso tessuto ICT in grado complessivamente di garantire la continua raccolta ed interpretazione delle informazioni dal contesto produttivo e l'implementazione di azioni di correzione del comportamento del sistema nel tempo.

Le nuove soluzioni di dispositivi meccatronici saranno costituite da materiali innovativi performanti e funzioni elettroniche evolute mediante l'utilizzo di micro-processori, controllori embedded, FPGA riconfigurabili, processori stampati su film sottili. Le architetture ICT dovranno integrare e supportare una nuova generazione di sensori ed attuatori multifunzionali (per esempio soluzioni ibride di sensori per la visione ed il contatto, sensor fusion, smart sensors) e logiche di ottimizzazione innovative come le logiche di monitoraggio e di harvesting energetico integrate con il controllo del processo. Sia le soluzioni meccatroniche che i sensori dovranno inoltre essere in grado di svolgere task complessi sulla base dell'elaborazione di dati complessi dal campo unite ad attività di diagnostica avanzata ed meccanismi di auto-apprendimento lungo il ciclo di vita delle risorse operanti nei sistemi produttivi.

Pertanto, lo sviluppo di nuove soluzioni di dispositivi richiede attività di ricerca e sviluppo multidisciplinari legati alla considerazione congiunta di variabili fisiche (meccaniche, elettriche, idrauliche, pneumatiche) e chimiche (emissioni processi, parametri biologici).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il concetto di Smart Factory oggi sempre più richiesto, non necessita di riprogettare una nuova fabbrica, ma piuttosto di dotarla di "intelligenza" tramite un set di nuovi sensori e attuatori e una elaborazione "smart" delle informazioni che agisce a livello gerarchico superiore in modo tale da consentire un tangibile incremento del livello di automazione della fabbrica, portando miglioramenti in termini di precisioni conseguite, di efficienza, di flessibilità e conseguente riduzione di costi. In questo ambito i sensori e componenti meccatronica avanzati, fra cui in particolare i "sensori senza contatto" possono essere agevolmente impiegati nello sviluppo di sistemi di controllo intelligente operanti a livello gerarchico superiore, appaiono essere uno degli strumenti che nel prossimo futuro possano portare considerevoli vantaggi nell'ambito delle fabbriche del futuro.

Di fatto l'obiettivo di raggiungere elevate prestazioni per i sistemi produttivi si soddisfa mediante

una serie di molteplici azioni che vanno dalla progettazione di nuove macchine all'implementazione di tecnologie e processi fortemente innovativi. Tali aspetti tuttavia sono strettamente dipendenti dalla progettazione di moduli meccatronici e soluzioni di sensori di ultima generazione. Tali dispositivi hanno il potenziale di contribuire profondamente all'incremento di produttività, da un lato aumentando l'automazione di fabbrica e dall'altro minimizzando ed identificando eventuali inefficienze. Ciò contribuirebbe al raggiungimento di livelli di affidabilità dei sistemi che sfiorano il comportamento ideale, abbattendo drasticamente ogni rischio di guasto e comportamenti anomali delle risorse operanti nello shop-floor, in accordo con le strategie manifatturiere comunitarie che puntano a "fabbriche con zero-difetti".

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le recenti attività di ricerca e sviluppo nell'ambito della progettazione di dispositivi di nuova generazione come moduli meccatronici e sensori sono orientate al raggiungimento di soluzioni efficienti e con un ridotto impatto economico ed ambientale. Ciò comporta da un lato lo studio di materiali innovativi per la progettazione di tali dispositivi con il fine di incrementare le funzionalità e garantire requisiti di leggerezza, ergonomia e sostenibilità. Gli aspetti più puramente meccanici e tecnologici sono corredati dalla ricerca di soluzioni evolute nel campo dell'elettronica. Ne sono esempio i moduli meccanici in materiali non convenzionali la cui leggerezza richiede lo sviluppo di apposite logiche di adaptronica per compensare le sollecitazioni dinamiche, costituendo quindi soluzioni meccatroniche complesse. Un ultimo aspetto riguarda l'impatto ambientale e l'efficienza energetica dei sistemi produttivi, in particolare per applicazioni nel campo dell'industria di processo, per il quale esiste un notevole bacino di attività di ricerca e prime applicazioni industriali che prevedono l'integrazione nei dispositivi complessi di nuove logiche di controllo, diagnostica e compensazione dei consumi.

La realizzazione di moduli meccatronici e sensori di nuova generazione comporta inoltre una serie di sfide ulteriori correlate alla progettazione. Un esempio è l'addensamento di un maggior numero di componenti elettronici ed involucri che li contengono necessari per aumentare le funzionalità e l'intuitività di tali dispositivi e di conseguenza soluzioni innovative per risolvere i problemi di riscaldamento ed i guasti, richiedendo quindi interoperabilità tra applicazioni di CAD elettronico (ECAD) e CAD meccanico (MCAD). Un ulteriore esempio riguarda la necessità di dover sostituire o potenziare l'hardware con software e firmware per garantire una crescente complessità e funzionalità dei dispositivi. Ciò comporta notevoli criticità legate alla necessità di includere importanti funzionalità nelle ultime fasi di produzione come caratteristiche del software embedded. Un terzo aspetto di rilievo riguarda l'impatto ambientale di tali dispositivi e la loro sostenibilità nelle fasi terminali del loro ciclo di vita.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 9

NUOVE CONFIGURAZIONI DI MACCHINE E SISTEMI ECO-SOSTENIBILI PER OTTIMIZZARE EFFICIENZA ENERGETICA ED IMPATTO AMBIENTALE DEI SISTEMI DI PRODUZIONE

DESCRIZIONE

La nuova generazione di macchine e sistemi di produzione eco-sostenibili dovrà rispondere a forti vincoli riguardanti i bassi consumi e impatti ambientali come fattori chiave per mantenere la competitività sul mercato globale. I nuovi sistemi di produzione dovranno essere progettati, sviluppati, configurati e gestiti ottimizzando sui diversi livelli non solo aspetti riguardanti prestazioni e produttività ma anche funzioni obiettivo specifiche di massimizzazione di efficienza energetica e minimizzazione di impatto. Per poter raggiungere questi obiettivi e realizzare fabbriche altamente efficienti, l'energia dovrà in prima istanza poter essere misurata localmente in tempo reale, e le attività di controllo dei processi manifatturieri dovranno tenere conto del consumo energetico complessivo di ogni processo, ottimizzandolo globalmente e localmente. Maggiore attenzione dovrà essere posta nella progettazione e nella gestione dei processi manifatturieri e sarà sempre più necessario porre attenzione allo sviluppo di strumenti ed algoritmi che permettano di tener conto dell'efficienza energetica e della riduzione di impatto come parametri significativi ad ogni livello, identificando quali strategie conducono alle migliori performance energetiche oltre agli altri risultati di processo desiderati.

In questo contesto, nuove tecnologie e approcci innovativi alla progettazione dovranno essere introdotti sia livello macchina che a livello di sistema. In particolare per quanto riguarda il livello macchina fattore determinante sarà lo sviluppo di strutture leggere realizzate con materiali altamente performanti che permetteranno di ridurre drasticamente i consumi di energia mantenendo elevate prestazioni e massimi livelli di qualità. Elevata attenzione sempre a livello macchina dovrà essere ulteriormente posta allo sviluppo di approcci orientati alla riduzione di utilizzo di sistemi ausiliari quali aria compressa, sistemi di raffreddamento e lubrificazione. Tale obiettivo dovrà essere conseguito attraverso lo sviluppo di tecnologie e metodologie innovative riguardanti i singoli processi di produzione che dovranno mantenere elevati standard di qualità e, al contempo, raggiungere gli obiettivi specifici appena citati.

A livello di sistema una nuova e differente possibilità di ridurre i consumi di energia di un impianto dovrà essere offerta dallo sviluppo di moderni strumenti informatici per agire direttamente nella fase di ingegnerizzazione. Nuove generazioni di tool per la progettazione dovranno contenere in modo dettagliato tutte le informazioni sul futuro impianto, il suo layout, le dimensione, informazioni su macchine e linee permettendo di verificare il comportamento dell'impianto durante la fase di engineering, in questo modo i processi potranno essere ottimizzati durante la progettazione piuttosto che nella fase di commissioning, tenendo conto non solo dei normali criteri di performance e capacità, ma anche del consumo complessivo di energia dell'impianto e di impatto ambientale del sistema complessivo, permettendo quindi di scegliere, fin dalle prime fasi di progettazione, le solu-

zioni in grado di offrire i processi con la massima efficienza energetica. Infine, nell'ottica di realizzare una fabbrica sempre più efficiente dovranno essere sviluppati e integrati ad ogni livello nuove ed esistenti tecnologie di "energy harvesting" volti all'utilizzo dell'energia comunemente disponibile e dispersa nell'ambiente come fonte di generazione di energia a costo zero.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

I vantaggi derivanti dalla realizzazione di sistemi eco-sostenibili ottimizzando consumi energetici e impatti ambientali sono assolutamente indiscutibili: si osservi, infatti, che, soprattutto per i grandi consumatori di energia, anche un minimo miglioramento dei consumi specifici si traduce immediatamente in una cospicua riduzione dei costi di gestione e in un sensibile miglioramento degli impatti ambientali associati all'utilizzo della stessa energia.

Le motivazioni che conducono alla decisione di ottimizzare i consumi energetici e gli impatti ambientali adottando soluzioni tecnologiche innovative sono di conseguenza molteplici e portano a vantaggi competitivi non trascurabili. Innanzitutto la possibilità di migliorare le proprie prestazioni energetiche permette di ridurre i costi di gestione attraverso la definizione di specifici obiettivi e programmi di miglioramento energetici. Si può far fronte all'esigenza di regolamentare le attività aziendali che possono avere influenza sulle prestazioni energetiche dell'organizzazione affinché possano essere tenuti sotto controllo tutti i fattori di impatto energetico esistenti in azienda.

Non di poco significato è da considerare inoltre il vantaggio di disporre di una adeguata metodologia di controllo e monitoraggio delle proprie prestazioni energetiche. Questo anche nell'ottica di sfruttare opportunità derivanti dal fermento normativo degli ultimi anni in tema di performance energetiche e di impatto dei sistemi di produzione ottenendo in tal modo riconoscimento ufficiale della validità dei propri impegni e strategie in questi ambiti attraverso una certificazione da parte di un'organizzazione terza.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Fino ad ora, la maggior parte delle industrie e dei sistemi di produzione sia in Italia che all'estero sono state progettate e costruite tenendo conto dei costi come più importante fattore economico e parametro su cui operare ogni decisione a livello di progettazione che di gestione. Questo approccio è stato naturalmente applicato a livello delle macchine, dei sistemi e delle infrastrutture. Tuttavia, a causa dei continui cambiamenti nei rispettivi settori, l'efficienza energetica e l'impatto ambientale dovrebbero diventare un altro fattore chiave nell'ottimizzazione ad ogni livello delle industrie del futuro.

Attualmente esistono sul mercato soluzioni software e hardware che permettono di eseguire monitoraggio e diagnostica dei parametri di consumo energetico e, in qualche caso anche di impatto ambientale. Benché sia, ad oggi, ampiamente riconosciuta la necessità di realizzare e sviluppare nuove configurazioni di macchina e sistema eco-sostenibili non esistono soluzioni che implementino strategie attive di riduzione dei consumi e ottimizzazione multilivello. Questo non permette di sfruttare la opportunità di aumentare la propria competitività e immagine rispettivamente attraverso la possibilità di tagliare efficacemente i costi di gestione e di ridurre drasticamente le proprie emissioni in ambiente.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 10

NUOVE TECNOLOGIE DI PROCESSO ECO-SOSTENIBILI PER RIDURRE CONSUMI ED EMISSIONI DEI PROCESSI INDUSTRIALI

DESCRIZIONE

Il miglioramento delle prestazioni ambientali secondo i principi della produzione pulita ed efficiente (cleaner and efficient production) richiede modifiche ai diversi livelli di operatività di impresa. Tali ambiti vanno dalla gestione della produzione (tecnologie di processo sostenibili), a sistemi di innovazione organizzativa intra/extra impresa (EMAS, ISO, Supply chain management) fino all'innovazione di prodotto e servizio (eco-design, nuovi servizi ambientali, sistemi di consumo e produzione innovativi.)

La tendenza attuale in molti settori manifatturieri è di applicare eco-innovazioni finalizzate a migliorare principalmente l'efficienza energetica, mentre l'attenzione sull'uso più efficiente dei materiali è meno pronunciata. L'implementazione di strumenti ambientali viene invece rivolta tradizionalmente a miglioramenti di carattere incrementale su aspetti critici e non a una politica di insieme di gestione della qualità. A livello di processo l'innovazione eco/efficiente deve includere una famiglia di tecnologie molto ampia che và dalle tecnologie di monitoraggio degli inquinanti verso l'esterno (aria, acqua), ai processi innovativi di trasformazione con emissione e consumo ridotto, a sistemi di trattamento e recupero dei rifiuti e degli scarti, a sistemi di utilizzo di energia pulita, a sistemi di controllo indoor (rumore,vibrazioni, micro inquinanti in ambienti chiusi) fino a sistemi di gestione integrata ICT. Le soluzioni emergenti devono mirare a un approccio integrato basato sull'uso intensivo di tecnologie ICT combinate a sistemi di monitoraggio e controllo dei consumi e delle emissioni. L'approccio è dunque quello di guidare l'ottimizzazione locale sulla base di valutazioni che siano al tempo stesso estese (riguardando al contempo il ciclo di vita dei prodotti, la salute dei lavoratori, l'operatività e i costi di impresa) e affidabili (riguardando monitoraggi in real time, e sistemi di gestione di processo integrati in quelli generali di gestione di impresa). Un secondo obiettivo è quello di fornire, accanto a soluzioni specificamente orientate all'ottimizzazione dei consumi di processo, metodologie e tecniche di livello più alto per decodificare le scelte operative in termini ambientali. Ciò consente di identificare quelle eco-innovazioni che derivano da scelte operative senza un orientamento specifico in tal senso. Particolari sottoaree strategiche risultano essere quella dei sensori intelligenti, le metodologie di gestione dati in-situ, le tecnologie di simulazione di impatto e di consumo, i tool di analisi integrata di consumo e impatto ambientale, sistemi avanzati di pianificazione della produzione e di gestione di impresa.

A livello di processi produttivi, quelli attualmente impiegati nell'industria manifatturiera sono legati principalmente a modalità di produzione per alti volumi con e rappresentati da una scarsa flessibilità di cambio di prodotto. Fino ad alcuni anni fa, infatti, i prodotti richiedevano tempi di sviluppo notevoli ed erano realizzati per un cambio generazionale di là nel tempo. Con lo sviluppo di sistemi di calcolo e progettazione più efficienti si è arrivati ad una riduzione dei tempi di pro-

gettazione dei nuovi prodotti ed alla opportunità (e necessità, in quanto richiesta dal mercato) di gestire un cambio di prodotto in tempi molto più ridotti rispetto al passato, con particolare attenzione alla sostenibilità ecologica ed economica dei prodotti stessi. Nel campo automobilistico, ad esempio, si è passati dalla progettazione e lancio di nuovi modelli dell'arco di anni ad una tempistica ridotta a soli 18 mesi, con la tendenza alla realizzazione non più di "singoli" modelli, ma di piattaforme di modelli, in grado di poter coniugare, di volta in volta, sia differenti varianti della stessa famiglia di modello, sia le modifiche architetturali richieste dall'evoluzione del prodotto sul mercato.

Dal punto di vista delle risorse, pertanto, i processi produttivi richiedono un miglioramento in termini di gestione efficiente delle stesse, portando ad una riduzione complessiva delle materie prime necessarie per la realizzazione dei singoli prodotti, e contando su delle economie di scala (ampliate dalla possibilità di realizzare non più singoli modelli differenti, ma piattaforme-famiglie di modelli) per i vari prodotti. In particolare, essendo il settore manifatturiero il principale artefice del consumo di energia e di materie prime, ha la necessità di dotarsi di nuovi processi produttivi in grado di contenerne i consumi a pari prodotto (come prestazioni, come tempi ciclo di produzione e come costi finali).

Se si considerano le principali categorie di processi per la realizzazione dei prodotti, dobbiamo considerare dapprima i processi produttivi di trasformazione (a partire dal materiale base, fino alle lavorazioni di formatura o lavorazioni meccaniche di asportazione), quindi di assemblaggio e giunzioni, ed infine di produzione.

Nel settore automobilistico si possono distinguere principalmente due aree: la realizzazione di prodotti assibilabili all'area del powertarin e chassis, dove si possono raggruppare i prodotti realizzati a partire da colate di leghe metalliche (in origine principalmente ghisa, ora sempre di più leghe di alluminio) e quello della carrozzeria, dove si possono considerare i prodotti realizzati dalla formatura delle lamiere (anche qui, partendo da monoscocche in acciaio si sta progressivamente spostandosi verso soluzioni sempre più multi-materiale, seguendo il concetto di impiegare il materiale più adatto (come resistenza meccanica e come peso) laddove sia necessario.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'applicazione delle tecnologie ICT all'ambito dell'eco-sostenibilità deriva da tre precise necessità. In primo luogo l'applicazione delle soluzioni end-of-pipe rispetto a quelle di controllo e design preventivo si è rivelata nel tempo meno efficace da un punto di vista ambientale e più costosa. Le soluzioni di controllo e design preventivo richiedono invece sistema di monitoraggio, di simulazione e di interpretazione avanzato. In secondo luogo la pratica della cleaner production, pur rimanendo all'interno dei confini organizzativi della singola azienda, implica un approccio di tipo olistico per cui la performance viene definita anche in relazione a parametri esterni all'azienda. In particolare l'eco-innovazione può ritenersi efficace solo se è possibile dimostrarne i benefici ambientali durante tutto il ciclo di vita e condividerne i risultati. Tale framework è indispensabile ad esempio nella selezione della Best Available Technology (BAT) da applicare in uno specifico ambito industriale. Infine si assistito a uno negli ultimi anni a uno spostamento dell'applicazione delle soluzioni eco-efficienti dalle industrie di processo (siderurgia, chimica, cemento, carta ecc) ad ambiti

manifatturieri diversi come quello dei beni di consumo. Tali settori pur avendo un impatto diretto più contenuto possono implicare un impatto indiretto (implicazioni su altri settori) significativo. La complessità di questi settori pone barriere specifiche, alcune di queste sono la variabilità dei cicli produttivi, la crescita della complessità dei prodotti tradizionali (materiali nuovi, integrazione di componenti elettronici ecc.), la esternalizzazione crescente delle attività di impresa, la globalizzazione della filiera produttiva e la segmentazione crescente della richiesta di prodotti (individualizzazione dei beni e servizi). La semplice applicazione di criteri di ottimizzazione locale non accompagnata da strategie di insieme può essere dunque inefficiente se commisurata alla mancanza di informazioni che riguarda il ciclo di vita dei prodotti e la gestione dei cicli di produzione molto diversificati.

Dal punto di vista dei processi produttivi legati all'area powertrain possiamo identificare alcuni processi particolarmente "energivori" che necessitano di una serie di miglioramenti dal punto di vista della gestione delle risorse, e tra questi, in particolare le lavorazioni meccaniche necessarie per la realizzazione dei singoli componenti a partire dal momento in cui escono dalla fonderia.

Per quanto riguarda l'area legata alla carrozzeria, i principali processi energivori sono legati alla trasformazione delle lamiere di carrozzeria a partire dai coil, dal processo di assemblaggio ma soprattutto dai processi di verniciatura. In particolare quest'ultimo, da solo, rappresenta attualmente il processo che consuma circa il 70% dell'energia totale impiegata per la realizzazione di un autoveicolo, con il 45% dell'energia elettrica complessiva, ed il 92% del riscaldamento. Inoltre la verniciatura di una carrozzeria produce circa 235 kg di CO_2, con un impego di 1,5 m^3 di acqua.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

A livello europeo il settore manifatturiero ha la più alta quota di imprese che applicano nuovi processi produttivi orientati a razionalizzare l'uso di materiali. Per circa il 60% delle piccole e medie imprese europee del settore manifatturiero il costo dei materiali rappresenta infatti almeno il 30% dei costi totali e per circa il 27% delle aziende il costo dei materiali supera il 50% del totale. Le strategie più frequentemente attuate dalle aziende manifatturiere per ridurre il costo dei materiali riguardano l'acquisto e/o lo sviluppo di tecnologie più efficienti seguite dall'introduzione di metodi più efficaci di riciclo, dal miglioramento della gestione dei flussi di materiali e dalla sostituzione dei materiali. Miglioramenti tradizionali possono variare tra il 5% e il 19%. Il miglioramento della produttività materiale, oltre a rappresentare un'opportunità per le aziende per ridurre i costi con conseguente miglioramento della competitività, si traduce anche in una minore pressione ambientale (ridurre l'utilizzo delle risorse significa anche ridurre gli impatti ambientali negativi associati all'uso di tali risorse). Dal punto di vista energetico le principali innovazioni hanno riguardato prevalentemente le industrie di processo (ad esempio forni elettrici di ultima generazione per l'industria dell'acciaio). Analogamente dal punto di vista della gestione e recupero dei materiali ausiliari e degli scarti molte innovazioni sono state compiute nei settori dell'industria di processo (ad esempio con sistemi di recupero enzimatico per l'industria cartiaria, l'utilizzo di solventi di carattere vegetale nei procedimenti di concia, la minimizzazione dei rifiuti nei processi chimici, nell'industria chimica ecc.). Infine la sostituzione dei materiali di processo primari vede i più importanti progressi ancora nell'industria chimica (utilizzo di materie prime rinnovabili per la pro-

duzione di prodotti chimici e materiali). In ambito strettamente manifatturiero si sono sviluppati sistemi di controllo, simulazione e ottimizzazione dei consumi di impresa e di controllo in remoto. Come accennato in precedenza tali tool sono prevalentemente rivolti alla simulazione e al controllo dei consumi energetici. Mentre vi è una diffusa presenza di soluzioni di ottimizzazione dei consumi di processo, legata anche a sistemi ICT di controllo, manca ancora un collegamento sistematico con gli strumenti di monitoraggio e simulazione ambientale, in particolar modo mancano approcci più ampi per attestare la performance dinamica a livello di intera linea o fabbrica. Tale tipo di evoluzione rappresenta la frontiera di sviluppo per gli strumenti di questo tipo (IEA 2007). L'integrazione tra i sistemi ERP e la stima dei consumi risulta limitata a poche analisi statiche o dedicata a macchine specifiche. In particolare mancano strumenti che possano collegare in tempo reale il monitoraggio di processo con variabili ambientali esterne (materiali di processo utilizzati, scarti prodotti ecc.) e standard settoriali per l'individuazione di valori di riferimento.

Per quanto concerne il processo di produzione di componenti powertrain, le lavorazioni meccaniche richiedono notevoli quantità di energia per la rimozione del materiale per arrivare alla configurazione finale del prodotto, oltreché l'impiego notevole di materie prime quali i lubrificanti impiegati durante le lavorazioni meccaniche per portar via il calore in eccesso ed il truciolo di lavorazione.

Ad oggi esistono una serie di tecnologie innovative che consentono una riduzione del consumo di lubrificanti: i processi MQL (minimum quantity lubricant) e processi Total Dry (che a dispetto della parola necessitano, comunque, di un quantitativo, seppur minimo, di lubrificante).

Questi processi, tuttavia, non sono adatti per tutte le lavorazioni: ad esempio l'alluminio, producendo un truciolo "pastoso" non è adatto alla lavorazione con questi processi.

Queste tecnologie sono già state impiegate all'estero e poco alla volta si stanno diffondendo in Italia. L'evoluzione di queste tecnologie, resa possibile anche dall'adozione di nuovi tipi di utensili con caratteristiche (sia per materiali impiegati, sia per concetti di lavorazione) tali da poter impiegare lavorazioni "a secco" o con un impiego trascurabile di risorse rispetto all'attuale. La riduzione dei consumi energetici e delle materie prime nelle applicazioni industriali è possibile anche mediante un approccio olistico che consideri tutti i campi di azione, pianificazione e controllo. Esistono sistemi di gestione che consentono un controllo ottimale in ciclo chiuso dei processi. L'evoluzione di queste soluzioni mediante sistemi di controllo adattativo (basati sulla messa a punto del sistema in configurazione ottimale, fotografando il processo in tali condizioni) permettono di correggere i parametri di processo per riportare la lavorazione nelle condizioni ottimali, insieme all'impiego di soluzioni tecnologiche a minimo impatto ambientale.

Dal punto di vista delle architetture, il concetto "tradizionale" di centro di lavorazione specializzato, ad assi, potrebbe essere sostituito in un prossimo futuro da delle isole di lavorazione multifunzionali, con la possibilità di avere sistemi con cambio utensile che possano eseguire operazioni diverse in un'unica isola di lavoro. Le tecnologie abilitanti per questa trasformazione consistono nello sviluppo di architetture a cinematiche parallele con isole di lavoro appositamente allestite con sistemi di cambio utensile e programmabili all'occorrenza mediante CAM funzionali senza dover modificarne più le architetture. A partire dai primi sistemi Tricept, le nuove soluzioni attualmente in sviluppo sono basate su sistemi robotizzati ad architetture parallele che ne superano i

limiti (in termini principalmente di precisione di posizionamento e di forza di resistenza applicabile sugli snodi).
Un'isola funzionale dotata di queste nuove soluzioni architetturali insieme alle tecnologie atte alla minimizzazione dell'uso delle materie prime (sistemi MQL, Total Dry e nuovi materiali per gli utensili) abbinate a gestioni di tipo close loop con controllo adattativo garantiranno il massimo raggiungimento dell'efficienza di questi processi.
Per quanto concerne il processo di produzione di componenti carrozzeria, invece, possiamo considerare l'adozione di processi di verniciatura più efficienti, con una riduzione complessiva degli step necessari. L'impiego di sistemi di ultra/filtrazione innovativi garantisce la possibilità di massimizzare il riutilizzo di acqua in modo da minimizzarne il consumo, insieme a sistemi più efficienti per il trasferimento della verniciatura sulla scocca con cabine di tipo a secco o innovativi sistemi di ricircolo condizionato per l'abbattimento del particolato.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 11

NUOVI MACCHINARI, PROCESSI E MATERIALI PER LA MANIFATTURA DI PRODOTTI AVANZATI TRAMITE TECNICHE ADDITIVE

DESCRIZIONE

Le tecnologie additive riscuotono un crescente interesse nel mondo manifatturiero, affermandosi come uno dei temi più "sulla cresta dell'onda" sia a livello di opinione pubblica che per gli addetti ai lavori.

Bisogna innanzitutto definire cosa si intende per "tecnologie additive". A fronte di una certa confusione iniziale, è stata recentemente pubblicata una norma di validità mondiale, elaborata congiuntamente dagli enti normatori di vari Paesi. Secondo questo documento (denominato ISO/ASTM52921–1 "Standard Terminology for Additive Manufacturing-Coordinate Systems and Test Methodologies"), le tecnologie additive vanno intese come *"quei processi che aggregano materiali al fine di creare oggetti partendo dai loro modelli matematici tridimensionali, solitamente per sovrapposizione di layer e procedendo in maniera opposta a quanto avviene nei processi sottrattivi (o ad asportazione di truciolo)"*. Come sinonimo di questo termine è spesso utilizzato quello di stampa 3D, molto popolare sui media e nel mondo dei maker e della personal manufacture condotta con macchine low-cost. Il comitato ASTM F42 identifica come "stampa 3D" quei processi additivi che realizzano prodotti tramite la deposizione di materiale mediante una testa di stampa, ugelli o altre tecnologie di stampa. Nel passato molte di queste applicazioni erano contraddistinte dalla definizione di "prototipazione rapida", ormai obsoleta dato che con le tecnologie additive vengono sempre più spesso realizzate parti funzionali e non solo pezzi prototipali/dimostrativi.

Queste definizioni vanno a delineare un quadro in cui le stesse tecnologie additive occupano un ruolo complementare a quello delle tradizionali macchine utensili per asportazione e deformazione o, più in generale, di una serie di beni strumentali correlati ai materiali/applicazioni elaborati.

In particolare, le tecnologie additive sono utilizzate per produrre modelli fisici, prototipi, componenti, attrezzature e prodotti di vario genere, realizzati in polimeri, metalli, ceramiche e materiali compositi, ma il ventaglio si sta rapidamente allargando a tessuti biologici e composti alimentari quali la pasta o il cioccolato. Questo avviene utilizzando, in linea di massima, sette famiglie di processi:

- **estrusione** – il materiale (solitamente polimero), portato allo stato pastoso, è distribuito selettivamente mediante un orifizio; questo processo è tipicamente usato nelle macchine low-cost per la stampa 3D;
- **jetting** – "goccioline" di materiale vengono spruzzate selettivamente per creare i layer di polimeri, cera o metalli;
- **binder jetting** – un agente legante allo stato liquido viene spruzzato su uno strato di polvere (polimerica, ceramica, terre da fonderia, eccetera);
- **sheet lamination** – il manufatto si crea mediante l'unione di fogli sagomati (solitamente di

carta, ma anche metallici);

- **fotopolimerizzazione** – si basa sulla solidificazione selettiva di un polimero liquido mediante radiazioni elettromagnetiche (fornite da un laser o similare); in questa categoria rientra il noto processo di stereolitografia;
- **power bed fusion** – un flusso di energia opportunamente concentrato, fornito solitamente da laser o fasci di elettroni, va a fondere localmente uno strato di polvere (metallica o polimerica);
- **direct energy deposition** – un flusso di energia, fornito da un laser, fonde il materiale (tipicamente sotto forma di polvere metallica, convogliata nella zona di lavoro da un apposito erogatore) nel momento in cui esso viene depositato per costituire il pezzo.

Oltre alle tecnologie appena menzionate, direttamente impiegate nella produzione dei pezzi, vi sono altri aspetti fondamentali connessi con la manifattura additiva:

- **Tecniche di progettazione**: il processo di fabbricazione mediante processi additivi trae origine da un modello matematico 3D, teoricamente generabile da un qualsiasi CAD tridimensionale. Tuttavia:
  1 la possibilità di generare parti con geometrie virtualmente slegate dai vincoli di "design for manufacturing" consente di generare feature geometriche "atipiche" per i software tradizionali come, ad esempio, strutture trabecolari, foam-like, a nido d'ape, eccetera, che né la progettazione tradizionale né la maggior parte degli strumenti di modellazione sono in grado di gestire efficientemente. Tuttavia, iniziano ad essere disponibili strumenti software che, da un lato, permettono di gestire queste problematiche e, dall'altro, di governare le fasi di progettazione integrando la definizione delle geometrie con la simulazione;
  2 si manifesta la necessità di definire linguaggi di descrizione dei modelli che vadano oltre il formato STL (STereo Lithography interface format oppure Standard Triangulation Language) ereditato dalla prototipazione rapida, ma poco adatto a descrivere gli attuali modelli ad elevata complessità e poco integrato con i CAD moderni;
  3 vanno rivisti i tradizionali approcci progettuali, al fine di sfruttare i gradi di libertà offerti dalla nuova tecnologia.

- **Post-processing**: le parti metalliche realizzate mediante tecnologie hanno livelli di finitura e tolleranze geometriche e dimensionali comparabili con quelli ottenibili mediante le tecniche di fonderia tradizionale. Questo richiede una rilavorazione alle macchine utensili che deve essere svolta considerando, da un lato, le caratteristiche dei materiali lavorati (spesso di difficile truciolabilità) e, dall'altro, le geometrie non convenzionali permesse dalle tecnologie additive. Inoltre, in alcune applicazioni è necessario svolgere post-trattamenti per migliorare le caratteristiche metallografiche e meccaniche del manufatto.
- **Caratterizzazione dei processi**: necessaria sia per attività "in-process" che garantiscano una costanza qualitativa dei manufatti generati (specie quando questi andranno a svolgere compiti "mission critical" come nel racing, nell'aerospaziale o nel biomedicale) sia per caratterizzare i materiali entranti ed uscenti dal processo.

- **Generazione delle materie prime**: il costo, la disponibilità e le qualità possono influenzare le performance tecnologiche ed economiche dei processi.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Il settore delle tecnologie additive è un settore in rapidissima evoluzione: diventa quindi estremamente difficile definire uno stato dell'arte consolidato, contrariamente a quanto può essere fatto negli altri settori del manifatturiero.
L'unico aspetto in cui si può rilevare una certa "stabilità" è quello dei processi "base" impiegati dal settore delle tecnologie additive (i sette visti in precedenza).
Al contrario, si possono rilevare variazioni pressoché quotidiane per quanto riguarda:

- **applicazioni**, sia a livello di settore industriale di sbocco che di applicazione a prodotti esistenti (per svolgerne, ad esempio la mass customization) o creati ex-novo sfruttando le possibilità di design "illimitato" derivanti dalle tecnologie in oggetto;
- **materiali lavorati**, sia a livello di natura chimico fisica (nuovi materiali da elaborare) sia a livello morfologico (combinazione, nello stesso manufatto, di materiali diversi per densità, colore, ecc.);
- **modelli di business** che passano:
  1 per la produzione di macchinari tramite crowd funding, utilizzato da un range di aziende che va dalle start up, che intendono lanciare nuovi prodotti, fino a multinazionali con fatturati di milioni di euro/anno;
  2 per gli aspetti di utilizzo che vanno dall'uso privato/hobbistico (nel cosiddetto ambito dei maker o "artigiani digitali" che utilizzano normalmente software open-source e macchine low cost) a centri di servizio o aziende di produzione che integrano le tecnologie additive nella loro catena di generazione del valore, al fine di migliorarne le performance;
  3 per le applicazioni anche qui estremamente varie e che spaziano dalla costruzione di oggetti per uso privato/ludico ad applicazioni ad altissima sofisticazione, come quelle necessarie per le applicazioni spaziali o racing dove diviene fondamentale la combinazione tra leggerezza e prestazione meccanica, a sua volta fortemente favorita dai minori vincoli progettuali in termini geometrici offerti.

Focalizzandosi sul panorama italiano, esso poco si discosta dalla media degli altri paesi industrializzati, data la relativa novità di queste tecnologie. Possiamo tuttavia individuare alcuni aspetti peculiari:

- a livello di **produzione di macchinari**, dove a fronte di una buona vivacità nelle fasce di mercato "low-end" (tipicamente legata alla stampa 3D) e "mid-end" (macchine di maggior sofisticazione operanti con polimeri) si riscontra una minore presenza nel settore del metallo (focalizzato in prevalenza verso le applicazioni del dentario e della gioielleria) rispetto a paesi come Germania e USA, in cui sono localizzati la maggioranza dei player principali del settore macchine per metalli;
- nell'ambito dei **centri di servizio**, ben presenti nelle principali aree manifatturiere e in grado di svolgere attività di progettazione e realizzazione sia di prototipi che di manufatti;

- a livello **commerciale**, dove filiali di produttori esteri e aziende commerciali forniscono una vastissima gamma di prodotti e soluzioni per l'impiego industriale delle tecnologie additive;
- per quanto riguarda la **produzione**, i settori preminenti nell'ambito manifatturiero risultano essere quello della protesica (dove le tecnologie additive sono impiegate da aziende di primaria importanza su scala mondiale), il racing e l'aerospaziale.

Va infine notato che una massiccia adozione delle tecnologie additive andrebbe ben a sposarsi con le caratteristiche di flessibilità e customizzazione che caratterizzano le aziende manifatturiere (spesso PMI) italiane, a patto che si vada a creare l'opportuno tessuto culturale e di conoscenza.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le capacità "near net shape" delle tecnologie additive non sono che la punta dell'iceberg dei motivi che le stanno rendendo sempre più interessanti per il manifatturiero meccanico.
In realtà, vi sono anche altri motivi riconducibili a tematiche di natura gestionale: la richiesta di prodotti "green", la mass customization e la "servitizzazione" (ossia la trasformazione del prodotto in servizio) sono tra i driver che richiedono di pensare, progettare e costruire in maniera diversa i prodotti. Questi, in particolare, devono diventare

- **più leggeri**, per ottenere maggior efficienza energetica, richiedendo, per contro, l'impiego di materiali più sofisticati di quelli utilizzati precedentemente (p.e. acciai speciali, titanio, compositi, ceramiche, materiali ibridi);
- **smart**, integrando nuove funzioni grazie alle tecnologie informatiche che consentono di acquisire dati che ne migliorano le performance (in particolare ergonomiche ed energetiche) e l'integrazione, specie nell'ottica della servitizzazione.

Per ottenere questi obiettivi, il manifatturiero meccanico deve allontanarsi da alcuni suoi paradigmi tradizionali, per dar vita a quello che viene definito "advanced manufacturing". Questo concetto, in particolare, vede la "fusione" delle tecnologie di lavorazione (e delle relative macchine) con le tecnologie informatiche usate per effettuare, in maniera integrata, la progettazione, la simulazione dei prodotti, dei processi e dei sistemi di produzione, nonché la conduzione, la gestione e il controllo di questi ultimi. Ciò al fine di adattare il più rapidamente e flessibilmente possibile il sistema manifatturiero a nuove esigenze produttive, a loro volta legate a nuove e, normalmente, più sofisticate richieste del mercato.
Se, da un lato, i produttori sono stati capaci di inserire nelle macchine utensili moderne le funzioni e le tecnologie necessarie per soddisfare numerosissime esigenze dell'advanced manufacturing, dall'altro sono emerse nuove necessità produttive che vanno affrontate con tecnologie nuove.
Tra queste nuove necessità emerge quella di slegarsi dalle classiche regole del "design for manufacturing", a loro volta collegate a doppio filo ai classici processi delle tecnologie meccaniche. Inoltre, le necessità di accorciare la catena produttiva per realizzare prototipi funzionali o, meglio, prodotti personalizzati in piccole o piccolissime serie (e/o di lavorare materiali inconsueti), contribuiscono alla domanda di nuovi processi produttivi. Con le tecnologie additive è anche possibile apportare sensibili cambiamenti alla sequenza produttiva del prodotto, in termini di:

- riduzione di attrezzature ed eliminazioni di parte del ciclo produttivo, con impatto su flessibilità di processo e time to market;
- riduzione o eliminazione di fasi di assemblaggio, dando per esempio origine a parti complesse senza necessità di saldature o incollaggi, oppure a veri e propri cinematismi;
- possibilità di creare feature geometriche molto complesse e di difficile/impossibile creazione con altre tecnologie;
- possibilità di processare materiali di difficile lavorabilità (leghe per alta temperatura, compositi metalloceramici) o di natura "inconsueta" per il manifatturiero (materiali biologici "viventi" come cellule e tessuti);
- riduzione di scarti e sfridi di lavorazione;
- miglioramento di altri processi industriali, permettendo la realizzazione di attrezzature più efficienti (p.e. stampi conformant cooling).

Per ottenere questi risultati, però, è necessario agire su alcune leve di sviluppo a livello di:

- **macchine/processi**
  1. dimensioni delle macchine, al fine di poter produrre parti di maggior dimensione. Attualmente le massime dimensioni lavorabili raramente superano il metro e, mediamente, si aggirano sui 200-300 mm, in funzione di macchina e processo;
  2. flessibilità a livello di materiali lavorati, sia per quanto riguarda le tipologie sia per i tempi di set-up macchine, al fine di realizzare prodotti di materiali diversi con meno tempi morti e/o realizzare elementi multi-materiale;
  3. controllo di processo, specie per la produzione di parti non prototipali da impiegare in applicazioni ad alte prestazioni (aerospace, racing, biomedicale) e per garantire la qualità e la costanza delle lavorazioni;
  4. integrazione con altri processi produttivi a livello di macchina (p.e. macchine ibride) e di sistema (p.e. catene produttive che integrano i processi additivi a livello di produzione "mass-customizzata").
- **materiali**
  1. aumentandone la disponibilità per diminuirne i costi e favorire la competitività delle nuove soluzioni basate sulle tecnologie additive. Va inoltre considerata l'opportunità competitiva per il nostro Paese, legata all'aumento dei produttori di materie prime, attualmente molto rari sul suolo nazionale;
  2. relativamente alle metodologie di produzione, specie per le polveri metalliche, con processi più efficienti (a livello di produttività e resa energetica) rispetto agli attuali e in grado di garantire qualità e prestazioni;
  3. per le tipologie di materiali lavorabili, estendendo la gamma sia di quelli già manipolabili con le tecnologie additive (metalli, polimeri, compositi, ceramiche) sia di quelli "in prospettiva" (generi commestibili, elementi biologici)
- **prodotto**
  1. ripensando prodotti già esistenti sul mercato in funzione della realizzabilità con processi additivi, al fine di alleggerirli, aumentarne le prestazioni, renderli più sostenibili, realizzarli

con materiali o geometrie nuove e ottimizzate, sia per performance che per design (aspetto molto utile per quanto riguarda il legame con il "made in Italy e le sue implicazioni industriali);

2. realizzando nuove generazioni di prodotto che si basano sulle caratteristiche di "free forming" e di "near net shape" (nonché sulla possibilità di lavorare materiali difficili o inconsueti);
3. realizzando prodotti ibridi che integrano parti "in additivo" con altre costruite con tecnologie differenti/materiali diversi; questo al fine di economizzarne o velocizzarne la produzione o per portare all'integrazione di funzioni nel prodotto (p.e. sensoristica o altre funzioni di natura ICT, energy harvesting, caratteristiche estetiche personalizzate);

- **gestionale**

1. sfruttando le potenzialità a livello di mass customization e di personalizzazione;
2. per creare nuovi modelli di business per le PMI italiane, grazie alla servitizzazione (passando, per esempio, da subfornitori a centri di servizio che integrano produzione, progettazione e design);
3. dando vita a nuove tipologie di microaziende diffuse sul territorio, grazie ad una evoluzione in ottica economica del concetto di maker e personal manufacturing;
4. creando autoimpiego con lo sfruttamento per esempio, dell'integrazione in rete permessa dalla possibilità di "disgiungere" geograficamente la fase progettuale dalla produzione fisica (inviando i file descriventi il progetto finito via internet e ricevendo il prodotto finito);
5. creando nuovi modelli di sicurezza informatica e tutela della proprietà intellettuale che preservino dalle contraffazioni.

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore 9 – Beni Strumentali per l'Industria e i Servizi

POLITECNICO DI MILANO	Francesco Jovane (coordinatore)
CENTRO RICERCHE FIAT	Daniele Bassan
ITIA CNR	Giacomo Copani
IMAMOTER CNR	Roberto Paoluzzi
SMILAB	Fabio Chiesa
SYNESIS, KM ROSSO	Emanuele Carpanzano

Con la collaborazione di:

COMMISSIONE EUROPEA	Andrea Gentili
AITA (Associazione Italiana Tecnologie Additive)	Enrico Annacondia
CENTRO STUDI ASSOBIOMEDICA	Giulia Bizzotto
FEDERUNACOMA	Davide Gnesini
UCIMU-SISTEMI PER PRODURRE	Stefania Pigozzi
Centro Studi & Cultura di Impresa	
UFFICIO STUDI ANIMA	Marcello Chiriacò
	Paolo Galloso
CSR	Giuseppe Lucisano
EICAS	Gabriella Caporaletti
MCM	Giuseppe Fogliazza
PRIMA INDUSTRIE	Maurizio Gattiglio
TTS	Paolo Pedrazzoli
	Roberto Castellani
	Andrea Valdata

SETTORE 10

>AMBIENTE<

PROFILO DI SETTORE

Per loro natura, le tematiche ambientali sono trasversali rispetto a tutti i settori industriali. L'esercizio di ogni attività produttiva ha infatti ripercussioni dirette sul contesto ambientale in cui questa è inserita, ed effetti indiretti sull'ambiente a livello globale, indipendentemente dal settore industriale in cui opera. Schematicamente si distinguono gli impatti sull'ambiente dovuti all'utilizzo di materie prime, acqua, energia, prodotti chimici (flussi in ingresso al processo produttivo) e quelli provocati dalle varie tipologie di emissioni (flussi in uscita: principalmente emissioni in atmosfera, scarichi di acque di processo, produzione di rifiuti, rilasci accidentali sul suolo; in secondo luogo emissioni energetiche quali inquinamento acustico, luminoso e radioattivo).

Le direttrici fondamentali per la riduzione della pressione delle attività industriali sull'ambiente sono oggi riconducibili alle seguenti macro-tematiche:

I Riduzione del consumo di materie prime, acqua, energia e sostanze nocive per l'uomo e/o l'ambiente;
II Riduzione della produzione di rifiuti/valorizzazione dei rifiuti;
III Riduzione delle emissioni in atmosfera;
IV Bonifica dei siti contaminate.

Tali linee d'indirizzo sono diffusamente condivise nei principi, se non nelle modalità applicative, dalle convenzioni internazionali, dalle Direttive della Commissione Europea e dalla legislazione nazionale italiana.

Excursus normativo

In Italia il quadro normativo di riferimento in materia ambientale è costituito dal D.Lgs. n° 152 del 3 Aprile 2006 "Norme in materia ambientale" e dalle

successive modifiche ed integrazioni, noto come "testo unico ambientale" (TU). Il TU ha riordinato la normativa ambientale relativa all'inquinamento atmosferico, alla gestione dei rifiuti e alla bonifica dei siti contaminati, alla tutela delle acque, ai danni ambientali, alla valutazione di impatto ambientale, alla valutazione di impatto strategica, con l'intenzione di dare unitarietà alla frammentata normativa di settore prodotta nel corso degli anni.

La **Parte II del TU** disciplina le procedure VAS (Valutazione Ambientale Strategica), VIA (Valutazione d'Impatto Ambientale) e IPPC (Integrated Pollution Prevention Control).

La direttiva europea nota come "IPPC", (direttiva 96/61/CE, successivamente abrogata dalla direttiva 2008/1/CE, cui si è aggiunta la direttiva 2010/75/UE sulle emissioni industriali) subordina le attività degli impianti industriali ad alto potenziale di inquinamento ad una particolare autorizzazione pubblica (denominata Autorizzazione Integrata Ambientale, AIA), che racchiude in un unico atto amministrativo il permesso di rilasciare inquinanti in aria, acqua, suolo e che viene rilasciata solo previo rispetto di precise condizioni ambientali. Tali direttive sono state emanate con la finalità di prevenire e ridurre l'inquinamento industriale con l'utilizzo delle migliori tecniche disponibili (Best Available Techniques, BAT) dal punto di vista ambientale. Per l'individuazione delle BAT sono state emesse linee guida a livello nazionale che costituiscono uno strumento tecnico di riferimento imprescindibile, sia ai fini dell'autocontrollo o del controllo commissionato a terzi, sia ai fini della gestione dei controlli da parte delle autorità competenti. La prima di queste linee guida è il Decreto Ministeriale del 31/01/2005, la seconda è il Decreto Ministeriale del 29/01/2007.

Il tema della tutela delle acque dall'inquinamento è trattato dalla **Parte III del TU**, con le modifiche introdotte dal D.Lgs. 4/2008 e dal D.L. 59/2008.

La normativa europea di riferimento, la direttiva 60/2000/CE, nota come "direttiva quadro sulle acque" mira a ridurre gradualmente l'emissione di sostanze pericolose nelle acque, allo scopo di ottenere elevati livelli di qualità, prossimi a quelli naturali.

Il TU dispone che siano individuati obiettivi di "qualità ambientale" e obiettivi di "qualità per specifica destinazione dei corpi idrici". L'obiettivo di qualità ambientale è definito in funzione della capacità dei corpi idrici di mantenere i naturali processi di autodepurazione e di ospitare comunità animali e vegetali ampie e diversificate. Tutto ciò impone ai gestori degli impianti produttivi il monitoraggio e controllo dei processi che prevedono scarichi nei corpi idrici e in mare.

La **Parte IV del TU** disciplina la **gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati.**

In materia di **rifiuti**, il TU ha sostituito lo storico D.Lgs. 22/1997 ("decreto Ronchi"). La normativa identifica come finalità principale della gestione dei ri-

fiuti la necessità di assicurare un elevato grado di protezione ambientale, favorendo la riduzione della produzione e della pericolosità dei rifiuti e incentivando il riciclo e il recupero, per ottenere prodotti, materie prime e combustibili. Il recupero è prioritario rispetto allo smaltimento, che costituisce solo la fase residuale della gestione dei rifiuti.

Lo smaltimento dei rifiuti è effettuato previa verifica, da parte delle autorità competenti, dell'impossibilità tecnica ed economica di effettuarne il recupero. Esso deve essere effettuato in condizioni di sicurezza, in impianti appropriati, vicini ai luoghi di produzione o raccolta. Per i rifiuti urbani non pericolosi è vietato lo smaltimento al di fuori della regione in cui sono stati prodotti. Tale divieto non si applica alle frazioni provenienti dalla raccolta differenziata.

A disciplinare specifiche categorie di rifiuti, quali i rifiuti elettrici ed elettronici (RAEE), o particolari fasi di gestione, quali i conferimenti in discarica, concorrono appositi provvedimenti normativi (per gli esempi citati, il D.Lgs. 49/2014 per i RAEE ed il D.Lgs. 36/2003 sugli impianti di destinazione finale).

La materia dei **siti inquinati** è disciplinata dal Titolo V alla Parte IV del TU, di cui si dirà diffusamente nel seguito.

La **Parte V del TU** rappresenta l'attuale disciplina nazionale di riferimento in materia di **inquinamento atmosferico** ed è suddivisa in tre titoli:

a) prevenzione e limitazione delle emissioni in atmosfera;
b) impianti termici civili;
c) combustibili.

Si segnala inoltre il D.Lgs. n. 155 del 13 agosto 2010, provvedimento nazionale di recepimento della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.

La Parte VI del TU disciplina la materia del **danno ambientale,** prevedendo precise responsabilità ed una ripartizione di competenze in materia di prevenzione, ripristino ambientale ed azioni per il risarcimento in capo al Ministero dell'Ambiente, agli Enti locali, a persone fisiche e giuridiche.

Si aggiunge alla precedente disamina normativa una nota in tema di **cambiamenti climatici,** non trattati direttamente dal TU. Il Protocollo di Kyoto, siglato nel 1997 ma entrato in vigore solo nel febbraio del 2005, prevede che gli Stati firmatari riducano le proprie emissioni di gas serra, secondo determinate tempistiche e modalità, rispetto ai valori del 1990. In relazione alle emissioni del settore industriale l'Unione Europea ha reso esecutivo lo strumento dell'Emission Trading mediante l'emissione della direttiva 2003/87/CE, con l'obiettivo di far ridurre le emissioni di CO2 alle imprese maggiormente responsabili delle stesse (produzione elettrica, di metalli, minerarie, cartarie); la direttiva è stata recepita in Italia attraverso il D.Lgs. 216/2006, oggi sostituito dal D.Lgs.30/2013.

MERCATO

Federambiente (Federazione Italiana Servizi Pubblici Igiene Ambientale) è l'associazione che riunisce imprese, aziende e consorzi che gestiscono servizi pubblici d'igiene e risanamento ambientale o che applicano il contratto collettivo nazionale di lavoro del settore "igiene ambientale". I dati tecnico economici dell'associazione sono elencati di seguito:

- Associati: 199 tra società di capitali, consorzi, aziende speciali, enti locali ed altri soggetti operanti nel settore ambientale;
- Comuni serviti: 3.900 circa;
- Abitanti serviti: 37 milioni circa;
- Dipendenti complessivi del comparto: 44.000 circa;
- Fatturato del sistema: 5,7 miliardi di euro/anno circa;
- Quantità di rifiuti urbani e speciali gestiti: 22,5 milioni di tonnellate/anno circa.

Questi dati per quanto esaustivi si riferiscono esclusivamente alle imprese che gestiscono servizi pubblici.

Il Prontuario delle Bonifiche, pubblicazione monografica allegata alla rivista Ambiente&Sicurezza, riporta i dati anagrafici delle imprese iscritte all'Albo Nazionale Gestori Ambientali (ANGA) alla categoria 9 "bonifica di siti".

Le aziende iscritte all'Albo alla data del 17 giugno 2014 (data in cui è stata effettuata la rilevazione presso il sito web dell'ANGA) sono in totale 1.179.

L'estrapolazione del fatturato delle imprese campione al totale delle imprese iscritte porta a stimare il mercato totale in circa 1,8 mld di euro.

Il numero di addetti delle imprese campione nel 2014 risulta essere di 77.961 unità.

Questi dati per quanto esaustivi si riferiscono esclusivamente alle imprese iscritte all'ANGA alla categoria 9.

Assoambiente è l'associazione che in FISE (Federazione Imprese di Servizi) aderisce a Confindustria e rappresenta a livello nazionale e comunitario le imprese private che gestiscono servizi ambientali. Le principali attività svolte dalle imprese aderenti sono: raccolta/trasporto/riciclo/smaltimento dei rifiuti, compostaggio, recupero energetico/produzione di combustibili da rifiuti, bonifiche dei siti e dei beni contenenti amianto, intermediazione, trattamento acque reflue. Assoambiente rappresenta circa 150 imprese, che occupano 20.000 lavoratori, con un fatturato globale annuo di circa 2.400 milioni di euro circa. In questo gruppo non rientrano gli operatori nel campo della riduzione/trattamento delle emissioni in atmosfera.

Il settore ambientale si presenta estremamente variegato e complesso ed è pertanto difficoltoso averne una visione sintetica. Delle quattro tematiche am-

bientali prioritarie identificate, solo le bonifiche dei siti contaminati generano un mercato indipendente e trasversale rispetto ai diversi settori industriali. Le altre tematiche ambientali (riduzione dei flussi in ingresso, riduzione delle emissioni, riduzione/valorizzazione dei rifiuti) sono affrontate da parte di tutti gli ambiti produttivi, con focus e modalità diverse a seconda delle tipologie di processi industriali caratterizzanti lo specifico settore.

Pertanto nel seguito sarà descritto col metodo tipico degli studi di settore prevalentemente il mercato italiano delle bonifiche dei siti contaminati.

PROFILO DEL SETTORE BONIFICHE (TEMATICA AMBIENTALE IV)

Il **mercato delle bonifiche** è generato dall'insieme di norme che obbligano i responsabili dell'inquinamento alla mitigazione degli effetti entro limiti stabiliti dalla legge; gli elementi rappresentativi della "domanda " e della "offerta " sono individuati dall'insieme dei siti da bonificare (domanda) e dagli operatori del settore (offerta).

Il procedimento di individuazione e bonifica dei siti contaminati in Italia è regolamentato dal Titolo V della Parte quarta del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., in primis ai fini della presente trattazione dal decreto "Salva Italia" (D.L. 201/2011) e dal decreto "Destinazione Italia" (D.L. 145/2013). Problematiche frequentemente associate ai siti contaminati, quali discariche, amianto e dragaggi sono affrontate da discipline specifiche, che trovano spesso campo di applicazione comune nelle grandi aree.

La **domanda del mercato delle bonifiche** può essere definita dai seguenti elementi:

- Il numero e la tipologia dei siti contaminati censiti, desumibile dalle informazioni riportate nelle anagrafi regionali;
- Il valore della spesa complessiva per le bonifiche da parte dei soggetti obbligati, che può essere espressa come valore assoluto o come flusso atteso su base annuale.

L'art. 251 del D.Lgs. 152/06 individua nelle Regioni o nelle Province autonome i soggetti preposti alla redazione di Anagrafi regionali dei siti contaminati. I contenuti e la struttura dei dati essenziali dell'Anagrafe dei. siti da bonificare sono stati definiti dall'ISPRA in collaborazione con le Regioni e le ARPA; il processo di creazione delle anagrafi regionali è tuttavia molto disomogeneo in quanto:

- alcune regioni non si sono ancora dotate dello strumento;
- le modalità di censimento dei siti mostrano possibili disomogeneità di scelte nelle diverse regioni.

I Siti d'Interesse Nazionale (SIN), introdotti dal D.Lgs. 22/97 (decreto Ronchi), ripresi dal D.M. 471/99 ed infine dal decreto 152/2006, art. 252, sono aree del territorio nazionale definite tali in relazione alle caratteristiche del sito, alle quantità e pericolosità degli inquinanti presenti, all'impatto sull'ambiente circostante in termini di rischio sanitario ed ecologico e di pregiudizio per i beni culturali ed ambientali. Nell'ambito di ciascuna delle successive normative citate sono stati individuati e/o declassati alcuni SIN, per legge, decreto od ordinanza. I SIN differiscono dagli altri siti contaminati anche perché la loro procedura di bonifica è attribuita al Ministero dell'Ambiente.

I Siti di preminente interesse pubblico per la riconversione industriale (SIP) (art. 252bis TU), costituiscono un sottogruppo dei SIN e rispondono al principio comunitario dello sviluppo sostenibile, mirando a coniugare l'interesse alla tutela ambientale con quello della produzione. Per questi particolari siti, la disciplina prevede che i progetti di riqualificazione e bonifica siano coordinati ed approvati contestualmente agli interventi di "riconversione industriale".

La più recente ed organica raccolta di dati dalle anagrafi regionali effettuata da ISPRA (Annuario dei dati ambientali 2012[1]) stima la presenza sul territorio nazionale di 4837 siti contaminati e 6027 siti potenzialmente contaminati accertati, per un totale di circa 11000 siti su cui potrebbero essere necessari interventi. In particolare sono censiti 39 SIN di superficie totale di circa 293.000 ha, di cui circa 160.000 ha a terra e 133.000 ha a mare.

Per quanto riguarda lo stato delle procedure di bonifica dei SIN, a dicembre 2013 erano stati approvati dal Ministero dell'Ambiente 272 Progetti di Bonifica di suoli e/o acque di falda. Tuttavia, la superficie cumulata delle aree con Progetto di Bonifica approvato o restituite agli usi rappresenta solo una percentuale di pochi punti delle aree ricadenti nei SIN (MATTM, "SIN, Stato delle procedure per la bonifica delle aree contaminate, Marzo 2013"). I principali fattori cui è imputabile la sproporzione tra l'attività svolta e gli scarsi risultati raggiunti sono stati individuati nei punti seguenti (fonte Commissione Parlamentare di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo dei rifiuti, doc. XXII, n.14, XVI Legislatura, Relazione sulle bonifiche dei siti contaminati in Italia: i ritardi nell'attuazione degli interventi e i profili di illegalità, Dicembre 2012):

- Elevata estensione delle aree;
- Elevato livello di contaminazione;
- Elevati costi di realizzazione degli interventi di bonifica, spesso sproporzionati al valore delle aree;
- Difficoltà dei rapporti tra gli Enti e i proprietari delle aree che spesso non sono i diretti responsabili dell'inquinamento;
- Insorgere di lunghi contenziosi con l'amministrazione pubblica che spesso

1 http://annuario.isprambiente.it/versione-integrale-2012

bloccano per molti anni il processo di bonifica;
- pendenza di procedimenti penali relativi a reati ambientali che portano ad un rallentamento delle procedure.

L'impianto normativo che regolamenta la gestione dei siti contaminati e delle problematiche che sono frequentemente ad essi associate porta ad una elevata segmentazione del mercato: le principali esigenze di bonifica sono determinate dalla risposta ad incidenti, discariche, grandi aree, amianto, presenza di impianti. Nelle grandi aree, tipicamente interessate dalla coesistenza di più problemi ambientali quali la contaminazione del sottosuolo, la presenza di vecchie discariche, amianto, impianti industriali dismessi, trovano campo di applicazione diverse norme.

Gli interventi di bonifica sono svolti da una pluralità di imprese in relazione alle diverse fasi del processo produttivo coperte e alle tecnologie utilizzate. In Italia il censimento dell'offerta è dato dall'insieme delle aziende iscritte alla già citata categoria 9 dell'ANGA.

Dimensionamento economico del settore

Ad oggi, il fabbisogno economico dei siti da bonificare censiti in Italia è stimato intorno ai 14,3 mld di euro; ulteriori 3,3 mld sono attribuiti ai 39 SIN (MWH, "Studio delle Tecnologie di bonifica: mercato italiano, tecnologie e valorizzazione dei siti", Ottobre 2014).

RICERCA E SVILUPPO

Tecnologie di bonifica

Le tecnologie di bonifica del suolo e delle acque rappresentano un insieme complesso, suddivisibile a seconda della matrice ambientale trattata, a seconda che comportino o meno la movimentazione della matrice contaminata dalla sua sede naturale (tecnologie *in situ* o *ex situ*) ed alla tipologia di processo principale su cui si basa il trattamento (trattamenti chimici, fisici, biologici). Le tecnologie *ex situ* si suddividono ulteriormente in *on site* (se la matrice asportata viene trattata in un impianto installato sul sito stesso, ad esempio un impianto di trattamento delle acque di falda asservito ad una barriera idraulica) e *off site* (se la matrice asportata viene trattata in un impianto esterno al sito, ad esempio un impianto fisso di compostaggio per terreni contaminati da idrocarburi). Un possibile schema di classificazione delle tecnologie di bonifica è mostrato nella figura seguente.

La generica applicabilità delle tecnologie di bonifica è altamente sito specifica e deve essere valutata in base alle caratteristiche fisiche del sito ed ai vincoli ge-

stionali del progetto di bonifica. Le tecnologie di bonifica del suolo più utilizzate (soprattutto per il controllo della sorgente) sono quelle basate sullo scavo ed il trattamento/smaltimento *ex situ*. Queste tecnologie sono generalmente mature e diffusamente disponibili, sebbene la scarsa sostenibilità e le crescenti limitazioni poste agli smaltimenti in discarica le stiano rendendo meno convenienti in alcuni casi. Questa famiglia di tecnologie è costosa ed energivora e comporta impatti su diverse matrici ambientale (emissioni, scarichi) oltre a generare dei rischi connessi. Le tecnologie *in situ* sono meno invasive e più sostenibili, riducendo al minimo gli impatti su altre matrici ambientali e i rischi connessi alle attività. Tali tecnologie portano al raggiungimento degli obiettivi più lentamente. Sono meno costose e meno energivore.

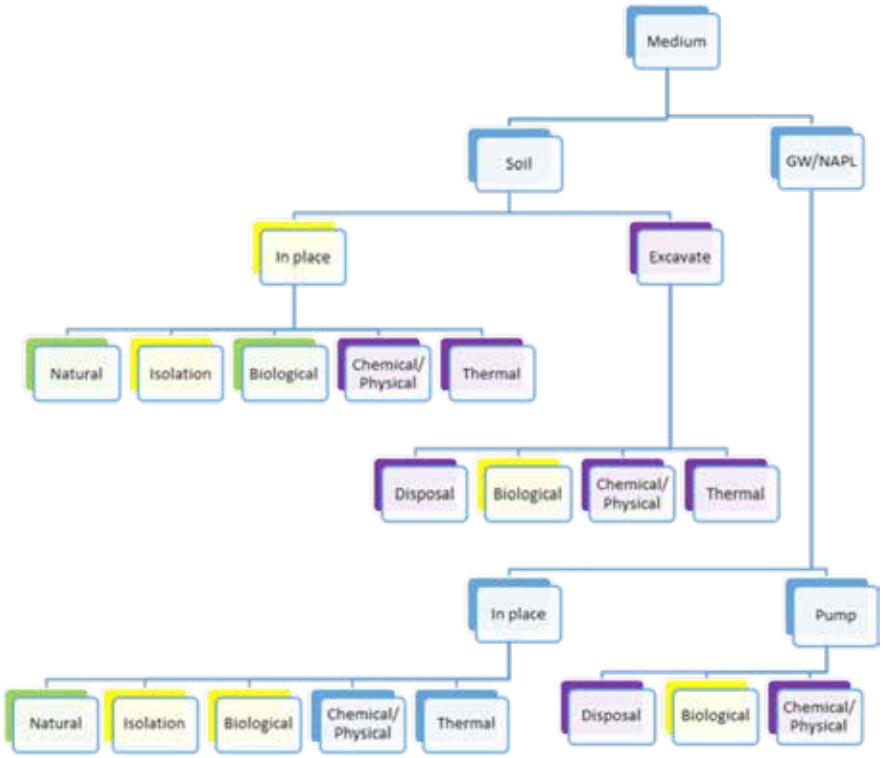


FIG. 132 – CLASSIFICAZIONE DELLE TECNOLOGIE DI BONIFICA

Tecnologie a breve e medio termine

Il più recente studio completo a livello italiano che raccolga i dati sulle tecnologie applicate negli interventi di bonifica è il rapporto di Federambiente sullo stato delle bonifiche del 2010, compilato a partire dai dati delle anagrafi realizzate dalle Regioni e dalle Province autonome.

Alla data dello studio, mancavano completamente informazioni relative al Sud Italia, ad eccezione di Abruzzo e Sicilia, mentre il Centro-Nord era coperto integralmente ad eccezione del Veneto. Le informazioni sulle tecnologie di bonifica applicate sono molto scarse (disponibili solo per il 2% dei siti censiti).

Emerge la predominanza di interventi di rimozione della sorgente (ad esempio serbatoi interrati, prodotto libero sversato, rifiuti interrati) sempre accompagnata da almeno una tecnologia di bonifica vera e propria (in primis Soil Vapour Extraction (SVE), Air Sparging, Bioventing, capping) e di trattamento acque di falda con P&T. Sono ancora poco diffuse le tecniche biologiche *in situ*.

Le Regioni Italiane in cui si conta il maggior numero di siti bonificati o in corso di bonifica sono: Lombardia, Piemonte, Marche. I dati relativi alle applicazioni delle tecnologie in queste Regioni confermano il quadro generale nazionale tracciato da Federambiente 2010 a livello nazionale:

- In Lombardia il numero totale di siti censiti nell'Anagrafe Regionale come "contaminati" è di 888, a fronte dei quali si registrano 1473 siti bonificati, cioè siti in cui si è definitamente concluso il procedimento di bonifica ed è stato emesso il certificato di avvenuta bonifica da parte della Provincia competente per territorio (dati aggiornato a Febbraio 2014)[2]. Per quanto riguarda le tecnologie di bonifica, dai dati disponibili si evince che vengono prevalentemente adottati interventi *off-site* e precisamente per la matrice suoli la rimozione e lo smaltimento dei terreni contaminati (circa 83%), per la matrice acque sotterranee il Pump and treat (circa 77%). Secondariamente assumono rilevanza statistica lo SVE e il Bioventing.
- Per il Piemonte, il Rapporto sullo Stato dell'Ambiente del 2013 della Regione censisce, al 1 Marzo 2013, 111 progetti di bonifica approvati o in corso di esecuzione e 159 siti certificati. In entrambe le tipologie di sito prevale il ricorso allo scavo e smaltimento, sebbene nel caso dei progetti in corso questa soluzione sia affiancata da un maggior numero di alternative (SVE, air sparging, biorisanamento, capping).
- Per la Regione Marche sono disponibili i dati pubblicati nel Piano Regionale delle Bonifiche del 2010 che anche in questo caso mostrano il ricorso preponderante dello scavo e smaltimento (52%) e P&T (22%) affiancate da tecnologie tradizionali applicabili ai composti volatili e biodegradabili (SVE, air sparging, bioventing).

Per le tecnologie di bonifica applicate nei SIN sono disponibili le statistiche ISPRA 2012 il cui esito è rappresentato nella figura seguente, in cui i dati sono suddivisi tra tecnologie applicate alla bonifica dei suoli e delle acque.

2 https://www.dati.lombardia.it/browse?category=Ambiente

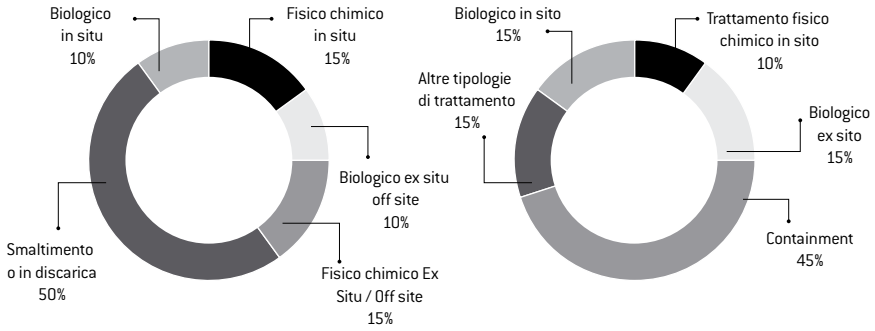


FIG. 133 – TECNLOGIE APPLICATE ALLA BONIFICA DEI SUOLI E DELLE ACQUE, ISPRA, 2012

Le tecnologie «di non-trattamento» che comportano l'asportazione della matrice contaminata o il suo confinamento totalizzano circa il 50% sia nelle applicazioni alle acque sia ai suoli.

Le tecnologie in situ si attestano intorno al 25% sia per il suolo sia per le acque.

Il restante 25% è rappresentato dai trattamenti ex situ, fisico-chimici o biologici in misura analoga. Complessivamente le tecnologie che comportano lo scavo del suolo rappresentano il 75% delle applicazioni. Per quanto riguarda le acque di falda, non è possibile stimare con questi dati la percentuale d'interventi che comportano il pompaggio in superficie, poiché alla voce «contenimento» sono inclusi i sistemi di sbarramento idraulico sia per abbassamento del livello di falda sia per confinamento fisico.

Tecnologie a lungo termine

La Commissione Europea, nell'ambito di Horizon 2020 (programma quadro per il finanziamento di progetti di ricerca e innovazione), ha identificato tra gli ambiti prioritari cui indirizzare i finanziamenti le "azioni sul clima, ambiente, efficienza nell'utilizzo delle risorse e delle materie prime", suddivise in diverse classi.

Nell'ambito del Work Programme 2014-2015 sono individuate tra le azioni prioritarie l'individuazione di tecnologie di bonifica meno costose e la definizione di strategie di bonifica più efficaci e commisurate all'utilizzo del sito.

Il bando di finanziamento fa esplicito riferimento a metodi sostenibili che evitino lo scavo e smaltimento e che tengano conto degli impatti socio-economici delle bonifiche e dei possibili riutilizzi pubblici delle aree decontaminate. In Lombardia, il programma regionale di bonifica delle aree inquinate, attualmente in fase di approvazione, sotto il profilo della maggiore compatibilità ambientale degli interventi di bonifica promuove, anche avvalendosi di specifiche

previsioni regolamentari e di indirizzo, l'utilizzo di sistemi di bonifica in situ, promuovendo la diffusione delle esperienze maturate nel settore[3].

Alla luce delle linee d'indirizzo tracciate dalla Commissione Europea, i principali mercati delle bonifiche europei ed il mercato statunitense risultano caratterizzati da una maggiore maturità e sostenibilità. Le caratteristiche del settore in Francia, Regno Unito e USA si distinguono da quelle italiane per un diverso tasso di utilizzo dei principali gruppi di tecnologie, pur con differenze, anche rilevanti, tra di essi. In generale si riscontra un minor ricorso alle tecnologie invasive (scavo e smaltimento, pump&treat) ed un maggior utilizzo di tecniche gestionali di protezione del recettore.

Risalta in particolare l'approccio gestionale innovativo delle amministrazioni statunitensi del programma "Superfund" che ha portato ad un'ampia diffusione dei controlli istituzionali (monitoraggio dell'esposizione del recettore) e della Monitored Natural Attenuation. A queste tendenze tecnologiche si associano inferiori costi di bonifica.

USA: prospettive a lungo termine

Nell'ambito della normativa statunitense (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act – CERCLA, 1980), nota come *Superfund*, il riutilizzo del sito successivo agli interventi di decontaminazione è considerato come parte del procedimento di bonifica. La *Superfund Redevelopment Initiative* (SRI), avviata nel 1999, è lo strumento attuativo della normativa volto favorire il riutilizzo dei siti.

Il risultato di gestione complessivo ha portato allo svincolo di circa il 78% dei siti che non generano rischi dal 2005 alla fine del 2009, nell'ambito di tutte le normative statunitensi dedicate alle bonifiche (Brownfields, Superfund, RCRA Corrective Actions, UST, Federal Facilities Response, Emergency Response) (elaborazioni da *OSWER Cross Program Revitalization Measures Report*, Dicembre 2010).

Tale risultato è in netto contrasto con la situazione di stallo in Italia, evidenziata dallo stesso Ministero dell'Ambiente relativamente ai procedimenti di bonifica dei SIN. Si evidenzia inoltre negli USA l'introduzione della *Superfund Green Remediation Strategy* che stabilisce un piano di riduzione delle pressioni ambientali generate dalle attività di bonifica. Tale strategia è perseguita attraverso l'introduzione di linee guida, normative ed altre iniziative. Dal 2010 si richiede di considerarla nell'ambito della selezione delle tecnologie di bonifica.

3 http://shp.arpalombardia.it/sites/arpalombardia2013/RSA/Pagine/tematismo.aspx?p1=87

RIDUZIONE FLUSSI IN/OUT E VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI

Riduzione del consumo di materie prime, acqua, energia e sostanze nocive per l'uomo e/o l'ambiente (tematica ambientale I)

La disponibilità in loco di **materie prime** costituisce un indubbio vantaggio competitivo per un sistema industriale nazionale. L'approvvigionamento dall'estero, difatti, comporta una serie di problematiche, sia operative che economiche, come, ad esempio, la vulnerabilità alle fluttuazioni dell'offerta, la dipendenza geopolitica nei confronti di alcuni partner commerciali nonché una gestione strategica delle scorte a disposizione. L'Italia, disponendo di scarse materie prime minerarie e pressoché nulle risorse energetiche, si trova, per l'appunto, in questa condizione. L'Italia, nello specifico, ha importato materie prime, nel 2011, per un valore di circa 168,8 miliardi di euro, a fronte di importazioni complessive di merci di circa 400,5 miliardi di euro. Tale performance ha segnato, rispetto all'anno precedente, una crescita in valore delle stesse di 15,5 punti percentuali (totale merci: 9,0 per cento). L'aumento delle importazioni emerso nel 2011 è stato trainato da quelle materie prime nelle quali il fabbisogno nazionale è particolarmente stringente: i prodotti energetici (16,8 per cento, pari a 65,9 miliardi di euro) e i minerali, metalli e siderurgia (19,5 per cento, pari a 36,1 miliardi di euro). Oltre quattro quinti del valore dell'import di materie prime è ascrivibile, nel 2011, a soli tre settori: energia (39,0 per cento), minerali, metalli e siderurgia (21,4 per cento) e chimica e farmaceutica (20,8 per cento)[4].

Secondo il Centro Studi Confindustria "*Materie prime, limiti alla crescita e difficoltà per le imprese italiane*", le quotazioni delle materie prime sono diventate fattore di grande e crescente incertezza nella formazione dei bilanci, nelle politiche dei prezzi e nella formulazione delle strategie per le imprese manifatturiere. Preoccupano sia l'elevatezza sia l'instabilità che caratterizzano ormai da alcuni anni le quotazioni della maggior parte degli input primari, che siano di origine agricola o mineraria, destinati all'alimentazione o ad altri usi, energetici oppure no. Il riciclo dei materiali usati in genere richiede meno energia rispetto a quella che sarebbe necessaria per la raffinazione della materia prima. Ad esempio, riciclare l'alluminio consente di risparmiare il 95% dell'energia necessaria per estrarlo dal minerale (bauxite), il che rende il recupero particolarmente conveniente. Un altro metallo ampiamente riciclato è il ferro, con il recupero del rottame che riduce il consumo di nuovo minerale. Il sistema produttivo italiano è storicamente orientato al recupero dei materiali data la scarsa disponibilità di materie prime nel paese. In particolare, il riciclo di alluminio è cresciuto del 64% nel decennio 1995-2005, arrivando a rappresentare il 77% della produzione nel paese. Il 48% dell'alluminio usato in Italia (dati 2005) proviene da

4 http://www.ice.gov.it/statistiche/Materie_Prime.pdf

riciclo nazionale ed estero.

Gli **usi dell'acqua**, che determinano la sua richiesta e quindi i prelievi, possono essere ripartiti nelle seguenti macrocategorie: uso potabile, uso industriale, uso irriguo, uso energetico, uso estetico-ricreativo e vita acquatica. La richiesta idrica industriale varia in relazione al settore considerato: quelli più idroesigenti sono il petrolchimico, il metallurgico, il tessile e l'alimentare. Il fabbisogno idrico dell'industria italiana è diminuito negli ultimi anni, a causa della progressiva riduzione delle attività manifatturiere, a vantaggio della fornitura di servizi, dell'aumento della produttività industriale, dell'automazione sempre più spinta dei processi produttivi e dell'introduzione di nuove tecnologie a basso consumo d'acqua[5]. Per quanto riguarda i **consumi di acqua**, l'impronta idrica della produzione in Italia ammonta a circa 70 miliardi di m^3 di acqua l'anno, di cui solo il 8% dovuto alla produzione industriale (85% agricoltura e allevamento, 7% uso domestico, 2014)[6].

Il rapporto di Confindustria Energia "*I dati dell'energia: statistiche economiche, energetiche ed ambientali*" di Marzo 2014 riporta i dati storici dei consumi energetici nazionali fino al 2012. I consumi interni lordi sono stimati in 176,31 Mtep, di cui oltre il 78% provenienti dall'estero. Relativamente alle fonti, petrolio e gas naturale si attestano a circa il 35% ciascuno, seguiti dalle fonti rinnovabili (circa 15%), dai combustibili solidi (9,4%) e dall'energia elettrica importata (5,4%).

I consumi netti dell'industria del 2012 sono stimati in 30,2 Mtep (circa 15 mld m3 di gas naturale e 130.801 GWh di energia elettrica)[7].

Riduzione della produzione di rifiuti/valorizzazione dei rifiuti (tematica ambientale II)

Il **"Rapporto rifiuti speciali" – ISPRA 2014**, ha quantificato la produzione nazionale dei rifiuti speciali a partire dalle informazioni contenute nelle banche dati MUD relative alle dichiarazioni annuali effettuate ai sensi della normativa di settore. I dati illustrati nella ultima edizione del Rapporto (2014) si riferiscono al biennio 2011-2012 e sono stati desunti dalle dichiarazioni presentate negli anni 2012 e 2013. La produzione nazionale dei rifiuti speciali si attesta nel 2012 a circa 134,4 milioni di tonnellate. Il dato complessivo tiene conto sia dei quantitativi derivanti dalle elaborazioni delle banche dati MUD che di quelli stimati. Sono, inoltre, compresi i quantitativi di rifiuti provenienti dal trattamento di rifiuti urbani, pari a quasi 7 milioni di tonnellate, perché classificati

5 http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/acqua/gestione-delle-risorse-idriche-in-italia/usi
6 http://awsassets.wwfit.panda.org/downloads/impronta_idrica_en.pdf
7 http://www.confindustriaenergia.org/allegati/CEdatienergia2014.pdf

come rifiuti speciali. Il quantitativo di rifiuti speciali non pericolosi è stato di quasi 125 milioni di tonnellate, mentre i rifiuti speciali pericolosi si attestano a quasi 9,4 milioni di tonnellate. Nel 2012, in analogia alle precedenti edizioni del Rapporto, il maggior contributo alla produzione complessiva dei rifiuti speciali è dato dal settore delle costruzioni e demolizioni, con una percentuale pari al 39,5% del totale. Le attività manifatturiere, prese nel loro complesso, contribuiscono per il 25,6%, mentre una percentuale pari al 22,7% è rappresentata dalle attività di trattamento dei rifiuti. Le altre attività economiche si attestano, complessivamente, ad una percentuale pari al 12,2% circa.

Le diverse tipologie di gestione a cui sono sottoposti i rifiuti speciali nell'anno 2012 sono il recupero di materia, che costituisce la quota predominante col 71,7% (84,5 milioni di tonnellate), seguono le altre operazioni di smaltimento con il 16,1% (19 milioni di tonnellate) e lo smaltimento in discarica con il 9,7% (11,5 milioni di tonnellate)[8].

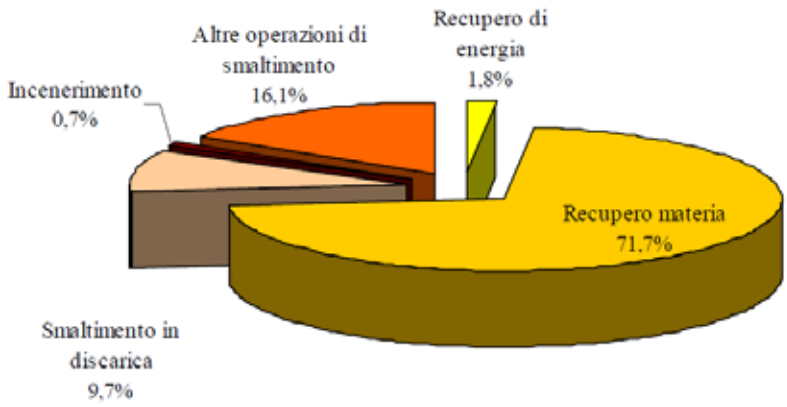


FIG. 134 – QUANTITÀ GESTIONE DEI RIFIUTI SPECIALI ESCLUSI GLI STOCCACCI, 2012, ISPRA

Riduzione delle emissioni in atmosfera (tematica ambientale III)

Nell'ambito degli strumenti e delle politiche per fronteggiare i cambiamenti climatici, un ruolo fondamentale è svolto dal monitoraggio delle emissioni dei gas-serra. In Italia, ISPRA ha istituito un Sistema Nazionale che garantisce l'aggiornamento annuale dell'inventario delle emissioni dei gas-serra secondo i formati richiesti dalle direttive internazionali (Convenzione quadro sui cambiamenti climatici e Protocollo di Kyoto). Il National Inventory Report del 2014

8 http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-speciali-edizione-2014/05_Capitolo%202_Gestione.pdf

riporta i dati fino al 2012[9]; per il 2012, le stime delle emissioni italiane espresse in termini di Gigagrammi di CO_2 equivalenti (Gg CO2 eq) dei principali gas serra sono le seguenti:

- CO_2 386,7 Gg;
- CH_4 34,7 Gg;
- N_2O 27,7 Gg.

Le stime totali suddivise per settore produttivo sono le seguenti:

- produzione di energia: 379,8 Gg CO_2 eq;
- processi industriali: 28,2 Gg CO_2 eq;
- uso di solventi ed altri prodotti 1,5 Gg CO_2 eq;
- agricoltura 34,3 Gg CO_2 eq;
- trattamento rifiuti: 16,2 Gg CO_2 eq.

Complessivamente, rispetto all'anno di riferimento (1990), le emissioni derivanti dalla produzione energetica hanno subito un calo del 9,1%, quelle del settore industriale un calo del 26,5%, quelle agricole un calo del 38,3%, quelle derivanti dal trattamento rifiuti un calo del 17,5%. La riduzione delle emissioni industriali è attribuita principalmente al calo delle produzioni chimiche e metallurgiche. Da un'analisi di sintesi della serie storica dei dati di emissione dal 1990 al 2012, si evidenzia che le emissioni nazionali totali dei sei gas serra, espresse in CO2 equivalente, sono diminuite dell'11,4% nel 2012 rispetto all'anno base.

Tecnologie a lungo termine (tematiche ambientali I, II, III)

Si stima che la gestione dei rifiuti produca circa il 2% delle emissioni di gas serra a livello comunitario. Horizon2020 individua come obiettivo strategico una efficiente gestione dei flussi di materia a livello di tutti i processi, che determini entro il 2020 un cambio di prospettiva, in cui ciò che attualmente è classificato come "rifiuto" sia percepito come "risorsa" (Horizon2020). In un'ottica "zero waste", sono previsti finanziamenti per i progetti d'innovazione che contribuiscano a livello comunitario alla diminuzione della produzione pro capite di rifiuti; sono inoltre previsti incentivi per lo sviluppo di tecnologie e metodi gestionali volti a rendere il riciclaggio e riutilizzo dei rifiuti delle opzioni economicamente attraenti per i soggetti pubblici e privati.

L'attenzione è rivolta all'intero ciclo di produzione e consumo. Le linee d'indirizzo sono rivolte ai seguenti macro-obiettivi:

- prevenzione della generazione di rifiuti, da perseguire attraverso l'ottimizza-

9 http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/national-inventory-report-2012/view

zione dei processi di produzione;
- massimizzazione della riciclabilità dei prodotti, da perseguire attraverso la progettazione delle componenti e dei materiali;
- massimizzazione del riutilizzo dei materiali.

Questi temi trovano applicazione in tutti i settori industriali, con specificità tecniche legate a ciascun processo.

Per quanto riguarda l'utilizzo di materie prime, Horizon2020 promuove i progetti volti a ridurne il consumo e a garantirne l'approvvigionamento con modalità sostenibili. Tra i bandi di concorso per l'assegnazione dei finanziamenti è prevista una categoria dedicata ai materiali per l'elettronica. I prodotti elettronici contengono infatti diversi "critical raw materials" (CRM) in quantità limitate per ciascuna unità, ma che assumono rilevanza economica considerando i grandi volumi di produzione del settore. Il prezzo, la disponibilità sul mercato e soprattutto i costi sociali e ambientali dell'approvvigionamento di questi materiali contribuiscono a identificarli come classe di prodotti a scarsa sostenibilità. È stato quindi individuato a livello comunitario l'interesse per la sostituzione o la riduzione di utilizzo di queste materie prime, ricorrendo anche al riciclaggio di componenti di prodotti dismessi.

TECNOLOGIE PRIORITARIE

1 Tecnologia per il campionamento passivo delle matrici ambientali (tematica IV);
2 Tecnologie per il trattamento di LNAPL in siti contaminati (tematica IV);
3 Bonifica dei siti contaminati mediante tecniche interamente biologiche (tematica IV);
4 Tecnologia SBBGR (sequencing batch biofilter granular reactor) di depurazione dei reflui civili ed industriali con riduzione fanghi (tematica III);
5 Recupero e riciclo di materiali da RAEE: il recupero di metalli preziosi da schede elettroniche (tematica II);
6 Recupero dei materiali e componenti delle gomme per loro riutilizzo industriale (tematica III);
7 Tecnologie per la conversione della CO2 per ridurre i cambiamenti climatici e promuovere lo sviluppo sostenibile (tematica III);
8 Tecnologie ambientali avanzate per il settore heat & power (tematiche I e III);
9 Innovazioni tecnologiche per l'ambiente da prodotti e processi dei materiali polimerici (tematiche I e III);

Nella precedente edizione del rapporto AIRI (2012) le "tecnologie per l'am-

biente e la sostenibilità" erano inserite nella trattazione relativa al Settore Chimica. Delle tematiche riportate nell'edizione precedente vengono confermate come di interesse prioritario per gli stakeholders pubblici e privati le tematiche riportate di seguito:

- campionamento passivo delle matrici ambientali;
- tecnologie per la bonifica di terreni, fanghi e sedimenti;
- recupero di materiali da pneumatici usati.

RISORSE ECONOMICHE TOTALI

Almeno 150 milioni di euro.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 1

TECNOLOGIA PER IL CAMPIONAMENTO PASSIVO DELLE MATRICI AMBIENTALI

DESCRIZIONE

L'innovazione nel campo della determinazione dei contaminanti nelle matrici ambientali rientra tra le priorità del settore delle bonifiche dei siti contaminati ai fini di un corretta identificazione della reale sussistenza di problematiche ambientali ed al conseguente corretto uso delle risorse economiche necessarie per la bonifica, in un'ottica di sostenibilità ambientale.

In un contesto territoriale che vede in Italia una scarsa disponibilità di aree per nuove iniziative industriali, i cosiddetti "siti inquinati", che occupano vaste aree del nostro Paese, possono diventare una opportunità ideale di rilancio e riutilizzo del territorio promuovendo la loro bonifica per farne occasione per attività produttive o civili.

In Italia le bonifiche, stentano ad essere realizzate, a dispetto delle rilevanti risorse impiegate. Le ragioni sono molteplici, legate alle obiettive difficoltà nell'applicazione delle procedure e prescrizioni stabilite per legge (quest'ultima oggetto di numerose variazioni negli ultimi anni), ma anche per oggettive difficoltà tecniche nel traguardare gli obiettivi di bonifica definiti dalla normativa. Nel nostro Paese gli obiettivi di bonifica sono definiti attraverso parametri molto cautelativi rispetto agli altri paesi occidentali. Tutto ciò ha forti ripercussioni sulla scelta delle tecnologie di bonifica da implementare e porta il più delle volte a scelte radicali e costose, come quelle dello scavo e smaltimento in discarica. Si rileva, pertanto, un forte divario fra i costi che gli operatori italiani sono chiamati a sostenere per le bonifiche, decisamente superiori rispetto a quelli degli altri paesi europei.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

I dati di caratterizzazione delle matrici ambientali si basano su determinazioni analitiche della concentrazione totale dei contaminanti che portano in genere a sovrastimare la pericolosità di un sito e di conseguenza ad impostare interventi di bonifica onerosi e talvolta non necessari. Il quadro di riferimento della contaminazione, determinante per la scelta della tecnologia di bonifica, si presenta infatti distorto ed a volte falsato e porta ad alterare i criteri di scelta degli interventi che penalizzano le tecnologie meno invasive, con ripercussioni ambientali ed economiche.

I valori limite imposti dalle normative, basate su determinazioni analitiche tradizionali, sono necessariamente conservativi in quanto definiti per essere utilizzati in tutti i siti indipendentemente dal rischio reale che essi comportano.

Tali valori sono spesso irraggiungibili con le tecniche di remediation che devono confrontarsi con la realtà, cioè con la effettiva possibilità di rimozione del contaminante. Essendo il limite tecnologico normalmente superiore a quello di legge, la conseguenza è quella di non ottenere certificati di avvenuta bonifica, con enormi ripercussioni sul valore delle aree e sulle possibilità di reindu-

strializzazione delle stesse o, di dovere scegliere tecnologie di scavo e smaltimento in discarica di terreni.
L'adozione dell'analisi di rischio per definire obiettivi di bonifica sito-specifici comporta comunque assunzioni conservative, con parametri di input che non tengono conto della biodisponibilità/effettiva mobilità dei contaminanti.
Lo sviluppo di tecniche di campionamento passivo delle matrici ambientali e delle necessarie tecniche analitiche porterà i seguenti vantaggi:

- Minori costi di caratterizzazione;
- Minori costi per il monitoraggio;
- Minori costi per le tecniche di bonifica;
- Maggiore facilità di ottenimento delle certificazioni di avvenuta bonifica e quindi di restituzione delle aree contaminate agli usi legittimi;
- Diminuzione dei contenziosi per la compravendita dei terreni;
- Minori interventi invasivi in contesti ecologici delicati;
- Minore discrezionalità nella determinazione dei valori di concentrazione dei contaminanti.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Le tecniche di campionamento tradizionali prevedono prelievi da piezometri, carotaggi si suoli/sedimenti. I campioni in esame sono poi trasportati in laboratorio sottoposti ad analisi che consistono di diverse fasi quali estrazioni dei contaminanti, purificazione degli estratti e determinazione quantitativa dell'inquinante in esame.
I sistemi di campionamento "passivo" semplificano la filiera delle tecniche tradizionali, essendo dispositivi che acquisiscono in-situ il dato necessario, limitando al minimo le incertezze dovute alla fase di campionamento e trasporto dei campioni.
I sistemi di campionamento passivo, infatti, sono costituiti da membrane polimeriche idrofobiche ed il loro funzionamento si basa sul coefficiente di ripartizione acqua/ottanolo specifico di ogni sostanza e sugli equilibri che tendono a formarsi nel tempo tra una sostanza organica idrofobica disciolta in acqua e la stessa legata alla fase lipidica della membrana; solitamente per raggiungere una fase di equilibrio, per composti con un alto coefficiente di ripartizione, il tempo che intercorre tra l'inizio e la fine del campionamento è di qualche settimana.
Le tecniche di campionamento passivo sono state impiegate fino ad oggi per la determinazione di inquinanti in matrici gassose (atmosfera, locali ed ambienti di lavoro) e negli ultimi anni sono state sviluppate anche per la verifica della biodisponibilità delle sostanze nelle matrici acquose e solide (suolo e sedimenti marini e lacustri) a scopi prettamente scientifici.
Tali tecniche si configurano come semplici da realizzare, di facile impiego ed economiche. Occorre, tuttavia, perseguirne con decisione il loro sviluppo ai fini di garantire risultati certi/affidabili/ripetitivi e comparabili, tale da poter essere impiegate in modo diffuso nel settore delle bonifiche dei siti contaminati, in particolare nella fase iniziale di caratterizzazione per la verifica della presenza dei contaminanti e della loro effettiva pericolosità nell'ambiente.
I sistemi di campionamento passivo si pongono come un'alternativa ai metodi eco-tossicologici classici, nella valutazione della frazione biodisponibile degli inquinanti. Quest'ultimi, infatti, richie-

dono tempi molto lunghi, costi elevati e sono pertanto proponibili, come protocollo standard per effettuare l'assessment di un sito contaminato, solo quando sia noto che una rilevante frazione degli inquinanti è biodisponibile.
I campionatori passivi attualmente utilizzati sono di diverse tipologie:
SPMD: membrane semipermeabili di polietilene a bassa densità contenenti una sostanza apolare affine per i composti organici. Questi campionatori trovano applicazione in matrici acquose e sono poco indicati per matrici solide a causa della loro fragilità.
SPME (solid phase microextraction): costituiti da capillari in silice rivestita da materiali idrofobici applicabili nel monitoraggio di contaminanti presenti in aria o acqua.
DGT (film a gradiente diffusivo): utilizzati per la determinazione di ioni metallici biodisponibili presenti in acque e acque interstiziali.

Lo studio di sistemi di campionamento passivo innovativi per composti organici, costituiti da polietilene opportunamente modificato, consente di ampliare il campo di applicazione anche a matrici diverse dall'acqua quali suoli e sedimenti, considerata la loro maggiore robustezza. Inoltre la riduzione dei tempi di campionamento permette di eseguire monitoraggi più rapidi e semplici di siti contaminati, per poi effettuare successivamente indagini più approfondite solo nei punti che risultano effettivamente pericolosi.
Analogamente, per composti inorganici si studiano campionatori a base di nano materiali che siano altamente selettivi e sensibili verso i contaminanti di interesse.
I risultati che si ottengono possono anche essere utilizzati per effettuare Analisi di Rischio sito specifiche, più realistiche rispetto a quelle attuali.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 2

TECNOLOGIE PER IL TRATTAMENTO DI LNAPL IN SITI CONTAMINATI

DESCRIZIONE

La gestione e bonifica dei siti contaminati rappresenta una delle principali priorità ambientali a livello nazionale, con 39 siti di interesse nazionale che da soli coprono una superficie di circa 100.000 ettari e circa 6000 siti gestiti su scala regionale. I siti caratterizzati dalla presenza di contaminanti organici rappresentano una consistente percentuale dei siti iscritti nelle anagrafi nazionale e regionali. Sulla base dei dati EIONET del 2011, nei siti di interesse nazionale, circa il 60 % dei suoli contaminati e il 70% delle acque sotterranee sono caratterizzati dalla presenza di contaminanti di natura organica. Circa la metà di questi risultano contaminati da olii minerali e miscele di benzene, toluene, etilbenzene e xilene (BTEX). Si tratta sia di siti di grandi dimensioni (raffinerie, stabilimenti petrolchimici, centrali elettriche), che di siti di dimensioni ridotte ma molto diffusi nel territorio (depositi di carburante, punti vendita carburante). Il panorama delle tecnologie di bonifica emerso dallo studio EIONET del 2011 evidenzia una prevalenza di opzioni basate sullo scavo e smaltimento di terreni e su azioni di contenimento delle acque di falda, che vengono utilizzati nel 50% circa dei siti contaminati. Lo spazio per l'applicazione di tecnologie in-situ è invece ancora limitato, con una incidenza media di solo il 25%. L'incremento della penetrazione delle tecnologie in-situ, richiamato tra l'altro anche nel dettato normativo, potrà garantire una gestione più efficace e sostenibile dei siti contaminati, rendendo contemporaneamente più favorevole il contesto per lo sviluppo ed applicazione di soluzioni ambientali innovative.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il rilascio di grandi quantità di idrocarburi in un sito può indurre la formazione di una fase liquida non acquosa leggera (LNAPL – Light Non Aqueous Phase Liquid), che è immiscibile con l'acqua, più leggera dell'acqua stessa e tipicamente costituita da una miscela complessa di diverse sostanze organiche, associate a frazioni petrolifere come benzina, gasolio e olii combustibili.

L'accumulo di LNAPL nel sottosuolo determina la formazione di una sorgente di contaminazione, che può includere sia una componente residuale immobile, intrappolata per capillarità all'interno della porosità del suolo, che una componente mobile, costituita da un liquido che si estende con continuità nella porosità interconnessa del suolo ed è in grado di migrare in presenza di gradienti idraulici sufficienti. Quest'ultima componente di LNAPL si presenta spesso sotto forma di uno strato di prodotto libero tipicamente distribuito all'interfaccia tra tavola d'acqua e frangia capillare. La presenza di LNAPL, sia in forma mobile che intrappolato come fase residuale a concentrazione pari o inferiore alla concentrazione residuale, costituisce una sorgente di contaminazione in grado di rilasciare contaminanti in fase disciolta per tempi molto lunghi. In tali condizioni, è evidente che non ha senso attivare un intervento di bonifica di una falda, se prima non si è intervenuti

per rimuovere l'eventuale LNAPL presente. Inoltre, in assenza di un intervento sul LNAPL, si rende spesso necessario il prolungamento a tempo indefinito delle misure di confinamento della falda (barriere idrauliche) tipicamente presenti specialmente nei siti contaminati di grandi dimensioni, con notevoli impatti sui costi di gestione dell'intervento complessivo di bonifica.
Le tecnologie di bonifica più comunemente applicate nei siti contaminati consentono di trattare i contaminanti organici alifatici ed aromatici presenti in fase adsorbita nel suolo insaturo ed in fase disciolta nella acque di falda. Nonostante esistano diverse classi di tecnologie potenzialmente applicabili anche al trattamento di tali composti in fase separata (LNAPL), che saranno esaminate di seguito, l'esperienza acquisita in diversi siti distribuiti su scala nazionale ha evidenziato le difficoltà nell'individuare soluzioni tecnologiche che consentano di ottenere prestazioni soddisfacenti in tempi ragionevoli, garantendo contemporaneamente la sostenibilità economica ed ambientale dell'intervento.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Lo stato dell'arte sulle tecnologie per il trattamento di LNAPL viene affrontato in numerosi documenti tecnici elaborati da agenzie ambientali e gruppi di lavoro internazionali. Facendo in particolare riferimento alla classificazione operata da ITRC (Interstate Technical Regulatory Council), è possibile distinguere tali tecnologie in tre tipologie:

- **Tecnologie finalizzate al controllo del LNAPL**: tali tecnologie sono finalizzate alla stabilizzazione o al contenimento del LNAPL. Le tecnologie di stabilizzazione sono basate sulla iniezione di un legante (tecnologie di mixing in-situ) che consente di ridurre la mobilità del LNAPL. Le tecnologie di contenimento sono invece finalizzate ad interrompere la migrazione del LNAPL a valle della sorgente, e consistono tipicamente nella installazione di barriere fisiche o idrauliche.
- **Tecnologie finalizzate alla rimozione diretta del LNAPL**: tale classe di tecnologie è finalizzata alla rimozione fisica del LNAPL dal sito. Tale obiettivo può essere ottenuto mediante lo scavo del terreno interessato dalla presenza di LNAPL o più frequentemente dalla adozione di tecniche di recupero idraulico: queste possono includere l'utilizzo di skimmer o l'applicazione di tecniche di estrazione multifase. Si può anche prevedere l'utilizzo di tensioattivi o solventi per ridurre la tensione superficiale o la viscosità del LNAPL e favorirne il recupero. Ad eccezione dello scavo, in questi casi l'obiettivo dell'intervento è rappresentato dal raggiungimento della saturazione residua.
- **Tecnologie finalizzate alla modifica della composizione del LNAPL**: tali tecnologie mirano non necessariamente alla rimozione in massa del LNAPL, quanto piuttosto alla modifica della sua composizione, in favore dei composti a maggior peso molecolare, caratterizzati da una minore mobilità. Tali tecnologie sfruttano la maggiore facilità delle frazioni più leggere del LNAPL ad essere mobilizzate sia in fase acquosa che vapore. Vi sono diverse tecnologie in-situ che possono potenzialmente essere utilizzate. Tra queste, merita citare il flushing con cosolvente, l'accoppiamento di Air Sparging e Soil Vapor Extraction, l'Ossidazione chimica in-situ (ISCO) e tecnologie basato sul riscaldamento della sorgente mediante campi elettrici o elettromagnetici.

La selezione di tecnologie innovative per il trattamento del LNAPL va indirizzata verso soluzioni tecnologiche in-situ che consentano possibilmente una trasformazione chimica dei contaminanti e non un loro mero trasferimento in un'altra fase. La prima delle tre classi di tecnologie sopra descritte è stata pertanto esclusa, in quanto include opzioni il cui obiettivo è limitato al solo controllo della migrazione del LNAPL, senza portare ad una sua effettiva trasformazione. La seconda classe include le tecnologie di rimozione diretta, che sono attualmente senz'altro quelle maggiormente utilizzate su scala nazionale, ad eccezione dello scavo, di difficile applicazione in realtà industriali spesso ancora operative. L'efficacia degli skimmer è spesso limitata dalle basse portate di recupero ottenibili, mentre le tecniche di estrazione multifase, pur essendo tra le soluzioni maggiormente performanti in termini di rimozione di LNAPL, portano ad un mero trasferimento del contaminante all'esterno del sito. Per questo motivo, anche tale classe di tecnologie non viene ritenuta di interesse per lo sviluppo di soluzioni innovative.

Per ovviare alle limitazioni delle prime due classi di tecnologie, si può invece puntare allo sviluppo di soluzioni che abbiano come obiettivo la modifica della composizione del LNAPL. Tra queste opzioni tecnologiche, si ritiene interessante lo sviluppo di soluzioni combinate, che prevedano l'accoppiamento (in sequenza o in combinazione) di più tecnologie tra quelle sopra elencate. In particolare, si propone la combinazione del flushing con cosolvente con l'ossidazione chimica in-situ: tale opzione consentirebbe da un lato di favorire la solubilizzazione del LNAPL, ma di ottenere (contemporaneamente o successivamente) anche la trasformazione chimica dei contaminanti solubilizzati. Selezionando il perossido di idrogeno come ossidante (processo Fenton) si potrebbe anche ottenere un effetto di stripping dei contaminanti da parte dell'ossigeno generato per effetto della disproporzione dell'ossidante.

Proprio in vista di favorire lo stripping dei contaminanti, si ritiene di interesse anche lo sviluppo della combinazione di CO_2-sparging e trattamento ISCO, sempre basato sul processo di Fenton, con la quale si potrebbero sommare gli effetti garantiti individualmente dai due trattamenti, ma anche sfruttare possibili effetti sinergici.

Visto che l'obiettivo dei trattamenti non deve consistere necessariamente nella rimozione quantitativa del LNAPL, ma piuttosto nella modifica della sua composizione, l'implementazione di questa classe di tecnologia di trattamento del LNAPL su scala nazionale richiederà anche lo sviluppo di un approccio innovativo di valutazione delle prestazioni della tecnologia, che andrà misurato in termini di riduzione del rischio per la risorsa idrica e per i recettori umani determinato dalla modifica della composizione (e della mobilità) del LNAPL ottenuta a seguito del trattamento.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 3

BONIFICA DEI SITI CONTAMINATI MEDIANTE TECNICHE INTERAMENTE BIOLOGICHE

DESCRIZIONE

L'Italia è un Paese che ha carenza di suolo disponibile e infrastrutturato per nuove attività industriali importanti. Una opportunità ideale, da questo punto di vista, è il riutilizzo di aree non più sede di vecchie produzioni. Tale riutilizzo può essere però garantito solo una volta eseguiti interventi di bonifica che intervengano sulla contaminazione derivata dalle attività condotte nel passato.

Fra i contaminanti riscontrati nei siti industriali, gli idrocarburi rappresentano una componente importante, per effetto degli impatti provocati dalle attività durante l'esplorazione, la produzione, la raffinazione, il trasporto e lo stoccaggio di petrolio e dei prodotti petroliferi derivati.

Le tecnologie convenzionali utilizzate per la bonifica dei suoli con contaminazioni da idrocarburi comprendono metodi chimico-fisici quali l'ossidazione chimica, il soil flushing, il soil vapour extraction, la solidificazione-stabilizzazione, il soil washing e il trattamento termico fino alla tecnica di scavo e smaltimento in discarica. Si tratta di tecnologie costose, spesso anche poco sostenibili dal punto di vista ambientale, dato che possono anche portare alla decomposizione incompleta dei contaminanti.

Processi interamente biologici che accoppiano l'utilizzo delle piante (Phytoremediation) con quello dei microorganismi indigeni (Bioremediation) hanno grosse potenzialità, ma costituiscono ancora una novità nel panorama delle tecniche attualmente utilizzate.

Il processo di biorisanamento, che sfrutta l'azione dei microrganismi per rimuovere le sostanze inquinanti grazie alle loro diverse capacità metaboliche, estende la sua efficacia a profondità maggiori di quelle raggiungibili dalla Phytoremediation. Le due tecniche sono in continua evoluzione, ma è indubbio che un approccio interamente biologico si ponga come tecnica di bonifica tra le meno costose tra quelle attualmente note ed impiegate per la bonifica da siti contaminati da idrocarburi.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

In Italia i programmi di messa in sicurezza e di successiva bonifica che si sarebbero dovuti avviare con il D.M. 471 del 1999 e successive modifiche, dopo 16 anni, hanno avuto poche realizzazioni, generando spesso costi enormi, creando conflitti istituzionali e deludendo le aspettative di miglioramento ambientale e di sviluppo dei territori in cui sarebbero dovuti avvenire, con un rilevante dispendio di risorse finanziarie.

Da un confronto con altre realtà interne alla UE, emerge un sistema Italia che esige eccessive ed insostenibili condizioni di risanamento, prescrivendo il raggiungimento di limiti di bonifica spesso ridondanti e ambientalmente ingiustificati, non riuscendo così di fatto a realizzare molti e concre-

ti interventi di risanamento ambientale e, di conseguenza, non riuscendo a mettere in moto un meccanismo virtuoso di investimenti.
Lo scenario tecnologico per il risanamento dei siti contaminati è fortemente sbilanciato verso tecnologie a forte impatto ambientale (scavo e smaltimento o trattamento off-site) anche per contaminazioni da idrocarburi, per le quali occorre sviluppare tecniche in-situ interamente biologiche per la loro degradazione / eliminazione.
Lo sviluppo di tecniche interamente biologiche per la bonifica di siti contaminati da idrocarburi, permetterà il raggiungimento degli obiettivi di bonifica, richiesti dalla norma a protezione della salute umana, in un'ottica di sostenibilità ambientale, sociale ed economica.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Sia in Italia che all'estero sono consolidate le conoscenze e gli utilizzi delle tecniche di Phytoremediation e di Bioremediation, ma raramente utilizzate insieme per sfruttare appieno l'effetto sinergico.
La Phytoremediation utilizza le piante per bonificare siti contaminati da metalli, pesticidi, esplosivi idrocarburi. Tale tecnica lavora bene in contesti di contaminazione diffusa e a basso livello di concentrazione.
Tale tecnica necessita di opportune condizioni per essere applicata con successo: la scelta del vegetale idoneo e la distribuzione verticale della contaminazione. L'azione di bonifica è efficace fino alla profondità (mediamente intorno 1 – 1,5 metri) raggiungibile dalle radici per poter assorbire i contaminanti e immagazzinarli nelle radici, nei fusti e nelle foglie.
La Bioremediation, che sfrutta le capacità degradative pre-esistenti nel suolo e nel sottosuolo per degradare le sostanze, comprende tecniche differenti (biostimulation, bioaugmentation, landfarming, bioventing, biosparging) che possono arrivare anche a profondità maggiori. L'attività microbica presente nei terreni può essere incrementata attraverso l'aggiunta di ammendanti e consorzi microbici opportunamente selezionati in laboratorio a partire da quelli esistenti nei terreni, in grado di velocizzare i processi degradativi dei contaminati.
Nel caso di siti contaminati da idrocarburi, il successo di un processo biologico dipende essenzialmente dalla capacità intrinseca del sistema di creare e mantenere le condizioni che promuovano la biodegradazione delle sostanze nell'ambiente contaminato, con velocità di degradazione sufficientemente elevate. Diventa quindi fondamentale la conoscenza del metabolismo microbico relativo ai contaminanti idrocarburici.
La tecnica in-situ di remediation (MPPS (Multi Process Phytoremediation System) che si sta sviluppando, si basa sulla combinazione di processi meccanici, fisici, chimici, microbiologici e di crescita delle piante; la presenza delle radici nel suolo crea le condizioni favorevoli allo sviluppo di comunità di microrganismi in grado di metabolizzare una grande varietà di contaminanti organici.
Il principio e lo scopo di questa tecnologia è quindi la produzione di un'attività enzimatica forte e diversificata tale da attaccare le molecole di idrocarburi attraverso diverse vie di degradazione enzimatica. Il vantaggio di tale tecnologia di bonifica biologica in relazione agli obiettivi di bonifica stabiliti è la totale assenza di rischi residuali di contaminanti e/o di trasformazione inversa.

Diversificare le tecniche di remediation e incrementare l'affidabilità di quelle meno costose ed a minore impatto ambientale riveste un ruolo strategico, in quanto permette la realizzazione di bonifiche a costi sostenibili, consentendo la re-industrializzazione delle aree in tempi certi.
Lo sviluppo di tali tecniche comporta, in definitiva, i seguenti vantaggi, tutti con risvolti economici diretti e/o indiretti:

- Interventi meno invasivi sul territorio;
- Eliminazione (degradazione) della contaminazione e sua trasformazione in prodotti non nocivi;
- Minori costi complessivi di bonifica;
- Maggiore accettazione territoriale;
- Aumento della sostenibilità globale degli interventi per la riconversione delle aree.

La tecnica interamente biologica che si intende sviluppare permetterà anche di traguardare gli elementi chiave di una green remediation:

- Ridurre il consumo globale di energia;
- Ridurre l'inquinamento dell'aria;
- Migliorare la gestione dei materiali;
- Ridurre la produzione di rifiuti;
- Migliorare la gestione del territorio e ridurre l'impatto sul territorio.

L'attività di R&S per il triennio consisterà pertanto nel consolidare i risultati ottenuti ad oggi su siti contaminati da idrocarburi pesanti ed imporla come tecnica rapida ed efficace per bonificare le aree e restituirle alla collettività al fine di un loro riutilizzo.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 4

TECNOLOGIA SBBGR (SEQUENCING BATCH BIOFILTER GRANULAR REACTOR) DI DEPURAZIONE DEI REFLUI CIVILI ED INDUSTRIALI CON RIDUZIONE FANGHI

DESCRIZIONE

La gestione dei fanghi di depurazione derivanti dal trattamento di reflui civili ed industriali, rappresenta attualmente una delle maggiori criticità ambientali che, in aggiunta, incide significativamente su aspetti economici e gestionali. Come noto dal trattamento delle acque di scarico si origina una corrente residua di scarto (fanghi), nella quale sono concentrati parte degli inquinanti che originariamente erano presenti nelle acque prima della depurazione (fanghi primari) insieme ai microorganismi prodotti dal processo di depurazione (fanghi secondari). Sebbene tale corrente di fanghi rappresenti solo una piccola aliquota rispetto al volume di acqua trattata (mediamente il 2% per i reflui urbani; percentuale che tende ad aumentare considerevolmente nel caso degli scarichi industriali ed in particolare per quelli di raffineria), il suo trattamento e smaltimento finale può arrivare a rappresentare il 60% del costo complessivo della depurazione. Infatti i fanghi non possono essere scaricati e/o smaltiti senza un adeguato trattamento in quanto presentano caratteristiche chimiche (presenza di sostanza organica putrescibile, di metalli pesanti e di microinquinanti organici), fisiche (concentrazioni in solidi modesta) e microbiologiche (presenza di patogeni) tali da determinare un rilevante impatto sull'ambiente. Pertanto tali trattamenti contribuiscono ad accrescere i relativi costi della depurazione a cui vanno comunque aggiunti anche quelli per lo smaltimento finale nell'ambiente che negli ultimi anni stanno registrando aumenti considerevoli. Occorre inoltre considerare che gli schemi di trattamento attualmente adottati appaiono poco funzionali ad ottenere fanghi trattati di idonee caratteristiche affinché lo smaltimento o l'utilizzazione finale avvengano conformemente alla disciplina e ovviamente senza recare pregiudizio per la salute e per l'ambiente.

In tale direzione, la tecnologia presentata incide sensibilmente sulla riduzione "a monte" della produzione di fanghi durante il processo depurativo, migliora le caratteristiche degli stessi sotto il profilo igienico – sanitario, della stabilità biologica, e delle caratteristiche chimico – fisiche per assicurare uno smaltimento a costi sostenibili o addirittura ne favorisce una valorizzazione energetica (biogas) o un riutilizzo (fertilizzanti, compost di qualità) o un impiego per la conversione energetica (biogas). Una maggiore attenzione alla tutela dell'ambiente ed un conseguente più efficace trattamento delle acque reflue civili ed industriali, ha determinato nel tempo un progressivo incremento dei quantitativi dei fanghi prodotti (circa 50% negli ultimi 10 anni), comportando importanti criticità sul versante ambientale ed economico (si pensi che la gestione dei fanghi arriva ad incidere fino al 60% sui costi della depurazione).

In tali scenari la nuova tecnologia nota con l'acronimo SBBGR- Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor, sviluppata dall'Istituto di Ricerca sulle Acque del CNR, è in grado di:

- ridurre rispetto alle tecnologie di depurazione convenzionali la produzione di fanghi (fino al 80%), le emissioni odorigene e la superficie dell'impianto (fino al 40%);
- produrre una corrente di fanghi già stabilizzata (ossia che non necessita più della tradizionale digestione anaerobica o aerobica);
- garantire una rimozione media del COD maggiore del 90% e comunque sempre superiore alla percentuale di abbattimento richiesta dalla normativa vigente;
- assicurare un'eccellente efficienza di rimozione dei solidi sospesi, con un abbattimento medio del 97%, anche a fronte di una forte oscillazione del valore in ingresso;
- presentare un'ottima efficienza di rimozione dell'azoto mediante il processo di nitrificazione e denitrificazione biologica simultaneo;
- garantire elevate efficienze di disinfezione (maggiori del 99% per coliformi totali, *Escherichia coli* e e spore di *Clostridium perfringens)*.

Il sistema SBBGR è costituito essenzialmente da un unico bacino nel quale il refluo viene immesso, trattato (ad opera di microorganismi selezionati) ed estratto, in modo sequenziale. Il bacino è diviso in due comparti: il biofiltro e l'aeratore. Il biofiltro è riempito con materiale plastico alla rinfusa, confinato in uno spazio delimitato da due piastre, chiamato letto, in cui si sviluppano processi di ossidazione biologica. L'aeratore provvede a contenere il refluo da trattare e a ossigenarlo; inoltre, da esso avviene anche l'estrazione dell'effluente depurato. Una apposita corrente di ricircolo provvede a far circolare il refluo dall'aeratore al biofiltro e a migliorare la distribuzione del substrato e dell'ossigeno lungo l'altezza del letto.

L'elevata porosità del materiale di riempimento utilizzato (0,7-0,8) e le caratteristiche della biomassa che si sviluppa (elevata densità e compattezza) consentono di allungare significativamente la durata della fase di servizio, così da ridurre notevolmente la frequenza delle operazioni di lavaggio rispetto a quanto accade con i normali biofiltri. Tali condizioni favoriscono inoltre un aumento sostanziale della concentrazione della biomassa all'interno del biofiltro (fino ad un ordine di grandezza maggiore di quelle presenti nei sistemi di trattamento tradizionali) con conseguente riduzione della produzione di fango (elevata età del fango).

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Al momento non esistono sul mercato tecnologie di trattamento analoghe a quelle descritte nel presente paragrafo.

La tecnologia SBBGR è unica nel suo genere e presenta elementi di elevata innovatività in grado di esprimere un importante potenziale applicativo in contesti produttivi assai diversificati, associando caratteristiche di sostenibilità ambientale ed economica sia nelle fasi di realizzazione dell'impianto (poiché un unico bacino è in grado di sostituire l'intera linea acque del depuratore e parte della linea trattamento fanghi) che di gestione. L'utilizzo della tecnologia in oggetto assicura un rilevante impulso competitivo nei confronti del mercato di riferimento sia a livello nazionale che internazionale.

La prosecuzione delle attività di ricerca scientifica e tecnologica può portare alla definizione di nuovi ambiti applicativi inducendo percorsi di crescita competitiva sia per le imprese che potran-

no impegnarsi nella produzione impiantistica che per gli utenti industriali che la implementeranno all'interno dei propri cicli produttivi. In coerenza con le logiche di economicità, la tecnologia descritta è rapidamente trasferibile ad impianti di trattamento (urbani ed industriali) già esistenti (attraverso la riconversione delle vasche biologiche esistenti), sulla base delle caratteristiche di compattezza, flessibilità e costi di investimento relativamente bassi.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

I trattamenti dei fanghi in un impianto tradizionale mirano a ridurne il volume, separando l'acqua, e la putrescibilità, mediante operazioni che riducono il contenuto di sostanza organica, e quindi gli odori e gli agenti patogeni. La riduzione del volume si ottiene mediante l'operazione di ispessimento, normalmente effettuata per gravità ma anche mediante apposite macchine, e da un trattamento di disidratazione meccanica preceduto dal condizionamento chimico. La riduzione della sostanza organica, degli odori e dei patogeni si ottiene mediante un trattamento di stabilizzazione biologica aerobica o anaerobica. Questi schemi di trattamento tradizionali, che pure fino ad oggi hanno consentito lo smaltimento dei fanghi, non sembrano più adeguati a trovare forme di smaltimento praticabili per due fattori concomitanti che le rendono sempre più difficile. Da un lato, infatti, la produzione dei fanghi è in continua crescita, anche per l'applicazione della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane, che, estendendo livelli di trattamento più spinti anche ad impianti di piccole dimensioni, ha comportato un costante incremento dei quantitativi di fango originati dai processi di depurazione. Dall'altro, a fronte di una produzione crescente, aumentano le difficoltà di trovare un'adeguata collocazione ai fanghi prodotti. Tale difficoltà deriva da diversi fattori concorrenti tra cui qualità dei fanghi prodotti non sempre conforme ai requisiti per l'uso agricolo, limiti sempre più stringenti per le caratteristiche dei fanghi da destinare ad uso agricolo, percezione negativa dell'opinione pubblica nei confronti dell'uso agricolo dei fanghi, nuovi limiti per l'accettabilità dei fanghi in discarica, avversione dell'opinione pubblica verso l'incenerimento o il coincenerimento dei fanghi.

In aggiunta, negli ultimi anni si è iniziato a focalizzare l'attenzione anche sulla presenza ed il destino di contaminanti definiti "emergenti" riscontrati sia nelle acque destinate al consumo umano che nelle acque reflue. Con il termine "inquinanti emergenti" si designa un elenco in continuo aggiornamento di molti composti che comprendono tensioattivi di sintesi, interferenti endocrini, sostanze farmaceutiche, composti perfluorati, ritardanti di fiamma bromurati e non, additivi industriali, pesticidi di nuova generazione. Tali sostanze non sono incluse nelle liste degli inquinanti prioritari e la loro attività sull'ambiente e sulla salute è sconosciuta; alcune di queste sostanze sono state ultimamente anche considerate a livello Europeo ai fini del processo di classificazione delle future sostanze prioritarie della Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE.

Pertanto, le problematiche sopra riportate costringono a considerare con sempre maggiore attenzione a nuove tecnologie di trattamento delle acque reflue che rispetto a quelle attualmente utilizzate siano in grado di ridurre la produzione dei fanghi di supero, l'emissione di odori molesti e la quantità di contaminanti emergenti rilasciati con l'effluente trattato.

In Europa, la produzione di fango è in continuo aumento con tassi di crescita che superano il 50% in 10 anni. Analoghe condizioni trovano conferme anche nel resto del mondo, offrendo ampi spazi

di mercato ad industrie interessate ad investire in innovazione per sviluppare soluzioni tecnologiche in grado di offrire risposte concrete ed efficaci alle differenti tipologie produttive caratterizzate da differenti acque di processo e natura dei reflui.
Tecnologie, come la presente che consentono di conseguire importantissimi risparmi economici, nel segno della sostenibilità ambientale e della riduzione della produzione di rifiuti, possono trovare interessanti applicazioni in ampie fasce di utenza.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 5

RECUPERO E RICICLO DI MATERIALI DA RAEE: IL RECUPERO DI METALLI PREZIOSI DA SCHEDE ELETTRONICHE

DESCRIZIONE

L'eccezionale sviluppo tecnologico che ha contraddistinto gli ultimi due decenni ha favorito la diffusione in ambito domestico e professionale delle più svariate apparecchiature hi-tech, determinando due fenomeni di grande preoccupazione sociale ed economica:

- il deciso incremento della domanda globale di materie prime indispensabili per la produzione degli Apparati Elettrici ed Elettronici (AEE), materie che sono rapidamente diventate strategiche e oggetto di speculazione finanziaria;
- la gestione del fine vita di queste apparecchiature immesse sul mercato con tempi di obsolescenza tecnica e psicologica sempre più ridotti.

Questi due aspetti del mercato globale degli AEE hanno suscitato timori anche in Europa, dove quindi l'Unione Europea sta cercando di intervenire per trovare un'equilibrata soluzione al problema.

Riguardo agli aspetti relativi all'approvvigionamento delle materie prime, nel novembre 2008 la Commissione Europea ha emanato la comunicazione COM(2008)699 "Communication on the Raw Materials Initiative – Meeting our critical needs for growth and jobs in Europe" con lo scopo di stabilire una strategia integrata per affrontare le sfide legate all'accesso e all'approvvigionamento delle materie prime non agricole e non energetiche in Europa, con un approccio basato su tre pilastri:

- garantire condizioni di parità di accesso alle risorse nei paesi terzi;
- promuovere l'approvvigionamento sostenibile di materie prime provenienti da fonti europee;
- incrementare l'efficienza dello sfruttamento delle risorse disponibili e promuovere il riciclo.

Per quello che riguarda gli aspetti relativi al fine vita degli AEE, il parlamento Europeo ed il Consiglio dell'Unione Europea nel Gennaio 2003 hanno emanato la direttiva 2002/96/CE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) che reca misure mirate a prevenire la produzione di RAEE ed al loro reimpiego, riciclaggio e ad altre forme di recupero in modo da ridurre il volume dei rifiuti da smaltire.

A tale direttiva è seguita la Nuova Direttiva Europea RAEE (2012/19/UE), che è stata recepita in Italia con D. Lgs. 49/2014, e che sarà in fase transitoria fino ad agosto 2018. La nuova direttiva stabilisce che il precedente obbiettivo minimo di raccolta di 4 kg di rifiuti per abitante non sarà più valido a partire dal 1 gennaio 2016 e dovrà essere progressivamente incrementato e parametrizzato (con soglie intermedie fino al 15 agosto 2018) alla quantità di prodotti tecnologici immessi nel mercato nei 3 anni precedenti.

A partire dal 2019 si dovrà raggiungere una raccolta dell'85% del peso dei RAEE prodotti, o in alternativa il 65% in peso delle AEE immesse sul mercato; questo significa che applicando il vecchio metodo di calcolo ai dati di vendita OCSE a disposizione, in Italia si dovrà passare dalla raccolta pro capite media odierna di 4,2 kg ad oltre 10 kg nel 2019.

Queste premesse mostrano come la necessità di chiudere il ciclo del recupero di materiali da RAEE per trasformare questa tipologia di rifiuti da problema ambientale a valida risorsa economica debba essere interpretata dall'industria come importante strumento di sviluppo sostenibile.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

In Italia il forte incremento della quantità di RAEE prodotti ha reso necessario un intervento dello Stato per gestirne opportunamente la raccolta attraverso la costituzione del Centro Coordinamento RAEE. La creazione di consorzi di raccolta e l'acquisizione della consapevolezza che tali rifiuti possono divenire una importante risorsa economica ha generato negli ultimi anni notevoli progressi nella raccolta sul territorio anche se in maniera disomogenea.

A differenza di quanto sta accadendo generalmente negli altri paesi industrializzati, la tendenza della nostra imprenditoria che si occupa di riciclo è di fermarsi alle prime fasi del processo di trattamento e recupero, cioè quelle decisamente più semplici ma ovviamente anche meno remunerative, lasciando ad operatori solitamente stranieri il compito di recuperare la parte "nobile" del rifiuto, che nel caso specifico dei RAEE è costituita dalle schede elettroniche, ricche di metalli di valore quali oro, argento, palladio e rame: è purtroppo prassi comune che gli impianti di trattamento, laddove siano presenti nei RAEE componenti che contengono metalli preziosi o di elevato valore commerciale, non provvedano direttamente al loro recupero in situ, ma si limitino alla separazione dei componenti che vengono inviati all'estero ad impianti di recupero specializzati.

Si possono valutare le potenzialità di questo settore sul territorio nazionale partendo dai dati OCSE relativi al numero di personal computer venduti in Italia nel 2011 e fissandone la vita media in 3-4 anni: si può stimare così in circa 8.000 tonnellate la quantità potenzialmente disponibile di schede elettroniche provenienti da personal computer di uso domestico, corrispondente ad un valore di mercato dei materiali in esse contenute[10] pari a circa 80 milioni di euro. Questo valore è comunque approssimato per difetto, poiché non tiene conto del potenziale economico derivante dalle schede elettroniche appartenenti ad altri tipi di AEE, ed in particolare di quelle cosiddette "professionali", molto più ricche in materiali di valore.

Sembra evidente quindi che realizzare nuovi impianti da dedicare al recupero delle preziose materie contenute nelle schede elettroniche e creare una nuova filiera industriale per completare l'attuale ciclo che si ferma al commercio verso l'estero degli stock di componenti separati, può portare notevoli vantaggi economici e sociali.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Il recupero dei metalli di elevato valore contenuti nei dispositivi elettronici è solitamente effettuato in impianti pirometallurgici di grandi dimensioni (vedi ad es. l'impianto da 250.000 ton/y

10 EAI, *Energia, Ambiente e Innovazione* 5 2013 78

della Umicore ad Hoboken in Belgio): lo step principale è la fusione dei rifiuti in un grande forno convertitore dal quale si ricavano lingotti di rame che inglobano i metalli preziosi ed una scoria contenente tutti gli altri elementi. Lingotti e scoria devono essere ulteriormente trattati per il recupero, la separazione e la purificazione di tutti i materiali.

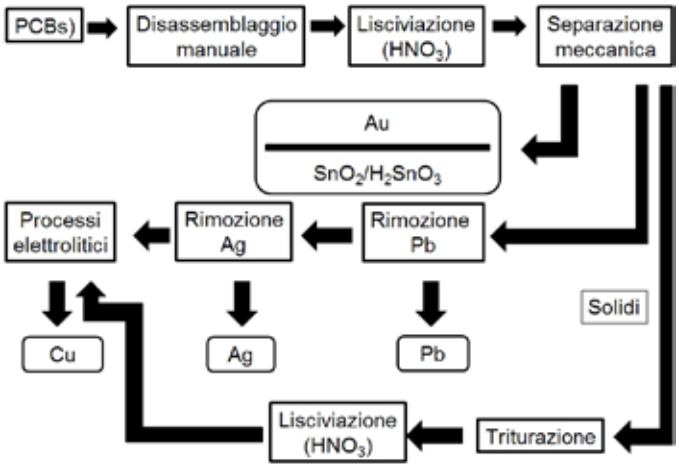


FIG. 135 – PROCESSO IDROMETALLURGICO PER IL RECUPERO DI MATERIALI AD ALTO VALORE AGGIUNTO DA SCHEDE ELETTRONICHE SVILUPPATO DALL'ENEA

Questo tipo di processo per essere sostenibile deve lavorare grandi quantità di materiale spesso non disponibili nel solo ambito nazionale ma da reperire anche in aree geografiche molto distanti dagli impianti.

La tecnica alternativa e per alcuni aspetti complementare alla pirometallurgia è l'idrometallurgia, cioè la combinazione di quelle tecniche separative quali lisciviazione, estrazione con solvente, scambio ionico etc., particolarmente indicata nella separazione selettiva di elementi ad elevato valore aggiunto (terre rare, gallio, germanio, oro, rame, etc.).

Attualmente in Italia le industrie che si occupano del recupero di metalli preziosi sono legate prevalentemente alla catena di produzione relativa ai distretti orafi e solo poche di esse sono potenzialmente in grado di affrontare il problema del trattamento delle schede elettroniche attraverso tecniche combinate piro-idrometallurgiche.

Per quanto riguarda l'innovazione in questo campo, l'ENEA ha recentemente brevettato[11] un processo innovativo dedicato al recupero di materiali ad alto valore da schede elettroniche attraverso tecnologia esclusivamente idrometallurgica (in figura 1 ne è rappresentato lo schema) e sta realizzando un impianto pilota chiamato ROMEO (Recovery Of MEtal by hydrOmetallurgy) per testarne le potenzialità industriali.

11 Fontana Danilo et al., Patent Applications: No. RM2013A000549; PCTIB2014065131; RM2015A000064.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 6

RECUPERO DEI MATERIALI E COMPONENTI DELLE GOMME PER LORO RIUTILIZZO INDUSTRIALE

DESCRIZIONE

La gestione dei pneumatici a fine vita (ELT) costituisce ancora oggi una delle priorità di questo settore dove ogni anno vengono globalmente prodotti circa 1,4 miliardi di nuovi pneumatici e generate circa 3,2 milioni di tonnellate di pneumatici a fine vita (ETRMA Annual report 2010-2011). Le istituzioni pubbliche e private e le industrie dei pneumatici si sono operate negli ultimi anni per razionalizzare la gestione degli ELT, ottenendo degli ottimi risultati in termini di eliminazione delle discariche e indirizzando gli stessi verso processi di riciclo, tanto che oggi in Europa si sono raggiunte quote maggiori del 95% di pneumatici a fine vita riciclati.

Circa il 50% di questi pneumatici viene utilizzato come combustibile alternativo, in particolare nei cementifici ma anche in cartiere e centrali termoelettriche. Sono infatti molto apprezzati come sostitutivi dei combustibili solidi fossili per il favorevole rapporto potere calorifico-emissioni: la presenza negli pneumatici di gomma naturale e di fibre derivate da cellulosa (circa il 27% in peso del totale) permette di ridurre considerevolmente la quantità di CO_2 fossile emessa dagli impianti di combustione.

La parte restante viene trattata per farne una materia prima seconda e poterla impiegare come materiale per la costruzione di prodotti diversi. Un tipico pneumatico per autovettura contiene gomma, naturale e sintetica, cordicelle metalliche, tessuti in poliestere o nylon, cerchietti in acciaio, silice e decine di diverse sostanze tra cui reagenti chimici, olii e resine. Le diverse classi di materiali, gomma, metallo e tessile devono essere separate per essere poi inviate separatamente al rispettivo riutilizzo. La separazione avviene nelle prime fasi di disgregazione degli pneumatici, quando, dopo averli tagliati in pezzi grossolani, questi vengono macinati e ridotti in granuli di gomma di dimensione di pochi millimetri, separando fisicamente i frammenti metallici e tessili. I granuli di gomma possono essere riutilizzati come riempitivi uniti a polimeri per creare pavimentazioni, pannelli o manufatti o ancora mescolati agli asfalti per la pavimentazione stradale.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Un'ulteriore macinazione del granulato permette di ottenere particelle sempre più fini, naturalmente con costi più elevati, e quindi aumentare la superficie di contatto e l'interazione, tra la polvere e la matrice. Questa interazione rimane in ogni caso principalmente di tipo fisico, poco auspicabile per applicazioni non statiche e soggette ad importanti sforzi dinamici, come gli stessi pneumatici. Per queste applicazioni, un'interazione di tipo chimico a seguito di reazioni tra polverino di gomma e matrice è auspicabile. A questo scopo negli ultimi anni si sono moltiplicati gli sforzi orientati alla devulcanizzazione delle mescole a fine vita, con lo scopo di ripristinare punti reattivi lungo le catene dei polimeri contenuti nella gomma.

Gli approcci alla devulcanizzazione sono stati di diverso tipo: termico, meccanico, con ultrasuoni o mediante microorganismi. Tutti, a parte l'approccio biologico, non sono sufficientemente selettivi e determinano accanto alla parziale devulcanizzazione anche la rottura, con degradazione delle proprietà finali, delle catene dei polimeri. La devulcanizzazione attraverso microorganismi è limitata alla superficie del polverino trattato e soprattutto ancora molto lenta per trovare un'applicazione industriale.
La conseguenza è che il polverino tal quale ottenuto per macinazione della gomma a fine vita può essere reintrodotto durante la realizzazione di nuovi pneumatici solo in minima quantità e solo nei materiali dei componenti meno sensibili di uno pneumatico per evitare o limitare le conseguenti degradazioni delle proprietà meccaniche. Migliore è invece la situazione del materiale parzialmente devulcanizzato, chiamato anche rigenerato, che, grazie alla sua aumentata reattività può essere introdotto in quantità maggiori ma comunque non superiori al 2-3%.
Il processo necessario per ottenere materiali parzialmente devulcanizzati prevede quindi l'applicazione di più passaggi dal taglio alla macinazione degli pneumatici con separazione del tessile e del metallo e successivo processo di devulcanizzazione del granulato. Inoltre tutti questi passaggi richiedono grandi quantità di energia per il loro svolgimento. Recentemente è stato sviluppato un nuovo approccio in grado di ottenere attraverso un unico passaggio la separazione della gomma dal tessile e dal metallo con produzione di granulato e polverino parzialmente devulcanizzati. Le prestazioni di questo materiale sono equivalenti a quelle ottenute su materiali sottoposti all'intero processo di macinatura e rigenerazione prima descritto. Si tratta di un processo a getto d'acqua ad alta pressione con il quale la gomma viene micronizzata e distaccata dalle parti tessili e metalliche. Quest'ultime inoltre possono essere separate nella loro interezza, senza rottura.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

In Italia e in Europa sono presenti un numero significativo di piccole/medie aziende che raccolgono gli pneumatici a fine vita e li trasformano per taglio e macinazione ottenendo un granulato di gomma dal diametro di qualche millimetro, separando il metallo che viene riutilizzato ed il tessile che viene inviato agli inceneritori. Il granulato è oggi il prodotto principale e viene utilizzato come riempitivo in matrici plastiche o negli asfalti. Veramente poche sono le società in grado di trasformare per micronizzazione i granuli in polvere di gomma e praticamente mancanti quelle in grado di devulcanizzare parzialmente il polverino trasformandolo in rigenerato. Questi processi richiedono infatti un consumo energetico e di mano d'opera elevati che renderebbero scarsamente interessante il prodotto finito. La maggior parte delle società che producono rigenerato sono oggi localizzate in Asia. In Europa sono note solo due società che hanno sviluppato il processo di High Pressure Water Jet , brevettandolo ed hanno avviato una linea prototipale: BTRC, società belga e Grenntech Innovation, società italiana. La prima si è focalizzata sul trattamento degli pneumatici di grande dimensione (diametro da 1.4m a 2.0m), la seconda principalmente sugli pneumatici truck (fino a circa 1m di diametro).

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 7

TECNOLOGIE PER LA CONVERSIONE DELLA CO_2 PER RIDURRE I CAMBIAMENTI CLIMATICI E PROMUOVERE LO SVILUPPO SOSTENIBILE

DESCRIZIONE

La riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra, in particolare della CO_2 (anidride carbonica) che ne rappresenta il principale componente, è un impegno sottoscritto formalmente a livello politico in Europa (24 Ottobre 2014) con l'obiettivo di ridurre le emissioni di CO_2 del 40% (rispetto al 1990) nel 2030, come parte della road map approvata dal Parlamento Europea di arrivare nel 2050 ad una riduzione dell'80%.

È necessario uno sforzo integrato che va dall'aumento dell'efficienza e risparmio energetico all'utilizzo più intensivo di sorgenti rinnovabili (perenni) di energia in tutti i settori dell'utilizzo, incluso quello industriale, per raggiungere questi limiti elevati di riduzione delle emissioni. Tuttavia, per lungo tempo la riduzione delle emissioni è stata vista come un fattore limitante lo sviluppo produttivo. Oggi è evidente in Europa che l'attenzione a questi aspetti è invece un fattore vincente per la competitività, poiché permette lo sviluppo innovativo industriale e l'identificazione di nuove soluzioni che abbinano i tre elementi dello sviluppo sostenibile: competitività, protezione dell'ambiente e sviluppo sociale. Infatti, le tecnologie dell'utilizzo della CO_2 sono un elemento portante della strategia industriale presente ad esempio in SPIRE, la piattaforma promossa dall'industria europea di processo per uno sviluppo sostenibile basato sull'utilizzo efficiente delle risorse e dell'energia, che ha un ruolo centrale nel programma Horizon 2020. Per competere, l'industria di processo deve accelerare la capacità d'innovazione, e l'utilizzo della CO_2 rappresenta un elemento importante in questa direzione, se si ha la capacità di superare la visione limitata della CO_2 come un problema od un rifiuto, per considerarla invece come una risorsa ed una opportunità.

Per procedere in questa direzione è necessario riconsiderare l'utilizzo della CO_2 e sviluppare le tecnologie opportune che rendano economico il suo uso, superando i limiti attuali. L'Italia sebbene sia all'avanguardia della ricerca di base in questa direzione, è in forte ritardo nell'introduzione a livello industriale.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

L'introduzione in maniera consistente di queste tecnologie di conversione ed utilizzo della CO_2 è un elemento chiave:

- per una transizione più rapida verso un più elevato utilizzo di energia rinnovabile nel mix energetico;
- per una riduzione della dipendenza da combustibili fossili sia come fonte di energia, sia come materia prima per la produzione chimica;
- per migliorare l'impatto sull'ambiente e rendere più competitivo l'utilizzo di biocombustibili;
- per ampliare le possibilità di utilizzo dell'energia solare.

Infatti, la conversione della CO_2, se realizzata tramite energia rinnovabile, permette di stoccare nella molecola prodotta (ad esempio metanolo) l'energia rinnovabile in forma di energia chimica. Il metanolo è un combustibile liquido, a bassa tossicità, di facile stoccaggio e distribuzione, e di ampio spettro di utilizzo, che va dal settore dei combustibili per il trasporto (sia come additivo diretto, che attraverso la conversione od utilizzo per produrre vari componenti per combustibili), al settore dell'industria di processo (sia per utilizzi come materia prima che come fonte di energia). Come combustibile liquido, il metanolo derivante dalla conversione della CO_2 utilizzando energia rinnovabile, permette l'introduzione efficiente nel sistema energetico attuale di energia rinnovabile remota e non altrimenti utilizzabile.

La conversione della CO_2 a metano è attivamente studiata, specie in Germania, come soluzione per lo stoccaggio dell'eccesso di energia rinnovabile prodotta in momenti di scarso utilizzo, ad esempio durante la notte. La conversione (reversibile) di CO_2 ad acido formico permette il trasporto efficiente di H_2 da sorgenti rinnovabili, estendendo le possibilità di utilizzo dell'idrogeno combustibile pulito. La CO_2, può essere la fonte di carbonio per produrre olefine leggere, una materia prima fondamentale dell'industria chimica. La CO_2 è anche un reagente per produrre polimeri innovativi, quali policarbonati o poliuretani, e sono allo studio processi per produrre altri prodotti chimici ad ampio utilizzo, quale acido acrilico od altri acidi carbossilico.

La conversione della CO_2 permette di trasformare l'energia solare in combustibili e materie prime, e consente di migliorare l'impatto e produttività della produzione di biocombustibili ed altri prodotti derivanti da biomasse. È quindi un fattore che permette lo sviluppo sinergico di quest'ultimo settore.

In tempi più lunghi, la visione è di realizzare foglie artificiali capaci di utilizzare direttamente la CO_2, acqua e luce solare per produrre in maniera distribuita combustibili e prodotti chimici.

La conversione della CO_2 è quindi al punto d'incontro di molti settori di sviluppo industriale per un futuro sostenibile dell'energia e della produzione chimica. Investire in tecnologie per convertire ed utilizzare la CO_2, ed il loro sviluppo dallo stadio della ricerca a quello applicativo, consente di combinare competitività industriale e riduzione significativa delle emissioni di CO_2 e della dipendenza da combustibili fossili, con le relative implicazioni in termini di sicurezza nell'approvvigionamento delle fonti energetiche. È inoltre un fattore critico per ampliare e rendere più economica la transizione ad una economia ed energia sostenibile.

Un fattore limitante verso questa visione è stata l'erronea considerazione di un ridotto possibile impatto di queste tecnologie di conversione sulle emissioni di CO_2. Invece il potenziale impatto di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra è dell'ordine del Gtons di CO_2 equivalente, superiore a quello di altre tecnologie quali la sequestrazione e lo stoccaggio della CO_2 o quello realizzabile attraverso l'utilizzo di biocombustibili, ma ad un costo fino ad in terzo inferiore. Rispetto agli obiettivi identificati in ambito Europeo, queste tecnologie possono contribuire nel 2030:

- per oltre un terzo all'obiettivo di riduzione del 30% nell'utilizzo di combustibili fossili nell'industria chimica e di processo,
- incrementare di un 10-20% l'utilizzo di energia rinnovabile nel mix energetico,
- ridurre di circa 800 ktons di CO_2 eq. le emissioni di gas ad effetto serra ed aumentare nel

contempo la competitività dell'industria di processo, riducendo l'impatto sull'ambiente, con un impatto positivo sulla società, anche in termini di occupazione, stimabili in varie migliaia di posti di lavoro.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Vi sono varie aree di applicazione delle tecnologie di conversione della CO_2 per il suo utilizzo:

- come vettore energetico per importare in Europa energia rinnovabile da sorgenti remote altrimenti non utilizzate,
- come fonte di carbonio per produrre materie prime, intermedi e polimeri per l'industria chimica e di processo,
- come materia prima per produrre combustibili solari che permettono l'integrazione diretta nell'attuale sistema energetico, con utilizzo in particolare nel sistema del trasporto,
- come sistema avanzato per lo stoccaggio in forma di combustibili (facilmente stoccabili e trasportabili) di energia elettrica che non può essere immessa nelle rete (ad esempio energia elettrica da eolico durante la notte),
- come vettore per il trasporto e stoccaggio di H_2, risolvendo quindi uno dei limiti principali attuali nella diffusione dell'utilizzo di H_2 come vettore pulito per l'energia,
- come sistema integrato in bioraffinerie e biofattorie per migliorare sia la produzione e redditività che ridurre l'impatto sull'ambiente.

Alcune di queste aree, quale ad esempio l'utilizzo della CO_2 come vettore energetico, sono in avanzato stato di progresso, sebbene sia necessario lo sviluppo di alcuni aspetti tecnologici e di valutazione più in dettaglio dell'impatto e sviluppo industriale. L'utilizzo della CO_2 come fonte di carbonio è avanzato in alcune aree, quale quella di polimeri contenenti CO_2, mentre richiede ulteriori studi per aree quali la sintesi di olefine leggere da CO_2 o reazioni di carbossilazione con CO_2. Un elemento chiave per molte di queste applicazioni è la riduzione dei costi di produzione dell' H_2 rinnovabile, sia attraverso elettrolisi con energia da fonti rinnovabili, sia attraverso tecnologie di reforming, in particolare in fase liquida, di emissioni acquose industriali contenenti sostanze organiche di scarto. La produzioni di combustibili solari da CO_2 richiede il miglioramento dell'economia dei processi, attraverso un miglioramento delle tecnologie disponibili. L'utilizzo della conversione della CO_2 per il trasporto e stoccaggio di H_2 richiede un passaggio di scala e miglioramento delle tecnologie connesse per essere attuata industrialmente. Infine l'integrazione dell'utilizzo della CO_2 nell'ambito di processi di bioraffineria e biofattorie richiede uno sviluppo tecnologico dei processi.

In Italia, sono presenti studi avanzati su varie di queste possibili linee tecnologiche, mentre il settore industriale è in ritardo rispetto all'Europa nel coglierne il potenziale innovativo. Occorre quindi favorire lo sviluppo di queste tecnologie e la loro implementazione a livello industriale, come via alternativa ed economicamente più efficace rispetto ad altre possibilità. Da osservare a questo riguardo che l'investimento sia in termini d'intensità energetica, di fattore di ritorno che d'impatto sulle emissioni di gas ad effetto serra risulta superiore a soluzioni quali la sequestrazione della CO_2, ma è necessario dimostrare su basi più solide, attraverso metodologie avanzate di valutazione del ciclo di vita e tecniche connesse, queste indicazioni.

Le tecnologie di conversione della CO_2 vanno differenziate in base al tempo necessario per il loro sfruttamento ed implementazione industriale:

A breve termine (entro 5 anni) nel caso di utilizzo come vettore energetico per sfruttare risorse di energia rinnovabili non altrimenti utilizzabili, sia i) eccesso di energia che non può essere immesso in rete per eccesso locale di energia rinnovabile (conversione della CO_2 a metanolo o metano), sia ii) sorgenti remote che non possono essere sfruttate localmente od immesse in rete (conversione della CO_2 a metanolo o dimetiletere); rientra in questa classe anche l'utilizzo della CO_2 come vettore di trasporto di H_2 prodotta in remoto da sorgenti rinnovabili (conversione della CO_2 ad acido formico o metanolo); il supporto delle attività di ricerca e sviluppo può essere stimata dell'ordine di 20 milioni di euro in cinque anni. La fattibilità economica di queste tecnologie dipende tuttavia da alcuni condizioni al contorno, quali l'individuazione chiara a livello normativo nell'indicare questi prodotti della conversione della CO_2 come componenti dei mix per raggiungere i targets fissati di emissioni di gas ad effetto serra, combustibili rinnovabili, energia da fonti rinnovabili, ecc.

Rientra nella classe di applicazioni a breve termine anche l'utilizzo della CO_2 per la produzione di polimeri innovativi, quali policarbonati, poliuretani ecc. Tuttavia, non esiste attualmente in Italia un'industria capace di sfruttare questa tecnologia, ed il loro impatto effettivo sulle emissioni di gas ad effetto serra è limitato.

A medio termine (da 5 a 10 anni) rientrano tutta una serie di tecnologie che richiedono sia uno sviluppo scientifico-tecnologico più intenso, sia lo sviluppo di tecnologie accessorie, ma condizionanti i costi, quali la produzione di H_2 da sorgenti rinnovabili con tecnologie a più basso costo. In questa classe rientra in particolare la produzione di olefine leggere da CO_2, su cui esiste un interesse specifico industriale in Italia, ed altre tecnologie quali la produzione di acidi per carbossilazione, che tuttavia non trovano attualmente specifico interesse industriale in Italia.

A medio termine sono anche una serie di tecnologie ibride di catalisi eterogenea e biocatalisi, per l'utilizzo della CO_2 in bioraffineria, su cui esiste un interesse industriale in Italia. L'utilizzo della CO_2 per la crescita di alghe (micro e macro) rientra in questa classe, ma la sfida tecnologica è nello sviluppo di metodologie innovative a basso costo per la lavorazione di queste alghe, piuttosto che sulle tecnologie di crescita di queste alghe.

A più lungo termine (10-15 anni) rientra lo sviluppo di foglie artificiali e sistemi fotosintetici artificiali capaci di utilizzare la CO_2, acqua e luce solare per sintetizzare combustibili e ad altro prodotti chimici di interesse. In questo caso, sono da sviluppare in maniera preliminare una serie di conoscenze e tecnologie prima di poter arrivare allo sviluppo di prototipi che permettano l'analisi della fattibilità tecnico-economica, ma data la rilevanza di questa tematica per il futuro è necessario sviluppare da ora queste competenze. Risulta tuttavia necessario affrontare questa tematica definendo in una maniera più decisa gli obiettivi da realizzare e le condizioni di operazione, in quanto parte della ricerca risulta troppo distante dalle condizioni necessarie per trasportare su un piano applicativo i risultati, sebbene in una prospettiva a medio-lungo termine.

Nel settore delle applicazioni a medio-lungo termine rientrano anche tecnologie di conversione della CO_2 con solare termico, che presentano ancora forti problematiche tecnologiche per un passaggio di scala e prospettive di ricaduta tecnologica inferiori rispetto al settore delle foglie arti-

ficiali e sistemi di fotosintesi artificiale. A più lungo termine sono invece le tecnologie dirette di conversione fotocatalitica della CO_2, in quanto i risultati attuali sono ancora troppo distanti da una prospettiva di applicazioni ed esistono invece forti elementi indicanti l'impossibilità di una loro applicazione diretta. Tuttavia, lo sviluppo delle conoscenze su questa tematica può portare da una parte allo sviluppo di applicazioni ibride con enzimi, in particolare nella rigenerazione dei cofattori, che allo sviluppo di tecniche di sintesi fotocatalitica applicabili su larga scala.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 8

TECNOLOGIE AMBIENTALI AVANZATE PER IL SETTORE HEAT & POWER

DESCRIZIONE

Saranno trattati, dal punto di vista del settore power, tecnologie innovative per la riduzione consumo e riciclo acqua, abbattimento inquinanti in una logica "zero emission".

La produzione di energia mediante processi di conversione termodinamica comporta in generale, oltre alla cessione in ambiente di calore, l'emissione di inquinanti e il consumo di acqua, quest'ultimo inteso come la quantità di acqua che non viene restituita dal processo industriale ai bacini di prelievo in quanto persa per evaporazione o sottratta fisicamente al ciclo dell'acqua (es. per messa a discarica di fanghi residui).

Per quanto riguarda l'abbattimento degli inquinanti nonostante che nel corso dell'ultimi tre decenni siano state sviluppate, messe a punto e progressivamente perfezionate una serie di tecnologie, il progressivo inseverimento della normativa in conseguenza dell'aumentata sensibilità ambientale, sta imponendo l'implementazione dei processi di trattamento delle emissioni in logica "near-zero emission". Al 2020 i targets EU (Direttiva 2010/75/EU) sui macro inquinanti sono fissati in NOx<90 mg/Nm^3, SOx<20 mg/Nm^3, particolato<1,5 mg/Nm^3 (i.e. l'abbattimento dei gas acidi superiore al 97%, efficienza "six nine" di riduzione del particolato, limiti "one digit" per metalli pesanti con limite più stringente per Hg<0,03 mg/Nm^3). Con riferimento ai diversi inquinanti sono riportate di seguito alcune possibili tipologie di intervento:

Macroinquinanti gassosi (NOx, SOx)

a) miglioramento dell'efficienza di desolforazione e di denitrificazione mediante l'integrazione nel treno di trattamento fumi esistente di nuove soluzioni tecnologiche a basso costo e basso impatto sull'esercizio degli impianti (es. additivazione nel ciclo di desolforazione ad umido, aggiunta di extra layer catalitici nel reattore i denitrificazione);
b) sviluppo e validazione di tecnologie di rimozione combinata (es. filtri a manica catalitici).

Polveri, particolato fine e metalli pesanti

a) con riferimento alla BAT filtri a manica: sviluppo di materiali a maggiore capacità filtrante a parità di perdite di carico e durata, miglioramento delle tecniche e delle procedure di rimozione del pannello, sorbent injection;
b) inserimento della tecnologia WESP (Wet Electrostatic Precipitator) nella tail-end del treno di trattamento fumi.

Per quanto riguarda la gestione delle acque l'obiettivo è lo sviluppo e messa a punto di soluzioni tecnologiche che consentano la riduzione del prelievo dai recipienti e l'utilizzo e/o riciclo delle

acque di bassa qualità. La sistematica ottimizzazione del ciclo dell'acqua può portare a riduzioni anche del 30-40% del consumo con associata riduzione dei consumi energetici ausiliari ed incremento dell'efficienza di processo. Gli interventi possibili riguardano principalmente:

Torri di raffreddamento

La riduzione delle perdite evaporative e per trascinamento può essere ottenuta mediante lo sviluppo di nuovi concepts (es. torri miste secco/umido, tecnologia semi-dry), l'ottimizzazione operativa (es. additivi per l'incremento dei cicli di concentrazione), l'utilizzo di componentistica avanzata (es. riempimenti e demister di nuova concezione);

Ciclo delle acque

Si tratta di migliorare e mettere a punto tecnologie esistenti a diverso grado di sviluppo (es. osmosi inversa, ultrafiltrazione) al fine di consentire il riciclo totale delle acque di processo (Zero Liquid Discharge) e il pre-trattamento di acque di bassa qualità provenienti da bacini altrimenti non utilizzabili.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Il settore dell'energia è in questo momento oggetto di una rivoluzione principalmente sostenuta dall'incremento delle fonti rinnovabili, dalla diffusione della generazione distribuita e del risparmio energetico. In questo scenario ai sistemi di generazione convenzionali è sempre di più richiesta flessibilità in combustibile e in modulazione di carico insieme ad una crescente riduzione dell'impatto ambientale. Il raggiungimento di questi obiettivi non può prescindere dallo sviluppo di tecnologie ambientali più efficienti ed energeticamente meno impattanti. In generale l'innovazione riguarda il miglioramento di tecnologie già disponibili a livello commerciale e pre-commerciale mediante l'introduzione di modifiche spesso marginali ma i cui effetti e affidabilità devono essere provati a livello di pilota o pilota dimostrativo. In molti casi è richiesto lo studio e la messa a punto di nuovi materiali (membrane, supporti filtranti, coatings, catalizzatori), design avanzato della componentistica (es. superfici di scambio ad elevata area specifica) e sviluppo di chemicals (stabilizzanti, complessanti). Si tratta di strutturare progetti finanziati di Ricerca & Innovazione capitanati dai providers delle singole tecnologie facendo leva sulle competenze scientifiche disponibili a livello accademico e degli istituti di ricerca nazionali ed internazionali.

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Molte delle tecnologie oggetto di innovazione fanno parte del know-how tecnologico dei technology providers italiani ed esteri. Particolarmente forte è la presenza italiana nel campo delle tecnologie del trattamento acque e della componentistica di impianto.

TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 9

INNOVAZIONI TECNOLOGICHE PER L'AMBIENTE DA PRODOTTI E PROCESSI DEI MATERIALI POLIMERICI

DESCRIZIONE

La produzione mondiale dei principali chemicals organici è di circa 360 milioni tonn/anno (UNEP-Global Chemical Outlook 2013). La grande maggioranza di questa ha come sbocco la produzione di materiali polimerici costituita da circa 280 milioni di tonn/anno di plastiche (Plastic Europe, 2013) e 29 milioni tonn/anno di elastomeri (International Rubber Study Group, 2014). Circa l'80% del mercato dei polimeri è rappresentato dalle "grandi termoplastiche": polietilene, polipropilene, polivincloruro e polistirene. Proprio in relazione all'area del polistirolo sono stati selezionati alcuni esempi illustrati in questo capitolo .

Il polistirene (così come le altre termoplastiche) non è un singolo materiale ma una famiglia piuttosto articolata in termini di composizioni e proprietà. I principali sottogruppi sono individuati dagli acronimi: PS (PoliStirene omopolimero), HIPS (High Impact PS, polistirene tenacizzato con polibutadiene), SAN (copolimero Stirene-Acrilonitrile), ABS (SAN tenacizzato con polibutadiene), EPS (Expandable PolyStyrene). Questa famiglia di prodotti rappresenta, come volumi produttivi, circa il 10% dei materiali polimerici.

MOTIVAZIONI PER LO SVILUPPO

Le grandi termoplastiche tradizionali sono da tempo considerate materiali "maturi", ovvero consolidati dal punto di vista scientifico, tecnologico e applicativo. Questa visione è tuttavia piuttosto riduttiva e superficiale in quanto esiste ancora una significativa attività di Ricerca e Innovazione volta a migliorare l'efficienza dei processi, le performance dei prodotti e la sostenibilità ambientale complessiva. Nel caso dei polimeri stirenici molti processi di polimerizzazione erano inizialmente realizzati ("in toto" o in parte) tramite sospensione o emulsione acquosa della fase organica (monomeri, solventi, chemicals, ecc.). La transizione verso processi in massa continua (sola fase organica) e chiusi su se stessi è stata ed è tuttora uno dei principali "driver" di innovazione.
Tra gli obiettivi con le ricadute più importanti a livello ambientale possiamo ricordare quanto segue.

Per la parte relativa al processo:

- Riduzione / azzeramento dell'impiego di acqua di processo a contatto con la fase organica (che necessita poi successivi trattamenti depurativi);
- Riduzione delle sostanze organiche negli effluenti gassosi ;
- Riduzione del numero di operazioni unitarie (minor impiego di materiali e infrastrutture nell'asset impiantistico);
- Ottimizzazione delle rese.

A livello invece di prodotto:

- Riduzione dei monomeri non reagiti durante la polimerizzazione e quindi residui nel polimero finale. In questo caso si ha un beneficio come miglioramento prodotto (specie per applicazioni a contatto con alimenti) e riduzione del carico inquinante negli effluenti di processo;
- Eliminazione / sostituzione di additivi che presentano problemi in temini di tossicità e profilo ambientale;
- Miglioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche del prodotto finale per consentire, a parità di prestazioni, un minor quantitativo di materiale utilizzato come ad es. l'utilizzo di spessori ridotti nel caso di film, foglie e lastre (beneficio sia come minor utilizzo di materie prime sia come misura preventiva "a monte" per ridurre la quantità di rifiuti prodotti a fine vita).

STATO DELL'ARTE IN ITALIA E ALL'ESTERO

Da oltre mezzo secolo l'Italia ha un ruolo importante a livello europeo per la produzione di polimeri stirenici, parallelamente al quale si è sviluppato un know-how allineato ai migliori standard internazionali.

Lo sviluppo dei processi in massa continua per sostituire le sospensioni acquose è avvenuto gradualmente nel tempo. Tale transizione si è consolidata negli anni '70 per il PS omopolimero e negli anni '80 per HIPS. Con gli anni'90 si è avviato invece lo sviluppo dei processi in massa continua per SAN e ABS. Per il SAN il processo è da considerarsi sostanzialmente consolidato. Per l'ABS invece sono ancora possibili innovazioni significative: da un lato uno sviluppo della tecnologia volto a ridurre il numero di operazioni unitarie con conseguenti benefici in termini di numero di sezioni di reazione, riduzione dei costi economici ed ecologici sia in fase di realizzazione impianto sia in fase di esercizio (semplificazione della logistica). Parallelamente a ciò è da segnalare lo studio di nuovi percorsi sintetici per sviluppare gradi di ABS con prestazioni superiori alle attuali.

La transizione alla tecnologia in massa continua per l'EPS risale invece agli ulimi anni e, anche se operativa su scala industriale, presenta ancora margini di sviluppo e conseguentemente una rilevante attività di Ricerca e Innovazione

In figura 1 è schematizzato uno dei possibili esempi delle differenze tra un processo batch in sospensione acquosa e l'equivalente in massa continua.

Dal punto di vista ambientale la differenza più rilevante tra i due processi è quella relativa agli effluenti liquidi. Nella massa continua non si ha introduzione di acqua a contatto con la miscela organica di reazione. Nel processo in sospensione invece si può arrivare sino a 3,5 tonn di acqua per 1 tonn di prodotto. Tali acque di processo necessitano poi di specifici trattamenti (es. depurazione biologica) contenendo quantità significative di monomeri, agenti surfattanti, sottoprodotti di reazione, ecc..

Un beneficio significativo si ha anche nelle rese quantitative del processo che possono migliorare sino del 2% non subendo perdita di materia nella fase acquosa.

Poiché la massa continua si avvicina quasi idealmente al modello ambientale del ciclo chiuso, essa presenta un miglioramento sensibile anche per gli aspetti relativi alle emissioni degli effluenti gassosi.

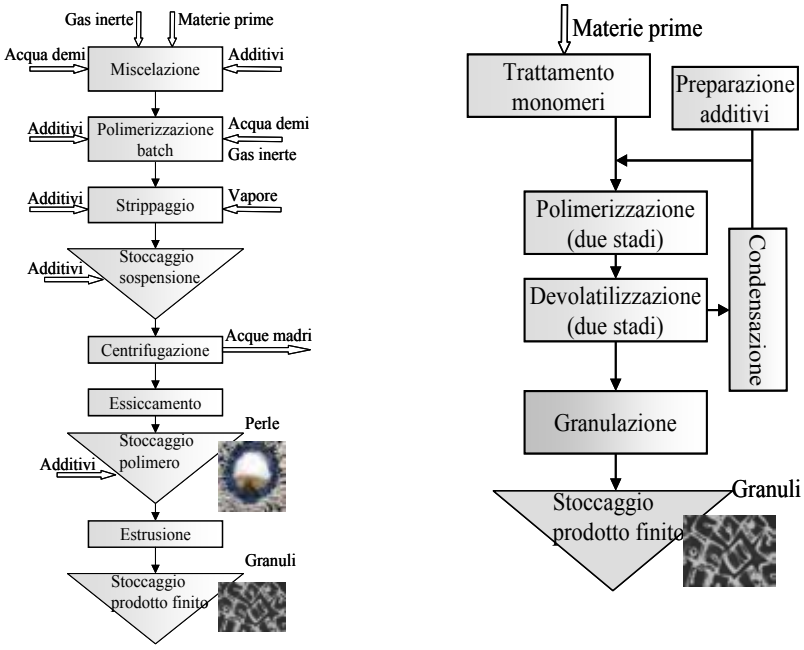


FIG. 136 CONFRONTO SCHEMATICO TRA UN PROCESSO BATCH IN SOSPENSIONE ACQUOSA (SINISTRA) E UNO IN MASSA CONTINUA (DESTRA)

Nella sospensione infatti è necessaria l'apertura periodica dei cicli (2-3 volte / giorno) per le operazioni di carico reagenti e scarico dei prodotti. Questo comporta la presenza di un numero elevato di punti di sfiato (a seconda dei processi-prodotti possono essere tra 10 e 20) e di significative quantità di prodotto organico emesse dagli stessi. Nel caso della massa continua tali quantità sono ridotte al minimo e di facile collettamento e trattamento in una unica emissione collegata al forno ossidatore di processo.

I processi in massa continua inoltre permettono quasi sempre anche una maggiore flessibilità nei percorsi sintetici da seguire e, di conseguenza, una maggiore flessibilità nelle caratteristiche compositive e prestazionali del prodotto.
Da questo punto di vista un risultato consolidato è il drastico abbattimento di un ordine di grandezza dei monomeri residui che rende questi prodotti molto più idonei per applicazioni sensibili come quelle che prevedono il contatto alimentare oppure quelle del settore biomedicale.
Altri risultati, in parte consolidati e tuttora in fase di sviluppo, sono legati al miglioramento delle prestazioni fisico-meccaniche del materiale come lo snervamento e la frattura oppure la resistenza all'ESCR (Environmental Stress Cracking Resistance). Questo aspetto ha significative ricadute positive come eco bilancio complessivo in quanto, per una data applicazione finale, consente la riduzione degli spessori utilizzati. Si ha così un duplice vantaggio in termini sia di un risparmio

netto di materiale utilizzato durante il ciclo di vita del prodotto sia una minore quantità di rifiuti da gestire a fine vita del prodotto stesso. Come accennato questo tipo di sviluppo è continuativo nel tempo e, per varie applicazioni, ha consentito la progressiva riduzione del materiale utilizzato sino a percentuali comprese tra il 10% e il 30%.

Infine va ricordato che per molte applicazioni dei polimeri, oltre al materiale base, riveste una grande importanza anche il pacchetto di additivi spesso indispensabile per ottenere le proprietà finali desiderate. Anche su questo versante è necessaria una attività di Ricerca e Innovazione di tipo continuativo che di frequente ha importanti ricadute sul profilo complessivo di sostenibilità. Numerosi potrebbero essere i casi significativi in questa direzione.

A titolo di esempio si possono ricordare le attività per la messa a punto di formulazioni dei polimeri espansi per l'edilizia con l'obiettivo di migliorare le loro proprietà di isolamento termico e conseguente riduzione dei consumi energetici.

Un altro esempio che merita di essere segnalato è quello della eliminazione – sostituzione di additivi che presentano criticità dal punto di vista ambientale e tossicologico. Un caso significativo è quello dell'EBCD (EsaBromoCicloDodecano) da anni utilizzato, in particolare nei polimeri stirenici, per dare loro migliorate caratteristiche di ritardo alla fiamma e autoestinguenza. Per tale additivo, a livello comunitario, è in corso il "phase-out" in quanto è stato riconosciuto come PBT (Persistent-Bioaccumulative-Toxic) per vari ecosistemi. L'attività di innovazione in corso è rivolta alla ricerca di alternative che garantiscano le stesse prestazioni del materiale e, al tempo stesso, diano migliori garanzie di sostenibilità ambientale.

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore 10 – Ambiente

Syndial	Manuel Marangon (Coordinatore)
	Luciano Zaninetta
Univ. degli studi di Roma Tor Vergata	Renato Baciocchi
INSTM	Gabriele Centi
Pirelli	Paola Carancino
CNR	Enrico Brugnoli
	Vito Felice Uricchio
ENEA	Danilo Fontana
ENEL	Valerio Cinti
	Stefano Malloggi
Versalis	Paolo Lomellini
	Francesco Menconi

Dal 1994 CETMA, Centro di Ricerca e Tecnologia di Brindisi, svolge attività di ricerca applicata, sviluppo sperimentale, trasferimento tecnologico nell'ambito dei materiali avanzati (compositi, polimeri, materiali biobased e da riciclo), dell'ICT (sviluppo di software specialistici per applicazioni innovative nell'ingegneria, nella produzione e nei servizi) e dello sviluppo di prodotto.

Attraverso l'esecuzione di progetti di ricerca, il CETMA genera nuova conoscenza ed arricchisce le competenze e le abilità del proprio personale, favorendo in questo modo la crescita e il consolidamento sul territorio di un capitale umano altamente qualificato. Le conoscenze generate con i progetti di ricerca e le competenze acquisite dal personale sono utilizzate per erogare servizi avanzati e ricerca a contratto ad aziende ed istituzioni per soddisfare le loro esigenze e rispondere a loro necessità. In altri termini, con il suo modo di operare, il CETMA implementa un concreto trasferimento tecnologico, in quanto le conoscenze prodotte dai suoi tecnologi e ricercatori sono impiegate per risolvere problematiche di innovazione dei suoi clienti.

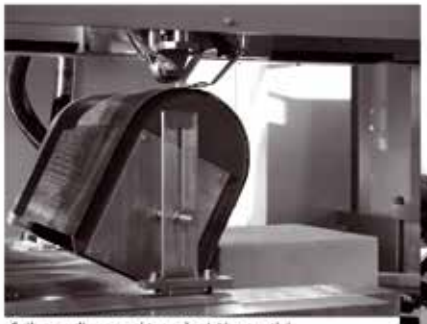
In questo il CETMA crede ed investe ogni giorno.



Sistema di telemonitoraggio dei pazienti a domicilio



Panchina per ambienti urbani in pietre naturali pugliesi





Sviluppo di processi tecnologici innovativi
Saldatura di materiali compositi

Santa Maria di Cerrate
Realtà Aumentata per la valorizzazione
e la fruizione dei Beni Culturali





Simulazione fluidodinamica di una turbina eolica innovativa



Realtà Virtuale
Sviluppo software per la progettazzione immersiva



ASSOCIAZIONE
ITALIANA
PER LA RICERCA
INDUSTRIALE

SOCI AIRI

- A.P.E. RESEARCH
- ALENIA AERMACCHI
- ASSING
- BANCA DEL MEZZOGIORNO - MCC
- BIOCHEMTEX
- BIRD & BIRD STUDIO LEGALE
- BRACCO *
- BRACCO IMAGING
- BREMBO
- CENTRO CERAMICO BOLOGNA
- CENTRO RICERCHE CAMOZZI
- CENTRO RICERCHE FIAT
- CETENA
- CHILAB
- CIRA
- CNR *
- COLOROBBIA
- CONFINDUSTRIA
- CONSORZIO CETMA
- CONSORZIO INSTM
- COSBERG
- CSM
- CTG - ITALCEMENTI GROUP
- DHITECH
- DIASORIN
- DOMPE'
- E.M.A.
- ECOLOGIA APPLICATA
- EDISON
- EIDON-LAB
- EIE - EUROPEAN INDUSTRIAL ENGINEERING
- ELETTRA - SINCROTRONE TRIESTE
- ELETTRONICA SANTERNO
- ENEA
- ENEL INGEGNERIA E RICERCA
- ENI *
- ERICSSON TELECOMUNICAZIONI
- FARMINDUSTRIA
- FEDERCHIMICA
- FINCANTIERI
- FONDAZIONE BRUNO KESSLER
- GEWISS
- GIBERTINI ELETTRONICA
- GUALA DISPENSING
- INAIL
- INDUSTRIE DE NORA
- INGENIA & PARTNERS
- INNOVHUB - STAZIONI SPERIMENTALI PER L'INDUSTRIA
- IVECO
- ISAGRO
- JABIL CIRCUIT
- KLOPMAN INTERNATIONAL
- KME ITALY
- LABORATORI ARCHA
- LFOUNDRY
- MAPEI *
- MEDIOCREDITO ITALIANO
- MICRON SEMICONDUCTOR ITALIA
- NOVAMONT
- KILOMETRO ROSSO
- PIRELLI *
- PIRELLI TYRE
- PLASTICA ALFA
- PROPLAST
- RETE VENTURES
- RIVOIRA
- SAES GETTERS
- SAIPEM
- SCUOLA SUPERIORE SANT'ANNA
- SIPA
- SMILAB
- SORIN GROUP
- STMICROELECTRONICS
- STUDIO TRIBUTARIO E SOCIETARIO DELOITTE
- SYNDIAL
- TECNOMARE
- TETHIS
- THALES ALENIA SPACE
- TOR VERGATA
- TRE TOZZI RENEWABLE ENERGY
- VENETO NANOTECH
- VERSALIS
- VINAVIL
- WARRANT GROUP

* Soci Sostenitori

Attività associative

AIRI fornisce agli associati occasioni di incontro, scambio di esperienze e informazioni sui più attuali temi tecnologici e gestionali della Ricerca & Sviluppo. Tramite Gruppi di lavoro partecipati attivamente dai Soci, AIRI elabora studi ed analisi in materia di politiche nazionali della ricerca e dell'innovazione. Inoltre sviluppa ampie relazioni internazionali, anche tramite l'adesione ad organizzazioni non profit operanti nell'Unione Europea e la partecipazione a progetti europei di R&S o di supporto alla ricerca.

AIRI / Nanotec IT

Nel 2003 AIRI ha costituito al proprio interno il Centro Italiano per le Nanotecnologie con lo scopo di promuovere in Italia le nanotecnologie, favorendo le sinergie tra ricerca privata e pubblica. A partire dal 2014, al fine di rendere ancora più efficace la sua azione in relazione all'evoluzione delle scenario tecnologico di riferimento, Nanotec IT si costituisce in Comitato Permanente di Studio per lo Sviluppo delle Nanotecnologie e delle altre Tecnologie Abilitanti (Key Enabling Technologies).

Informazione e documentazione

Notizie AIRI Informazione e aggiornamento sui principali temi della R&S industriale.
R&S Dati Statistici Raggruppa i principali dati di input e output della R&S in l'Italia e all'estero.
Tecnologie prioritarie per l'industria Approfondisce le innovazioni tecnologiche del prossimo futuro sulle quali puntano le industrie italiane, operanti in alcuni specifici settori.
Censimento delle nanotecnologie in Italia Censimento dei Laboratori e dei Centri di ricerca pubblici e privati attivi nel settore con relative schede di approfondimento.

Principali eventi istituzionali

Giornata AIRI per l'Innovazione Industriale che verte su aspetti innovativi dell'industria e affronta temi trasversali di interesse per i settori di punta della R&S industriale.
Premio Oscar Masi riservato ai Soci che hanno generato e brevettato processi e prodotti di rilevanza per il mercato nel settore identificato nel bando annuale.
NanotechItaly, conferenza internazionale annuale su vari aspetti delle Nanotecnologie (www.nanotechitaly.it).
Inoltre, AIRI organizza seminari tematici riservati agli associati su aspetti tecnici, normativi e gestionali degli strumenti di promozione, formazione e finanziamento della R&S, oltre che eventi nazionali ed internazionali su aspetti relativi alle politiche della ricerca, gestione della R&S e tecnologie innovative.
Altre informazioni su eventi, iniziative, gruppi di lavoro, ulteriori rapporti e studi, e su come aderire all'associazione, sono disponibili ai siti:

www.airi.it
www.nanotec.it

"Le innovazioni del prossimo futuro: tecnologie prioritarie per l'industria" - IX Edizione, 2016, analizza 115 tecnologie sulle quali le aziende italiane stanno investendo e che, se sviluppate con successo, saranno in grado di innovare non solo i settori in cui sono state sviluppate, ma di interessare anche altri settori e in genere lo sviluppo economico del Paese.

Alla realizzazione del rapporto hanno collaborato duecento ricercatori dei più importanti gruppi industriali ed enti pubblici di ricerca italiani, soci di AIRI – Associazione italiana per la ricerca industriale.

Complessivamente i settori presi in esame sono 10: Informatica e telecomunicazioni, Microelettronica e semiconduttori, Energia, Chimica, Farmaceutica e biotecnologie, Trasporto su strada, ferro e marittimo, Aeronautica, Spazio, Beni Strumentali, Ambiente. Inoltre, in un'ottica trasversale, si esamina il potenziale impatto delle KET's - Key Enabling Technologies (Biotecnologie industriali, Nuovi materiali, Fotonica, Nanotecnologie, Micro e nano elettronica, Sistemi avanzati di produzione) nei vari settori industriali presi in considerazione.

Per ogni settore, oltre al quadro generale che lo caratterizza (imprese, mercato, occupazione, tendenze e criticità, investimenti in R&S) sono state realizzate delle schede che descrivono le singole tecnologie sulle quali le aziende italiane intendono concentrare risorse economiche ed intellettuali nel breve-medio periodo. Lo studio è stato coordinato da AIRI che già da molti anni effettua questo tipo di analisi delle tecnologie d'interesse per lo sviluppo dell'industria nazionale e la aggiorna periodicamente.

Oltre ad essere uno strumento di lavoro e approfondimento per le imprese, il rapporto può essere utile per i ricercatori, per gli economisti, nonché Università, Enti di ricerca, Pubbliche amministrazioni, che possono così approfondire in quali direzioni si svilupperanno le principali linee tecnologiche industriali nel prossimo futuro.

www.airi.it | www.nanotec.it

ISBN 978-88-9893-507-9

9 788898 935079

Euro 70,00