AIRI - ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE

LE INNOVAZIONI DEL PROSSIMO FUTURO

TECNOLOGIE PRIORITARIE PER L'INDUSTRIA

IX edizione - 2016



SETTORE SPAZIO

ThalesAlenia Space
A Thales / Finmeccanica Company



Airi
ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 1 12/02/16 13:18

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 2 12/02/16 13:18

>LE INNOVAZIONI DEL PROSSIMO FUTURO<

TECNOLOGIE PRIORITARIE PER L'INDUSTRIA
IX edizione – 2016

SPAZIO

AIRI – Associazione Italiana per la Ricerca Industriale

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 3 12/02/16 13:18

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

Spazio

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 **7**

Settore >Spazio< **14**

1. Tecnologie per missioni gravimetriche **29**
2. Tecnologie per l'esplorazione solare **32**
3. Strutture avanzate ultraleggere e adattive **35**
4. Tecnologie robotiche per l'esplorazione planetaria **40**
5. Tecnologie per il rientro atmosferico e per l'esplorazione **44**
6. Sistemi avanzati per integrazione, rifornimento, trasporto e rimozione satelliti/detriti in orbita **51**
7. Tecnologie e applicazioni per la sicurezza nello spazio **55**
8. Tecnologie per antenne a bordo di satelliti **67**
9. Tecnologie di miniaturizzazione equipaggiamenti per microsatelliti, payload compatti e relative applicazioni di emergenza **71**
10. Tecnologie per radar da osservazione della terra **79**
11. Sistemi digitali a banda larga e trasmissione dati a terra ad altissima velocità nelle bande ka e x **85**
12. Orologi atomici spaziali **89**
13. Tecnologie per la propulsione spaziale **91**
14. Sviluppo nuovi propellenti solidi avanzati **98**
15. Sistemi di separazione stadi e controllo spinta **101**
16. Sistemi di lancio orbitale **104**
17. Serbatoi e strutture di nuova generazione per lanciatori e veicoli spaziali **108**
18. Additive manufacturing **117**
19. Tecnologie spaziali di telecomunicazione per colmare il divario digitale **121**
20. Gnss based applications **124**

Gruppo di lavoro **129**

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 6 12/02/16 13:18

Premessa

Il presente rapporto illustra le tecnologie prioritarie per l'industria analizzate da AIRI nel settore Spazio, ed è parte dell'opera complessiva delle «Innovazioni del prossimo futuro – Tecnologie prioritarie per l'Industria». 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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 7 12/02/16 13:18

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-

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 8 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 9 12/02/16 13:18

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-

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 11 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 12 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 13 12/02/16 13:18

SETTORE

>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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 17 12/02/16 13:18

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).

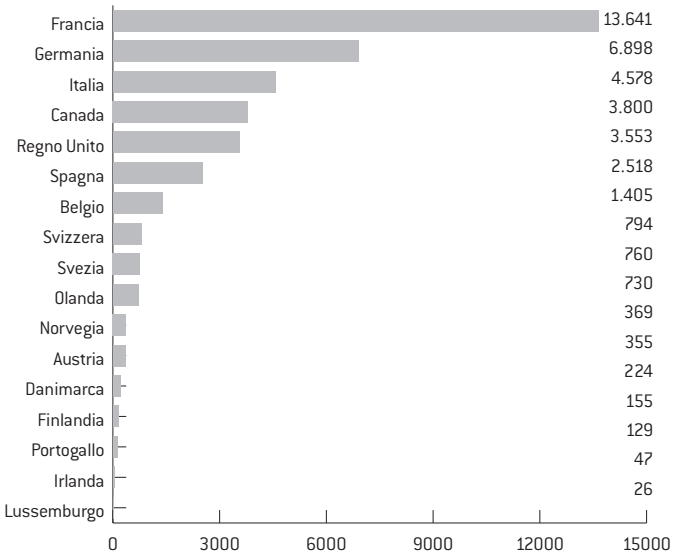


FIG. 117 – SPAZIO: OCCUPAZIONE NELL'INDUSTRIA DAGLI STATI MEMBRI DELL'ESA (F.T.E) NEL 2013 (FONTE: DATA EXTRACTED FROM EUROSPACE 2014, OECD 2014, NATIONAL REPORTS)

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.

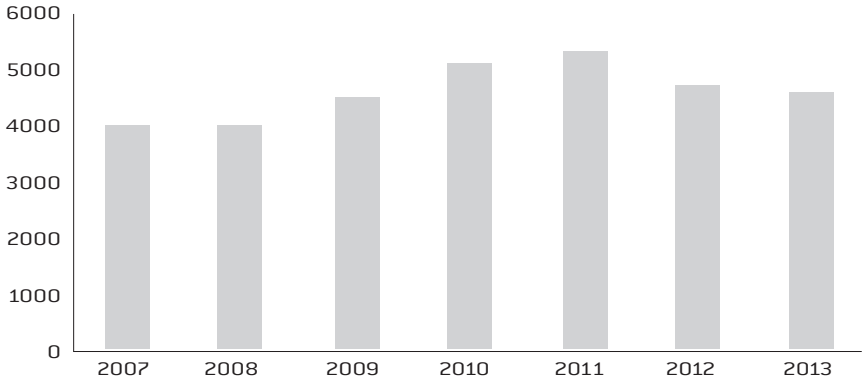


FIG. 118 – SPAZIO: OCCUPAZIONE MANIFATTURIERA IN ITALIA, 2007-13 - NUMERO DI EQUIVALENTI A TEMPO PIENO (FONTE: EUROSPACE, 2014)

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 25 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 28 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 30 12/02/16 13:18

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)

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 31 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 33 12/02/16 13:18

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).

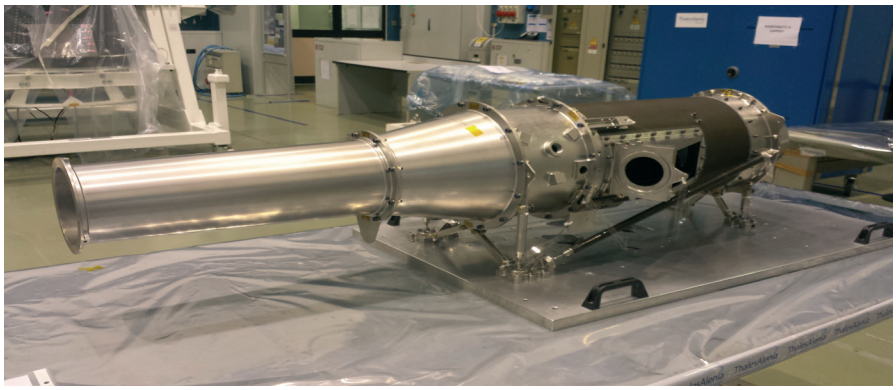


FIG. 119: LA STRUTTURA DEL CORONOGRAFO METIS, PROGETTATA DA THALES ALENIA SPACE ITALIA, È REALIZZATA IN MATERIALI COMPOSITI E TITANIO PER GARANTIRE LA DOVUTA STABILITÀ E RESISTENZA ALLE ALTE TEMPERATURE.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 34 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 35 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 37 12/02/16 13:18

(Δ/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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 39 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 41 12/02/16 13:18

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.

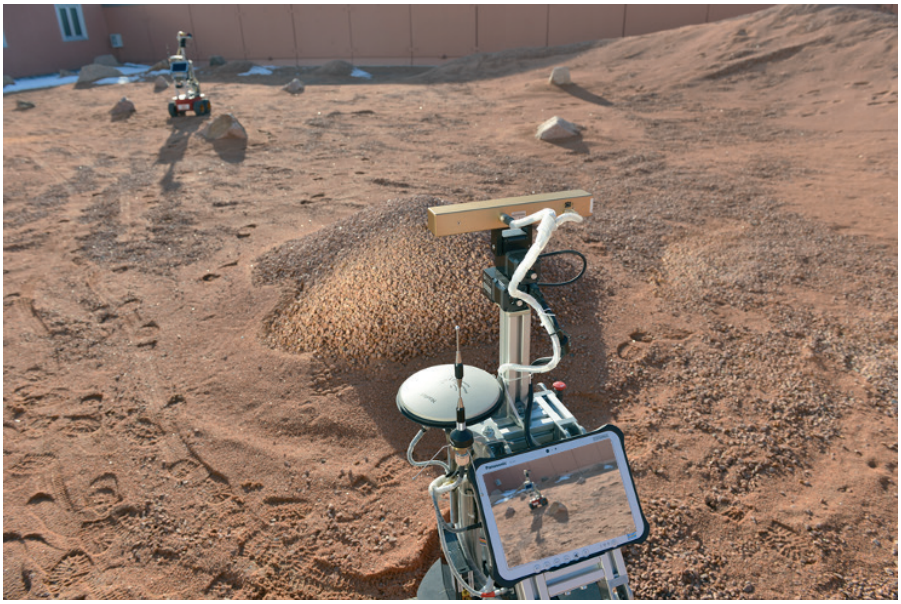


FIG. 120 – FASE DI VERIFICA DELLE TECNOLOGIE DI ESPLORAZIONE PLANETARIA
(Courtesy of Thales Alenia Space Italia)

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 43 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 44 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 45 12/02/16 13:18

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).

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 47 12/02/16 13:18



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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 49 12/02/16 13:18

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).

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 50 12/02/16 13:18

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-

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 51 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 53 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 54 12/02/16 13:18

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-

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 55 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 56 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 57 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 58 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 59 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 63 12/02/16 13:18

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).

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 64 12/02/16 13:18

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-

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 65 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 67 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 70 12/02/16 13:18

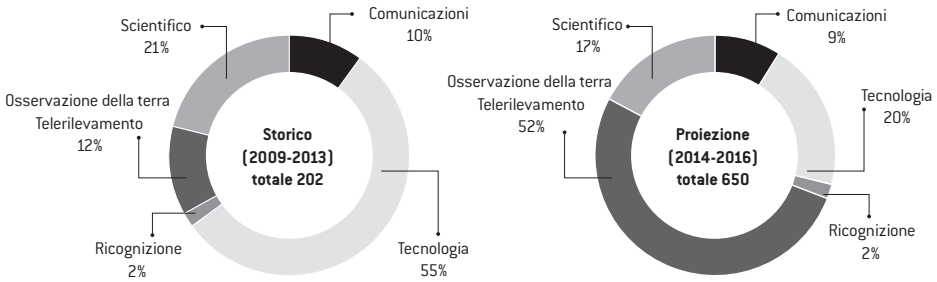
TECNOLOGIA PRIORITARIA N. 9

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 73 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 75 12/02/16 13:18

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**

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 77 12/02/16 13:18

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".

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 78 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 79 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 81 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 82 12/02/16 13:18

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).

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 84 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 85 12/02/16 13:18

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);

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 87 12/02/16 13:18

- 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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 88 12/02/16 13:18

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-

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 89 12/02/16 13:18

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).

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 90 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 91 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 92 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 93 12/02/16 13:18

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,

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 95 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 97 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 98 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 101 12/02/16 13:18

- 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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 102 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 103 12/02/16 13:18

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)

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 104 12/02/16 13:18

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.

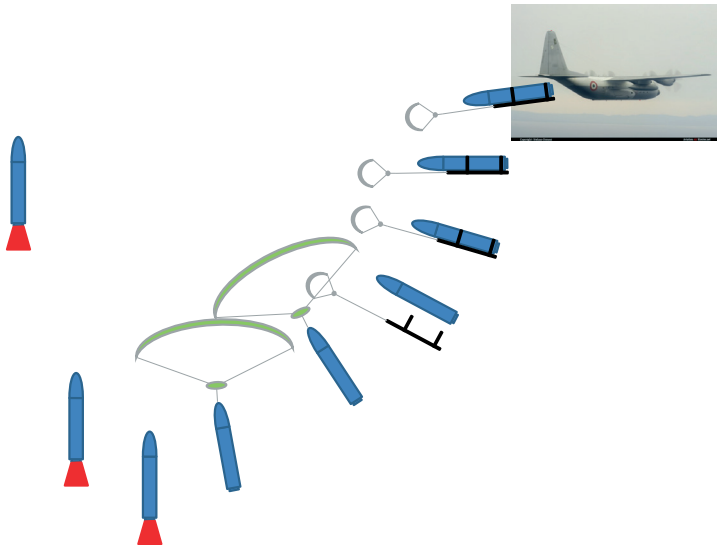


FIG. 123 – MISSIONE TIPICA DI LANCIO TRAMITE VELIVOLO CARGO

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 107 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 109 12/02/16 13:18

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

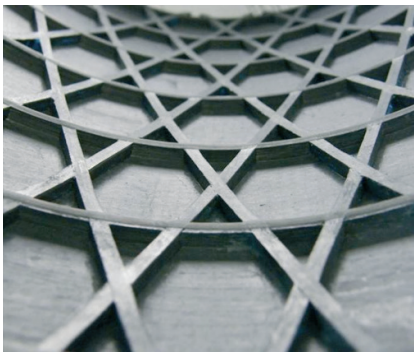


FIGURA 124 – ESEMPIO DI STRUTTURA "ANISOGRID" A CELLE ESAGONALI IN FIBRA DI CARBONIO

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 112 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 115 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 116 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 117 12/02/16 13:18

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

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 119 12/02/16 13:18

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-

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 121 12/02/16 13:18

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 123 12/02/16 13:18

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, ℰ), 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:

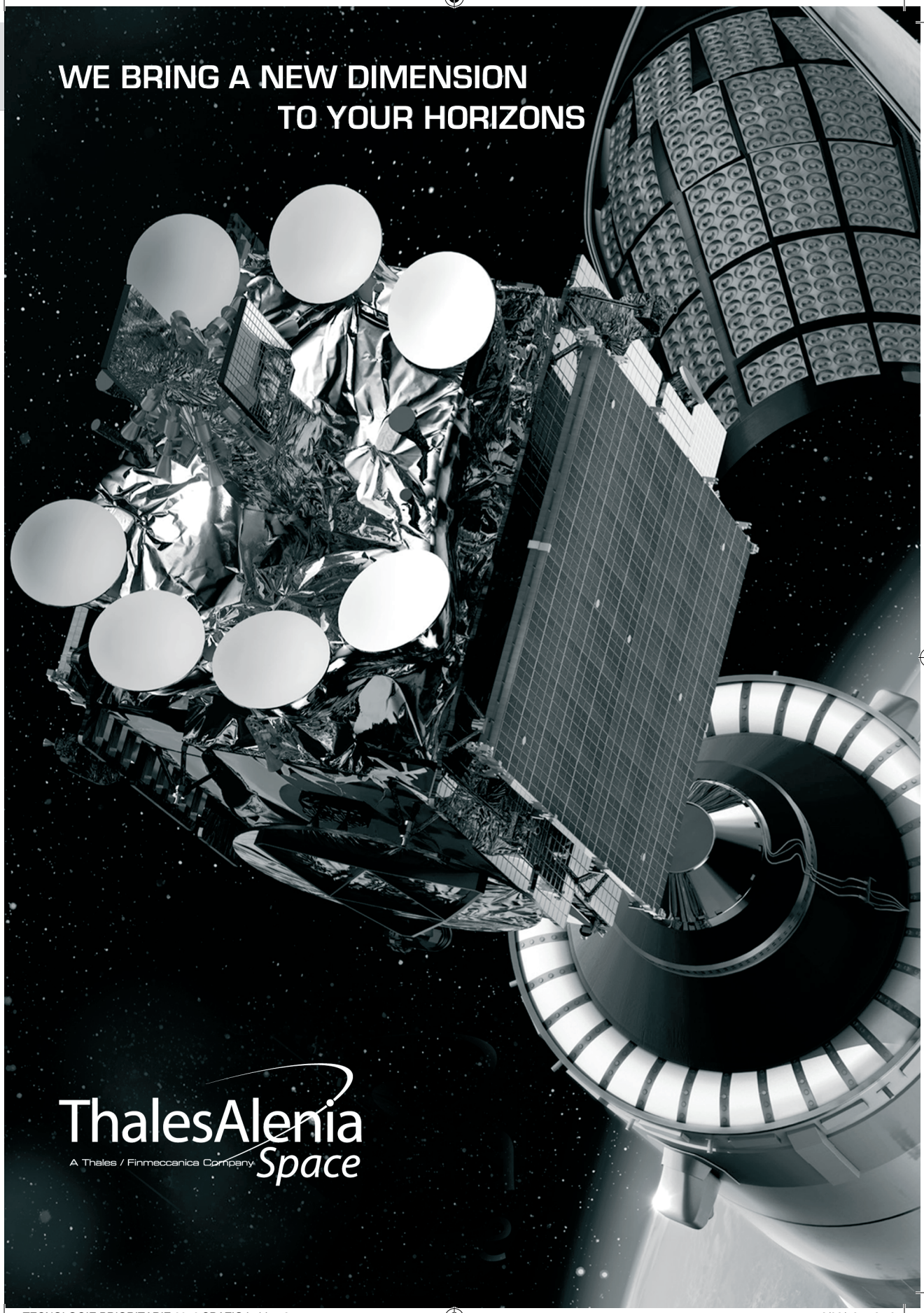
- definizione degli standard per ricevitori GNSS avionici multicostellazione/ multifrequenza;
- definizione degli standard di nuova generazione per l'utilizzo di tecnologie GBAS multicostel-

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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 126 12/02/16 13:18


WE BRING A NEW DIMENSION
TO YOUR HORIZONS
ThalesAlenia
A Thales / Finmeccanica Company
Space

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 128 12/02/16 13:18

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

Settore – 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.

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 129 12/02/16 13:18

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 130 12/02/16 13:18

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 SOsocietario DELOITTE
- SYNDIAL
- TECNOMARE
- TETHIS
- THALES ALENIA SPACE
- TOR VERGATA
- TRE TOZZI RENEWABLE ENERGY
- VENETO NANOTECH
- VERSALIS
- VINAVIL
- WARRANT GROUP

* Soci Sostenitori

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 131 12/02/16 13:18

TECNOLOGIE PRIORITARIE 2016 SPAZIO.indd 132 12/02/16 13:18