AIRI - ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE

LE INNOVAZIONI DEL PROSSIMO FUTURO

XI EDIZIONE 2025

TECNOLOGIE DIGITALI





Airi
ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE
50 1974-2024

AGRA

AIRI - ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE

Airi – Associazione Italiana per la Ricerca Industriale, rappresenta da 50 anni un punto di riferimento per il sistema italiano della ricerca industriale.

Dal 1974 opera come associazione senza scopo di lucro con l'obiettivo di sostenere la ricerca, l'innovazione, lo sviluppo tecnologico e il relativo trasferimento di conoscenze e promuove un'innovazione che contemperi il valore economico, il valore ambientale e quello sociale.

Rappresenta e supporta un'ampia rete di soci tra Industrie, PMI, Enti di ricerca pubblici, Università, Organismi di ricerca e Società di consulenza, permettendo lo scambio di esperienze e di buone prassi nella ricerca industriale.

Questa significativa rappresentatività fa di Airi opinion leader e interlocutore autorevole per gli orientamenti tecnologici nelle politiche della ricerca, per l'adeguata gestione e attuazione del sostegno pubblico, e più in generale per la più ampia diffusione della cultura della ricerca industriale italiana.

www.airi.it

LE INNOVAZIONI DEL PROSSIMO FUTURO

XI EDIZIONE

UNA PUBBLICAZIONE DEL GRUPPO DI LAVORO AIRI TECNOLOGIE PRIORITARIE

TECNOLOGIE DIGITALI

PARTE 1: PROFILO DI SETTORE
PARTE 2: SCENARI TECNOLOGICI

AIRI - ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE

LE INNOVAZIONI DEL PROSSIMO FUTURO
XI edizione Settore: Microelettronica e Semiconduttori

ISBN 978-88-98935-64-2
copyright © 2025 Airi
Associazione Italiana per la Ricerca Industriale
viale Aventino, 102 00153 Roma tel +39 068848831 e-mail info@airi.it www.airi.it

finito di stampare
nel mese di gennaio 2025
Realizzazione editoriale
Airi
progetto grafico
Goodlab srl

Edizioni:
Agra Editrice srl, Roma (www.agraeditrice.it)

Disponibile in versione online su
www.airi.it

Attribuzione-Non Commerciale-Non Opere Derivate 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

indice - profilo di settore

PREFAZIONE 9

INTRODUZIONE 10

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO 15

TECNOLOGIE DIGITALI – PROFILO DI SETTORE 19

Il settore digitale 19

Il mercato: ripresa e resilienza 21

L'impatto socioeconomico: competitività e transizione green 23

LA SFIDA DELLE COMPETENZE 26

CURVATURA DIGITALE – LE COMPETENZE DIGITALI PER I SETTORI TRADIZIONALI 28

Raccomandazioni per le filiere produttive nazionali e regionali 29

Paradigmi e Scenari futuri: Digital Twin, web3.0 e Metaverso, Cognitive Cities 30

DIGITAL TWIN E APPLICAZIONI URBANE 31

WEB 3.0 E METAVERSO 35

COGNITIVE CITIES 39

Gli scenari tecnologici 45

indice - scenari tecnologici

1 - CALCOLO AD ALTE PRESTAZIONI (HPC) 59

2 - INTELLIGENZA ARTIFICIALE, MACHINE LEARNING, DEEP, EXPLAINABLE AI 71

3 - BIG DATA 89

4 - ULTRA-WIDE BAND, 5G, 6G 99

5 - CLOUD E EDGE COMPUTING 109

6 - BLOCKCHAIN 119

7 - REALTÀ AUMENTATA E REALTÀ VIRTUALE 131

8 - INTERNET OF THINGS 141

9 - CYBER SECURITY 153

Prefazione

Da oltre 25 anni, Airi coinvolge manager e ricercatori provenienti da alcune delle principali imprese, centri di ricerca e università Italiane per discutere su quali siano le tecnologie ad alto impatto socioeconomico destinate a trasformare il sistema paese.

Giunto alla XI edizione, il lavoro Airi "Le Innovazioni del Prossimo Futuro" è uno studio di *technology assessment* e *foresight* unico a livello nazionale: un quadro aggiornato degli scenari tecnologici che contribuiranno, nel breve-medio periodo e in maniera trasversale e abilitante, all'innovazione nei principali settori produttivi nazionali.
Dieci settori e 130 scenari tecnologici che fotografano la ricerca industriale italiana, che da sempre ha una significativa vocazione all'esportazione della propria tecnologia nel mondo.
Il presente volume mono grafico è dedicato al settore delle tecnologie digitali, all'inizio del 2025 sarà pubblicato il volume complessivo.

La tecnologia è oggi un fattore determinante per la competitività del sistema paese. L'impegno continuo in Ricerca e Innovazione aiuta le imprese ad adattarsi alle rapide dinamiche del contesto socioeconomico.
Lo studio si propone come una guida per i *decision-maker* di istituzioni, industrie, investitori per anticipare e comprendere quale sarà il nostro futuro tecnologico e gli impatti più significativi attesi su tutta la nostra società.
Molte le tecnologie ad alto impatto identificate nel tempo dalla analisi Airi. Si ricordano ad esempio Internet of Things e Intelligenza Artificiale, già presenti nella edizione 2012 e poi diventate sempre più significative in termini di applicazioni e impatti nelle successive analisi (2016, 2020) e con un ruolo determinante in diversi dei settori della presente edizione.

Le scelte di oggi determineranno la posizione del sistema paese nelle diverse catene del valore globali per i prossimi anni (leader o follower). L'obiettivo è stimolare una riflessione puntuale sulle priorità, le risorse, gli strumenti più opportuni per promuovere uno sviluppo sostenibile a livello sociale, ambientale ed economico. Per un futuro tecnologico significativo è necessario lavorare insieme - istituzioni, imprese e ricerca pubblica – per comprendere e condividere gli asset e le risorse su cui investire.

In conclusione, vorrei fare un sentito ringraziamento ai coordinatori di settore, ai numerosi esperti, ai soci e non soci, ed allo staff Airi, che hanno messo a disposizione il loro tempo e le loro competenze. Senza di loro, la loro apertura e le loro intuizioni non sarebbe stato possibile realizzare questo studio.

Andrea Bairati, Presidente Airi

Introduzione

Il Rapporto «Le Innovazioni del prossimo futuro», giunto all'undicesima edizione, riporta a cadenza regolare dal 1995 le previsioni tecnologiche che Airi elabora grazie al contributo delle imprese, degli enti di ricerca, delle istituzioni finanziare associati, in collaborazione con qualificati partner pubblici e privati. È uno studio di *technology assessment* e di f*oresight* che svolge un'analisi di tecnologie e famiglie di tecnologie ad alto impatto socioeconomico su dieci settori produttivi di rilievo per l'economia nazionale. L'analisi di tipo verticale (per settore) viene poi integrata da una valutazione complessiva (orizzontale) delle sinergie, convergenze e trasversalità delle tecnologie selezionate lungo tutti i settori produttivi.

Come nella precedente edizione, pur mantenendo la tradizionale impostazione per settori produttivi, abbiamo diviso il rapporto in due parti: nella prima analizziamo la posizione della ricerca industriale italiana rispetto alla competitività globale e la relazione tra sviluppo tecnologico e sostenibilità; nella seconda illustriamo le azioni e gli investimenti che il nostro sistema industriale sta definendo, anche in collaborazione con gli attori più significativi della ricerca pubblica.

I settori che analizziamo in questa edizione sono dieci: Ambiente e transizione circolare, Costruzioni, Chimica e Materiali, Energia, Farmaceutica, Meccatronica, Microelettronica e semiconduttori, Tecnologie Digitali, Trasporti e Mobilita, Spazio.

Per ogni settore, sono riportati il quadro o profilo generale che lo caratterizza (imprese, mercato, occupazione, tendenze e criticità, impatti socioeconomici, investimenti in R&S) e gli scenari tecnologici (descrizione, motivazioni per lo sviluppo, stato dell'arte, risorse economiche necessarie) sui quali il sistema della ricerca industriale italiana intende concentrare risorse economiche e intellettuali nel breve-medio periodo.

La definizione di tecnologie prioritarie

Le tecnologie prioritarie sono definite come tecnologie ad alto impatto socioeconomico per il tessuto imprenditoriale e l'economia nazionale. Sono tecnologie abilitanti e sistemiche su catene del valore legate a uno o più settori produttivi, caratterizzate da un rilevante impatto rispetto a una o più delle seguenti dimensioni: industriale (investimenti, capacità abilitante), politico ed economico (es. competitività,

lavoro, politiche di investimento), sostenibilità etico, sociale e ambientale, implicazioni legali (es. necessità o capacità di rispondere a sfide e driver normativi).

I criteri di selezione

Abbiamo individuato oltre 130 tecnologie su dieci settori produttivi analizzati , quasi sempre presentate e raggruppate in scenari tecnologici che fungono da famiglia di riferimento o cluster, attraverso i seguenti criteri:

- Impatto politico ed economico
- Impatto industriale
- Innovatività e time to market
- Impatto etico, legale, sociale e ambientale

Il nostro obiettivo è stato di identificare tecnologie e famiglie di tecnologie con un carattere abilitante per una o più catene del valore e sistemi dell'innovazione. L'orizzonte applicativo o di lancio della ricerca che mette a punto la tecnologia è nel breve medio termine (indicativamente 1 -3 anni, anche a seconda delle caratteristiche del settore), pur non trascurando eventuali tecnologie dirompenti con un ciclo di sviluppo più lungo.

Le tecnologie individuate nelle precedenti edizioni sono state utilizzate come uno dei riferimenti iniziali dello studio, riconoscendo il valore che hanno i dati storici nella validità e affidabilità degli studi *foresight* (la presenza di un ambito tecnologico nel corso di più edizioni dello studio, nelle sue diverse declinazioni e livelli di sviluppo, ne conferma l'importanza).

A chi è rivolto lo studio?

La pubblicazione è rivolta a direttori e manager della ricerca pubblici e privati, ricercatori, istituzioni, investitori, *opinion leader*. Il nostro obiettivo è fornire una guida per le strategie e gli investimenti privati e pubblici in ricerca e innovazione e stimolare una riflessione sulle priorità, le risorse, gli strumenti più opportuni per promuovere uno sviluppo sostenibile a livello sociale, ambientale ed economico.

La metodologia

Lo studio è realizzato mediante l'impegno diretto di esperti della rete Airi, soci e non soci, che nel loro insieme hanno competenze approfondite e riconosciute in relazione sia ai settori produttivi sia alle diverse tecnologie trattate.

Le attività iniziano con la scelta dei coordinatori dello studio, indicativamente due per settore, nominati in accordo con il Consiglio Direttivo di Airi. Viene costituito quindi il Board dei coordinatori settoriali, che rappresenta il primo nucleo del Gruppo di Lavoro (GdL) Tecnologie Prioritarie. Il coordinamento del GdL è a cura di Airi.

Prima fase: Gruppo di Lavoro e selezione delle tecnologie

Il Gruppo di Lavoro, composto inizialmente dai coordinatori, svolge una prima analisi delle tecnologie da trattare. Vengono considerate diverse fonti, quali piani strategici di sviluppo a livello industriale e politiche per la ricerca e innovazione europee e nazionali. Come dato storico si utilizza il catalogo delle tecnologie trattate nell'edizione precedente (2020). Il coinvolgimento della compagine associativa permette di raccogliere suggerimenti per definire il nuovo catalogo delle tecnologie e gli esperti da coinvolgere.

Vengono riviste le definizioni, la struttura, i modelli da utilizzare per lo svolgimento dello studio.

I risultati della prima fase sono un primo catalogo di tecnologie suddivise per settore, un elenco di esperti collegati a tali tecnologie e settori, delle linee guida condivise per la preparazione dello studio.

Seconda fase: Elaborazione dei profili di settore e degli scenari tecnologici.

I lavori vengono svolti principalmente a livello settoriale. Sulla base del catalogo di tecnologie selezionate nella prima fase, coordinatori ed esperti di ciascun settore si incontrano ed elaborano una versione sintetica degli scenari tecnologici. Il Board dei coordinatori supervisiona regolarmente il programma di attività e fornisce eventuali suggerimenti sulle scelte prese a livello settoriale. Il processo è iterativo, durante l'analisi è possibile rivedere, eliminare o aggiungere tecnologie ed includere, ove necessario, altri esperti.

Il risultato della seconda fase è una prima versione del profilo di settore e degli scenari tecnologici.

Terza fase: Revisione ed integrazione

Il GdL svolge un'attività di revisione complessiva dal punto di vista sia tecnico-scientifico sia editoriale. L'obiettivo è di arricchire ed integrare i singoli scenari e valutare sovrapposizioni e sinergie tra i diversi settori. Si cerca inoltre, per quanto

possibile data la diversità dei temi affrontati e le diverse esigenze settoriali in termini di granularità e di tempi, di dare uniformità al lavoro nel suo complesso.
Il profilo di settore e gli scenari tecnologici vengono rivisti e finalizzati. Il risultato sono le bozze finali del lavoro. Viene infine svolta una revisione editoriale dei singoli capitoli e preparato l'impaginato finale.
Il processo sopra riportato è indicativo e alcune fasi del lavoro sono svolte in parallelo. I lavori di preparazione dell'intero volume, comprensivo dei dieci settori produttivi, si svolgono in un periodo di circa due anni.
Questa edizione dello studio Airi ha coinvolto oltre 180 esperti, tra coordinatori e membri dei gruppi di lavoro settoriali, che sono riportati nelle prime pagine dei capitoli relativi a ciascuno dei diversi settori.
Per la presente edizione, si è scelto di pubblicare in anteprima alcuni dei settori nella forma di volume monografico.

Le limitazioni dello studio

Il lavoro è il risultato delle competenze e della visione di Airi e degli esperti coinvolti nello studio, che determina la tipologia e ampiezza degli ambiti trattati, tra cui in particolare la scelta dei settori e degli scenari tecnologici.
A titolo di esempio, in questa edizione non viene trattato in maniera approfondita il settore agroalimentare (se non come ricaduta di alcune tecnologie settoriali), che invece è di evidente rilievo per l'economia nazionale.
L'approfondimento dei temi trattati è limitato dalla necessità di contenere sia la lunghezza sia l'impegno richiesti dallo studio, anche considerata la partecipazione a carattere volontario di tutti gli esperti coinvolti.
Sono utilizzati dati provenienti da un numero selezionato e limitato di fonti bibliografiche, sia pubbliche sia provenienti da dati interni delle aziende e centri di ricerca coinvolti, che coprono l'intero spettro dei settori selezionati ma che non si possono considerare esaustive.
I contenuti e le opinioni espresse sui possibili scenari di sviluppo tecnologico per il sistema paese rimangono un esercizio di analisi, deduzione e previsione, come tale soggetto a variabilità ed imprecisioni.

I contenuti

Lo studio analizza una parte rilevante del portafoglio tecnologico del sistema paese. Per ogni settore, viene riportato il quadro o profilo generale che lo caratterizza (imprese, mercato, occupazione, tendenze e criticità, impatti socioeconomici, investimenti in R&S) e gli scenari tecnologici (descrizione, motivazioni per lo sviluppo, stato dell'arte, risorse economiche necessarie) sulle quali il sistema della ricerca industriale italiana intende concentrare risorse economiche ed intellettuali nel breve-medio periodo.

È prevista la pubblicazione delle analisi dei dieci settori sia in forma integrale in due volumi (volume 1, profilo di settore; volume 2, scenari tecnologici), sia in pubblicazioni monografiche (per settore).

Il presente volume rappresenta la pubblicazione settoriale dello studio relativa al settore Tecnologie Digitali.

TECNOLOGIE DIGITALI

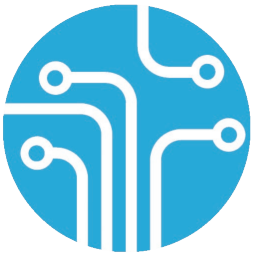
MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

FONDAZIONE PIEMONTE INNOVA	**Laura Morgagni, Mario Manzo**

ESPERTI

FONDAZIONE PIEMONTE INNOVA	**Mario Manzo, Laura Morgagni , Gianmarco Piola, Kevin Pham Nhu, Simone Gibellato, Giulia Boccaccio, Nicola D'aAngelo, Marco Martinotti**
CHEMYCAL (ORA 3E)	**Lorenzo Zullo**
CHEMCHAIN (ORA 3E)	**Luca Mohammadi**
CNR - CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE	**Massimo Bernaschi**
	Giuseppe De Pietro, Fabio Martinelli
ERICSSON	**Paola Iovanna**
INTESA SANPAOLO	**Rosaria Ricotta**
INTESA SANPAOLO INNOVATION CENTER	**Luigi Ruggerone, Stefania Vigna**
	Laura Li Puma, Simone Scarsi
NVNOVA	**Sabino Sinesi**
PIRELLI	**Lucio Pinto**
SMIGROUP	**Fabio Chiesa**
SMILAB	**Marco Ferrari, Stefano Salvi**
SMITEC	**Piergiorgio Grasseni**
TXT GROUP	**Michele Sesana**
UNIVERSITÀ DI PISA	**Giovanni Stea, Emilia Maria Ricci**
	Davide Bacciu
WEBIDOO	**Daniele Di Maio**



SETTORE

TECNOLOGIE DIGITALI

PROFILO DI SETTORE

TECNOLOGIE DIGITALI

IL DIGITALE È OGGI UNA REALTÀ TANGIBILE E NECESSARIA PER TUTTE LE IMPRESE, DI QUALUNQUE DIMENSIONE E SETTORE.

Il programma Europeo per la Digitalizzazione al 2030[1] pone obiettivi chiari e concreti, nonché molto sfidanti, sulle quattro dimensioni chiave per una società e un sistema pubblico-privato più digitale, più giusto e più sostenibile:

- Persone con competenze digitali diffuse e professionisti del settore digitale con competenze evolute
- Infrastrutture digitali sicure e sostenibili
- Trasformazione digitale delle imprese
- Digitalizzazione dei servizi pubblici

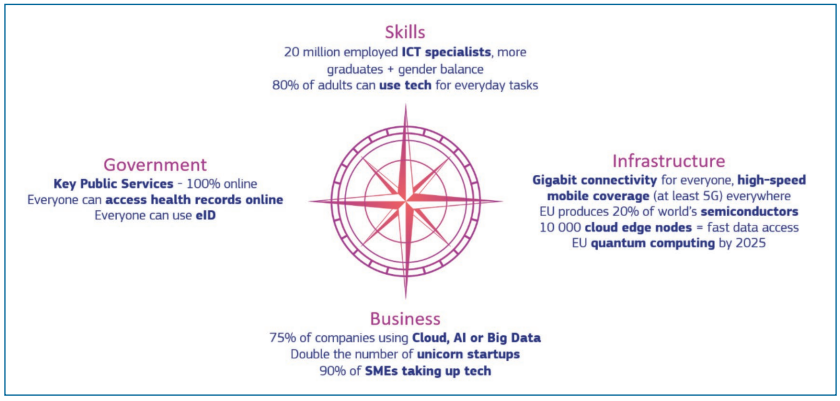


Figura1: Obiettivi e target del programma europeo "Digital Decade 2030"

Nel nostro Paese negli ultimi quattro anni la Trasformazione Digitale ha registrato un'accelerazione, che ha consentito di recuperare almeno un decennio di ritardi. Infatti, secondo l'indice europeo DESI, l'Italia dal 2018 al 2022 ha recuperato ben otto posizioni, raggiungendo il 18° posto, confermando una buona performance sugli ambiti delle infrastrutture (e una punta di eccellenza per quanto riguarda la copertura 5G e la disponibilità di infrastrutture HPC e di quantum computing, grazie anche al co-finanziamento del progetto Leonardo[2]) e sulla digitalizzazione delle imprese, almeno per quanto riguarda l'utilizzo del cloud.

[1] *Digital Decade policy programme 2030: Europe's Digital Decade | Shaping Europe's digital future (europa.eu). Il programma "Digital Decade 2030" è un framework completo che guida tutte le azioni relative al digitale per l'Europa. L'obiettivo definitivo è garantire che tutti gli aspetti della tecnologia e dell'innovazione siano sviluppati a beneficio delle persone*

[2] *Pari a 120M€: la metà degli investimenti proviene dal EuroHPC JU, mentre l'altra metà proviene dal Ministero dell'Università e della Ricerca italiano e dal consorzio CINECA*

Anche nell'**ultimo report DESI 2023**[3] **viene confermato che l'Italia ha ancora del potenziale digitale inespresso e può contribuire ulteriormente agli sforzi collettivi per raggiungere gli obiettivi del Decennio Digitale dell'UE.**

La **disponibilità di competenze adeguate**, il livello di **digitalizzazione e l'accessibilità dei servizi pubblici** sono gli elementi suggeriti dall'Europa, su cui l'Italia deve porre maggiore attenzione, e su cui non potrà mancare una forte **focalizzazione di investimenti e programmi a sostegno,** per non rischiare di perdere rilevanti posizioni in termini di produttività e competitività sia delle imprese sia dell'ambito pubblico.

La transizione digitale è uno dei fattori critici che consente alle imprese di essere più o meno competitive su mercati nazionali e internazionali, ancor più se sviluppata quale leva per la transizione ambientale ed ecologica (le due transizioni sono così strettamente legate, che vengono tipicamente citate come "transizioni gemelle")

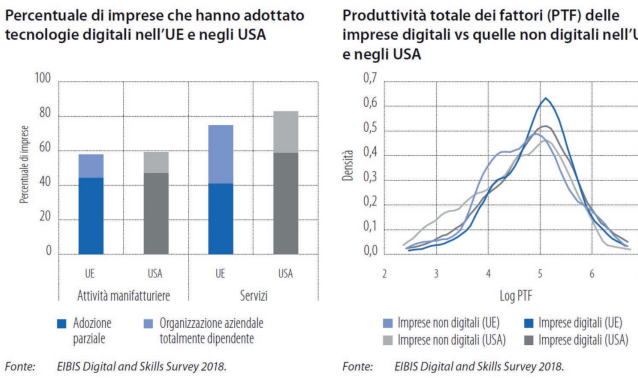


Figura 2: Digitalizzazione e performance aziendale (Fonte: BEI – Relazione sugli Investimenti 2018-2019)

[3] *DESI – Digital Economy and Societal Index, Digital Decade 2030 – Report 2023 Italy: 2023 Report on the state of the Digital Decade | Shaping Europe's digital future (europa.eu)*

Partendo da queste premesse, lo scenario sulle tecnologie digitali viene presentato per ricostruire lo stato dell'arte, ma soprattutto per fornire elementi di visione e di supporto alle valutazioni che i Programmatori possono fare per individuare le aree più rilevanti di sostegno allo sviluppo del "settore digitale" e, tramite questo, di tutti i settori di competitività del nostro sistema nazionale.

IL MERCATO: RIPRESA E RESILIENZA

Nel quinquennio 2022-2026, il mercato del digitale in Italia è atteso in forte crescita, con un tasso che si attesta a un valore del 19%[4] e una dimensione attesa in termini assoluti pari a 91,7 miliardi di euro nel 2026 ed in crescita ulteriore negli anni successivi

Tale crescita a doppia cifra è coerente con l'attesa di una sempre maggiore domanda da parte delle imprese per rispondere alle esigenze della transizione digitale; essa, inoltre, è rilevante non solo dal punto di vista quantitativo, ma anche soprattutto per l'evoluzione delle forze trainanti del mercato di riferimento, dove l'obiettivo principale dell'efficienza produttiva viene integrato con vere e proprie motivazioni di business, tra cui:

- una migrazione dei dati verso il cloud, sia infrastrutturale sia applicativo;
- l'adozione di soluzioni innovative per migliorare la customer experience;
- l'utilizzo di sistemi avanzati basati sull'IA di analisi dei dati;
- una crescente priorità in termini di sicurezza e privacy dei dati e delle informazioni aziendali.

Le imprese italiane possono contrastare la cronica bassa produttività che le caratterizza solo attraverso un investimento deciso su tecnologie e competenze digitali, che riguardi i più ampi ambiti di applicazione.

Nel 2022 il mercato del digitale valeva 77,1 mliardi di euro; la crescita più rilevante ha riguardato i Servizi ICT (+8,5% e 14,8 miliardi di euro), che hanno avuto

[4] *"Il Digitale in Italia 2023 – Confindustria Digitale, Anitec – Assinform", giugno 2023*

un'accelerazione grazie principalmente ai servizi di cloud computing e di Cybersecurity e in misura più contenuta ai servizi di system integration sia applicativi sia infrastrutturali. Andamenti particolarmente positivi hanno inoltre caratterizzato i segmenti dei Contenuti e Pubblicità Digitali (+6,3% e 14,3 miliardi di euro) e del Software e Soluzioni ICT (+6,2% e 8,6 miliardi di euro).



Figura 3: Mercato del digitale in Italia nel 2022 (Fonte: NetconsultingCube, maggio 2023)

Nel corso del 2023, un importante impulso allo sviluppo del mercato è provenuto certamente dall'avanzamento di tutti i programmi dedicati nel PNRR, che destina alla "Missione 1 – Digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo" più di 40 miliardi, ma che vede una quota almeno corrispondente di investimenti digitali presenti anche nelle altre missioni, con investimenti (infrastrutture, piattaforme, tecnologie, servizi) dedicati in particolare alla pubblica amministrazione, alle imprese, alla sanità, ma anche ai cittadini e allo sviluppo dello loro competenze.

Considerando gli ambiti tecnologici che potranno continuare a trainare la crescita attesa anche nei prossimi anni, si possono certamente confermare:

- sistemi e servizi di Cloud Computing, che resta un digital enabler fondamentale in particolare per MPMI e domini di applicazione in cui flessibilità e scalabilità sono fattori critici di successo;
- piattaforme di Cybersecurity, per garantire la protezione di dati e asset tecnologici a fronte dei sempre maggiori rischi informatici;
- soluzioni di Big Data Management, essenziali per organizzare e gestire l'architettura del patrimonio informativo di imprese e istituzioni pubbliche e, quindi, presupposto anche per l'adozione di strumenti per l'analisi evoluta e la valorizzazione dei dati, tra cui spiccano soluzioni di IA;
- piattaforme IOT e anche tecnologie wearable, principalmente per applicazioni di tipo "industriale";
- soluzioni di mobile business, che entrano in una fase di domanda certamente matura e possono portare significativi impatti di business in settori ormai consolidati, quali l'e-commerce, il mobile banking e la mobile health.

Questo andamento pone rilevanti sfide al settore dell'ICT e del Digitale, e anche a tutti quelli "tradizionali" che saranno coinvolti nella sua adozione, in particolare per ciò che riguarda l'ampiezza e la varietà delle competenze che sono già e saranno sempre più richieste.

L'IMPATTO SOCIOECONOMICO: COMPETITIVITÀ E TRANSIZIONE GREEN

Le trasformazioni verde e digitale sono i pilastri alla base di tutta la prossima programmazione europea, nonché dei fondi per la Nuova Generazione (Next Generation EU): le tecnologie ICT e il digitale sono il motore fondamentale per gli obiettivi strategici che l'Europa si pone, e sono abilitanti non solo per l'obiettivo di policy "[5]OP1 – Europa più intelligente", ma anche tutti gli altri e in particolare

[5] *fonte: https://ec.europa.eu/regional_policy/policy/how/priorities_en*

"OP3 – Europa più connessa", "OP5 – Europa più vicina ai cittadini".

Le tecnologie ICT e digitali, classificabili come ***digital enabler*** (tecnologie mobile, IOT, Cybersecurity, Big Data, piattaforme per la gestione web, ***wearable technologies***, cloud) e ***digital transformer***[6] (Blockchain, IA, Quantum Computing, AR/VR) sono alla base dello sviluppo della competitività di tutti i settori dell'economia nazionale.

Le tecnologie digitali sono in grado di svolgere un effetto moltiplicatore sulla crescita economica agendo come acceleratore delle economie di scala, della resilienza organizzativa e della capacità di adattamento ai cambiamenti esterni delle imprese. Il settore ICT e digitale, inoltre, ha dimostrato anche nel recente passato di poter svolgere un ruolo anticiclico e di traino dell'economia e di essere fortemente "human & knowledge intensive": la sua crescita incide in modo positivo sia sull'occupazione sia su un alto livello di competenza e specializzazione della stessa, che può essere riversato anche nei settori tradizionali.

Se si guarda alla relazione tra digitale e sostenibilità, l'indagine[7] condotta da Anitec-Assinform con i Chief Information Officer (CIO) conferma che il ruolo dell'IT risulta strategico, in quanto supporta le iniziative e i progetti in ambito di sostenibilità, sia attraverso la raccolta e l'analisi dei dati indispensabili per l'Environmental Societal Governance (ESG) rating, sia attraverso la riduzione dei consumi energetici (ad es. con consolidamento dei datacenter e migrazione al cloud).

[6] *La definizione di "digital enabler" e "digital tranformer" è tratta da quella data da Anitec Assinform nei rapporti annuali*

[7] *Il Digitale in Italia 2023 – Confindustria Digitale, Anitec – Assinform", giugno 2023*

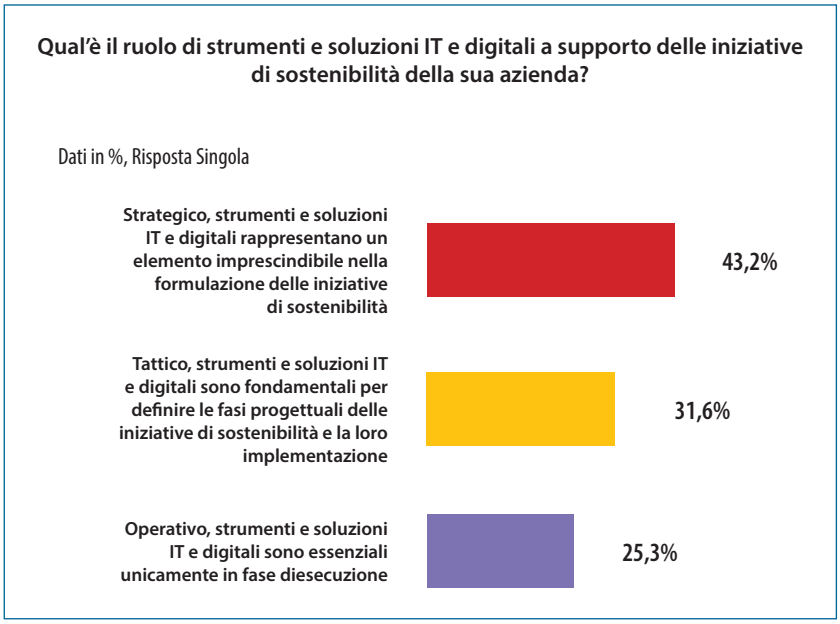


Figura 4: Ruolo del digitale per la sostenibilità aziendale (Fonte: Rapporto Anitec-Assinform 2023)

L'analisi più ampia condotta dalla BEI a livello europeo[8] conferma inoltre che, così come digitale e sostenibilità, anche digitale e resilienza nelle imprese sono strettamente legati: la digitalizzazione può essere un motore di resilienza aziendale ed è fondamentale per adattarsi rapidamente ad ambienti in continua evoluzione. Nell'analisi si conferma che le aziende digitalmente avanzate abbiano investito di più nella costruzione di resilienza ai rischi fisici legati ai cambiamenti climatici, o con maggiore probabilità intendano farlo nei prossimi tre anni. Il 42% delle aziende dell'UE che ha investito in digitalizzazione ha contemporaneamente investito in strategie di adattamento (strategie che coinvolgono la modifica di procedure e/o operazioni per aumentare la resilienza dell'organizzazione), così come le aziende digitalmente avanzate investono di più in misure per ridurre le emissioni di gas serra.

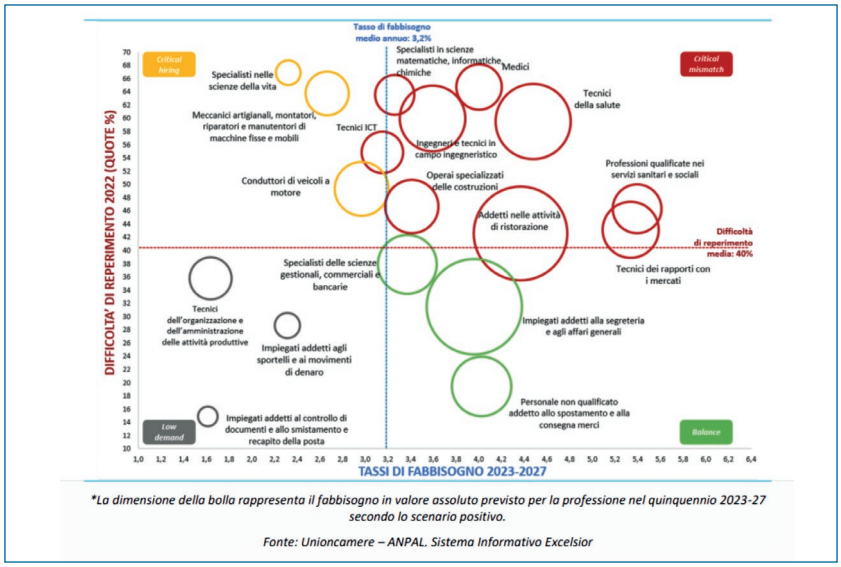
[8] *EIB Investment Report 2022-2023; Resilience and renwall in Europe*

LA SFIDA DELLE COMPETENZE

Oltre ai tassi di adozione tecnologica, e quindi agli investimenti in tecnologie digitali, gli investimenti in capitale umano sono fattori in grado di generare un rilevante impatto sugli sviluppi della produttività. Tuttavia, nei periodi di rapido cambiamento tecnologico come quello attuale, uno degli elementi più critici è proprio il reperimento delle competenze necessarie alle imprese: il mismatch di competenze tra domanda e offerta di lavoro resta una delle criticità più evidenti per il settore.

Considerando innanzitutto il quadro nazionale, il Rapporto Excelsior di Unioncamere[9] conferma per il **quinquennio 2023-2027 un fabbisogno totale di circa 3,8 milioni di unità, suddivise tra una quota sostitutiva dei lavoratori** che nei prossimi 10 anni si affacceranno alla pensione (2,7 milioni su tutti i settori) e una percentuale relativa alla nuova domanda di risorse (1,1 milioni su tutti i settori). In questo scenario, **il settore ICT presenta il più elevato tasso di espansione,** inteso come numero di nuovi occupati; esso si identifica come il fattore che avrà maggior peso nella determinazione della domanda occupazionale, con la percentuale più elevata di richiesta di nuove risorse sul fabbisogno totale. Ciò che deve destare ulteriore attenzione, oltre al dato numerico in sé, è proprio la combinazione tra il tasso di fabbisogno e la difficoltà di reperimento: come mostra la Figura 5, infatti, i **profili legati al settore ICT sono sostanzialmente tutti nel quadrante del "Critical Mismatch".**

[9] *Fonte: Unioncamere – ANPAL, Sistema Informativo Excelsior, https://excelsior.unioncamere.net/*



*La dimensione della bolla rappresenta il fabbisogno in valore assoluto previsto per la professione nel quinquennio 2023-27 secondo lo scenario positivo.

Fonte: Unioncamere – ANPAL. Sistema Informativo Excelsior

Figura 5: Fabbisogni nel prossimo quinquennio e difficoltà di reperimento delle professioni (Fonte: Rapporto Excelsior – Unioncamere 2023)

Durante il processo di sostituzione e di acquisizione di nuova forza lavoro, figure di natura tecnica appartenenti al settore ICT e ingegneristico e specialisti in scienze matematiche, informatiche e chimiche rimangono cruciali per gli avanzamenti nei processi di innovazione tecnologica.

Nel processo diventa rilevante anche il tema dei tempi medi di ricerca e inserimento delle figure professionali, che aggrava ulteriormente il procedimento di assunzione: secondo lo stesso report Excelsior, il costo associato a queste difficoltà nell'inserimento delle nuove figure professionali ICT è stato stimato essere pari a circa 3 miliardi di euro annui su scala nazionale, calcolato sul valore aggiunto per occupato ponderato per le tempistiche di mancato inserimento. La sfida delle competenze si gioca in questo settennio, ed è ora il tempo di

cambiare passo e accelerare lungo tutte le dimensioni necessarie, tra cui:

- l'ammodernamento e l'innovazione continua degli standard formativi, affinché siano totalmente rispondenti alla dinamicità delle esigenze delle imprese e del mercato del lavoro;
- la realizzazione di programmi di formazione duale (alternanza scuola lavoro, apprendistato formativo) con la forte partecipazione delle imprese;
- l'upskilling e il reskilling dei lavoratori di tutti i comparti pubblici e privati;
- il sostegno a programmi per la creazione di nuove generazioni di studenti e lavoratori con curvatura digitale, in grado di sostenere la trasformazione di tutte le imprese (micro, piccole e medie in particolare) e di tutti i settori, anche quelli più tradizionali.

CURVATURA DIGITALE – LE COMPETENZE DIGITALI PER I SETTORI TRADIZIONALI

La scarsa disponibilità di competenze digitali in tutti i settori e livelli aziendali (da quelli più operativi, a quelli manageriali, a quelli imprenditoriali) mette a rischio la competitività dei sistemi produttivi, sociali ed economici nazionali, e di conseguenza la competitività del nostro Sistema Paese a livello internazionale.
Se le conoscenze tecnologiche fossero acquisite da un'ampia fascia della popolazione, si attenderebbe[10] una più rilevante e diffusa capacità di sviluppare soluzioni innovative per affrontare sfide sociali urgenti, come il cambiamento climatico, la transizione energetica, la sicurezza e la cybersecurity.
La messa a disposizione delle tecnologie avanzate (anche trainata da una maggiore consapevolezza e conoscenza delle loro applicazioni) in tutti i settori, dalle energie rinnovabili all'agri-tecnologia, dall'edilizia alla mobilità, dalla fabbrica alla salute, è un elemento fondamentale per la gestione di questioni critiche come l'impatto ambientale, la sicurezza alimentare, la dipendenza energetica e la salute delle persone, ed è condizione necessaria per rendere le nostre econo-

[10] *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0067&from=EN - Com(2020) 67 final "Plasmare il futuro digitale dell'Europa*

mie più competitive e contemporaneamente sostenibili.
Come ben evidenziato dall'ultimo rapporto Unioncamere[11], il mismatch tra domanda e offerta di competenza aumenta in modo esponenziale quando le imprese richiedono competenze digitali o green: in Italia, tra il 2023 e il 2027 saranno richieste competenze green a circa 2,4 milioni di lavoratori (il 65% del fabbisogno del quinquennio) e competenze digitali a poco più di 2 milioni di occupati (il 56% del totale).

RACCOMANDAZIONI PER LE FILIERE PRODUTTIVE NAZIONALI E REGIONALI

Per non restare indietro nella grande prova della competitività e attrattività a livello globale, il nostro paese, oltre alla sfida delle competenze, deve affrontarne altre, tra cui:

- la trasformazione digitale delle micro, piccole e medie imprese, che spesso devono contemporaneamente affrontare un'altra grande transizione, quella generazionale;
- l'armonizzazione e la valorizzazione delle forti specializzazioni che ogni regione/territorio sa esprimere e l'utilizzo della leva digitale per promuoverle adeguatamente, differenziandole e non livellandole in modo indistinguibile nei confronti dei mercati internazionali;
- lo sviluppo di filiere basate sulla ricerca e innovazione (ICT e digitale) collaborative, ancora una volta quale elemento di competitività su scala globale;
- il mantenimento di un adeguato livello di leadership tecnologica su aree chiave, quali quelle dei semiconduttori (e di tematiche di impatto anche energetico, su cui l'Italia esprime tuttora competenze altamente distintive), dell'HPC applicato anche ai segmenti delle PMI, dell'IA e delle problematiche dell'etica e della "spiegabilità" (explainable AI) a questa associate.

[11] *https://www.unioncamere.gov.it/comunicazione/comunicati-stampa/parlamento-europeo-delle-imprese-prete-unioncamere-mismatch-crescita-leuropa-sostenga-la-formazione-dei-lavoratori*

La struttura industriale del nostro paese, con le micro, piccole e medie imprese che raggiungono il 98% del totale, presenta alcuni fattori strutturali che frenano gli investimenti. anche quelli digitali, tra cui la bassa capitalizzazione, la difficoltà di assorbimento dell'innovazione, competenze non sufficienti.

Pertanto, ha bisogno di adottare strumenti molto semplici e veloci, come i voucher per il sostegno sia alla digitalizzazione, sia alla formazione (upskilling e reskilling), in grado di rispondere al mismatch di competenze in modo rapido ed efficace. O anche di strumenti che supportino le MPMI (digitali e tradizionali) a sviluppare progetti collaborativi e di filiera, in grado cioè di unire competenze multidisciplinari, sperimentazioni su più e diversi contesti applicativi, riduzione del rischio e aumento della velocità di realizzazione dei progetti e degli investimenti.

Il potenziamento e lo sviluppo, nonché il sostegno alla messa in rete su dimensione nazionale, di strumenti già esistenti e ben funzionanti in questo senso, tra cui i Poli di Innovazione e Cluster Regionali, i Cluster Tecnologici Nazionali, i Digital Innovation Hub, i Competence Center, Acceleratori e Incubatori sono una leva importante per lo sviluppo digitale e green di tutti i nostri sistemi produttivi.

PARADIGMI FUTURI: DIGITAL TWIN, WEB3.0 E METAVERSO, COGNITIVE CITIES

Vengono presentati tre paradigmi e scenari futuri, che nascono dall'integrazione di diverse delle tecnologie selezionate per questo studio descritte nella prossima sezione che, nel breve-medio periodo (da tre a dieci anni), potranno influenzare in modo rilevante interi settori industriali, la vita quotidiana delle persone e la gestione delle città.

I paradigmi consentono di ipotizzare, e in alcuni casi già di testare in aree sperimentali, nuovi approcci e soluzioni a questioni complesse, che includano la crescita sostenibile, la produttività e la competitività di ecosistemi industriali, sociali e territoriali.

DIGITAL TWIN

Che cos'è: set di informazioni virtuali che imitano la struttura, il contesto e il comportamento di un asset reale. Il modello lungo il ciclo di vita viene costantemente aggiornato con dati per supportare le decisioni, attraverso l'integrazione in tempo reale tra un «oggetto» e il suo modello virtuale.
Perché influenzerà il nostro futuro: aumenterà in modo rilevante la possibilità di valutare gli impatti di azioni sul mondo reale (industria, città, ambiente, persone…) e di ricevere riscontri immediati da questo, consentendo di ridurre tempi e costi di azione e di prendere decisioni più informate.
Le tecnologie:

- IOT (Sensori e Attuatori)
- UltraWideBand, 5G, 6G
- 3D Modelling & Visualization
- Data Modelling & Processing
- Data Analitycs
- Dashboard
- Geographic Information Systems (GIS) + Building Information Modelling (BIM)

I gemelli digitali sono la replica dinamica e virtuale di un'entità fisica, di una persona o di un sistema anche complesso, il cui scopo è supportarne la previsione del comportamento futuro. Il Digital Twin (DT) è quindi l'integrazione di rappresentazioni digitali di oggetti materiali o immateriali del mondo reale, ma ciò che però distingue DT da un modello 3D è proprio la sua capacità di acquisire dati provenienti dalla realtà fisica per processarli tramite algoritmi al fine di

modellizzare e simulare scenari e comportamenti della sua controparte fisica.
Originariamente progettati per migliorare i processi di produzione utilizzando simulazioni che hanno modelli altamente accurati dei singoli componenti, la tecnologia del Digital Twin non è quindi nuova, soprattutto nel campo dell'ingegneria dei processi industriali anche se i recenti sviluppi delle capacità di calcolo stanno estendendone l'uso a casi di complessità crescente sia industriali sia in applicazione non industriali ma ad alto impatto sociale. Un esempio è l'implementazione a supporto della gestione delle città discussa solo di recente, con l'avvento delle tecnologie digitali e in particolare con lo sviluppo delle tecnologie di telerilevamento e osservazione della Terra.
In tale ambito, particolarmente innovativo per le sue conseguenze sociali e di notevole complessità tecnica richiedendo una serie di input, modelli e dati eterogenei, il programma attualmente più ambizioso per la realizzazione di un Gemello Digitale è "Destination Earth", che beneficia degli investimenti degli Stati membri EU nell'ambito dei loro Piani di recupero e resilienza (PNRR) in combinazione con Digital Europe (nel contesto dell'impresa comune EuroHPC) e Horizon Europe per le relative attività di ricerca.
Lo sviluppo di un modello digitale di tale complessità permetterà di mettere a punto una serie di strumenti, tecniche avanzate di analisi e gestione dati che potranno poi essere trasferite agli innumerevoli altri casi applicativi industriali, che abbisognano di DT complessi creando così l'opportunità per una larga ricaduta di tecnologie e di opportunità di sviluppo per i loro possessori.

ESEMPI DI GEMELLO DIGITALE: IL PROGRAMMA DESTINATION EARTH E GLI URBAN DIGITAL TWIN

Lanciato nel 2021 dalla Commissione Europea insieme all' Agenzia Spaziale Europea (ESA), al Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio raggio (Ecmwf) e all'Organizzazione europea per lo sfruttamento dei satelliti meteorologici (EumetSat), si innesta nell'alveo delle politiche europee riguardanti la transizione digitale e ha come obiettivo quello di realizzare una gigantesca simulazione digitale del pianeta usando dati relativi a clima, meteo, attività umane e qualsiasi altro parametro misurabile per monitorare e anticipare trend su scala globale, regionale e locale. Il gemello digitale sarà uno strumento di supporto fondamentale per le autorità locali e regionali nelle iniziative volte a salvare vite e a ridurre i costi economici legati alle calamità naturali e ai cambiamenti climatici. Il grande gemello digitale della Terra può, a sua volta, integrarsi con progetti di dimensione geografica inferiore ma finalizzati ad esempio alla gestione dinamica e virtuale di una città.

Su scala locale, i Digital Twin urbani, abilitati dalle tecnologie dell'osservazione della terra, dall'IoT, dall'IA e dall'analisi dei Big Data, realizzano rappresentazioni virtuali di processi fisici, abilitando la comprensione dei comportamenti e anticipandone di conseguenza gli esiti. Basandosi su approcci multidisciplinari, richiedono la collaborazione di esperti di dominio (ingegneri, informatici, geomatici, esperti di processo), di coloro che hanno a carico la governance della città (i soggetti attuatori e i pianificatori urbani), ma anche dei singoli cittadini e delle imprese che, vivendo e operando nella città fisica, possono essere fonte inesauribile di informazioni utili all'implementazione dei dati del gemello digitale. Anche gli Urban Digital Twin sono particolarmente importanti per contribuire alla strategia del Green Deal europeo, i cui obiettivi chiave, a mero titolo esemplificativo, sono l'efficientamento energetico dell'ambiente costruito, l'adattamento al cambiamento climatico, la salvaguardia delle risorse naturali e la riduzione del rischio idrogeologico.

La rappresentazione virtuale di una città può infatti consentire:

- Il miglioramento della pianificazione urbana, con efficientamenti e riduzione di costi;
- Il monitoraggio delle infrastrutture, anche con modalità di tipo predittivo;
- La gestione del patrimonio culturale;
- La gestione del traffico urbano;
- La gestione dell'efficientamento energetico;
- La previsione di eventi metereologici estremi;
- La gestione delle emergenze e dei rischi.

Molte delle sfide legate alla sicurezza, alla mobilità e alla governance di una città possono essere affrontate con l'Urban Digital Twin, uno strumento in grado di recepire la complessità della pianificazione urbana consentendo anche, a differenza di un mero modello 3D, l'inclusione dei processi partecipativi e collaborativi.

I Digital Twin stanno cambiando le modalità operative di molti settori industriali e come detto nel futuro nel contesto delle smart cities, abilitando l'interazione tra il mondo fisico e quello digitale espletando al meglio le loro capacità di efficientamento, predizione e gestione dei cambiamenti.
Le tecnologie che abilitano i Digital Twin sono numerose, ma è opportuno evidenziare come, al di là delle tecnologie coinvolte, ciò che distingue un Digital Twin da un normale modello virtuale di un oggetto, sistema industriale o di una città è il ruolo attribuito ai dati. Di seguito una rappresentazione delle principali tecnologie coinvolte in un gemello digitale di una città che sicuramente è tra i più complessi.

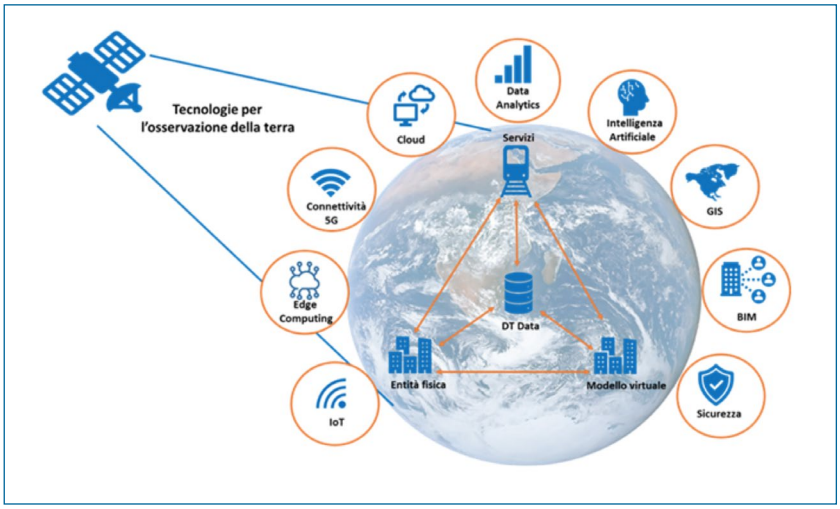


Figura 6: Principali tecnologie per la realizzazione di Digital Twin Urbani

WEB 3.0 E METAVERSO

Che cos'è: il Web 3.0, noto come web semantico o web intelligente per via della sua configurazione data-driven, alimentata dai servizi cognitivi dell'IA[12], è un termine ombrello per descrivere la terza generazione dei servizi internet per siti e applicazioni web

Il Metaverso è un sistema composto da mondi virtuali immersivi ed interconnessi, nei quali gli utenti possono utilizzare un avatar per interagire tra loro, lavorare, effettuare acquisti e partecipare a varie attività della vita quotidiana.

Perché influenzerà il nostro futuro: il Web 3.0 supporterà la creazione di un'economia decentralizzata, aperta e *permissionless*, le cui applicazioni sono progettate in maniera *user-centric*.

Il Metaverso consentirà l'integrazione immediata di servizi e attività lungo tutta

[12] *Definizione fornita dallo stesso Tim Berners-Lee, creatore del World Wide Web.*

la supply chain, abiliterà esperienze completamente *blended* tra reale virtuale, aumentando l'impatto su clienti e consumatori e consentendo lo sviluppo di modelli di business completamente nuovi. Il Metaverso, in quanto concetto di universo 3D persistente, online e che combini spazi virtuali differenti in cui gli utenti possono incontrarsi, lavorare, giocare e socializzare, è una delle possibili evoluzioni di internet secondo il paradigma del Web 3.0.

Le tecnologie:

- IA
- AR/VR
- IOT
- Blockchain
- NFT (Not Fungible Tokens) / Blockchain
- Digital Twin
- Cloud computing

Grazie al concetto di decentralizzazione legato a questo nuovo paradigma, il Web 3.0 potrebbe rendere possibile una nuova modalità di controllo e sfruttamento dei dati e delle attività online, potenzialmente più equa. Gli utenti non utilizzerebbero unicamente servizi centralizzati e gestiti da *shareholders*, come avviene nel Web 2.0 (con l'illusione per l'utente di servizi offerti gratuitamente), ma potrebbero avere un controllo diretto dei dati forniti alla rete e quindi essere maggiormente consapevoli e trarre vantaggio diretto dalla loro attività online. Quanto questo scenario possa realmente realizzarsi non è ancora chiaro.
Se pure le diverse applicazioni del Web 3.0 crescono e cresceranno nei prossimi anni, la totale sostituzione del Web 2.0 non è al momento pensabile. Vedremo ancora per un tempo non residuale la coesistenza dei due paradigmi, in quanto un web a tutti gli effetti decentralizzato, in cui tutte transazioni verrebbero registrate su blockchain pubbliche, non è semplicemente fattibile anche solo a livello di risorse IT, in quanto servirebbero risorse infinitamente superiori rispetto a quelle attualmente disponibili e pone certamente ancora questioni normative importanti.

Il Web 3.0 diventa uno strumento imprescindibile quando si immagina di introdurre esperienze totalmente immersive quali quelle realizzabili nel metaverso, in cui è necessario restituire alle persone il controllo dei loro dati e la dignità di una consapevole presenza online, scongiurando ipotesi distopiche di "controlli di massa" abilitate dalla condizione di immersività.

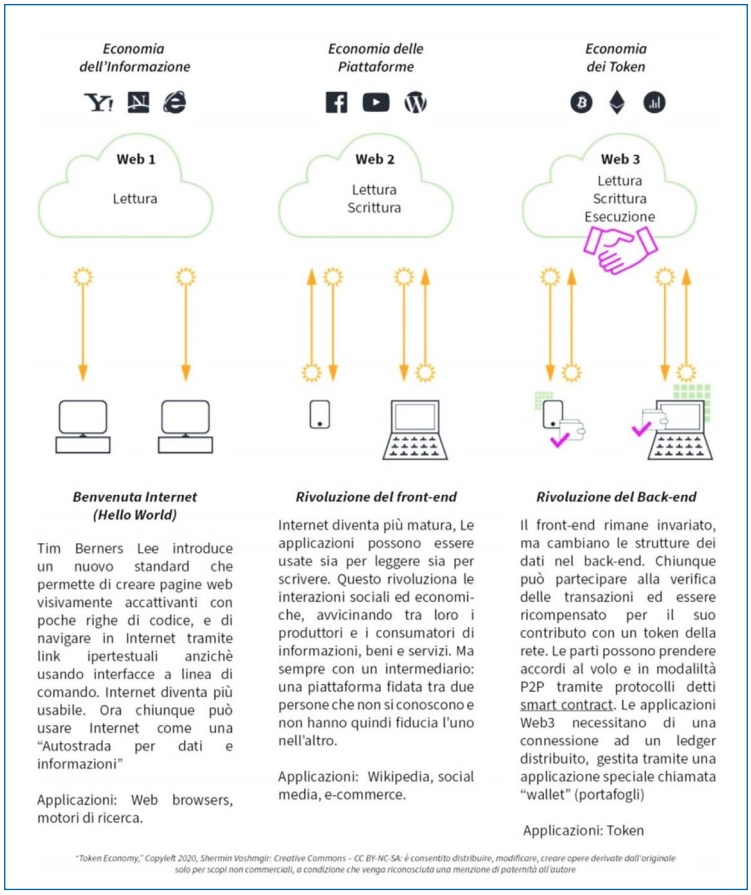


Figura 6: Dal Web 1.0 al Web 3.0 – caratteristiche principali (fonte: "Token Economy", Copylet 2020, Shermin Vashmgir: Creative Commons – CC BY-NC-Sa)

Dopo un'iniziale forte entusiasmo da parte delle aziende per le possibili applicazioni del Metaverso, stiamo ora assistendo a un atteggiamento di maggiore cautela e a un altrettanto rapido "raffreddamento" di fronte a una tecnologia non ancora matura e a esperienze non ancora in grado di soddisfare pienamente gli utenti e le imprese tanto da decidere di sostituire quelle del mondo reale. Tuttavia, la combinazione delle tecnologie che sono alla base del Metaverso (AR/VR, NFT, Blockchain, IA…) hanno sempre maggior successo nelle aziende ed è probabile che, grazie al continuo investimento sulle singole applicazioni più performanti, si raggiunga nel tempo un reale valore nella combinazione delle stesse in contesti più ampi, soddisfacenti ed efficaci, quali quelli resi possibili dal metaverso immersivo.

Alcune applicazioni industriali del metaverso possono riguardare:

- Virtual showroom: creazione di spazi di promozione e visualizzazione dei prodotti senza alcun vincolo spaziale o limite "fisico";
- Virtual commerce: negozi sempre accessibili, senza vincoli di spazio o tempo, sempre aggiornati e con la possibilità di dare un servizio al cliente di alto livello;
- Eventi digitali;
- Messa a disposizione di ambienti di collaborazione/smart working;
- Formazione;
- Selezione del personale.

Come già evidenziato, se da una parte lo sviluppo del business del metaverso è ancora lontano e le applicazioni "industriali" non sono ancora realmente disponibili e diffuse, dall'altra il filone del metaverso per la salute mentale è uno dei più promettenti. Gli ambienti virtuali aprono nuove opportunità per fornire trattamenti di salute mentale, coprendo una gamma di applicazioni di telemedicina, tra cui la prevenzione, la diagnostica, la terapia, l'istruzione e la ricerca. Sono già oggi disponibili, ad esempio, piattaforme di gioco per aiutare le persone con patologie come la depressione e l'ansia o per incoraggiare la mindfulness e la meditazione.

COGNITIVE CITIES

Che cos'è: le città cognitive espandono il concetto di città intelligenti attraverso l'introduzione della cognizione e dell'apprendimento. In una città cognitiva, gli esseri umani e i sistemi cognitivi imparano gli uni dagli altri e si influenzano e si modificano a vicenda.
Perché influenzerà il nostro futuro: consentiranno di realizzare ecosistemi di soluzioni predittive, personalizzate e autonome fondate sui principi di fiducia e trasparenza e di realizzare «comunità» in grado di interagire con il contesto e di influenzarlo positivamente.
Le tecnologie e i Key Success Factor:

- Piattaforme di gestione, analisi e Presentazione Dati (pubblici e non)
- Sistemi/APP per la gestione integrata di privacy e dati personali (fiducia e trasparenza)
- IA
- Behavioural Design

Le Città Cognitive sfruttano il potere dei dati, dell'IA e dell'elaborazione cognitiva, intesa come processo (anche automatico ed elaborato da "macchine") che coinvolge la percezione, l'interpretazione e l'organizzazione delle informazioni per compiere azioni, prendere decisioni e risolvere problemi, per trasformare le città in ecosistemi intelligenti e adattabili. Queste città non saranno solo tecnicamente avanzate, ma saranno anche capaci di apprendere dai dati, evolversi in base alle circostanze mutevoli, offrire servizi in modo proattivo e autonomo e, in definitiva, migliorare il benessere e la vivibilità dei loro abitanti. Nella progettazione di una città cognitiva si tiene conto, oltre che della rete di sistemi, sensori e attuatori che contribuiscono alla condivisione dei dati, anche del rapporto tra città e cittadini, riducendo i loro sforzi e migliorando le loro capacità, i processi decisionali e la qualità complessiva della vita.
Le Città Cognitive vanno oltre la creazione di ecosistemi tecnologici connessi,

integrando tecnologie avanzate per creare sistemi urbani intelligenti e reattivi. L'IA e l'apprendimento automatico sono utilizzati per analizzare vaste quantità di dati con l'obiettivo di personalizzare e fornire in modo più efficiente i servizi. Ciò è reso possibile attraverso sistemi interconnessi basati su sensori, dispositivi IoT, super app, sistemi di elaborazione del linguaggio naturale, interfacce uomo-macchina evolute, sistemi di deep learning e di feedback per l'apprendimento automatico, tra gli altri, per percepire, ragionare, apprendere e interagire con i residenti, i decisori e altri utenti in modo intelligente ma sicuro. Sfruttando la moltitudine di dati e i sistemi sottostanti, le città cognitive possono prendere decisioni informate, ottimizzare l'allocazione delle risorse, migliorare l'infrastruttura urbana e offrire servizi più adattivi per i propri residenti.

UN ESEMPIO DI DATA MANAGEMENT PLATFORM PER LE COGNITIVE CITIES

Snap4City (https://www.snap4solutions.org) è un primo esempio di una piattaforma dedicata ad una Smart Community: uno strumento flessibile per aiutare gli urbanisti e le amministrazioni a progettare ed affrontare temi quali: congestione, inquinamento, prevenzione e sicurezza della criminalità, mancanza di alloggi a prezzi accessibili, gestione delle risorse, fornire servizi efficienti e sostenibili. Le pubbliche amministrazioni devono avere accesso a grandi quantità di dati per prendere decisioni informate sulle politiche pubbliche, sugli investimenti infrastrutturali, per fornire servizi migliori ed essere resilienti rispetto a eventi imprevisti ed utilizzare questi dati per migliorare la sicurezza pubblica, monitorare la crescita economica e gestire le risorse.



Snap4City supporta la città verso il processo di innovazione continua sui servizi: infrastrutture, con controllo e supervisione; strumenti per la business intelligence, le previsioni, il rilevamento delle anomalie, l'analisi di allerta precoce, la valutazione dei rischi e l'analisi what-if; la pianificazione e l'attuazione di strategie per migliorare la resilienza della città in caso di evento imprevisto.

Grazie al supporto della knowledge base, Snap4City fornisce soluzioni flessibili per ottenere informazioni e deduzioni immediate sullo stato e l'evoluzione della città. Queste applicazioni sfruttano il massimo della AI, dell'analisi dei dati e delle tecnologie dei big data, attivando soluzioni senzienti che raccolgono e utilizzano dati eterogenei di qualsiasi tipo da qualsiasi fonte di dati (aperta e privata, statica, in tempo reale, guidata da eventi, stream, certificata e personale).

Nelle Città Cognitive la dimensione umana è realmente inserita nel processo, non solo per fornire dati, ma anche per restituire feedback costanti e ricevere servizi realmente adattati alle esigenze specifiche, anche mutevoli dinamicamente nel tempo e nello spazio: grazie a questa interazione tra i protagonisti della città (cittadini e turisti) e le tecnologie più avanzate, il comportamento della città non è più reattivo, ma bensì proattivo. La gestione dei dati personali, la privacy e la sicurezza sono anche per questo elementi centrali e fondanti in una Città Cognitiva, che deve essere in grado di garantire la sicurezza, la privacy e l'uso etico dei dati e delle tecnologie mediante l'istituzione di una governance solida, misure di Cybersecurity adeguate e politiche trasparenti per costruire e mantenere la fiducia tra cittadini, imprese e stakeholder.

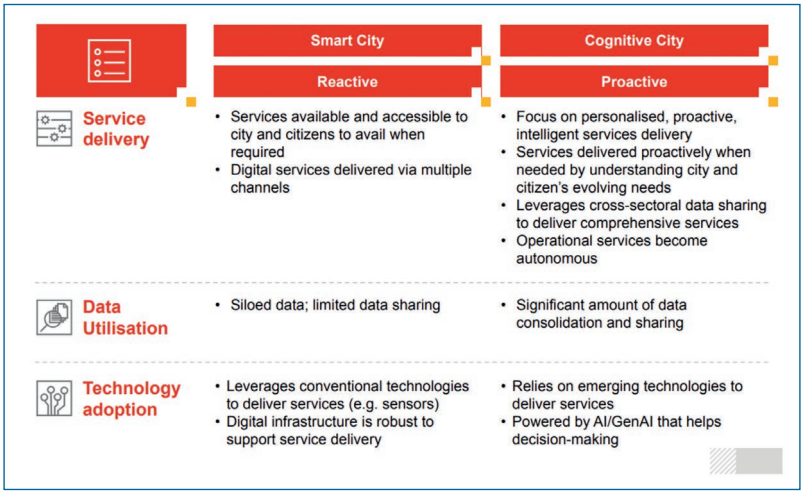


Figura 7: Città Intelligenti e Città Cognitive – comparazione (Fonte Cognitive Cities – PWC)

L'impatto delle tecnologie cognitive sulla vita urbana può coinvolgere molti ambiti e settori, promettendo una trasformazione significativa. Potenziando la capacità decisionale e automatizzando compiti, tali tecnologie offrono soluzioni innovative

in molteplici settori della vita urbana, tra cui: gestione delle comunità e supporto sociale, cultura e intrattenimento, istruzione, energia, salute e benessere, sicurezza pubblica, turismo e ospitalità, trasporti e mobilità.
Alcuni esempi di applicazioni realizzabili sono riportati nel seguito:

- Trasporti e mobilità: gestione del traffico alimentata dall'IA per ottimizzare i tempi dei segnali, riorientare i veicoli e alleviare la congestione, col risultato di un flusso del traffico più fluido e una mobilità migliorata (la Città di Torino utilizza da tempo sistemi di deep learning per l'ottimizzazione del traffico veicolare e la regolazione semaforica); a integrazione, intersezioni intelligenti che rispondano dinamicamente a fattori come il flusso del traffico e dei pedoni, ottimizzandone la gestione e riducendo i tempi di attesa; sistemi di trasporto pubblico cognitivi che utilizzano l'apprendimento automatico per analizzare i dati dei passeggeri, ottimizzare gli orari e prevedere la domanda, migliorando l'efficienza e la affidabilità dei servizi di trasporto pubblico.
- Sicurezza Pubblica: sistemi intelligenti di risposta alle emergenze, che analizzano i dati dei sensori per identificare e prioritizzare gli incidenti, a seconda di come essi si caratterizzano in base ai potenziali impatti e all'urgenza intesa come tempo entro il quale l'incidente andrebbe risolto, facilitando quindi una più rapida risposta e il coordinamento delle risorse, che devono avere sempre una supervisione umana nella fase decisionale e attuativa vera e propria; sistemi basati su elaborazione del linguaggio naturale, che monitorano e identificano rischi per la sicurezza pubblica attraverso i social media e le piattaforme online, consentendo l'individuazione tempestiva di a minacceo emergenze.
- Energia: sistemi di gestione energetica basati sull'IA, che consentano di ottimizzare la distribuzione dell'energia, minimizzando gli sprechi e riducendo i costi, migliorando

complessivamente l'efficienza energetica; Digital Twin per la gestione dell'acqua e delle acque reflue, che monitorino attivamente le fonti di dati per migliorare le operazioni degli impianti e garantire una gestione efficiente delle risorse.

- Salute e benessere: sistemi di monitoraggio delle epidemie, che consentono di raccogliere dati sui pazienti, predire comporta menti e abilitare azioni preventive negli ospedali, come piani di isolamento e trattamenti a distanza; robot per la riabilitazione, che forniscono terapia fisica e mentale e guidano i pazienti attraverso esercizi mirati, che monitorano i loro progressi, migliorano il recupero dopo lesioni o interventi chirurgici.
- Gestione delle comunità: piattaforme cognitive di coinvolgimento dei cittadini che consentano loro di proporre idee, interagire, dibattere e partecipare attivamente alla vita della città e anche alla progettazio ne dei servizi, potenziando la partecipazione civica e la reattività dell'amministrazione pubblica. Attraverso l'utilizzo di sistemi di elaborazione avanzata del linguaggio possono essere classificate e monitorate automaticamente preferenze e opinioni, bisogni specifici dei cittadini e raccomandando ulteriori idee e soluzioni, pur sempre garantendo i diritti fondamentali della persona (quali privacy, anonimato).
- Turismo e ospitalità: profilazione dettagliata dei turisti/ospiti, che consenta di raccogliere i dati provenienti da varie fonti per offrire esperienze personalizzate, pur preservando la privacy.

GLI SCENARI TECNOLOGICI

La scelta delle innovazioni tecnologiche riportate in questo studio è stata fatta con lo scopo di presentare tutte quelle tecnologie che già oggi consentono di aumentare produttività, sostenibilità e resilienza sia del settore privato, sia del settore pubblico e che saranno strategiche in questo senso, richiedendo quindi massicci investimenti in tecnologia, processi, aggiornamento di organizzazione e competenze, anche nei prossimi tre – cinque anni.
Per la realizzazione di tali investimenti sarà fondamentale un'adeguata integrazione di tutti i fondi disponibili, tra cui certamente quelli del PNRR, i fondi strutturali europei, disponibili attraverso le programmazioni regionali (FESR ed FSE in particolare ma non solo), i fondi di sviluppo e coesione, oltre naturalmente a tutta la programmazione europea.

Le tecnologie riportate nel settore digitale hanno un carattere fortemente trasversale e abilitante per tutti i settori produttivi. L'applicazione specifica di tali tecnologie nelle filiere produttive viene ripresa e descritta in diversi dei settori affrontati dallo studio Airi le Innovazioni del prossimo futuro. Tra questi, segnaliamo in particolare il settore semiconduttori e microelettronica, che affronta il tema dello sviluppo di processori, dispositivi e sistemi di calcolo che rendono possibile lo sviluppo e l'utilizzo delle tecnologie digitali, e l'ambito della meccatronica, dove le innovazioni digitali sono alla base della totalità delle tecnologie scelte. Le tecnologie digitali sopra descritte si ritrovano poi in diverse delle tecnologie innovative descritte nei settori dei trasporti, spazio, farmaceutica, costruzioni, energia, ambiente e chimica e materiali.
Di seguito viene presentata una breve descrizione delle tecnologie e delle motivazioni alla base delle scelte fatte:

1. **Calcolo ad alte prestazioni (HPC).** L'HPC è tecnologia abilitante anche per la gestione di Big Data, se pure le sue applicazioni non si limitano alla manipolazione e interpretazione di dati. Il calcolo ad alte prestazioni è una tecnologia trasversale la cui applicazione va dalla simulazione in fase progettuale al controllo

delle operazioni di sistemi di produzione in tempo reale. L'HPC è una tecnologia abilitante che permette di studiare problemi in maniera molto efficiente rispetto a più tradizionali metodi di prototipizzazione (basti pensare all'aerodinamica) ma richiede a sua volta investimenti rilevanti e soprattutto un elevato livello di competenze (e quindi di formazione) per ottenere le prestazioni desiderate sulle moderne piattaforme di calcolo. L'Italia possiede un importante patrimonio di infrastrutture HPC prevalentemente al servizio della ricerca scientifica nazionale ed europea e connesse dalla Rete Nazionale del Consorzio GARR. Nodi primari di questa rete sono il CINECA e il CNAF di INFN. I sistemi di supercalcolo del CINECA (82 Enti consorziati, fra cui 68 Università e 9 Enti di Ricerca) offrono servizi a oltre 3000 utenti, e nel consorzio opera un apposito Dipartimento HPC che, oltre alle applicazioni del dominio scientifico, supporta anche applicazioni industriali. Il CNAF è il centro di supercalcolo di INFN ed è anche di vitale supporto agli esperimenti dell'Acceleratore di Particelle LHC, alla ricerca nel settore della Fisica ad Alte Energie e delle Astroparticelle. Entrambi i siti sono situati a Bologna e sono connessi con rete a banda 1.2Tbit/s. Ad essi si aggiungono altri sistemi di classe Petascale, come quelli del Centro dell'ENEA di Portici, del Centro di CMCC di Lecce e del Centro di SISSA/ICTP di Trieste, e centri "minori" dell'INAF, INGV, CNR e altri enti di ricerca. A questi va aggiunta la struttura Cloud Federata del GARR. La gestione e il potenziamento di questo patrimonio sono di rilevanza strategica per l'Italia e devono evolvere in sinergia con il contesto europeo, sia strategicamente sia finanziariamente. In questo quadro si colloca anche il Progetto Leonardo, ovvero l'installazione, la messa in esercizio e la gestione nel tecno-polo di Bologna del più performante calcolatore italiano di classe pre-exascale, con una potenza di calcolo superiore ai 250 Petaflops e nodo primario della rete di supercalcolo europeo. Il 50% della potenza di calcolo erogata da questa macchina sarà a disposizione degli istituti di ricerca e delle università, ma anche delle aziende del nostro paese.

2. Intelligenza Artificiale, Machine Learning, Deep, Explainable Ai

L'Intelligenza Arificiale (IA) viene da molti considerata la più influente e dirompente rivoluzione tecnologica del XXI secolo, con una forza propulsiva più volte paragonata all'elettricità [13], grazie all'impatto sul tessuto produttivo e sociale atteso dall'uso pervasivo delle tecnologie abilitanti.

Ll'IA viene considerata come il nucleo della quarta rivoluzione industriale e definita come un nuovo paradigma computazionale di impatto globale per la società, per l'industria e per l'economia. In questo ambito, l'Europa e l'Italia si impegnano per definire un ecosistema di eccellenza scientifica e industriale, per un'autonomia tecnologica del nostro paese nelle tecnologie abilitanti dei sistemi intelligenti, ed un ecosistema di fiducia per una produzione ed adozione consapevole di sistemi dotati di Intelligenza Artificiale, affinché la tecnologia sia centrata sulla persona, sui suoi diritti, bisogni e valori.

L'attuale evoluzione raggiunta permette di affrontare applicazioni di riconoscimento, classificazione e correlazione con applicazioni digitali non più di tipo procedurale e rigido, ma con soluzioni flessibili in grado di apprendere e auto-adattarsi sulla base dei dati forniti. Ciò consente di realizzare applicazioni digitali in grado di sostituire (o comunque supportare) l'apporto umano riguardo compiti ripetitivi e che prevedano processi definiti o che comprendano grandi quantità di dati, la cui analisi ed elaborazione non risulti possibile a livello umano e nemmeno tramite algoritmi procedurali.

L'attuale frontiera dell'IA generativa apre ulteriori possibilità, sia riguardo l'interazione applicazione-utente umano sia possibili applicazioni legate alla clusterizzazione e classificazione delle informazioni. Dal punto di vista dello sviluppo del mercato globale e delle relative applicazioni si osserva una tendenza crescente ad investire in soluzioni e servizi basati sull'IA. Tuttavia, il mercato italiano risulta ancora complessivamente limitato, con un valore di 435 milioni di euro nel 2022, se pure una crescita del 32% rispetto all'anno precedente (dati sempre forniti dal rapporto Anitec Assinform). Il contesto di adozione di queste tecnologie è ancora in larga parte caratterizzato da investimenti realizzati da grandi aziende e un approccio ancora

[13] *Fonte: EU, documento "AI for Europe" 2018*

sperimentale da parte delle piccole e medie imprese. In particolare, le aziende di dimensioni più ridotte trovano più difficoltà nel reperire il budget necessario per progetti in ambito AI e presentano un livello di digitalizzazione dell'azienda e del personale inferiore. Da un sondaggio realizzato da NetConsulting cube rivolto ai Chief Information Officer (CIO) delle principali aziende italiane, l'adozione dell'IA è prevista in crescita soprattutto per ottimizzare i processi di business, con un utilizzo significativo in alcuni processi, in particolare nelle vendite, nel marketing e nella gestione della Compliance.

3. Big Data. L'importanza attribuita alla gestione e all'analisi dei dati ricopre un ruolo rilevante nelle strategie digitali delle aziende. Le stime del rapporto Anitec-Assinform confermano una dimensione del mercato italiano di soluzioni "Big Data"[14] nel 2022 pari a 1,5 miliardi di euro, con una crescita del 14% rispetto all'anno precedente. Applicazioni Big Data consentono alle aziende di supportare al meglio le decisioni strategiche, indirizzare politiche di contenimento dei costi, generare scenari evolutivi, ottenere una migliore visibilità cross-funzionale e lungo le filiere dei loro business, aderire meglio alle direttive di compliance e, in alcuni casi, indirizzare innovazione di processo, prodotto o servizio. Se si guarda oggi ai principali fenomeni che caratterizzano lo sviluppo dell'economia e del sociale come l'industria 4.0, l'Impresa 4.0, il Digital banking, le Smart city, la Smart agrifood e tantissimi altri, si deve osservare che la vera base di questi fenomeni è tutta chiaramente polarizzata sui dati e sulla capacità di lavorare su una visione che è nello stesso tempo più alta e ampia, ma anche più precisa, dei dati. Più cresce l'orientamento delle aziende a sviluppare e attuare forme di data-driven innovation, più acquistano importanza le due parole chiave che accompagnano questo processo, che racchiudono da sole il vero significato di questa trasformazione digitale basata sui dati: conoscenza e precisione. Il lavoro sui dati, e in particolare sui Big Data, allarga i confini della conoscenza delle imprese e delle Pubbliche Amministrazioni anche ad ambiti un tempo inesplorati o impraticabili. E sempre il lavoro sui Big Data permette contemporaneamente di aumentare esponenzialmente la precisione di questa conoscenza e la

[14] Solo a scopo di chiarezza ricordiamo che con il termine "Big Data" ci si riferisce a set di dati troppo grandi o troppo complessi per le applicazioni di elaborazione tradizionali. Siamo in presenza di "Big Data" quando sono presenti una o alcune delle seguenti caratteristiche: alto volume, alta velocità o alta varietà

precisione delle decisioni e delle azioni che si appoggiano su questa conoscenza. Oggi, nelle imprese l'utilizzo dei dati è spesso parziale e contingente, utilissimo certamente per raggiungere determinati obiettivi, ma limitato. Mentre appare evidente che il vero valore di questo patrimonio e la vera ricchezza si possano esprimere nel momento in cui si mette in atto un processo di valorizzazione di tutti i dati aziendali, partendo da una visione di insieme di tutte le fonti. Tra i trend di maggior rilievo in atto in questo ambito non si può non considerare l'integrazione tra Big Data e IA.

4. Ultra-wide band, 5G, 6G. La tecnologia 5G ha confermato un evidente tasso di diffusione in Italia anche nell'ultimo anno, con una sempre più evidente tendenza del Settore pubblico (che è stato trainante in termini di programmi di investimento abilitati per sperimentazioni su scala urbana) e privato. Entrambi i settorihanno fortemente investito per sostenere la visione promessa dal 5G: creare una nuova piattaforma di connettività e di sviluppo applicativo per un mondo connesso senza (percettibili) limitazioni di velocità, latenza, densità, affidabilità.
L'Italia, anche utilizzando parte dello spettro LTE (Long-Term-Evolution) in tecnologia DSS (*Dynamic Spectrum Sharing*) ha realizzato la più importante copertura 5G in Europa, per avvicinare i consumatori ad alcuni vantaggi di questa tecnologia. Parimenti, con le risorse del PNRR, si accinge a fare alcuni investimenti che colmeranno delle lacune di copertura di territori, oltre che di copertura in fibra dei siti radiomobili 5G extra urbani e rurali. Infatti, allo scopo di realizzare una vasta gamma di servizi nuovi e in evoluzione, le capacità delle reti di accesso wireless devono essere migliorate ed estese in varie dimensioni. Ciò include funzionalità classiche, come incremento di velocità dati, la riduzione di latenza e la crescita di capacità del sistema, ma anche nuove funzionalità, alcune delle quali potrebbero essere di natura più qualitativa.
L'evoluzione del 5G in "5G Advanced", caratterizzato da incrementali capacità nelle aree di *enanched Mobile Boradband* (eMBB), *Ultra-Reliable low latency communications* (URLLC) e *massive Machine Type* (mMTC), costituisce un primo elemento verso un nuovo paradigma, più comunemente indicato come 6G. Gli elementi centrali

del 6G formeranno un sistema in grado di potenziare la visione di una comunicazione intelligente "always on", che colleghi un mondo cyber-fisico. Con una base di sistemi affidabili e un tessuto di elaborazione altamente efficiente con capacità di cognizione integrate, le reti del futuro forniranno connettività illimitata per applicazioni e servizi che potranno essere creati dinamicamente e "on demand". Ciò renderà il 6G un'ampia piattaforma per l'innovazione e la spina dorsale informatica della società, portando alla creazione di un mondo fisico completamente digitalizzato e programmabile. Il 6G consentirà di muoversi liberamente nel continuum cyber-fisico, tra il mondo fisico di sensi, azioni ed esperienze, e la sua rappresentazione digitale programmabile. In tale contesto sarà possibile proiettare oggetti digitali su oggetti fisici rappresentati digitalmente, consentendo loro di coesistere senza soluzione di continuità come realtà fusa e quindi offrire soluzioni migliorate per il mondo reale.

5. Cloud e Edge Computing . Tra i *digital enabler* il Cloud Computing (CC), insieme alle tecnologie mobile e all'IOT (Internet of Things), è stato confermato anche nel 2022[15] al primo posto in valore assoluto per investimenti delle imprese (più di 5,2 miliardi di euro, con una crescita del 24% rispetto al 2021 considerando soluzioni di private e public cloud). L'introduzione del Cloud è strategica, sia nel settore privato sia in quello pubblico, per garantire tempi di implementazione di soluzioni digitali e nuovi servizi molto più rapidi, flessibili a costi contenuti e resi variabili in base al reale utilizzo dell'infrastruttura, e per effettuare configurazioni di sistemi SAAS in modo molto meno oneroso rispetto alle personalizzazioni di soluzioni *on premise*. Inoltre, l'adozione di soluzioni Cloud consente alle imprese di disporre di frequenti aggiornamenti e quindi ridurre l'obsolescenza tecnologica. Per espletare le funzionalità business richieste, vengono peraltro diminuiti gli onerosi investimenti in hardware a favore di un utilizzo di risorse funzionale ai carichi di lavoro necessari, sfruttando anche

[15] *Rapporto Anitec Assinform 2023 – Il Digitale In Italia*

una delle caratteristiche più evidenti delle soluzioni cloud, quelle della scalabilità delle risorse, che consente di introdurre una notevole flessibilità all'interno delle aziende. Altro elemento di sempre maggior rilievo per le imprese, in particolare per le PMI, è quello della sicurezza, che attraverso soluzioni cloud può essere assicurata in modo molto più efficace e meno costoso. Recentemente, si è affiancato al cloud computing anche l'*edge computing* (EC), un paradigma di elaborazione decentralizzata che porta l'elaborazione dei dati e il calcolo più vicino alla fonte di generazione dei dati. A differenza del CC, in cui i dati vengono inviati a un data center centralizzato per l'elaborazione, l'EC distribuisce le risorse di calcolo al "bordo" della rete, più vicino al luogo in cui i dati vengono prodotti. Questa vicinanza riduce la latenza e i requisiti di larghezza di banda, consentendo un'elaborazione e un'analisi più veloci ed efficienti in tempo reale. L'EC è particolarmente vantaggioso in scenari in cui l'elaborazione in tempo reale o quasi in tempo reale è cruciale, come nei veicoli autonomi, nell'automazione industriale, nel monitoraggio sanitario e nelle città intelligenti.

6. Blockchain. La blockchain è una struttura di dati digitale distribuita e immutabile formata da "blocchi": ogni blocco della catena contiene transazioni verificate e un riferimento crittografico al blocco precedente, cosa che consente di formare una catena lineare, cronologica e continua di dati. Le importanti caratteristiche che rendono unica la blockchain sono: decentralizzazione (i dati sono distribuiti su una rete di nodi (computer) senza un'autorità centrale, il che aumenta la trasparenza e riduce il rischio di frode e censura); immutabilità (una volta registrati, i dati nei blocchi non possono essere modificati senza alterare tutti i blocchi successivi, il che richiede il consenso della maggioranza della rete: questo rende la blockchain resistente alle manomissioni); trasparenza (le transazioni sono visibili a tutti i partecipanti della rete, il che migliora la tracciabilità e la verifica delle informazioni); sicurezza (la blockchain utilizza tecniche crittografiche per proteggere i dati e garantire l'integrità delle transazioni: ogni blocco contiene un hash crittografico unico del blocco precedente, collegandoli in modo sicuro); consenso (la blockchain utilizza meccanismi di consenso come Proof of Work (PoW) o Proof of Stake (PoS)[16] per convalidare e

[16] *Si tratta di protocolli di consenso utilizzati nelle blockchain, nel primo caso (PoW) basati sulla risoluzione di complessi problemi matematiche per convalidare le transazioni, nel secondo caso (PoS) basati sulla soluzione di validatori delle transazioni per inserire nuovi blocchi in base alla quantità di criptovalute che possiedono e sono disponibili a mettere in gioco (stake). Il primo protocollo, sebbene molto dispendioso dal punto di vista energetico, in quanto richiede elevate risorse computazionali, è attualmente il metodo più diffuso e sicuro.*

aggiungere nuovi blocchi alla catena, assicurando che tutte le copie del registro distribuito siano identiche). Nel 2023 il livello di investimento delle aziende italiane è stato lievemente inferiore a quello dell'anno precedente (30 milioni di di euro nel 2023 contro i 42,5 milioni di euro nel 2022)[17] e gli attori coinvolti nei progetti hanno spostato la propria attenzione dal lancio immediato di progetti di piccola dimensione, che nel 2022 sono stati focalizzati principalmente sulla creazione di NFT, alla realizzazione di prototipi e progetti pilota di maggiori dimensioni, . Il 2022 a livello globale è stato segnato dallo scoppio della bolla delle cripto valute, ma ha visto anche la crescita degli investimenti volti a rendere più solide e scalabili le piattaforme Blockchain e a ridurne gli impatti in termini di consumo energetico, con il lancio ad esempio della nuova versione di Ethereum[18]. I progetti sperimentali continuano ad essere prevalenti, seppure si ravvisi una maggiore maturità di alcuni settori, primo tra tutti il *finance*, che da sempre rappresenta il mercato più avanzato nell'adozione di tecnologie Blockchain. Applicazioni crescenti della tecnologia Blockchain sono inoltre legate agli NFT (Non Fungible Token), attraverso cui è possibile creare *crypto* asset con codici di identificazione e metadati univoci, non replicabili, scambiabili anche in assenza di fiducia tra le parti. In particolare, dopo la sperimentazione nel campo dell'arte e dei *collectible*, gli NFT vengono utilizzati per il rilascio di certificati che rappresentano il passaporto digitale del prodotto, contenente i dati relativi alla tracciabilità, alla storia del prodotto in termini di manutenzioni effettuate (ad esempio nel caso di un'automobile) o che ne attestino l'indice di sostenibilità. Lo sviluppo degli NFT è anche legato all'evoluzione del metaverso, per consentire nel mondo virtuale lo scambio di prodotti, asset (finanziari e digitali) attraverso token. In un'ottica di sviluppo futuro, menzioniamo altre applicazioni di interesse industriale: la tracciabilità dei prodotti (particolarmente rilevante per settori quali quello agroalimentare e farmaceutico) e delle materie prime, la notarizzazione di contratti (settore immobiliare, ma anche quello legato ai contratti pubblici sono particolarmente rilevanti), la gestione di dati personali e di proprietà intellettuale, protezione della proprietà digitale e dei relativi diritti.

7. Realtà Aumentata e Realtà Virtuale . Le tecnologie di realtà alternative

[17] *Fonte: Osservatorio "Blockchain e Web3" del Politecnico di Milano: Infografica-ConvBlockchain-190124-sku-4006553.png (3508×7570)*

[18] *Ethereum è una piattaforma blockchain decentralizzata che consente la creazione e l'esecuzione di contratti intelligenti e applicazioni decentralizzate. A differenza di Bitcoin, che è principalmente una criptovaluta, Ethereum è progettato per essere una piattaforma versatile che consente agli sviluppatori di costruire e distribuire applicazioni su una rete blockchai*

come realtà virtuale, realtà estesa e realtà aumentata hanno avuto un notevole sviluppo negli ultimi anni; esse permettono di digitalizzare asset esistenti o ancora in progettazione, simularne il comportamento e collegare flussi informativi alla versione digitale dell'asset, permettendo l'interazione dell'utente grazie a dei visori che possono essere immersivi o basati sullo schermo dei cellulari. La realtà virtuale sostituisce quella reale con un mondo sintetico, la realtà aumentata collega informazioni digitali alla realtà. La realtà mista si pone fra le precedenti "integrando" elementi del mondo reale a elementi digitali. Attualmente, nel contesto business, le soluzioni di AR/VR si configurano come un ambito tecnologico a supporto di specifici processi di business. Relativamente all'utilizzo di queste soluzioni, crescente interesse e investimenti concreti si trovano soprattutto nell'ambito della formazione degli operatori, per velocizzare le fasi di progettazione e lo sviluppo dei prodotti, a supporto della manutenzione e della gestione delle infrastrutture critiche. I settori maggiormente coinvolti sono infatti quelli Energy & Utilities, Industria, Trasporti e Telecomunicazioni; meno spiccata ma in graduale aumento appare l'attenzione delle aziende verso l'utilizzo di AR/VR per innovare le relazioni con l'utente finale. Dal punto di vista delle prospettive future si evidenzia che le catene del valore che saranno maggiormente interessate sono quelle con processi più strutturati e quindi più facilmente codificabili con una minore variabilità di prodotti e procedure da eseguire. Un ulteriore impatto prioritario è verso le catene del valore ad alta tecnologia che hanno poco o nullo accesso ai prodotti durante il loro ciclo di vita (es: aeronautica, oil & gas, difesa, grandi infrastrutture, etc.).

8. Internet of things . Le IoT sono tecnologie disponibili da tempo e che continuano ad essere in cima alla lista di quelle su cui le imprese investono maggiormente (nel 2022 la dimensione degli investimenti in IOT si è confermata superiore ai 4 miliardi di euro).

In questo momento sono trainate e continueranno ad esserlo, anche nei prossimi tre anni, dagli investimenti del PNRR, oltre che da quelli industriali. Tra le applicazioni

più rilevanti basate su IOT si evidenziano tutte quelle legate alle smart cities (con applicazioni che possono andare dai parcheggi intelligenti, all'efficientamento dell'illuminazione pubblica, alla gestione del consumo di energia, al monitoraggio della qualità dell'aria, alla mobilità urbana e alla sicurezza pubblica), agli smart building, alle smart grid.
In ambito industriale l'IOT è la tecnologia di base per lo sviluppo delle smart factory e per l'ottimizzazione delle catene di distribuzione (Supply Chain), con applicazioni che vanno dall'efficientamento energetico, al controllo di qualità, alla manutenzione preventiva e predittiva, alla gestione degli asset logistici, alla tracciabilità dei prodotti. L'evoluzione della rete 5G e l'introduzione di LoraWan (protocollo di trasmissione dei dati ad ampio raggio e a lunga portata) rappresentano alcune tra le tecnologie abilitanti dell'IoT per le Smart City, favorendo da una parte velocità, densità e bassa latenza e, dall'altra, bassi costi, ridotti consumi ed elevata interoperabilità tra le applicazioni, gli operatori IoT e quelli di telecomunicazioni. Le tecnologie Digital Twin si stanno dimostrando un'ulteriore leva che spinge l'introduzione di soluzioni IoT in vari settori. Queste innovazioni vengono sempre di più utilizzate per migliorare la conoscenza della situazione reale e automatizzare le risposte alle condizioni in cambiamento. È infatti possibile ottenere un vero feedback in tempo reale solo da una risposta on line del modello, su scale temporali compatibili con le reali condizioni operative dell'asset.

9. Cyber Security . Per Cybersecurity si intende quell'insieme di tecnologie, processi e buone pratiche organizzative che consentono di proteggere sistemi, reti e programmi dagli attacchi digitali. Il rapporto Clusit 2024[19] conferma ancora una volta che, nonostante i rilevanti investimenti in cultura, processi, tecnologia attivati anche grazie al PNRR, l'Italia è sempre più nel mirino dei cyber attacchi. A livello mondiale, con 2.779 incidenti gravi analizzati a livello globale, il 2023 restituisce una fotografia nettamente peggiorativa rispetto ai dodici mesi precedenti, continuando a descrivere una curva degli attacchi in inesorabile crescita, che registra un +12% sul 2022. Nell'81% dei casi la gravità

[19] *Fonte - Rapporto Clusit 2024: Rapporto Clusit – Clusit*

degli attacchi è elevata o critica, secondo la scala di "severity" utilizzata dai ricercatori di Clusit che si basa sulla tipologia di attacco e sugli impatti.
Lo scorso anno in Italia è andato a segno l'11% degli attacchi gravi globali mappati dal Clusit (era il 7,6% nel 2022), per un totale di 310 attacchi, dato che marca una crescita del 65% rispetto al 2022. Oltre la metà degli attacchi – il 56% – ha avuto conseguenze di gravità critica o elevata. Con uno sguardo agli ultimi cinque anni, emerge inoltre che oltre il 47% degli attacchi totali censiti in Italia dal 2019 si è verificato nel 2023.
La principale preoccupazione è rappresentata dall'instabilità dello scenario geopolitico, seguita dalle relazioni all'interno della supply chain che estendono il perimetro delle aziende e le espongono a maggiori rischi.
Le PMI risultano maggiormente esposte ai rischi in quanto non solo sono più in ritardo sugli investimenti organizzativi e tecnologici, ma anche perché sono una facile "porta di ingresso" in catene del valore di grandi imprese, anche operanti in settori critici per il paese.
In questo contesto la Next-Generation Security prevede che prodotti e soluzioni di sicurezza debbano supportare gli utenti finali a ottimizzare, in chiave preventiva e proattiva, le proprie strategie di detection e difesa, e a classificare e dare priorità alle tante informazioni sulle minacce.

- Consolidamento dei flussi di lavoro: un flusso di lavoro unificato implica un consolidamento degli strumenti a disposizione del Security Operation Center Manager (SOC)
- Machine Learning/Intelligenza Artificiale: l'adozione di strumenti di sicurezza basati su ML/AI contribuisce a rendere molto più efficace l'attività del SOC.



SETTORE

TECNOLOGIE DIGITALI

SCENARI TECNOLOGICI

indice - scenari tecnologici

1 - CALCOLO AD ALTE PRESTAZIONI (HPC) 59

2 - INTELLIGENZA ARTIFICIALE, MACHINE LEARNING, DEEP, EXPLAINABLE AI 71

3 - BIG DATA 89

4 - ULTRA-WIDE BAND, 5G, 6G 99

5 - CLOUD E EDGE COMPUTING 109

6 - BLOCKCHAIN 119

7 - REALTÀ AUMENTATA E REALTÀ VIRTUALE 131

8 - INTERNET OF THINGS 141

9 - CYBER SECURITY 153

CALCOLO AD ALTE PRESTAZIONI (HPC)

I *supercomputer* più potenti sono oggi in grado di eseguire, almeno in teoria, un miliardo di miliardi (1018) di operazioni aritmetiche e logiche in un secondo. Sono sistemi costituiti da migliaia di nodi computazionali (equivalenti a singoli computer) collegati tra di loro da una rete interna a bassa latenza ed elevata ampiezza di banda. I nodi sono spesso equipaggiati con acceleratori quali le GPU (Graphics Processing Units), originariamente sviluppati per operazioni particolari (come quelle grafiche, da cui deriva il nome) ma in realtà in grado di eseguire contemporaneamente le operazioni più comuni (come somme e moltiplicazioni) su un numero elevatissimo di dati diversi.

Questa enorme capacità di calcolo offre nuove possibilità per l'utilizzo della simulazione e dell'analisi dati nei processi industriali e più in generale nell'economia, ma richiede un uso *efficiente* affinché il calcolo sia realmente ad alte prestazioni (*High Performance Computing, HPC*) e, soprattutto, sostenibile.

Oltre ai settori che ormai da decenni fanno uso della simulazione per ridurre i costi ed i rischi tipici dello sviluppo di prototipi fisici come, ad esempio, l'industria aeronautica e automobilistica, vi sono settori, come quello dell'industria farmaceutica, che contano sempre di più su strumenti computazionali, che affiancano e molte volte sostituiscono la sperimentazione in laboratorio, per ridurre i tempi e il costo dello sviluppo di nuovi farmaci. Anche settori come quello della mobilità, e più in generale della pianificazione urbana, nei quali si richiede di compiere scelte critiche (come quella di introdurre deviazioni o blocchi del traffico) in tempi estremamente ridotti, hanno la necessità di elaborare un'enorme quantità di dati disponibili attraverso sensori, videocamere, etc. usando tecniche tipiche del HPC come il calcolo parallelo. Lo sviluppo impetuoso delle tecniche di Intelligenza Artificiale Generativa, in gran parte reso possibile proprio grazie al calcolo ad alte prestazioni, sta infine determinando un uso crescente del HPC anche da parte di settori produttivi, come quello dello spettacolo, che non avevano percepito fino ad adesso la necessità di investire ed acquisire competenze nel campo del calcolo numerico.

Le piattaforme per l'HPC non sono solo i grandi *supercomputer general purpose,* ma anche dispositivi molto più compatti dedicati a scopi specifici che eseguono quello che viene definito *Edge Computing*. Nell'*Edge Computing* l'elaborazione dei dati è più vicina alla fonte di generazione, riducendo così la latenza e il carico sulla rete. Questa architettura consente quindi di processare e analizzare i dati direttamente sul dispositivo o su server locali, migliorando l'efficienza e la velocità delle applicazioni IoT e di altre tecnologie digitali.

L'*High Performance Computing* è la capacità di elaborare dati ed eseguire calcoli complessi ad alta velocità.

L'HPC non è adoperato solamente per la risoluzione di singoli problemi di grandi dimensioni, come la progettazione di componenti aerospaziali o navali, ma il suo utilizzo gioca un ruolo di primo piano anche in contesti in cui si devono affrontare numerosi problemi relativamente semplici. In queste situazioni, la velocità di esecuzione dei calcoli è essenziale per non compromettere il valore delle soluzioni trovate. Pertanto, sono indispensabili reti di comunicazione su larga scala, in grado di fornire un'ampia banda, con velocità dell'ordine dei Terabit (circa 100 gigabyte al secondo), per evitare ostacoli che rallenterebbero significativamente il processo di calcolo.

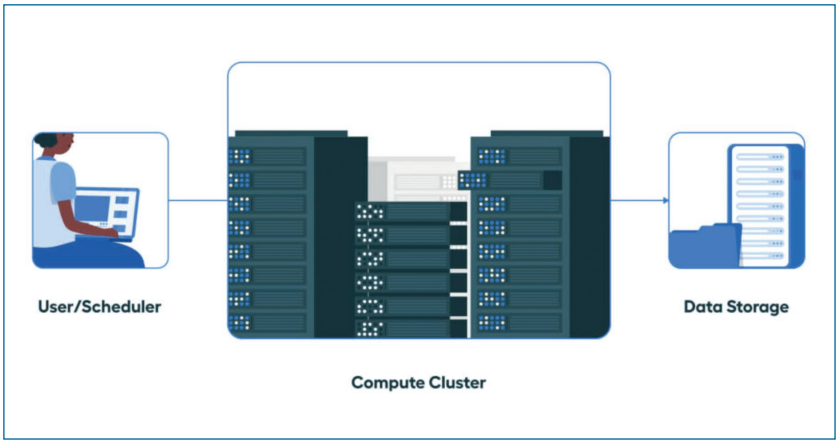


Figura 1: Cluster of computers

MOTIVAZIONE PER LO SVILUPPO

Il calcolo ad alte prestazioni non è un'invenzione recente. Già negli anni Sessanta dello scorso secolo vennero sviluppati sistemi dedicati allo scopo, anche se è stato per molto tempo è stato considerato un settore di nicchia, utile solo per la ricerca scientifica.

Gli alti costi dei *supercomputer* ne hanno inizialmente limitato la diffusione solo alle grandi organizzazioni. Tuttavia, il loro sviluppo non si è mai fermato ed è passato attraverso varie fasi, seguendo, e a volte precedendo, quello dei microprocessori. Per più di 30 anni, le piattaforme più utilizzate sono stati sistemi con poche unità di calcolo (CPU) molto potenti, a cui venivano affiancate unità per il calcolo vettoriale in grado di velocizzare le tipiche operazioni necessarie per la risoluzione di problemi di fluidodinamica, aerodinamica, calcolo strutturale, ecc. comuni nelle applicazioni di tipo ingegneristico.

Successivamente, si è passati a sistemi con un numero molto elevato di unità di calcolo, relativamente economiche, detti *cluster*, che beneficiavano del continuo miglioramento delle prestazioni (dovuto alla cosiddetta legge di Moore[1]) dei microprocessori. I sistemi ad alte prestazioni più moderni appartengono ancora a questa categoria ma, come già menzionato, sono ulteriormente accelerati da dispositivi hardware aggiuntivi che permettono di sfruttare su larga scala le potenzialità del calcolo parallelo.

Dal punto di vista hardware, le piattaforme digitali per il calcolo ad alte prestazioni si possono considerare mature, anche se l'elevato consumo energetico porta con sé importanti interrogativi sulla tematica della sostenibilità. Al contrario, è soprattutto il software a dover essere ulteriormente sviluppato per rendere reale il vantaggio potenzialmente offerto dal calcolo parallelo. Molte applicazioni sviluppate in passato, infatti, non riescono a sfruttare in maniera ottimale le piattaforme moderne perché il loro disegno è intrinsecamente *seriale* (*non parallelo*). La conseguenza è che solo una percentuale molto modesta (spesso inferiore al 20%) della potenza di calcolo viene realmente utilizzata. Sono necessari quindi investimenti specifici nella formazione di sviluppatori di software ad alte prestazioni.

In questo scenario, risaltano le moderne piattaforme supportate dall'IA, soprattutto quelle basate sul *deep learning*, che sono già in grado di utilizzare al meglio la potenza degli acceleratori. Alla base del successo del *deep learning* vi è sicuramente il circolo virtuoso che si è innescato tra la disponibilità della potenza di calcolo delle GPU e la capacità degli sviluppatori di utilizzarla: questa dinamica ha trasformato i risultati ottenuti in uno stimolo ad ulteriori miglioramenti della tecnologia degli acceleratori. Purtroppo, in questo panorama l'Europa (e, con essa, l'Italia) è stata più una spettatrice che un'attrice del cambiamento, ma iniziative come EuroHPC[2] possono rappresentare una concreta possibilità di recuperare il terreno perduto soprattutto rispetto agli Stati Uniti e alla Cina. EuroHPC include, tra le altre, l'*European Processor Initiative* per lo sviluppo di una famiglia di proces-

[1] *Legge empirica che descrive lo sviluppo della microelettronica, a partire dall'inizio degli anni Settanta, con una progressione sostanzialmente esponenziale, perciò straordinaria; la legge fu enunciata per la prima volta nel 1965 da Gordon Moore, uno dei fondatori della INTEL (https://www.treccani.it/enciclopedia/legge-di-moore_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)/).*

[2] *https://eurohpc-ju.europa.eu*

sori europei a basso consumo energetico dedicato al calcolo ad alte prestazioni[3]. Data la complessità e i costi elevati per lo sviluppo di nuove tecnologie per il supercalcolo, è poco probabile che iniziative di singole nazioni, che non siano gli Stati Uniti o la Cina, possano avere successo, ed è quindi fondamentale per l'Italia una partecipazione attiva a collaborazioni su scala europea.

Parallelamente, non si può trascurare l'approccio completamente nuovo all'elaborazione dei dati offerto dal *Quantum Computing*. La caratteristica fondamentale di questo strumento risiede nella *sovrapposizione*, che consente a un'entità soggetta alle leggi della meccanica quantistica di esistere simultaneamente in due stati. Il *Quantum Computing* aspira a fornire sia soluzioni per problemi molto specifici (tipicamente di ottimizzazione), sia sistemi per uso generale, con la promessa di risultare estremamente più veloce dei sistemi classici. Bisogna tuttavia ricordare che il *Quantum Computing* non è in grado di sperimentare simultaneamente tutte le possibili soluzioni a un dato problema e scegliere quella corretta. In questo senso, la tecnologia del *Quantum Computing* è ancora lontana dall'offrire l'affidabilità delle tradizionali piattaforme digitali. Rappresenta sicuramente un fronte di innovazione sul quale, pur con gli evidenti limiti di questa tecnologia, l'Italia potrebbe impegnarsi, senza però trascurare le risorse già investite sulle piattaforme tradizionali.

Risulta necessario invece mettere in relazione le due alternative sfruttando da una parte le piattaforme digitali tradizionali per studiare come sviluppare la tecnologia del *Quantum Computing,* tramite la simulazione, e dall'altra sfruttare l'occasione per sviluppare nuovi algoritmi paralleli.

Esistono già prodotti che permettono di sperimentare il paradigma del *Quantum Computing* ma nessuno è in realtà in grado di competere in termini di efficienza con le piattaforme di calcolo digitale: per questo motivo, tali strumenti devono essere considerati al momento come piattaforme da esercitazione, e non come valide alternative al calcolo digitale.

[3] *https://www.european-processor-initiative.eu/project/epi/*

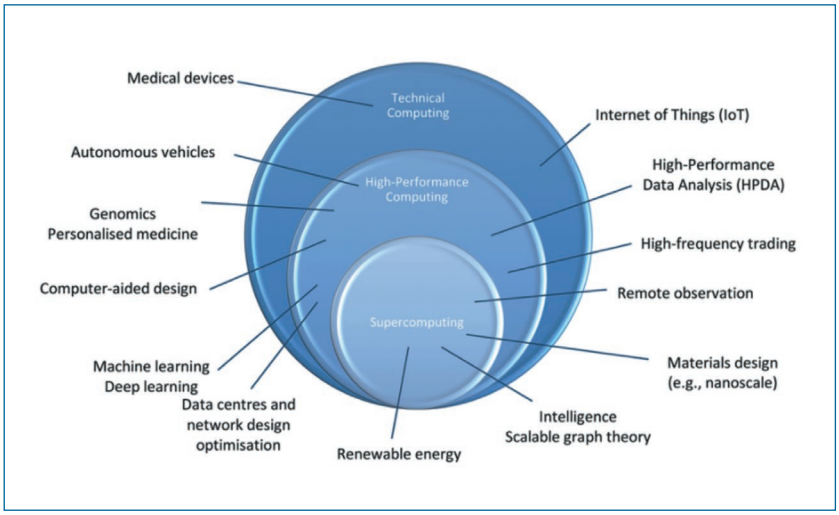


Figura 2: Rilevanza del HPC nei domini emergenti e strategici.

Fonte: https://www.precedenceresearch.com/high-performance-computing-market

RILEVANZA

Il calcolo ad alte prestazioni è una tecnologia trasversale e abilitante la cui applicazione va dalla simulazione in fase progettuale al controllo in tempo reale delle operazioni di sistemi di produzione. Permette di studiare nuove soluzioni per problemi in maniera molto efficiente rispetto a più tradizionali metodi di prototipizzazione ed è fondamentale per rendere concrete le premesse di altre tecnologie, come quella dei *Digital Twin* (repliche virtuali di oggetti fisici).

Tuttavia, l'HCP necessita di ulteriori sviluppi, e quindi investimenti, per essere realmente competitiva e compatibile con la crescente necessità di utilizzare tecnologie a basso impatto ambientale che risultino sostenibili nel medio-lungo termine. I supercomputer attualmente utilizzati per il calcolo ad alte prestazioni hanno

consumi energetici nell'ordine dei Megawatt (confrontabili quindi con quelli di qualche migliaio di abitazioni) e richiedono ambienti opportunamente climatizzati a causa dell'elevata quantità di calore che producono. L'efficienza energetica di un centro di calcolo è caratterizzata dal suo PUE (Power Use Effectiveness) che rappresenta il rapporto tra l'energia totale consumata e l'energia necessaria per i sistemi di calcolo veri e propri. Il valore ideale del PUE è ovviamente pari ad 1; tuttavia, proprio per l'esigenza di raffreddamento degli ambienti, in realtà il consumo energetico totale è sempre più elevato di quello che sarebbe per i soli sistemi di calcolo. Ci sono inoltre anche altri consumi da considerare, come quello per l'illuminazione degli ambienti che ospitano i sistemi di calcolo, ma sono in generale molto meno rilevanti di quelli per la climatizzazione. La riduzione del PUE (che attualmente è spesso oltre 1.5) è un chiaro e ragionevole obiettivo, ma non rappresenta l'unica direzione in cui bisogna lavorare per rendere il calcolo ad alte prestazioni realmente competitivo ed in linea con gli SGDs. L'efficienza energetica di un sistema per il calcolo ad alte prestazioni può essere misurata valutando la quantità di energia richiesta per risolvere un singolo problema, oppure calcolando il numero di problemi che possono essere risolti con una data quantità di energia. In entrambi i casi è soprattutto il software a dover essere sviluppato in modo da minimizzare la prima e massimizzare la seconda. Per questa ragione, risulta essenziale sviluppare delle metriche che possano misurare in modo oggettivo gli impatti positivi di questi sistemi di calcolo (ottimizzazione dei processi, miglioramento nella progettazione, etc.) e confrontarli con gli impatti del consumo energetico e dei materiali utilizzati per costruire e ospitare questi sistemi di calcolo.

A partire da queste considerazioni l'HPC può avere diversi impatti sui Sustainable Development Goals:

- **SDG 3:** Salute e Benessere - l'uso dell'HPC nell'analisi e nella modellizzazione dei dati può contribuire alla ricerca medica, all'analisi genomica, alla simulazione di farmaci, a beneficio della salute umana;

- **SDG 4:** Istruzione di Qualità - l'HPC può migliorare l'istruzione fornendo risorse per la ricerca accademica, lo sviluppo di nuovi strumenti educativi e la formazione avanzata in campi come l'informatica, l'ingegneria e le scienze naturali;

- **SDG 7:** Energia Pulita e Accessibile - l'HPC può essere utilizzato per ottimizzare la produzione e l'utilizzo dell'energia, sviluppare nuove tecnologie energetiche e simulare il comportamento dei sistemi energetici. L'impatto su questo SDG deve però prendere in considerazione anche i grandi consumi di energia necessari ai processi di elaborazione dei supercomputer. Per questa ragione, risulta necessario comprendere se il loro utilizzo generi veramente effetti positivi sull'utilizzo sostenibile dell'energia;

- **SDG 9:** Industria, Innovazione e Infrastrutture - l'HPC è fondamentale per lo sviluppo di infrastrutture tecnologiche avanzate e per l'innovazione in vari settori industriali, inclusi la ricerca scientifica, l'ingegneria e la medicina;

- **SDG 13:** Azione per il Clima - l'HPC può essere utilizzato per simulare scenari climatici futuri, ottimizzare l'uso delle risorse energetiche e sviluppare nuove tecnologie che possano contribuire significativamente a una riduzione delle emissioni.

Il calcolo ad alte prestazioni (HPC) offre soluzioni avanzate in vari settori, ma richiede attenzione per il suo elevato consumo energetico. È cruciale sviluppare soluzioni sostenibili che bilancino prestazioni ed efficienza ambientale per massimizzare il suo impatto positivo sugli SDGs.

INDICATORI DI IMPATTO

Si possono individuare due tipi di indicatori dell'impatto del calcolo ad alte prestazioni: ***diretti*** e ***indiretti.***

Tra quelli ***diretti*** rientrano sicuramente gli indicatori quantitativi sull'*efficienza energetica*, che misurano da un lato il costo operativo del calcolo (si veda nel seguito la sezione sulle risorse economiche necessarie) e dall'altro la capacità di miglioramento della tecnologia stessa.

Indicatori ***indiretti*** sono, ad esempio, il *numero di settori produttivi che fanno ricorso a tecniche di simulazione e di analisi dati su larga scala* per la prototipizzazione digitale riducendo costi e tempo di sviluppo, aumentando al tempo stesso la qualità dei prodotti realizzati, proprio grazie al calcolo ad alte prestazioni.

Il settore del calcolo ad alte prestazioni è per tradizione molto aperto, soprattutto per quanto riguarda il software, e quindi il numero di brevetti non rappresenta un valido indicatore dei risultati e dell'impatto. Più rappresentativi, anche se meno rilevanti dal punto di vista economico, sono il numero di *pubblicazioni su riviste specializzate* e la diffusione dei software sviluppati per il calcolo ad alte prestazioni.

Il software può essere di tipo trasversale (come librerie matematiche per la risoluzione di problemi in vari settori applicativi) oppure verticale (soluzioni mirate a problemi in specifici settori, ad esempio la simulazione di incidenti tra veicoli).

Il calcolo ad alte prestazioni non ha, in genere, implicazioni dirette di carattere etico e legale. Possono essere considerati implicazioni indirette quelle dovute all'utilizzo di strumenti per il calcolo ad alte prestazioni nel campo dell'IA, soprattutto nella sua variante Generativa. Sull'uso dell'I*A Generativa* e da tenere conto la pubblicazione a maggio 2024 della normativa europea sull'Intelligenza Artificiale (AI act[4]), trattata più in dettaglio in altre sezioni del volume. Tale normativa non

[4] *Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*

limita e non riguarda direttamente il ricorso al calcolo ad alte prestazioni, a meno di specifiche applicazioni legate all'uso dell'IA e ricadenti nei limiti imposti dalla norma.

STATO DELL'ARTE

L'Italia possiede un importante patrimonio di infrastrutture HPC prevalentemente al servizio della ricerca scientifica nazionale ed europea e connesse dalla Rete Nazionale del Consorzio GARR. Nodi primari di questa rete sono il CINECA e il CNAF dell'INFN. I sistemi di supercalcolo del CINECA (82 Enti consorziati, fra cui 68 Università e 9 Enti di Ricerca) offrono servizi a oltre 3000 utenti e nel consorzio opera un apposito Dipartimento HPC che, oltre alle applicazioni specifiche del dominio scientifico, supporta anche applicazioni industriali. Il CNAF è il centro di supercalcolo dell'INFN e rappresenta un vitale supporto agli esperimenti dell'acceleratore di Particelle LHC, per la ricerca nel settore della Fisica ad Alte Energie e delle Astroparticelle. Entrambi i siti sono situati a Bologna e sono connessi con rete a banda 1.2Tbit/s. Ad essi si aggiungono altri sistemi di classe Petascale, come quelli del Centro dell'ENEA di Portici, del Centro di CMCC di Lecce e del Centro di SISSA/ICTP di Trieste, e centri dell'INAF, INGV, CNR e altri enti di ricerca. A questi va aggiunta la struttura Cloud Federata del GARR.

A livello industriale, l'ENI ha una tradizione consolidata nell'uso del calcolo ad alte prestazioni utilizzato, ad esempio, per velocizzare l'individuazione e la messa in produzione di nuovi giacimenti. Inoltre, ENI mette a disposizione le proprie risorse computazionali per progetti innovativi in settori quali le energie alternative collaborando, ad esempio con il CNR. Più recentemente, anche Leonardo (ex Finmeccanica) ha investito nell'acquisizione di una moderna piattaforma di calcolo che intende utilizzare soprattutto nei settori dell'aerospazio e della sicurezza intensa non solo come sicurezza informatica. Oltre a colossi come ENI e Leonardo, anche altre realtà industriali fanno ricorso al calcolo ad alte prestazioni, come ad esempio Dallara[5] che fa ampio ricorso a simulazioni di fluidodinamica computazionali,

[5] *https://www.dallara.it*

oppure Dompé[6] farmaceutici che ha sviluppato Exscalate, una piattaforma di screening virtuale e che è stato il primo utente privato del nuovo supercomputer italiano annunciato a novembre 2022[7].

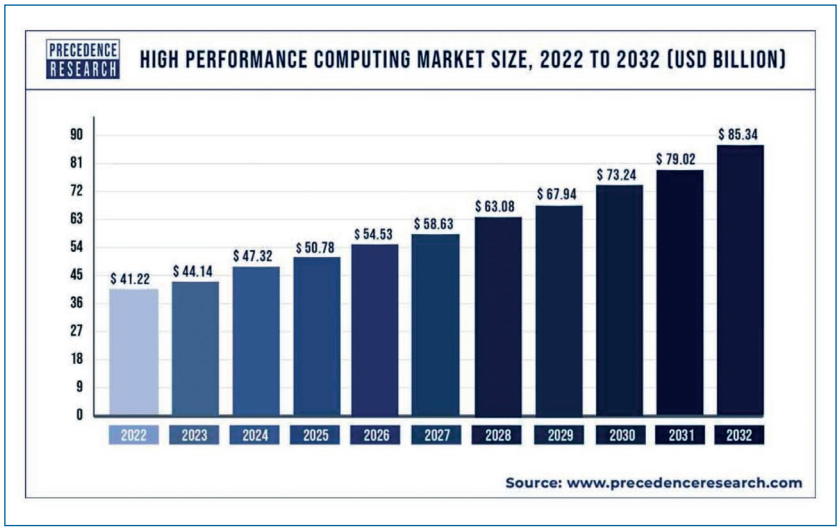


Figura 3: Mercato del HPC, proiezione 2022-2032 (miliardi di dollari)

Fonte: https://www.precedenceresearch.com/high-performance-computing-market

RISORSE ECONOMICHE NECESSARIE

I supercomputer più potenti hanno costi molto alti sia in termini di capitale (CAPEX) per l'acquisizione dell'hardware e, in misura minore, del software, sia operativi (OPEX), soprattutto per i consumi di energia, come ricordato in precedenza. Il costo di acquisizione del nuovo supercomputer italiano Leonardo[8] ha sfiorato i 250 milioni di euro, sostenuti per metà dalla Commissione Europea (nell'ambito di EuroHPC menzionata in precedenza) e per metà dall'Italia.

[6] *https://www.dompe.com/it/scienza/exscalate*

[7] *https://www.cineca.it/area-stampa/comunicati-stampa/inaugurazione-leonardo*

[8] */https://leonardo-supercomputer.cineca.eu/*

Centri di calcolo di fascia media hanno un costo che può andare dai 2 ai 20 milioni di euro e potrebbero essere dislocati, ad esempio, a livello regionale o nei distretti industriali. Il tempo di vita di un sistema per il calcolo ad alte prestazioni è compreso tra i tre ed i cinque anni. Dopo cinque anni, l'obsolescenza della tecnologia e i costi di manutenzione possono rendere antieconomico il mantenimento di una piattaforma e bisogna porsi il problema di come riciclare il più possibile i componenti e smaltire quelli non riutilizzabili. Investimenti molto più limitati, ma che devono essere garantiti con continuità, sono poi richiesti per sostenere la formazione degli sviluppatori di software e dei gestori dei sistemi, condizione necessaria per fare in modo che le moderne piattaforme di calcolo forniscano realmente e non solo nominalmente alte prestazioni.

INTELLIGENZA ARTIFICIALE, MACHINE LEARNING, DEEP LEARNING, EXPLAINABLE AI

L'Intelligenza Artificiale (IA) è la capacità di una macchina di rilevare dati e, sulla base di essi, apprendere, ragionare e creare. L'IA permette ai sistemi di capire il proprio ambiente, mettersi in relazione con quello che percepiscono e agire verso un obiettivo specifico, risolvendo problemi. Il computer acquisisce dati multivariati (già preparati o raccolti tramite sensori IoT, come videocamere, microfoni e misuratori), li processa e risponde. Alcuni sistemi di IA sono anche capaci di adattare il proprio comportamento analizzando gli effetti delle azioni precedenti e lavorando in autonomia. Tali sistemi sono basati sull'apprendimento automatico di modelli matematici, che in generale è detto Machine Learning, o Deep Learning nel caso di modelli basati su reti neurali, e Large Language Model, algoritmi di IA basati su tecniche avanzate di apprendimento particolarmente profonde, relativi all'apprendimento del linguaggio naturale.

Numerosi sono gli ambiti di applicazione di questa tecnologia. Si possono citare modelli che imparano dai dati degli utenti in rete per fornire risultati di ricerca e suggerimenti commerciali più pertinenti. Altre applicazioni riguardano la domotica (ad esempio, con termostati intelligenti che consentono risparmi energetici), le smart cities (con applicazioni di IA nella viabilità), i veicoli a guida autonoma, la cyber security (con sistemi che riconoscono attacchi e minacce), l'economia (dove l'IA può essere usata per prevedere l'andamento di serie temporali), le fabbriche intelligenti (con l'utilizzo di robot e sistemi di manutenzione predittiva), i beni culturali (fruibili tramite realtà aumentata), l'industria farmaceutica (per il supporto alla sintesi di nuove molecole, o l'analisi di grandi quantità di dati sanitari) e la Pubblica Amministrazione (con sistemi di gestione del personale e sistemi di allerta per i disastri naturali).

Inoltre, l'attuale frontiera dell'IA applicata al linguaggio naturale (*Natural Language Processing*) apre ulteriori possibilità, sia riguardo alla ricerca, *clusterizzazione* e classificazione delle informazioni, sia riguardo all'IA Generativa che favorisce l'interazione applicazione-utente, con applicazioni che vanno dalla traduzione

alla scrittura creativa, passando per l'analisi dei semantica su argomenti specifici, l'individuazione di fake news, ma anche la loro creazione, la conversazione e l'assistenza virtuale.

Un ulteriore ambito di applicazione di particolare interesse è quello della salute, dove l'IA viene usata a supporto della prevenzione, diagnosi e predizione e nella chirurgia di precisione; sistemi intelligenti si sono dimostrati infatti capaci di riconoscere patologie a partire da immagini o altri dati clinici

L'*Explainable AI* rappresenta una risposta cruciale alla crescente necessità di rendere trasparenti e comprensibili le decisioni prese dai sistemi di IA, specialmente in ambiti critici come la medicina. Questa branca dell'IA si concentra sulla capacità di spiegare il processo decisionale sottostante ai modelli, consentendo agli utenti di comprendere come e perché vengono prese determinate decisioni. Questa trasparenza è essenziale per garantire la fiducia e l'adozione delle tecnologie IA soprattutto in contesti che coinvolgono direttamente la salute umana. L'*AI Act*[1] e le linee guida sull'etica per l'IA affidabile[2] sottolineano l'importanza della "spiegabilità" per garantire che i sistemi di IA siano utilizzati in modo responsabile e sicuro, rispettando i diritti e la dignità degli individui.

Tra le più interessanti evoluzioni, anche in ottica dei possibili impatti industriali, è opportuno citare anche Tecnologie LLM - Large Language Model, modelli di deep learning che utilizzano enormi quantità di dati testuali per apprendere e generare il linguaggio naturale, con applicazioni che vanno dalla traduzione alla scrittura creativa, passando per la conversazione e l'assistenza virtuale. Uno dei principali vantaggi degli algoritmi basati su LLM è la capacità di adattarsi a diversi domini e compiti linguistici, grazie alla loro architettura trasformativa e al loro pre-addestramento (da cui l'acronimo GPT per Generative Pre-trained Transformer) su enormi quantità di dati testuali provenienti da varie fonti. Questo significa che gli LLM possono essere personalizzati per rispondere alle esigenze specifiche di un determinato settore o cliente, fornendo soluzioni su misura e ottimizzando

[1] *Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*

[2] *Ethics Guidelines for Trustworthy Artificial Intelligence (2019) and Assessment List for Trustworthy Artificial Intelligence (ALTAI) for self-assessment (2020), High Level expert group on AI, European Commission*

le performance. A riguardo si aprono sia scenari positivi sia negativi.

I vantaggi sono:
- **riduzione dei costi di determinati servizi** (es. chat di supporto ai clienti) e loro fruibilità allargata;
- **ottimizzazione dello spostamento di tecnici e materiali** (ad es. parte delle richieste di supporto per problemi sulle macchine si possono risolvere direttamente tramite la chat di supporto, senza necessità di mandare tecnici in loco, con una riduzione notevole delle necessità di spostamento);
- **consolidamento e digitalizzazione organizzata e strutturata** del know-how aziendale.

Tra gli svantaggi si evidenziano quelli relativi agli impatti di tipo energetico (a causa degli elevati consumi connessi a tecnologie come i modelli generativi) e socio-economici (perdita di posti di lavoro, diffusione di informazione false, etc.).

Quando l'IA viene applicata in ambiti reali/industriali, è importante sia poter dare una spiegazione del comportamento di un processo, sia disciplinare l'utilizzo delle tecniche sulla base di principi di correttezza ed equità, per evitare il diffondersi di discriminazioni o la violazione dei diritti fondamentali.

I modelli IA non sempre sono trasparenti né facilmente comprensibili, ma anzi, spesso sono opachi o totalmente oscuri (black-box) e quindi matematicamente difficili o impossibili da spiegare. Pertanto, lo sviluppo di tecniche di "spiegabilità", da integrare a supporto dei modelli più complessi, è fondamentale per rendere comprensibili agli utenti i razionali del loro funzionamento.
In alcuni ambiti di applicazione con un impatto sociale potenzialmente rilevante, la "spiegabilità" è un aspetto importante per scegliere se usare o meno specifiche categorie di modelli. In determinati contesti si possono prediligere, infatti, modelli di IA che garantiscano una maggiore trasparenza. Anche le politiche nazionali stanno prestando attenzione all'argomento, tramite l'avvio di progettualità PNRR

su tematiche eXplainable Artificial Intelligence (XAI) e in particolar modo sui temi di Fairness.

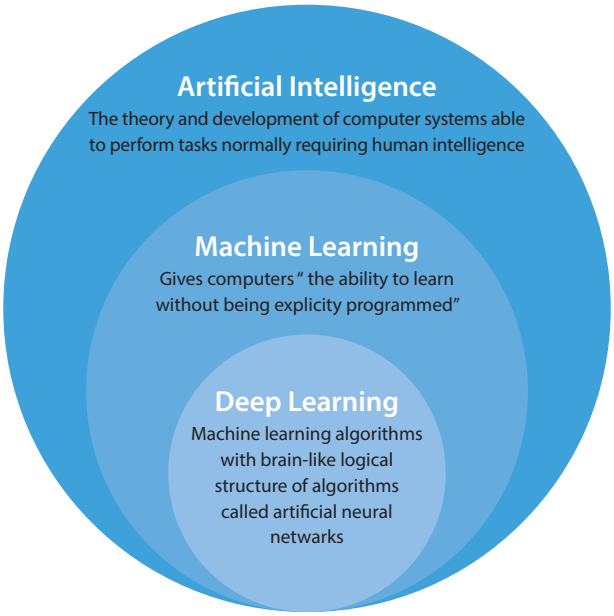


Figura 1: Livello di azione dell'AI, machine learning e deep learning
Fonte: https://ainews.it/le-differenze-tra-machine-learning-e-deep-learning/

MOTIVAZIONE PER LO SVILUPPO

L'Intelligenza Artificiale, il Machine Learning (ML), e il Deep Learning (DL) hanno guadagnato notevole rilevanza grazie alla loro capacità di simulare l'intelligenza umana e di apprendere da esperienze passate. Le principali motivazioni che hanno portato a sviluppare ad investire in queste tecnologie sono le seguenti:

- **Automazione dei processi:** IA, ML e DL sono ampiamente utilizzati per automatizzare processi complessi e ripetitivi. Questo consente di ridurre il carico di lavoro manuale su compiti noiosi e di routine, liberando risorse umane preziose per attività ad alto valore aggiunto. Ad esempio, nell'ambito della produzione

industriale, l'IA può ottimizzare la catena di produzione attraverso la pianificazione automatica, la manutenzione predittiva e il controllo di qualità, migliorando l'efficienza complessiva dell'intero processo;

- **Analisi dei Big Data:** con la crescente disponibilità di dati provenienti da varie fonti, l'IA, il ML e il DL forniscono strumenti sofisticati per analizzare, elaborare e trarre insight significativi da grandi dataset. Questa capacità è fondamentale per settori come la finanza, il marketing e la sanità, dove l'analisi dei dati è cruciale per prendere decisioni informate e sviluppare strategie efficaci. Ad esempio, nell'ambito della sanità, l'analisi dei dati può essere utilizzata per identificare modelli di malattie, prevedere epidemie e personalizzare i piani di trattamento per i pazienti;

- **Personalizzazione dei servizi**: IA, ML e DL consentono di creare sistemi intelligenti in grado di adattare i servizi e le esperienze agli utenti in base alle loro preferenze, comportamenti ed esigenze individuali. Questo approccio personalizzato è ampiamente utilizzato in settori come l'e-commerce, i servizi di streaming e l'assistenza domiciliare, dove l'obiettivo è massimizzare la soddisfazione del cliente e migliorare l'engagement degli utenti;

- **Predizione e prevenzione:** attraverso l'utilizzo di modelli predittivi e algoritmi avanzati, l'IA, il ML e il DL possono anticipare eventi futuri o identificare potenziali anomalie in tempo reale. Questa capacità è particolarmente utile in settori come la sicurezza informatica, la gestione del rischio finanziario e la manutenzione industriale, dove la mitigazione dei rischi è prioritaria. Ad esempio, nell'ambito della sicurezza informatica, l'IA può rilevare attività sospette e comportamenti anomali, consentendo agli operatori di rispondere tempestivamente agli attacchi informatici;

- **Automazione della decisione:** IA, ML e DL consentono di automatizzare il processo decisionale, permettendo ai sistemi di prendere decisioni complesse in autonomia, sulla base di regole predefinite o di esperienze passate. Questo

approccio è ampiamente utilizzato in settori come la guida autonoma, la gestione della catena di approvvigionamento e la gestione delle risorse umane. Ad esempio, nell'ambito della guida autonoma, l'IA può analizzare dati provenienti da sensori e telecamere per prendere decisioni in tempo reale sulla base delle condizioni del traffico;

- **Scoperta di nuovi pattern:** IA, ML e DL possono scoprire pattern nascosti e relazioni complesse nei dati che possono sfuggire all'occhio umano. Questa capacità è fondamentale per settori come l'analisi finanziaria, lo sviluppo di nuovi prodotti e la ricerca scientifica. In quest'ultimo campo, ad esempio, l'IA può analizzare dati provenienti da esperimenti e simulazioni per identificare nuove scoperte e tendenze emergenti, accelerando il processo di innovazione e scoperta;

- **Trasparenza e spiegabilità:** con l'avvento della XAI emerge un focus crescente sulla comprensione e interpretazione delle decisioni prese dai sistemi IA. Questo approccio migliora la trasparenza delle decisioni prese dagli algoritmi, riduce l'opacità e favorisce la fiducia degli utenti e degli stakeholder. Ad esempio, nell'ambito della sanità, l'XAI può essere utilizzata per spiegare a medici e pazienti i risultati diagnostici prodotti dai modelli IA, consentendo una maggiore accettazione delle decisioni suggerite dalla macchina.
dalla macchina.

Per queste ragioni, nell'ambito dell'IA, l'Europa e l'Italia stanno lavorando per creare un ecosistema di eccellenza scientifica e industriale, mirando da una parte all'autonomia tecnologica e dall'altra garantendo agli utenti/cittadini un utilizzo consapevole, che accresca la fiducia verso queste nuove tecnologie.
Nel prossimo futuro dovranno essere affrontate alcune sfide, che richiederanno l'adozione di tecniche innovative e sviluppi normativi per ottenere risposte affidabili, la sostenibilità energetica nell'addestramento dei modelli e la loro trasparenza, al fine di garantire agli utenti la comprensione e la spiegazione dei risultati.

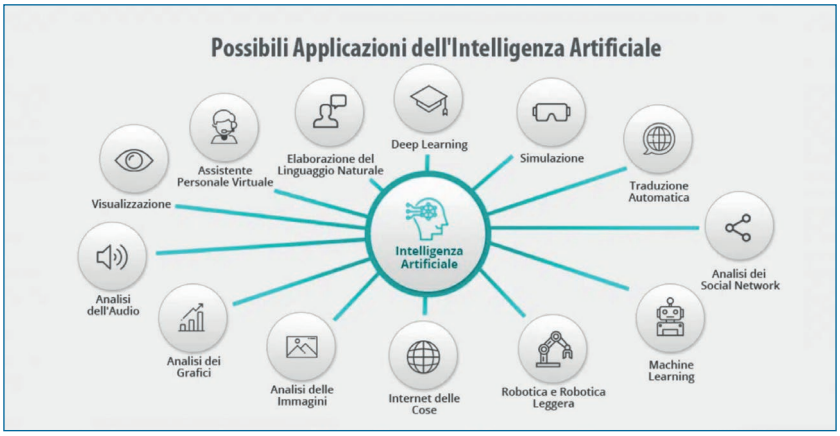


Figura 2: Possibili applicazioni dell'IA

Fonte: https://deltalogix.blog/2021/10/13/intelligenza-artificiale-le-applicazioni-che-aumentano-la-produttivita-aziendale/

RILEVANZA

Le tecnologie legate all'IA sono rilevanti tanto per i loro impatti positivi quanto per quelli negativi. Tra i benefici, si annoverano la riduzione dei costi, l'ottimizzazione dei servizi, come il supporto ai clienti tramite chat, e la digitalizzazione del know-how aziendale. Tuttavia, ci sono preoccupazioni riguardo agli impatti ambientali e socioeconomici, come la perdita di posti di lavoro e la diffusione di informazioni false.

In particolare, la tecnologia del *Continual/Lifelong Learning* può contribuire positivamente alla sostenibilità ambientale e sociale, riducendo il consumo energetico e la necessità di memorizzare dati. Al contrario, le tecnologie come i Large Language Model e l'IA generativa possono avere un impatto negativo sulla sostenibilità ambientale a causa dei costi energetici associati all'addestramento dei modelli.

Vediamo in dettaglio come l'introduzione dell'IA e delle tecnologie ad essa correlate può avere un impatto significativo, in senso positivo come negativo, su diversi SDGs:

- **SDG 8:** Lavoro dignitoso e crescita economica - l'IA potrebbe portare a una perdita di posti di lavoro in alcuni settori a causa dell'automatizzazione, ma allo stesso tempo potrebbe creare nuove opportunità lavorative e promuovere la crescita economica attraverso l'efficienza e l'ottimizzazione dei processi aziendali;

- **SDG 9:** Industria, innovazione e infrastrutture - l'IA può favorire l'innovazione tecnologica e migliorare l'efficienza delle infrastrutture e dei servizi, contribuendo alla modernizzazione e alla competitività delle industrie;

- **SDG 12:** Consumo responsabile e produzione sostenibile - l'utilizzo dell'IA potrebbe contribuire a una produzione più efficiente e sostenibile, ottimizzando l'uso delle risorse e riducendo gli sprechi. Tuttavia, l'impatto ambientale legato al consumo energetico durante l'addestramento dei modelli IA dovrebbe essere attentamente monitorato e mitigato;

- **SDG 13:** Azione per il clima - l'IA potrebbe svolgere un ruolo significativo nella lotta ai cambiamenti climatici attraverso l'ottimizzazione dei processi industriali, la gestione intelligente dell'energia e lo sviluppo di soluzioni innovative per la sostenibilità ambientale e la previsione e prevenzione di fenomeni avversi;

- **SDG 16:** Pace, giustizia e istituzioni solide - la regolamentazione dell'utilizzo dell'IA potrebbe contribuire a garantire la trasparenza, la responsabilità e la protezione dei diritti umani, mitigando i rischi legati alla mancata tutela della privacy e alla sicurezza dei dati. Tuttavia, un utilizzo non corretto delle capacità di analisi di grandi quantità di dati legati alle istituzioni e alle persone offerte dalla IA, potrebbe minare l'autonomia nella gestione delle informazioni, fino a mettere a

[3] *https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/factsheet-artificial-intelligence-europe*

rischio la tenuta della vita democratica dei singoli Stati e determinare modifiche repentine negli equilibri geopolitici;

• **SDG 17:** Partnership per gli obiettivi - la collaborazione tra governi, aziende, società civile e altre parti interessate è essenziale per massimizzare i benefici dell'IA e affrontare le sfide associate, promuovendo partenariati inclusivi e orientati verso l'obiettivo comune di sviluppo sostenibile.

Per promuovere un utilizzo responsabile dell'IA, orientato al benessere umano e alla sostenibilità globale, bisognerà dunque utilizzare l'IA massimizzando gli impatti positivi e mitigando i rischi potenziali, attraverso ad esempio la riduzione del consumo energetico durante l'addestramento dei modelli, la protezione dei diritti dei lavoratori e la preservazione dei posti di lavoro.

INDICATORI DI IMPATTO

L'IA è considerata una rivoluzione tecnologica paragonabile a quella dell'elettricità nel XXI secolo, con impatti significativi sull'industria e la società[3].

Il *Continual/Lifelong* Learning promette impatti industriali rilevanti, soprattutto nei settori manifatturiero, automobilistico, aerospaziale e dei servizi digitali, con un notevole aumento della produttività e del mercato AIOps (Artificial Intelligence for IT Operations)[4] in Europa. La prospettiva di crescita del mercato AIOps legato al Continual Learning è intorno al 26% CAGR nel periodo 2023-2028. Il mercato disponibile (SAM) in Europa è pari a 975 milioni di euro[5].

Le tecnologie dei *Large Language Model* e dell'IA Generativa hanno invece un impatto industriale elevato sui settori digitali, farmaceutico, chimico, difesa, intrattenimento, informatica e telecomunicazioni.

L'automazione e la semplificazione dei processi aziendali grazie a queste tecno-

[4] Termine coniato da Gartner e che si riferisce a piattaforme in grado di elaborare diversi linguaggi e che applicano meccanismi di machine learning, analisi, apprendimento continuo e data science per identificare e risolvere in maniera autonoma i problemi delle operazioni IT
[5] TermineProiezione al 2028, fonti: Europe Artificial Intelligence for IT Operations (and AIOps) Market; IBM and Microsoft Global AI Adoption Index 2022.
[6] https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/generative-ai-could-raise-global-gdp-by-7-percent.html
[7] https://www.ilsole24ore.com/art/quanto-vale-intelligenza-artificiale-generativa-impatto-potenziale-44-trilioni-dollari-AEUbKMsD

logie comportano un aumento della produttività e della richiesta di competenze specializzate, ma anche per alcune categorie di lavoratori il rischio di disoccupazione. Come emerso in uno studio di Goldman Sachs citato dal Financial Times intitolato "The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth"[6], la capacità di generare contenuti in modo automatizzato senza l'intervento umano potrebbe portare potenziali impatti economici positivi, come un aumento del PIL globale del 7% nei prossimi 10 anni, grazie ai risparmi sui costi e alla maggiore produttività, ma anche il rischio di disoccupazione e significativi cambiamenti nel mercato del lavoro. C Un recente studio McKinsey stima invece un impatto potenziale dell'IA Generativa pari a 4,4 migliaia di miliardi di dollari a livello globale[7]. Dal 2020, sono stati depositati più di 290 brevetti internazionali su IA Generativa e Machine Learning, e più di 23.000 brevetti su Language Modelling e tecnologie neurali per il linguaggio.

Per le ragioni evidenziate, gli indicatori di impatto dell'IA devono essere multidimensionali andando oltre la valutazione quantitativa dei risultati.

Gli indicatori ***quantitativi*** dovrebbero misurare l'efficacia operativa e gli aspetti economico-finanziari dell'IA. Questi includono la valutazione delle prestazioni dei sistemi IA in termini di precisione, velocità di elaborazione e scalabilità, nonché la loro diffusione in settori e contesti diversi, un'attenzione particolare al valore aggiunto, alla produttività e all'efficienza dei processi aziendali. Infine, l'impatto ambientale dell'IA, che comprende il consumo energetico e le emissioni di carbonio, richiede l'utilizzo di indicatori quantitativi.

Gli ***indicatori qualitativi*** dovrebbero valutare l'accettazione sociale, l'equità e la sicurezza dei sistemi IA. Questi includono aspetti quali la percezione pubblica dell'IA, la gestione del bias e delle possibili discriminazione che potrebbero indurre i sistemi IA, nonché la protezione dei dati e della privacy. L'*analisi etica* è altrettanto importante, per valutare gli impatti etici delle decisioni automatizzate

e dei comportamenti dei sistemi IA

Valutare l'impatto dell'IA richiede quindi un'analisi olistica che tenga conto di tutte queste dimensioni, adattandosi ai cambiamenti nel tempo e alle dinamiche socioeconomiche in continua evoluzione.

STATO DELL'ARTE

Le attuali tecnologie di Machine Learning e Deep Learning consentono di realizzare diverse applicazioni, come quelle che permettono la classificazione di immagini e pattern, la regressione per la predizione di grandezze non misurabili e la correlazione dei dati. Lo sviluppo di applicazioni IT permette di apprendere e adattarsi ai dati forniti, sostituendo o supportando l'uomo in compiti ripetitivi o complessi che richiedono l'elaborazione di grandi quantità di dati. In particolare, i Large Language Model, basati sul DL e addestrati su enormi quantità di dati testuali, sono in grado di generare un linguaggio naturale e adattarsi a diversi compiti linguistici e domini grazie alla loro architettura trasformativa e al pre-addestramento su vasti dataset.

Inoltre, le tecnologie come i Large Language Model e l'IA Generativa sollevano preoccupazioni riguardo alla produzione di false informazioni, suscitando un interesse legislativo più intenso rispetto ad altre aree dell'IA. Infine, soprattutto nel campo del Natural Language Processing, l'addestramento dei Large Language Model richiede enormi risorse di calcolo ed energia, limitando la partecipazione a poche organizzazioni globali. Pertanto, una parte della ricerca mira a sviluppare modelli più leggeri ed economici per un'IA sostenibile.

In Italia tra i principali strumenti messi attualmente in atto si evidenzia la Fondazione FAIR (Future Artificial Intelligence Research) finanziata con fondi PNRR (è uno dei dieci partenariati estesi costituiti dal MUR nell'ambito della Missione M4C2 – dalla Ricerca all'Impresa), costituita da 4 enti di ricerca (CNR, Fondazione

[8] *Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*

Bruno Kessler, INFN, e IIT), 12 università (Politecnico di Milano, Politecnico di Torino, Sapienza, Scuola Normale Superiore, Università Campus Biomedico di Roma, Università di Bologna, Università di Pisa, Università di Trento, Università di Bari, Università della Calabria, Università di Catania, Università di Napoli "Federico II") e cinque aziende (Bracco, Expert.ai, Intesa Sanpaolo, Leonardo, Lutech). FAIR segue un approccio olistico e multidisciplinare, per ripensare i fondamenti dell'IA e indagare il suo impatto sociale. Il suo obiettivo è costruire sistemi di IA capaci di interagire e collaborare con gli umani, di percepire e ad agire all'interno di contesti in continua evoluzione, di essere coscienti dei propri limiti e capaci di adattarsi a nuove situazioni, di essere consapevoli dei perimetri di sicurezza e fiducia, e di essere attenti all'impatto ambientale e sociale che la loro realizzazione ed esecuzione può comportare. La Fondazione è, come in tutti i sistemi innovativi, organizzata con un Hub centrale e dieci spoke dedicati complessivamente a: Human-centered AI, Integrative AI, Resilient AI, Adaptive AI, High Quality AI, Symbiotic AI, Edge-exascale AI, Pervasive AI, Green-aware AI, Bio-socio-cognitive AI.

Alla luce anche delle precedenti considerazioni, i prossimi sviluppi più attesi riguardano l'evoluzione della normativa e dei principi sottostanti. A giugno 2024 è stato pubblicato l'AI Act, la prima legislazione europea per regolamentare l'uso dell'IA8 che a breve diventerà operativa. In aggiunta, sono in corso di revisione le normative che riguardano la responsabilità dei produttori allargando il perimetro al software e ai sistemi IA: "AI Liability Directive - Directive of the European Parliament and of the Council on adapting non-contractual civil liability rules to artificial intelligence"[9], "Revision of the Product Liability Directive" 85/374/EEC10 e "Cyber Resilience Act"[11].

Si riporta in particolare un estratto dagli emendamenti approvati dal Parlamento Europeo: «Lo spirito del Regolamento è che tutti gli operatori si adoperino al massimo per sviluppare e utilizzare sistemi di IA o modelli di base conforme-

[9] *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022PC0496*

[10] *https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/council-directive-85-374-eec*

[11] *https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/cyber-resilience-act*

mente ai seguenti principi generali che istituiscono un quadro di alto livello che promuova un approccio europeo antropocentrico coerente a un'intelligenza artificiale etica e affidabile, che sia pienamente in linea con la Carta e con i valori su cui si fonda l'Unione:

a) "intervento e sorveglianza umani": i sistemi di IA sono sviluppati e utilizzati come strumenti al servizio delle persone, nel rispetto della dignità umana e dell'autonomia personale, e funzionano in modo da poter essere adeguatamente controllati e sorvegliati dagli esseri umani;
b) "robustezza tecnica e sicurezza": i sistemi di IA sono sviluppati e utilizzati in modo da ridurre al minimo i danni involontari e inaspettati, nonché per essere robusti in caso di problemi involontari e resilienti ai tentativi di alterare l'uso o le prestazioni del sistema di IA in modo da consentirne l'uso illegale da parte di terzi malintenzionati;
c) "vita privata e governance dei dati": i sistemi di IA sono sviluppati e utilizzati nel rispetto delle norme vigenti in materia di vita privata e protezione dei dati, elaborando al contempo dati che soddisfino livelli elevati in termini di qualità e integrità;
d) "trasparenza": i sistemi di IA sono sviluppati e utilizzati in modo da consentire un'adeguata tracciabilità e spiegabilità, rendendo gli esseri umani consapevoli del fatto di comunicare o interagire con un sistema di IA e informando debitamente gli utenti delle capacità e dei limiti di tale sistema di IA e le persone interessate dei loro diritti;
e) "diversità, non discriminazione ed equità": i sistemi di IA sono sviluppati e utilizzati in modo da includere soggetti diversi e promuovere la parità di accesso, l'uguaglianza di genere e la diversità culturale, evitando allo stesso tempo effetti discriminatori e pregiudizi ingiusti vietati dal diritto dell'Unione o nazionale;
f) "benessere sociale e ambientale": i sistemi di IA sono sviluppati e utilizzati in modo sostenibile e rispettoso dell'ambiente e in modo da apportare benefici a tutti gli esseri umani, monitorando e valutando gli impatti a lungo termine sull'individuo, sulla società e sulla democrazia».



Figura 3: Il mercato dell'IA: dal 2018 a oggi

Fonte: https:/www.partitaiva.it/intelligenza-artificiale-mercato-italia/

Per lo sviluppo di queste tecnologie è da tenere presente anche che a giugno 2024 è stato pubblicato l'AI Act, la prima legislazione europea per regolamentare l'uso dell'IA1. Se pure l'entrata in vigore è graduale è **altamente prevedibile che sin da ora le aziende non accetteranno di adottare soluzioni di IA che non siano conformi all'AI Act e che le costringerebbero a disinvestire dalla tecnologia in tempi brevi.**

Nello specifico, sono definite diversi tipologie di applicazioni e di rischi, e quindi diversi tempi di adeguamento alla normativa: sei mesi per l'adeguamento ai ***divieti su pratiche considerate dannose***, come ad esempio tecniche che manipolano la cognizione e il comportamento individuale, raccolta casuale di dati di riconoscimento facciale da spazi pubblici su internet o tramite CCTV, uso di sistemi di riconoscimento delle emozioni in ambienti lavorativi e scolastici, implementazione di punteggi di credito social, etc.; un anno per i ***modelli di base, o foundation model***, ossia sistemi di grandi dimensioni in grado di svolgere un'am-

pia gamma di compiti distinti, come la generazione di video, testi e immagini, conversazioni in linguaggio laterale, calcoli o generazione di codice informatico e per i sistemi di AI *general purpose*; due anni per gli altri sistemi di IA.

In Europa le aziende tecnologiche devono considerare tali elementi nello sviluppo delle soluzioni, anche per limitare il vantaggio competitivo che le aziende operanti in mercati meno regolamentati, come USA e Cina in primis, potrebbero avere; è però importante precisare che tutti i produttori di tecnologia che venderanno soluzioni in Europa dovranno essere pienamente coerenti con l'AI Act.

l'AI Act pone infine un forte accento sui **diritti e la trasparenza**, rendendo obbligatorie anche le valutazioni di impatto sui diritti fondamentali per i sistemi di IA ad alto rischio e quelli utilizzati nel settore bancario e assicurativo

Un elemento importante da tenere presente per lo sviluppo di tecnologie basate su IA è quindi quello della spiegabilità degli algoritmi: i modelli IA non sono sempre trasparenti né facilmente comprensibili, bensì opachi o totalmente oscuri (black-box), quindi matematicamente difficili o impossibili da spiegare. L'Explainable AI (XAI) è un insieme di strumenti e di tecniche utilizzate per aiutare le persone a comprendere meglio perché un modello di intelligenza artificiale generi certe decisioni, grazie alla descrizione del suo funzionamento. Secondo una ricerca di Forrester[12], l'IA spiegabile è un fenomeno capace di generare una serie di vantaggi tangibili per chi la adotta regolarmente all'interno della propria pipeline di sviluppo: una riduzione dell'impegno per il monitoraggio del modello dal 35% al 50%, l'aumento fino a 8 volte dei modelli in produzione oltre ad una precisione generale del modello stesso stimabile dal 15% al 30%, per un incremento dell'intervallo dei profitti che può addirittura triplicare. Si tratta di numeri molto incoraggianti, che testimoniano da un lato l'esigenza di una maggior trasparenza per le applicazioni IA, dall'altro l'incredibile potenziale che le applicazioni basate sul machine learning hanno in termini di diffusione sul mercato, a condizione di saperle implementare in maniera corretta sia dal punto di vista tecnologico che

[12] *Forrester : The Top 10 Emerging Techonologies In 2023*

nelle innumerevoli sfaccettature etiche che le contraddistinguono. La XAI è dunque una disciplina emergente, destinata a durare, diventando un fattore sempre più rilevante nella crescita e nella diffusione dell'IA.

RISORSE ECONOMICHE NECESSARIE

Sono necessari ingenti investimenti per lo sviluppo delle diverse tecnologie di IA. Le risorse economiche necessarie allo sviluppo delle tecnologie di *Continual/Lifelong Learning* sono stimate intorno ai 4-5 milioni di euro per ogni centro "regionale", tra 1 e 5 milioni per ogni investimento in startup deep-tech specializzata sulla tecnologia, e tra i 20 e i 100 milioni per un'iniziativa nazionale di trasferimento tecnologico dai centri di ricerca all'industria manifatturiera e aerospazio.

In particolare, riguardo i *Large Language Model* e l'IA Generativa, sono necessari investimenti dell'ordine di centinaia di milioni di euro/alcuni miliardi di euro per lo sviluppo di risorse linguistiche nazionali e per la realizzazione di un'infrastruttura adeguata a fornirne i servizi e assicurarne la manutenzione e l'aggiornamento. Infatti, l'IA Generativa richiede l'elaborazione di enormi quantità di dati da cui imparare e hardware estremamente potenti su cui eseguire l'addestramento e le inferenze dei modelli (Gpt-3 operava con 175 miliardi di parametri di apprendimento automatico, mentre Gpt-4 ne ha 100.000 miliardi).
Ovviamente addestrare questi modelli richiede investimenti ingenti, anche solo per sostenere i costi computazionali.
È importante ricordare che Il governo nazionale ha adottato ad aprile 2024 un disegno di legge con una dotazione ampia con l'intento di stimolare il tessuto produttivo, con un meccanismo moltiplicatore e che serve ad attirare ulteriori investimenti. In particolare, il ddl prevede un fondo di oltre 200 milioni in due anni per consentire allo Stato, attraverso il Dipartimento per la trasformazione digitale e l'Agenzia per la cybersicurezza, di sottoscrivere, in forma paritaria, azioni dei fondi di Cdp Venture capital per il sostegno a start up e PMI innovative attive nell'IA

oppure in altri settori di frontiera come il quantum computing, la cybersecurity e il 5G. A sua volta Cdp Venture Capital, nel nuovo piano quinquennale finanziario, ha attivato un miliardo di investimenti per l'IA, suddiviso su tre ambiti specifici: trasferimento tecnologico; startup con applicazioni settoriali per gli attori già esistenti; aziende mature pronte a scalare all'estero e diventare i futuri campioni nazionali.
Scopo ultimo, secondo le parole della Presidente del Consiglio, è sostenere una "via italiana all'Intelligenza Artificiale"[12], dedicata sia allo sviluppo sia al governo della tecnologia.

[12] *Dichiarazione durante il convegno "L'intelligenza artificiale per l'Italia", organizzato dal Dipartimento per la trasformazione digitale della Presidenza del Consiglio dei ministri e da AGID (Agenzia per l'Italia Digitale), marzo 2024.*

BIG DATA

Il termine "Big Data" si riferisce a enormi raccolte di dati caratterizzate da dimensioni, varietà e velocità di acquisizione così elevate da richiedere approcci e strumenti specifici per la gestione, l'analisi e lo sfruttamento dei contenuti. Questi dati provengono da fonti diverse e possono riguardare grandi popolazioni o oggetti in continua crescita ed evoluzione. Le caratteristiche principali dei Big Data sono spesso riassunte nelle 5 V: Volume, Varietà, Velocità, Valore e Veridicità. Questo concetto ha origine dagli anni '60-'70 con le prime grandi raccolte di dati e il crescente utilizzo dei centri di calcolo, ma è diventato particolarmente rilevante con lo sviluppo di Internet e la conseguente esplosione della connettività tra persone e sistemi. Questo ha generato un flusso costante di dati, rivelatisi di valore strategico, tanto da essere paragonati al nuovo petrolio. Il loro valore è inesauribile grazie alla possibilità di correlare dati provenienti da epoche, fonti e contesti diversi, e di elaborarli con algoritmi sempre più sofisticati, aprendo la strada a opportunità di valorizzazione future anche per dati attualmente non considerati rilevanti.

I Big Data sono diventati indispensabili e in costante evoluzione, essendo strumenti fondamentali per la memorizzazione e l'archiviazione di enormi quantità di dati. Il Cloud, con la sua scalabilità in termini di potenza di calcolo e spazio di archiviazione, ha fornito l'ambiente ideale per lo sviluppo e l'evoluzione dei Big Data. Questi sono considerati una risorsa infrastrutturale, quasi una "commodity", pervasiva e trasversale a una vasta gamma di settori applicativi, tra cui l'industria, il marketing, il settore finanziario, bancario, amministrativo, farmaceutico, sanitario, sociopolitico, ambientale, educativo, culturale, dei trasporti, della sicurezza e della ricerca. Le soluzioni Internet of Things (IoT), indipendentemente dal settore in cui sono impiegate, utilizzano almeno un Big Data per memorizzare e archiviare i dati acquisiti dal loro ecosistema. Applicazioni di Business Intelligence, manutenzione predittiva, simulazione, Intelligenza Artificiale Generativa e non (Deep Learning e Machine Learning) sfruttano i Big Data come fonti di dati.

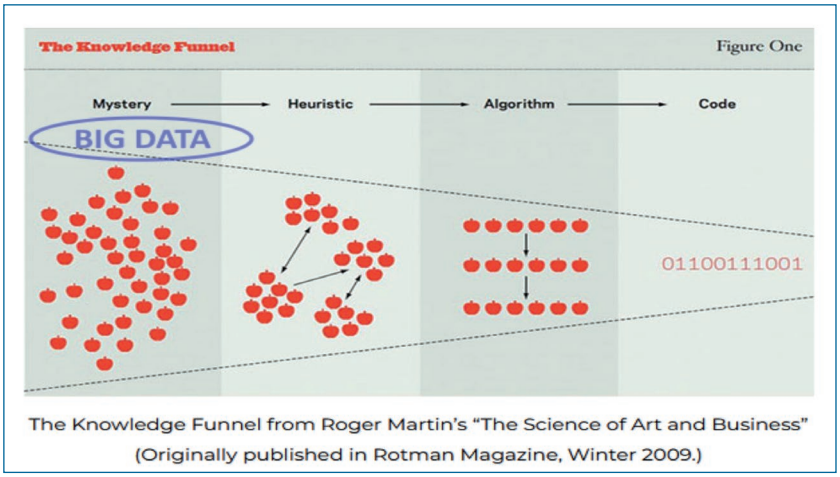


Figura 1: Il "Knowledge Funnel", da The Science of Art and Business di Roger Martin (pubblicato orginariamente nel "Rotman Magazine", inverno 2009).

MOTIVAZIONE PER LO SVILUPPO

La memorizzazione, l'archiviazione e la disponibilità di grandi quantità di dati sono essenziali nel contesto socioeconomico attuale e futuro, fortemente orientato ai dati. L'evoluzione del concetto di Big Data e delle relative implementazioni è inevitabile, influenzata dalla crescita del Cloud computing e, allo stesso tempo, agisce come motore per lo sviluppo del Cloud stesso. Le evoluzioni infrastrutturali, come l'aumento della potenza di calcolo, la velocità di scambio dati e la densità di memorizzazione, favoriscono l'adozione di nuove tecniche e algoritmi nel campo dei Big Data. Tuttavia, vi sono sfide tecnologiche da affrontare, tra cui la sostenibilità, la sicurezza, l'interoperabilità, la portabilità dei dati, l'affidabilità e la veridicità dei dati. La sostenibilità e la sicurezza sono strettamente legate al Cloud, mentre l'interoperabilità e la portabilità dei dati mirano a facilitare lo scambio di informazioni tra diverse piattaforme senza compromettere la sicurezza e la riservatezza. L'affindabilità e la veridicità sono influenzate dall'acquisizione dei dati e,

con lo sviluppo dell'IA Generativa, in assenza di regolamentazioni, si potrebbe rendere necessario affrontare la questione dei "fake data". L'etica e la regolamentazione sono fattori chiave per lo sviluppo dei Big Data, con normative come il GDPR e il Data Governance Act della Commissione Europea che guidano il campo. A breve e medio termine, i progressi nell'IA e nell'automazione dei processi stanno spingendo verso funzionalità intelligenti di estrazione dati, rendendo più rapidi ed efficienti l'analisi e l'utilizzo dei dati a fini decisionali.

Anche riguardo alle tecnologie legate ai supporti di memorizzazione sono al vaglio possibili evoluzioni e sviluppi in ambito dei materiali che andranno a migliorare il consumo energetico, la densità di memorizzazione e i tempi di accesso ai dati. Un ulteriore tematica socioeconomica e politica che potrà influenzare lo sviluppo e l'evoluzione dei Big Data è quella della concentrazione dell'offerta e l'instaurarsi di posizioni dominanti.

Altro tema da considerare riguardo lo sviluppo del Big Data è quello relativo alla possibilità di usufruirne con la modalità DAAS (Data As A Service), cioè come servizio, senza la necessità di dover realizzare e mantenere una propria soluzione Big Data, usufruendo di maggiore flessibilità e della possibilità di concentrare le proprie risorse sull'attività core di valorizzazione dei dati.

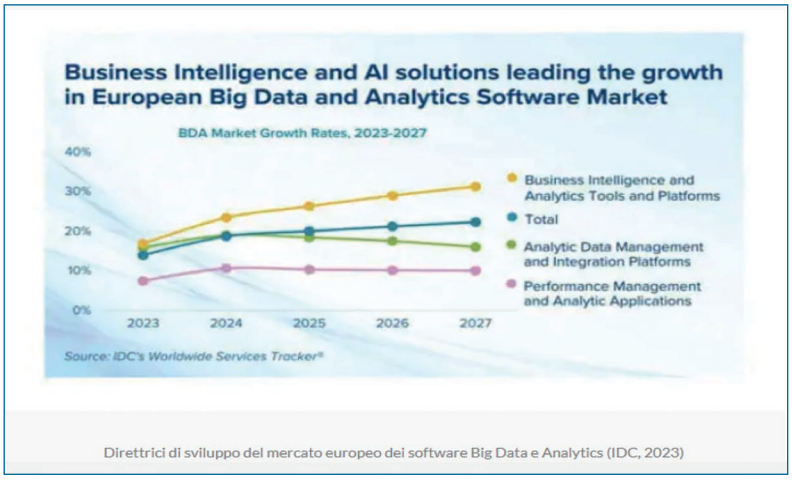


Figura 2: Direttrici di sviluppo del mercato europeo dei software e Big Data e Analytics (IDC, 2023)

Fonte: https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prEUR250986923

RILEVANZA

Il Big Data come strumento fondamentale a servizio di applicazioni di analisi dati per ricerca, simulazione, ottimizzazione e previsione ha rilevanza massima riguardo le tematiche di transizione digitale, ambientale, energetica e sociale. Ogni sua evoluzione migliorativa (ad es. riguardo la capacità di memorizzazione e la quantità di dati gestibili oppure la velocità di accesso ai dati o anche a livello di interoperatività) si trasferisce alle applicazioni che ne usano i dati, migliorandone i tempi di calcolo, la precisione delle soluzioni, la loro sostenibilità.

Più nel dettaglio i Big Data impattano su diversi Sustainable Development Goals:

- **SDG 1:** Fine della povertà - i Big Data possono essere utilizzati per identificare e comprendere meglio la povertà e le sue cause sottostanti, consentendo ai decisori politici di sviluppare programmi mirati per ridurre la povertà e migliorare il

benessere economico delle comunità disagiate;

- **SDG 2:** Fame zero - attraverso l'analisi dei dati agricoli, meteo e di mercato, i Big Data possono contribuire a ottimizzare la produzione e la sicurezza alimentare;

- **SDG 3:** Salute e benessere - i Big Data possono essere impiegati per monitorare la diffusione di malattie, identificare tendenze di salute pubblica e migliorare la gestione dei sistemi sanitari, consentendo una migliore prevenzione e cura delle malattie;

- **SDG 4:** Istruzione di qualità - utilizzando i dati sull'apprendimento degli studenti e sui modelli educativi, è possibile personalizzare l'insegnamento, migliorare l'accesso all'istruzione e promuovere un apprendimento di qualità per tutti;

- **SDG 5:** Parità di genere - l'analisi dei dati può contribuire a identificare e ridurre le disparità di genere, ad esempio nell'accesso all'istruzione, all'occupazione e alla partecipazione politica, promuovendo l'uguaglianza di genere;

- **SDG 7:** Energia pulita e accessibile - attraverso l'analisi dei dati energetici, è possibile identificare opportunità per migliorare l'efficienza energetica, promuovere fonti di energia rinnovabile e aumentare l'accesso a energia sostenibile;

- **SDG 9:** Industria, innovazione e infrastrutture - i Big Data forniscono una base per l'innovazione tecnologica e la creazione di infrastrutture intelligenti, contribuendo alla crescita economica sostenibile e alla modernizzazione delle industrie;

- **SDG 10:** Riduzione delle disuguaglianze - utilizzando dati demografici e socio-economici, è possibile identificare e affrontare le disuguaglianze all'interno delle comunità, promuovendo l'inclusione sociale e l'equità;

- **SDG 11:** Città e comunità sostenibili - i Big Data possono supportare la pianificazione urbana sostenibile, la gestione dei trasporti, la raccolta dei rifiuti e la riduzione dell'impatto ambientale delle città, contribuendo a creare comunità più resilienti e abitabili;

- **SDG 13:** Azione per il clima - attraverso l'analisi dei dati ambientali, è possibile monitorare i cambiamenti climatici, identificare le fonti di emissioni di gas serra e sviluppare strategie per mitigare gli effetti del cambiamento climatico;

- **SDG 14:** Vita sott'acqua - utilizzando i dati oceanografici e di monitoraggio marino, è possibile proteggere e conservare gli ecosistemi marini, prevenire l'inquinamento e promuovere un uso sostenibile delle risorse marine;

- **SDG 15:** Vita sulla terra - i Big Data possono essere impiegati per monitorare la deforestazione, la perdita di biodiversità e l'uso del suolo, contribuendo a proteggere gli ecosistemi terrestri e a promuovere la conservazione della natura;

- **SDG 16:** Pace, giustizia e istituzioni solide - attraverso l'analisi dei dati sulla criminalità e la sicurezza, è possibile migliorare la prevenzione del crimine, rafforzare lo stato di diritto e promuovere istituzioni efficaci e responsabili.

INDICATORI DI IMPATTO

La trasversalità e pervasività dei Big Data comporta l'esame di diversi indicatori di impatto, generici e specifici, per determinati contesti di utilizzo. Questi indicatori possono essere diretti, riferiti al Big Data stesso e alla sua gestione, o indiretti, legati ai risultati ottenuti dalle applicazioni che lo utilizzano. Alcuni indicatori diretti sono associati anche all'ambiente Cloud in cui il Big Data è implementato, considerando ad esempio l'impatto ambientale e il consumo energetico.

Tra i possibili indicatori di impatto si possono citare:

Efficienza di processo del Big Data:

- Tasso percentuale di conversione delle query in report: misura la trasformazione delle query in report utili per soddisfare le richieste degli utenti, indicando l'efficacia nell'elaborazione e nella presentazione dei dati.
- Indice di Capacità di estrazione (cattura) dei dati: valuta la precisione e l'accuratezza dei dati estratti rispetto alla richiesta, essenziale per garantire l'affidabilità e la pertinenza dei dati raccolti per l'analisi.

Sostenibilità e consumo energetico:

- Consumo energetico per dato scambiato: misura l'energia consumata per elaborare e trasferire i dati, importante per valutare l'impatto ambientale dell'infrastruttura IT, specialmente se ospitata su servizi di cloud computing.
- Investimenti in tecnologie sostenibili: valuta gli investimenti per implementare tecnologie energetiche sostenibili e ridurre l'impronta ambientale complessiva del sistema di gestione dei dati.

Successo nell'utilizzo del Big Data:

- Ritorno sull'investimento (ROI): misura i benefici finanziari ottenuti rispetto ai costi sostenuti per implementare e utilizzare il Big Data, inclusi maggiori introiti, riduzione dei costi operativi, aumento dell'efficienza e miglioramento della qualità dei processi.
- Miglioramento della qualità dei processi: valuta quanto i processi aziendali migliorano grazie all'utilizzo del Big Data, ad esempio attraverso l'ottimizzazione delle operazioni, la riduzione degli errori e l'aumento della produttività.

Questi sono solo alcuni esempi di indicatori di impatto del Big Data, e la loro rilevanza dipende dal contesto specifico di utilizzo e dagli obiettivi dell'organizzazione. È importante condurre una ricerca dedicata per comprendere appieno gli impatti del Big Data e valutare la sua efficacia in diversi contesti[1].

[1] *https://bscdesigner.com/kpis-for-big-data.html*

STATO DELL'ARTE

Il panorama italiano delle soluzioni per l'analisi e la gestione dei dati ha registrato una crescita significativa nel 2023, raggiungendo i 2,85 miliardi di euro, con un aumento dell'18% rispetto all'anno precedente secondo l'Osservatorio Big Data & Business Analytics del Politecnico di Milano. Nonostante i progressi negli strumenti aziendali, come l'IA Generativa, le sfide organizzative e culturali persistono, e l'adozione delle tecnologie Big Data non sempre porta a cambiamenti strategici significativi. La mancanza di competenze specializzate è in aumento, minacciando di ampliare il divario digitale aziendale. Come notano le analisi dell'Osservatorio, è fondamentale avere dati di alta qualità per garantire l'affidabilità degli algoritmi ed è urgente attuare investimenti organizzativi e culturali per valorizzare i dati[2].

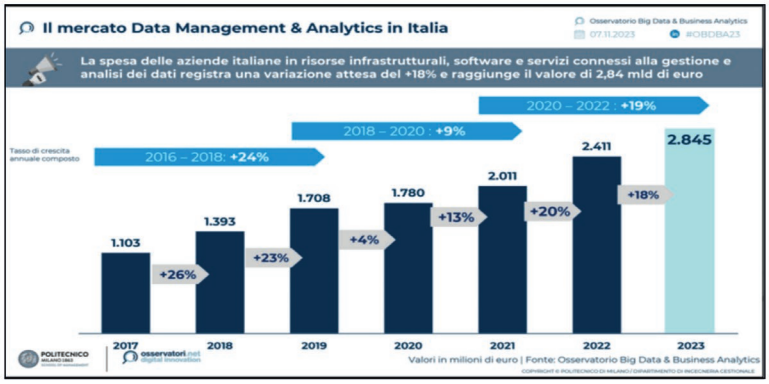


Figura 3: Il mercato in Italia, da 2,85 miliardi nel 2023

Fonte: https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/big-data-mercato-a-285-miliardi-telco-in-prima-linea/

[2] *Per Italia e Comunità Europea, è interessante quanto riportato in https://www.bigdata4innovation.it/ricerche-e-rapporti/mercato-big-data-18-in-italia-nel-2023/.6*

[3] *Regulation (EU) 2022/868 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2022 on European data governance and amending Regulation (EU) 2018/1724 (Data Governance Act)*

La strategia europea per i dati, basata sui valori e sulle norme dell'UE, ha visto diversi sviluppi legislativi. L'Atto sulla governance dei dati[3] e la Direttiva sull'apertura dei dati[4], introdotti nel 2022, sono seguiti dalla Legge sui dati entrata in vigore all'inizio del 2024[5]. Questo quadro legislativo mira a promuovere l'innovazione attraverso la condivisione e l'accesso ai dati, sia pubblici che privati, rimuovendo ostacoli e definendo regole per garantire un utilizzo responsabile e sicuro dei dati.

In Europa, il mercato dei dati ha raggiunto un valore di 73 miliardi di euro, con la Germania e la Francia in testa; l'Italia si trova a metà strada nell'indice sull'uso di Cloud e Big Data elaborato da I-Com, manifestando un potenziale di crescita ancora da sfruttare.

RISORSE ECONOMICHE NECESSARIE

Le risorse economiche necessarie che un'organizzazione o impresa deve considerare di allocare per introdurre il Big Data e la relativa valorizzazione dei dati nella gestione dei propri processi e decisioni (quindi per evolvere e cogliere il vantaggi dell'approccio data-driven), sono da suddividere su diversi fattori: acquisizione infrastruttura IT (software e hardware) necessaria al Big Data ed applicazioni associate, acquisizione del Big Data stesso e dell'infrastruttura necessaria ad alimentarlo di dati, acquisizione specialisti e know-how per l'evoluzione data-driven, formazione interna per creare l'opportuna cultura del dato e la sua valorizzazione. L'entità dell'investimento è legata a diversi fattori quali la dimensione aziendale, la mole di dati da gestire, le prestazioni richieste, la forma con cui si acquisisce l'uso dei diversi elementi dell'infrastruttura e piattaforma Big Data, qualità e numero degli specialisti e figure professionali che vengono coinvolte. Per un'impresa di medie dimensioni, ipotizzando di usufruire del Big Data come PAAS (Platform as a Service) è stimabile un investimento iniziale almeno intorno al centinaio di migliaia di euro e, poi annuale minimo di alcune decine di migliaia di euro. L'ordine di grandezza dell'investimento cresce poi al crescere della dimensione e della portata del progetto e dell'organizzazione coinvolta[6].

[4] *Directive (EU) 2019/1024 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on open data and the re-use of public sector information (Open data Directive)*
[5] *Regulation (EU) 2023/2854 of the European Parliament and of the Council of 13 December 2023 on harmonised rules on fair access to and use of data (Data Act)*
[6] *https://www.digitalworlditalia.it/digitalpartner/mercato/big-data-e-analytics-spesa-in-italia-sale-18-285-miliardi-161683*

ULTRA-WIDE BAND, 5G, 6G

La quinta generazione di rete cellulare (5G) è già stata messa in opera in via sperimentale e commerciale in quasi tutto il mondo. È in grado di soddisfare molteplici requisiti, quali velocità di trasmissione 10-30 volte superiore a quella del 4G, latenza massima di 1ms (dieci volte inferiore al 4G), elevata affidabilità, riduzione dei consumi energetici del 90% grazie alle nuove tecnologie trasmissive e all'uso di antenne attive. Sono previsti tre tipi di servizi radio: l'Enhanced Mobile Broadband (eMBB) dedicato alle applicazioni a larghissima banda; il Massive Machine Type Communication (mMTC) per dispositivi IoT a basso consumo, e l'Ultra Reliable Low Latency (uRLLC) per servizi a bassissima latenza, quali applicazioni di controllo industriale.

Alcune applicazioni chiave abilitate dal 5G sono:

- **Public safety:** la possibilità di trasmettere in tempo reale immagini ad alta definizione, ad esempio per videosorveglianza (mMTC, eMBB);

- **Realtà aumentata:** la possibilità di sovraimporre immagini generate artificialmente a quelle reali, fondamentale per addestramento (ad esempio di personale medico o tecnico), manutenzione e assistenza, intrattenimento (mMTC, uRLLC);

- **Veicoli connessi, autonomi/teleoperati:** la possibilità di utilizzare comunicazioni tra veicoli e infrastruttura stradale per migliorare la sicurezza di tutti gli attori (pedoni, passeggeri, ciclisti), sperimentare guida remota o automatizzata grazie alla comunicazione affidabile a bassa latenza, e per offrire servizi di intrattenimento (uRRLC, eMBB);

- **Monitoraggio da remoto:** uso di dispositivi IoT a basso consumo per monitoraggio di cose e persone (come telemedicina, tracciamento dei prodotti, agricoltura di precisione, etc.).

Il 5G si integra con il Cloud e l'Edge computing, permettendo elaborazioni rapide dei dati. Si sta già lavorando sulla prossima generazione, il 6G, che dovrebbe essere standardizzata entro cinque anni. Quest'evoluzione punta a una maggiore sinergia tra comunicazione e computazione nella rete, con un grande impiego di IA per migliorare sia la rete stessa che le applicazioni supportate da essa[1].

MOTIVAZIONE PER LO SVILUPPO

Il contesto attuale delle reti mobili, caratterizzato dall'implementazione in corso del 5G e dalle prospettive per il futuro 6G, offre una serie di motivazioni chiave per lo sviluppo continuo di questa tecnologia:

- **Esigenze di mercato e competitività:** l'aumento esponenziale della domanda di connettività ad alta velocità e bassa latenza da parte dei consumatori e delle imprese richiede lo sviluppo e l'implementazione di tecnologie di rete sempre più avanzate. Per rimanere competitivi a livello globale, è essenziale per le industrie e le economie nazionali adottare e sfruttare appieno le potenzialità delle reti 5G e prepararsi per il futuro 6G;
- **Sfide tecnologiche e innovazione:** lo sviluppo delle reti 5G e 6G è necessario per supportare sfide tecnologiche complesse, come l'implementazione della realtà aumentata e delle tecnologie emergenti come l'IA e l'Edge computing. Affrontare queste sfide richiede un'infrastruttura che possa supportare tecnologie sempre più complesse;
- **Time to market e agilità:** il rapido sviluppo e l'implementazione delle tecnologie di rete sono cruciali per sfruttare appieno le opportunità di mercato e per rimanere al passo con l'evoluzione delle esigenze degli utenti e delle nuove applicazioni. Il "time to market" diventa quindi un fattore critico che richiede una stretta collaborazione tra industria, istituzioni accademiche e organismi di standardizzazione per accelerare il processo di sviluppo e ridurre i tempi di commercializzazione delle nuove tecnologie;
- **Innovazione per la sostenibilità:** le tecnologie di rete avanzate consentono soluzioni innovative in settori chiave come la salute, la mobilità e l'ambiente. Inve-

[1] *https://futuranetwork.eu/telecomunicazioni/714-2578/il-5g-e-quasi-tra-noi-ma-gia-si-pensa-al-6g-parte-ii*

stire nell'innovazione delle reti mobili può contribuire a creare un'economia più sostenibile e inclusiva, riducendo l'impatto ambientale e migliorando la qualità della vita;

- **Evoluzione delle esigenze utente:** l'aumento esponenziale del traffico dati e delle richieste di connettività da parte degli utenti, sia a livello individuale che aziendale, pone una forte pressione sulle reti esistenti. Le reti 5G e, in futuro, 6G offrono capacità significativamente superiori e una maggiore efficienza, consentendo di soddisfare le esigenze di connettività sempre più complesse;
- **Impatto economico e industriale:** Le tecnologie ultra wide band, 5G e 6G creano nuove opportunità di business e favoriscono l'emergere di ecosistemi industriali interconnessi, come l'Internet delle cose (IoT), l'industria 4.0 e la Smart City. Inoltre, favoriscono la crescita economica attraverso l'innovazione, l'occupazione e l'efficienza operativa;
- **Sovranità tecnologica e sicurezza nazionale:** Le nazioni cercano di garantire un controllo strategico sulla propria infrastruttura di comunicazione e di mitigare le potenziali minacce alla sicurezza e alla privacy derivanti dall'adozione di tecnologie di rete avanzate. Lo sviluppo di capacità interne e la collaborazione internazionale sono cruciali per affrontare queste sfide e garantire la sicurezza e l'affidabilità delle reti mobili del futuro.

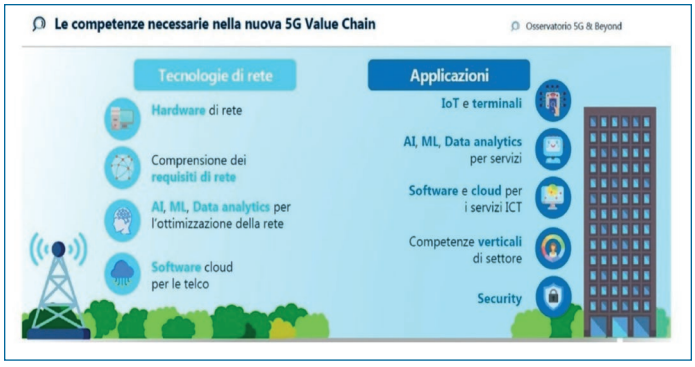


Figura 1: Le competenze necessarie nella nuova 5G Value Chain

Fonte: https://www.ecodibergamo.it/stories/skille/innovazione/cresce-il-5g-e-apre-nuove-opportunita-come-cambia-limpresa-e-il-business_1412569_11/

RILEVANZA

In Italia, il 5G e il 6G sono tecnologie di primo piano all'interno del PNRR, con un focus sullo sviluppo delle reti di comunicazione per il futuro 6G e sull'applicazione di IA e Machine Learning per servizi di mobilità sostenibili ed efficienti. Questi sforzi sostengono varie missioni del PNRR, come la digitalizzazione, l'infrastruttura per la mobilità sostenibile e la salute. La copertura globale, l'efficienza energetica e il controllo dei costi sono cruciali, insieme all'integrazione di dispositivi autonomi e una solida sicurezza di rete. L'obiettivo è sia di favorire la digitalizzazione delle imprese e della pubblica amministrazione, sia di portare a risparmi energetici grazie all'implementazione di tecnologie intelligenti e connesse su vasta scala.
Più specificatamente, l'adozione e lo sviluppo di tecnologie ultra wide band, 5G e 6G generano impatti su diversi Sustainable Development Goals (SDGs):

- **SDG 3: Salute e benessere** - l'introduzione di servizi avanzati di eHealth, come la telemedicina supportata dal 5G e 6G, contribuisce a migliorare l'accesso ai servizi sanitari e a promuovere il benessere della popolazione. La connettività migliorata può consentire diagnosi più precise e trattamenti più tempestivi, riducendo il carico sui sistemi sanitari e migliorando la qualità della vita;
- **SDG 4: Istruzione di qualità** - la disponibilità di servizi digitali avanzati, abilitati dalle reti 5G e 6G, può migliorare l'accesso all'istruzione di qualità, inclusi corsi online, materiali didattici interattivi e sessioni di formazione a distanza. Questo contribuisce a promuovere l'istruzione inclusiva e a garantire opportunità di apprendimento per tutti, indipendentemente dalla posizione geografica;
- **SDG 7: Energia pulita e accessibile** - Le soluzioni basate sul 5G e 6G, come l'automazione energetica e i sistemi di gestione intelligente, possono aiutare a ridurre il consumo energetico complessivo e promuovere l'adozione di fonti energetiche sostenibili;
- **SDG 9: Industria, innovazione e infrastrutture** - lo sviluppo e l'implementazione delle reti 5G e 6G può favorire la crescita economica, stimolare l'innovazione industriale e promuovere l'adozione di tecnologie avanzate in settori chiave come la sanità, la mobilità e l'agricoltura;

- **SDG 11: Città e comunità sostenibili** - La connettività avanzata consente la gestione efficiente delle risorse, la sicurezza urbana migliorata, il trasporto pubblico intelligente e altre soluzioni che migliorano la qualità della vita nelle aree urbane;
- **SDG 13: Azione per il clima** - Le reti 5G e 6G possono supportare l'implementazione di soluzioni di monitoraggio ambientale e la gestione sostenibile delle risorse naturali.

INDICATORI DI IMPATTO

Gli indicatori di impatto delle tecnologie di rete avanzate riflettono un panorama complesso di conseguenze che si estendono su vari fronti, influenzando significativamente aspetti politici, economici, industriali, innovativi, etici, legali, sociali e ambientali.

Gli indicatori quantitativi mirano a quantificare l'impatto economico ad ambientale delle reti avanzate. Gli *investimenti infrastrutturali* rappresentano un indicatore importante, misurando gli investimenti pubblici e privati necessari per lo sviluppo delle infrastrutture di rete. La crescita economica derivante dall'impatto sulla crescita del PIL potrebbe essere un altro indicatore utile a valutare l'impatto economico di queste infrastrutture. Il monitoraggio delle nuove opportunità di lavoro invece fornisce un'indicazione dell'espansione del mercato del lavoro. Lo sviluppo di nuove tecnologie (attraverso il *calcolo dei brevetti*) è un indicatore importante, poiché monitora lo sviluppo e l'adozione di nuove tecnologie abilitate dalle reti 5G e 6G, come l'Internet delle cose (IoT), la realtà aumentata (AR) e la guida autonoma. Valutare la diffusione dell'innovazione fornisce informazioni sull'adozione di nuove soluzioni tra le imprese e i consumatori.

Utilizzare indicatori che valutino l'*efficienza energetica delle reti 5G e 6G* rispetto alle tecnologie precedenti è essenziale per comprendere il loro impatto ambientale. Analizzare la sostenibilità infrastrutturale fornisce informazioni sull'impatto della costruzione e della manutenzione delle infrastrutture di rete avanzate.

Gli indicatori qualitativi possono essere utili a misurare le politiche e le pratiche volte a garantire la protezione dei dati personali e la privacy degli utenti delle reti 5G e 6G. L'inclusione digitale è un indicatore significativo che analizza l'accesso equo e universale ai servizi di comunicazione abilitati dalle reti avanzate, specialmente nelle aree rurali e sottosviluppate. Il monitoraggio della partecipazione civica fornisce informazioni sull'impatto delle reti 5G e 6G sulla partecipazione civica e sul coinvolgimento delle comunità.

STATO DELL'ARTE

Lo stato dell'arte del 5G sia in Italia che all'estero riflette la rapida adozione e implementazione di questa tecnologia avanzata delle reti di comunicazione. Più nello specifico, si possono rilevare:

- **Adozione globale del 5G:** il numero di abbonamenti mobile 5G raggiunge 1,7 miliardi di utenze a livello mondiale nel 2023[2], e si evidenzia una vasta adozione di questa tecnologia su scala globale. Questo indica un'ampia accettazione e una crescente domanda di servizi di comunicazione avanzati;
- **Impatto economico:** il 5G sta generando un impatto economico significativo, con il settore manifatturiero che contribuirà per 227 milioni di dollari, seguito da quello dei servizi (129 milioni) e dalla pubblica amministrazione (96 milioni)[3]. Questo sottolinea il ruolo cruciale che il 5G gioca nel promuovere l'innovazione e la crescita economica in diversi settori;
- **Deployment commerciali:** il 5G ha visto un rapido deployment commerciale, con 243 operatori che hanno attivato reti 5G in 97 mercati entro giugno 2023[4]. Questo indica un forte impegno nell'implementazione della tecnologia e una risposta positiva da parte degli operatori di telecomunicazioni per soddisfare la crescente domanda di connettività avanzata;
- **Iniziative di standardizzazione:** l'Unione Europea e altre organizzazioni hanno svolto un ruolo attivo nella definizione degli standard tecnici per il 5G.

[2] *Fonte: Ericsson (2023)*
[3] *Fonte: GSMA – GSM Association report (2023)*
[4] *https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/research/5g-tracker-97-markets-worldwide-have-commercial-5g-services#:~:text=New%205G%20commercial%20deployments%20slowed,as%20of%20June%2030%2C%202023*

La Spectrum Policy Group ha presentato una roadmap strategica verso il 5G per l'Europa, che fornisce linee guida e raccomandazioni per gli aspetti relativi allo spettro delle future reti wireless. Questo sottolinea l'importanza dell'armonizzazione degli standard e delle politiche per favorire l'adozione e lo sviluppo del 5G;

- **Standard Tecnici del 3GPP:** il 3rd Generation Partnership Project (3GPP)[5] ha svolto un ruolo centrale nella definizione degli standard tecnici per il 5G. Attraverso un lavoro continuo e collaborativo, sono stati sviluppati standard che consentono l'interoperabilità e la compatibilità tra dispositivi e reti 5G in tutto il mondo. Questo assicura un ambiente tecnologico coeso e favorevole alla crescita e all'innovazione nel settore delle telecomunicazioni.

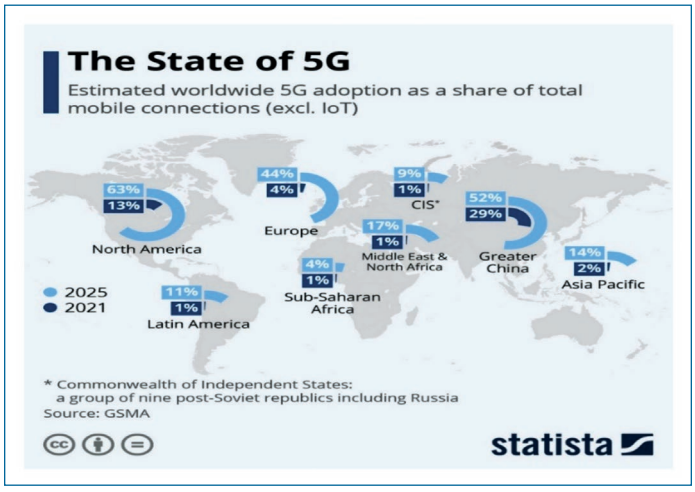


Figura 2: Lo stato del 5G. Adozione stimata del 5G nel mondo come quota delle connessioni mobili totali (escludendo l'IoT)

Fonte: https://www.key4biz.it/lo-stato-dellarte-del-5g-la-mappa-globale-da-qui-al-2025/394447/

[5] *https://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview*
[6] *https://www.irpa.eu/lo-stato-digitale-nel-pnrr-il-5g/*

RISORSE ECONOMICHE NECESSARIE

Nel contesto italiano il PNRR prevede 6,71 miliardi di euro per realizzare Interventi sule reti a banda ultra-larga, di cui 2,02 miliardi per lo sviluppo del 5G[6]. Questi fondi devono essere utilizzati per implementare con successo le reti 5G e prepararsi per l'avvento del 6G.

Più specificatamente, sono necessari considerevoli investimenti in 4 aree principali:

- **Infrastruttura di rete:**
  - *Nuove torri e stazioni base:* l'espansione delle reti 5G e future 6G richiede la costruzione di nuove torri e stazioni base per supportare la densità di dispositivi connessi e garantire una copertura affidabile e ad alta velocità;
  - *Fibra ottica e cavi di rame:* le reti 5G e 6G richiedono un backhaul (rete di ritorno) affidabile per trasmettere grandi quantità di dati a velocità ultra-rapida. Questo richiede investimenti nella posa di nuove infrastrutture a fibra ottica e cavi di rame;

- **Copertura geografica:**
  - *Installazione di antenne e apparati:* è necessario installare antenne 5G/6G su edifici, pali e altre strutture per garantire una copertura omogenea su vasti territori;
  - *Pianificazione del layout di rete:* è essenziale pianificare attentamente il layout della rete per ottimizzare la copertura e minimizzare le zone non coperte o con una connettività debole;

- **Sviluppo di applicazioni:**
  - *Investimenti nell'innovazione applicativa*: l'adozione del 5G e del 6G aprirà la strada a una vasta gamma di nuove applicazioni e servizi innovativi. Gli investimenti saranno necessari per lo sviluppo di applicazioni specifiche che sfruttano appieno le capacità delle reti avanzate, come l'IoT, l'AR), la telemedicina, i veicoli autonomi, etc.;
  - *Supporto per la ricerca e lo sviluppo*: sarà fondamentale sostenere la ricerca e lo

sviluppo di nuove tecnologie e applicazioni che possano capitalizzare appieno le potenzialità delle reti 5G e 6G. Questo richiede investimenti in laboratori di ricerca, partnership accademiche e programmi di accelerazione dell'innovazione;

- **Sostenibilità e sicurezza:**

- *Investimenti in sicurezza informatica:* con l'aumento della connettività e della complessità delle reti, diventa cruciale investire in soluzioni avanzate di sicurezza informatica per proteggere le reti e i dati dagli attacchi informatici;
- *Economia circolare e sostenibilità ambientale:* durante la pianificazione e l'implementazione delle reti 5G e 6G, è importante considerare anche gli impatti ambientali e adottare pratiche sostenibili per ridurre l'impatto ambientale delle infrastrutture di rete.

Complessivamente, gli investimenti nelle infrastrutture di rete, nella copertura geografica, nello sviluppo delle applicazioni e nella sicurezza sono fondamentali per realizzare il pieno potenziale delle reti 5G e prepararsi per l'evoluzione verso il 6G. Questi investimenti non solo favoriranno l'innovazione e lo sviluppo economico, ma anche la competitività a livello globale e il progresso tecnologico.

CLOUD E EDGE COMPUTING

Il Cloud Computing (CC) consiste nella distribuzione di risorse di calcolo *on demand* ad utenti, tramite rete Internet. Tramite CC, un utente (aziende, privati o pubbliche amministrazioni) può utilizzare potenza di calcolo e spazio di archiviazione senza dover acquistare né gestire l'infrastruttura IT fisica necessaria.
Il Cloud offre un ambiente di esecuzione virtualizzato di soluzioni IT di tipo centralizzato e scalabile in potenza elaborativa e spazio di archiviazione, e fornisce un *workplace* e store di servizi e applicazioni già pronte per elaborare, gestire e valorizzare i dati. I sistemi Cloud sono quindi grandi contenitori di risorse virtuali di facile utilizzo e accesso che mettono a disposizione vari software, hardware, piattaforme di sviluppo e di servizio. Queste infrastrutture informatiche possono essere dinamicamente riconfigurate per adattarsi al carico di lavoro: l'implementazione in Cloud di soluzioni IT dedicate a raccogliere, archiviare e amministrare il ciclo di vita dei prodotti e i rapporti con i clienti (customer care) offre quindi notevoli vantaggi ed estrema flessibilità per adeguarsi alle esigenze future.

L'Edge Computing (EC) è un nuovo paradigma di elaborazione decentralizzata che porta l'elaborazione dei dati e il calcolo più vicino alla fonte di generazione dei dati rispetto al Cloud Computing (CC). Questo riduce la latenza e i requisiti di larghezza di banda, consentendo un'elaborazione e un'analisi più veloci ed efficienti in tempo reale. Nell'EC, piccoli data center o dispositivi di calcolo, noti come nodi *edge*, vengono distribuiti in prossimità della fonte dei dati, eseguendo localmente elaborazione e *storage*. Questo riduce la necessità di trasmettere grandi quantità di dati a un server cloud remoto, migliorando la latenza e la privacy. L'EC è vantaggioso in scenari come veicoli autonomi, automazione industriale, monitoraggio sanitario e città intelligenti, essendo compatibile con reti cellulari di 4°, 5° e futura 6° generazione, che forniscono accesso sicuro, a banda larga e bassa latenza.

Tra le applicazioni di nuova generazione che possono essere abilitate dall'EC si possono citare la guida di veicoli remota (teleoperated driving), autonoma o semiautonoma (come il platooning); la robotica e l'automazione industriale (IoT e

robot coordinati tramite logica che risiede all'edge, compresi algoritmi di IA/ML); la possibilità per utenti mobili di usufruire di algoritmi IA come servizio di rete; l'intrattenimento; la telemedicina e l'assistenza remota.

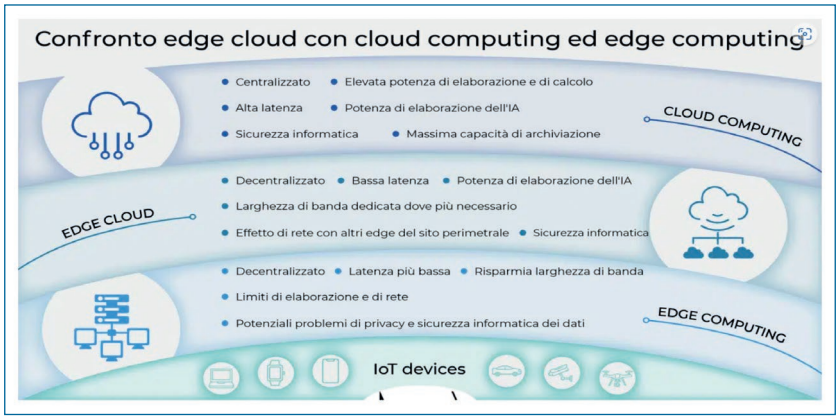


Figura 1: Confronto tra edge cloud con cloud computing ed edge computing

Fonte: https://deltalogix.blog/2023/06/01/edge-computing-edge-cloud-e-cloud-computing-differenze-e-opportunita/

MOTIVAZIONE PER LO SVILUPPO

Il CC è una realtà già da tempo, sia nell'industria che nella pubblica amministrazione. L'EC, invece, si sta affacciando in questi anni come tecnologia emergente. Una delle principali motivazioni per lo sviluppo dell'EC è la possibilità di portare a valore le capacità della rete mobile di quinta generazione (5G), adesso sfruttate soltanto in modo parziale. Come emerge dai diversi esperimenti pilota in ambito nazionale ed europeo, il 5G viene utilizzato principalmente come una versione a prestazioni migliori del 4G. In realtà le potenzialità del 5G vanno ben oltre, in quanto la tecnologia può abilitare una nuova classe di servizi ad elevato valore per l'utenza, quali quelli elencati al paragrafo precedente. Questi servizi non possono essere sviluppati senza una disponibilità di capacità computazionale *on demand* diffusa e a bassa latenza, che il Cloud non può per sua natura fornire. Ad esempio, un algoritmo di guida autonoma di un veicolo può risiedere sull'edge e seguire il veicolo nel suo tragitto, mi-

grando da un server all'altro in maniera sicura, mantenendo una latenza contenuta. Gli standard per l'EC prevedono inoltre la possibilità di avere interazioni sicure e controllate tra l'infrastruttura di computazione e la rete di accesso: tali interazioni possono fornire dati di contesto (come la posizione dell'utente, lo stato di carico della rete, la presenza di altri utenti) che abilitano servizi totalmente nuovi.

Lo sviluppo dell'EC crea nuove figure: l'Edge Infrastructure Provider (EIP), che gestisce l'infrastruttura (eventualmente federandosi con altri EIP); l'Edge Application Developer (EAP), che produce App da installare sull'edge, che possono essere usate da utenti finali o da altri EAP per costruire servizi. L'interazione di tali figure creerà modelli di business nuovi. Si prevede che il time to market dell'EC sia di uno/due anni, dato il grande interesse industriale in ambito internazionale (ad esempio, la lista dei membri del gruppo ETSI MEC[1]).

Il fatto che il CC sia una tecnologia già in essere non significa, tuttavia, che non persistano sfide tecnologiche da affrontare. Tra queste, di particolare importanza è la realizzazione di meccanismi di gestione di piattaforme CC per migliorare l'efficienza energetica e ridurne l'impatto ambientale.

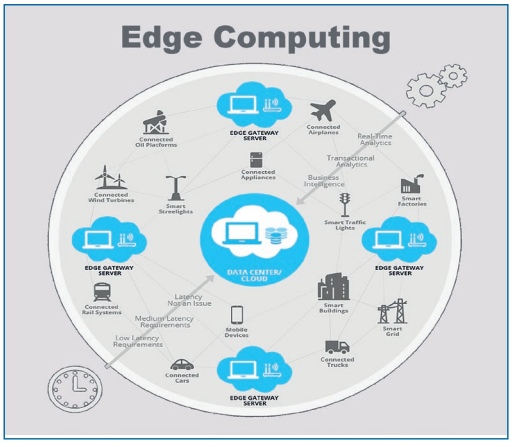


Figura 2: Edge Computing (EC)

Fonte: https://community.fs.com/it/article/what-is-edge-computing.html

[1] *https://portal.etsi.org/TB-SiteMap/MEC/List-of-Members*

RILEVANZA

Il CC è una tecnologia abilitante fondamentale nella transizione digitale, per il mondo dell'industria (è, infatti, uno dei pilastri su cui si fonda l'Industria 4.0) come per quello della Pubblica Amministrazione. Tra i benefici del CC possiamo elencare il risparmio sui costi (di infrastruttura - CAPEX, e di manutenzione - OPEX), la flessibilità per le aziende (che possono scalare la dimensione della propria infrastruttura ICT dinamicamente e senza necessità di impegno di capitale) e una miglior protezione dei dati e sicurezza.
Si prevede che l'EC possa essere utilizzato come tecnologia abilitante di servizi di nuova generazione, sia rivolti alle aziende (ad es. automazione industriale basata su EC, adesso non possibile tramite il solo CC), sia rivolti ai cittadini, ad esempio guida autonoma, telemedicina e intrattenimento.

In particolare, l'EC contribuirà, in concorso con il CC, ai seguenti Sustainable Development Goals:

- **SDG 3: Salute e benessere** - abilitazione di servizi quali teleassistenza e monitoraggio remoto dello stato di salute di persone fragili, miglioramento di servizi di public safety in tempo reale;

- **SDG 9: Industria, innovazione e infrastrutture** - abilitazione di servizi quali automazione industriale, realtà aumentata, tracciamento remoto;

- **SDG 10: Riduzione delle disuguaglianze** - miglioramento della cittadinanza digitale e dell'inclusività, come attraverso la possibilità di garantire l'utilizzo di potenza computazionale on demand (ad es. per algoritmi di IA) a tutti i cittadini, a basso costo ed in qualunque momento;

- **SDG 11: Città e comunità sostenibili** - CC ed EC abilitano servizi per la logistica ed il trasporto urbano (comunicazione interveicolare, controllo del traffico in tempo reale, etc.);

- **SDG 13: Azione per il clima** - riducendo la necessità di trasmettere grandi quantità di dati attraverso la rete e ottimizzando l'elaborazione locale grazie all'EC, si può ridurre il consumo energetico complessivo dei sistemi ICT. Ciò contribuisce a ridurre l'impatto ambientale dei servizi digitali e supporta gli sforzi per mitigare i cambiamenti climatici;

- **SDG 17: Partnership per gli obiettivi: collaborazione internazionale** - Cloud ed Edge Computing favoriscono la collaborazione internazionale attraverso la condivisione di risorse e conoscenze. Progetti come il Next generation cloud infrastrutture and services (Ipcei Cis) dell'Unione Europea illustrano come le partnership internazionali possano favorire lo sviluppo e l'adozione di soluzioni Cloud ed Edge interoperabili e sostenibili.

INDICATORI DI IMPATTO

L'evoluzione dei paradigmi computazionali verso il Cloud ed Edge Computing ha suscitato un interesse crescente, non solo per i vantaggi economici e ambientali che offrono, ma anche per le implicazioni sociali che ne derivano. In questo contesto, è essenziale comprendere quali sono gli indicatori quantitativi e qualitativi necessari per un'adozione e utilizzo responsabile di queste tecnologie, spaziando dall'efficienza energetica alla privacy dei dati e alla resilienza delle infrastrutture ICT industriali.

Gli **indicatori quantitativi**, in primo luogo, devono misurare l'*efficienza energetica* e la *sostenibilità ambientale*. Il CC, sebbene possa beneficiare di economie di scala, può richiedere grandi quantità di energia per alimentare i data center. Al contempo, l'EC può ridurre la necessità di trasferire grandi quantità di dati attraverso reti, contribuendo a una maggiore efficienza energetica complessiva e a una minore impronta ambientale. Per questa ragione, risulta necessario trovare degli indicatori che misurino queste variabili per comprendere quali siano le soluzioni più efficienti. In secondo luogo, i dati relativi ai costi e ai ricavi delle soluzioni necessi

tano di essere misurati quantitativamente. Il CC può offrire inizialmente costi più bassi grazie alle economie di scala, mentre l'EC potrebbe richiedere investimenti iniziali più elevati per l'implementazione di infrastrutture distribuite.
Gli **indicatori qualitativi** invece devono anzitutto misurare la resilienza e la sicurezza delle soluzioni adottate. Ad esempio, distribuendo le risorse di calcolo e di archiviazione su una rete di dispositivi, l'EC può migliorare la resilienza del sistema, riducendo i punti di vulnerabilità e il rischio di interruzioni del servizio (è bene parallelamente evidenziare, però, che potrebbero sorgere nuove sfide legate alla gestione della sicurezza dei dati e alla protezione della privacy). Inoltre, gli indicatori qualitativi devono anche monitorare l'impatto sociale di queste soluzioni. Gli indicatori dovrebbero misurare come queste soluzioni favoriscano lo sviluppo di comunità digitali locali e la decentralizzazione delle infrastrutture tecnologiche, consentendo un maggiore coinvolgimento delle comunità nell'innovazione e nella gestione delle risorse digitali.

STATO DELL'ARTE

Il mercato dei servizi Cloud pubblici ha raggiunto i 591,79 miliardi di dollari nel 2023 a livello globale[2]. Il mercato dei sistemi e servizi Cloud in Italia nel 2022 è stato uno dei segmenti a maggior crescita, raggiungendo il valore di 5,2 miliardi di euro nel 2022 in Italia, con una previsione di 11 miliardi per il 2026[3].
Su scala globale, il mercato EC è stato valutato a 2,8 miliardi di dollari nel 2022, con una previsione di crescita a 102 miliardi nel 2032, con tassi di crescita annuale composto superiore al 40%. Il settore applicativo principale per mercato è quello delle smart cities, seguito dall'Industrial IoT. Il segmento sul quale si prevede la maggior parte della quota di mercato è quello del software e dei servizi.
L'EC invece è supportato da uno standard internazionale, il Multi-Access Edge Computing (MEC), sviluppato dall'European Telecommunications Standard Institute (ETSI)[4]. Questo standard - soggetto a continui aggiornamenti - fornisce una guida per implementare e gestire l'elaborazione dei dati in prossimità dei dispositivi e degli utenti finali, migliorando la latenza e l'efficienza delle applicazioni.
A livello nazionale, esistono normative specifiche per il settore pubblico, come

[2] *Fonte: Lionel Sujay Vailshery, 5 dicembre 2022.*
[3] *Fonte: ANITEC Assinform – Rapporto "Il Digitale in Italia – 2023" - https://www.anitec-assinform.it/pubblicazioni/il-digitale-in-italia/edizioni-precedenti/il-digitale-in-italia-2023-vol-1.kl*
[4] *https://www.etsi.org/technologies/multi-access-edge-computing*

il Cloud per la Pubblica Amministrazione, gestito dall'Agenzia Nazionale per la Cybersicurezza[5]. Il Piano PA Digitale 2026 rappresenta un punto focale, con investimenti significativi dedicati all'abilitazione al Cloud delle PA locali e alla creazione del Polo Strategico Nazionale, un'infrastruttura ad alta affidabilità per dotare la Pubblica Amministrazione di tecnologie e infrastrutture cloud affidabili e resilienti[6].

A livello europeo, è in corso il progetto di comune interesse europeo (IPCEI) Next Generation Cloud infrastructure and services (IPCEI Cis), volto a sviluppare il primo ecosistema europeo di elaborazione dati interoperabile e apertamente accessibile, che comprende sia il Cloud sia l'Edge Computing. Questo progetto mira a creare un'infrastruttura di riferimento open-source entro il 2027, promuovendo tecnologie federate, affidabili ed efficienti per il data processing distribuito su Cloud ed Edge. Sono stati approvati fino a 1,2 miliardi di euro in aiuti di Stato da parte di sette Stati membri, tra cui l'Italia, per lo sviluppo di questo progetto che supporterà la ricerca, lo sviluppo e la prima diffusione industriale di tecnologie di cloud computing e di edge computing tra molteplici fornitori europei. Oltre ai finanziamenti pubblici, ci si aspetta di poter sbloccare ulteriori 1,4 miliardi di euro di investimenti privati[7].

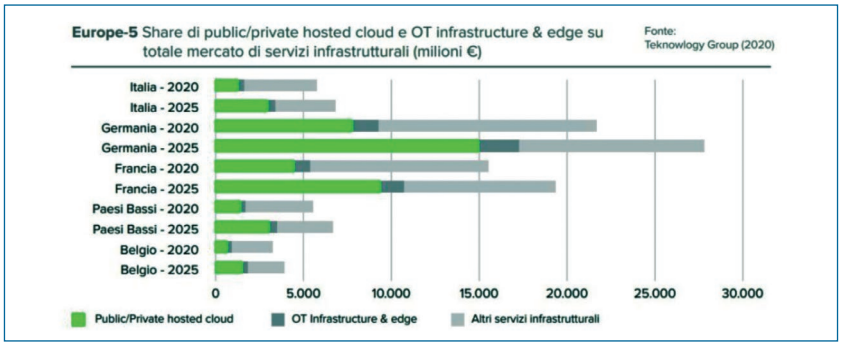


Figura 3: Share di public/private hosted cloud e OT infrastructure & edge sul mercato totale di servizi infrastrutturali (in milioni di €)

Fonte: https://community.fs.com/it/article/what-is-edge-computing.html

[5] *https://www.acn.gov.it/strategia/strategia-cloud-italia/qualificazione-cloud#:~:text=Dal%2019%20gennaio%202023%20la,29%20del%202%20gennaio%202023*

[6] *https://innovazione.gov.it/dipartimento/focus/polo-strategico-nazionale/*

[7] *Fonte: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_6246*

RISORSE ECONOMICHE NECESSARIE

L'implementazione di un sistema CC richiede investimenti significativi, con costi che possono variare da diverse decine di migliaia a diversi milioni di euro, a seconda delle dimensioni e della complessità del sistema. Queste spese includono l'acquisto di hardware, software, licenze, nonché spese operative continue come la manutenzione e il personale specializzato.

Per un sistema EC i costi possono essere addirittura superiori, data la distribuzione su una rete più ampia di dispositivi periferici. Le infrastrutture di rete, i dispositivi edge e i software per la gestione dei nodi possono comportare investimenti significativi, con costi che possono variare a seconda delle dimensioni e della portata del progetto.

Per queste ragioni, la Commissione Europea ha stanziato un totale di 1,2 miliardi di euro di aiuti di stato per sostenere l'implementazione del progetto Ipcei Cis nel settore dei servizi Cloud-Edge, coprendo una parte significativa dei costi associati allo sviluppo e alla realizzazione di queste infrastrutture e dei relativi servizi.
Il coinvolgimento attivo di sette Stati membri dell'Unione Europea - Italia, Francia, Germania, Ungheria, Paesi Bassi, Polonia e Spagna - riflette un impegno condiviso a livello europeo per promuovere lo sviluppo e l'adozione di questi servizi. Oltre all'Italia, gli altri paesi partecipano finanziariamente all'iniziativa, dimostrando un impegno concreto per lo sviluppo del settore.

Gli investimenti pubblici previsti nell'ambito del progetto Ipcei Cis fungono da catalizzatori per i privati, sbloccando ulteriori investimenti per un valore complessivo di 1,4 miliardi di euro da parte di aziende interessate. Questo dimostra il ruolo cruciale dei finanziamenti pubblici nel favorire l'attrazione di investimenti privati nel settore dei servizi Cloud-Edge, stimolando così l'innovazione e la crescita economica.

Secondo la Commissione Europea, gli aiuti di stato sono essenziali per superare le attuali carenze del mercato nel settore dei servizi Cloud-Edge. Questo riconosce le sfide e le barriere che potrebbero ostacolare lo sviluppo e l'adozione di queste tecnologie e sottolinea l'importanza del sostegno pubblico per favorire la crescita e la competitività del settore.

Il sostegno finanziario fornito dalla Commissione Europea e dagli Stati membri per l'implementazione del progetto Ipcei Cis rappresenta un importante impulso per lo sviluppo dei servizi Cloud-Edge in Europa. Questi investimenti pubblici mirano a stimolare l'innovazione, promuovere la crescita economica e affrontare le sfide esistenti nel settore, contribuendo così a consolidare la leadership europea nel campo della tecnologia digitale.

BLOCKCHAIN

La blockchain, una delle innovazioni più rivoluzionarie del XXI secolo, ha rapidamente guadagnato attenzione in diversi settori grazie alla sua capacità di garantire sicurezza, trasparenza e decentralizzazione.
La blockchain è una struttura di dati digitale distribuita e immutabile, formata da blocchi collegati in modo crittografico. Ogni blocco contiene transazioni verificate che consentono di formare una catena continua di dati. I principi fondamentali che guidano questa tecnologia includono decentralizzazione, immutabilità, trasparenza e sicurezza: la decentralizzazione deriva da una gestione tramite rete peer-to-peer; l'immutabilità fa riferimento al fatto che i dati non possono essere modificati; la trasparenza allude alla caratteristica di essere accessibile pubblicamente; la sicurezza dipende da una crittografia avanzata e da una natura decentralizzata.

Tra gli ambiti di applicazione della blockchain, i principali concernono:

- **Criptovalute e pagamenti digitali**: le criptovalute sfruttano la blockchain per transazioni sicure e decentralizzate. Si possono abbattere così le barriere di accesso nei paesi in via di sviluppo, facilitando pagamenti tramite telefono cellulare ed eliminando intermediari;

- **Contratti intelligenti (Smart Contracts):** i contratti intelligenti sono protocolli autoeseguibili che automatizzano e verificano contratti in vari settori. Trovano applicazione nell'immobiliare, nella gestione delle forniture e nella logistica, riducendo costi e migliorando l'efficienza;

- **Tracciabilità della supply chain:** la blockchain traccia la provenienza e il percorso dei prodotti, garantendo autenticità, prevenendo contraffazione e ottimizzando la logistica. Migliora inoltre la conformità normativa, la fiducia dei consumatori e la risoluzione rapida dei problemi di qualità;

• **Votazioni elettroniche:** la blockchain assicura sicurezza, trasparenza e integrità nei processi di voto elettronico, riduce i rischi di frode aumentando la fiducia nell'integrità del processo elettorale;

• **Gestione dei diritti digitali:** la blockchain protegge la proprietà intellettuale e gestisce i diritti digitali, riducendo il rischio di pirateria e violazione dei diritti d'autore; garantisce autenticità, trasparenza e equità nella distribuzione dei profitti agli aventi diritto.

Scalabilità, interoperabilità e regolamentazione costituiscono le principali sfide che questa tecnologia è chiamata ad affrontare per rivoluzionare radicalmente il modo in cui gestiamo e condividiamo i dati digitali. Per quanto riguarda i rischi legati al consumo delle risorse energetiche, è importante considerare:

• **Impatto ambientale:** l'alta domanda di energia può portare a un aumento delle emissioni di carbonio, specie se essa proviene da fonti non rinnovabili. Questo può contrastare con gli obiettivi di sostenibilità;

• **Concorrenza per le risorse energetiche:** l'aumento della domanda di energia per le operazioni legate alla blockchain può portare a un mercato più competitivo per assicurarsene la disponibilità, potenzialmente aumentando i costi dell'elettricità per altri settori e consumatori;

• **Dipendenza da infrastrutture energetiche:** l'introduzione di nuovi processi legati alla blockchain potrebbero essere limitate da infrastrutture energetiche inadeguate o non sufficientemente sviluppate in alcune regioni, risultando in barriere geografiche che ne limiterebbero l'adozione.

Si devono inoltre considerare queste barriere sull'accesso e proprietà della blockchain:

- **Privacy e sicurezza:** le blockchain pubbliche offrono trasparenza, ma possono esporre dati sensibili. Al contrario, le blockchain private offrono maggiore privacy ma vi potrebbe essere maggiore diffidenza nell'adozione;

- **Costi di implementazione:** la creazione e successiva manutenzione di infrastrutture blockchain possono essere costose, specialmente per piccole e medie imprese. I costi di hardware, software ed energia possono rappresentare una barriera all'ingresso significativa all'introduzione della tecnologia.

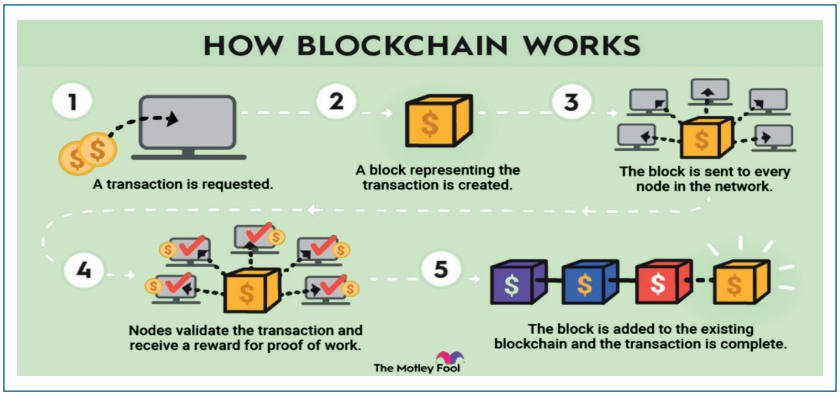


Figura 1: Come funziona la blockchain

Fonte: https://www.fool.com/terms/b/blockchain/

Nel 2023 il livello di investimento delle aziende italiane è stato lievemente inferiore a quello dell'anno precedente (30 milioni di di euro nel 2023 contro i 42,5 milioni di euro nel 2022)[19] e gli attori coinvolti nei progetti hanno spostato la propria attenzione dal lancio immediato di progetti di piccola dimensione, che nel 2022 sono stati focalizzati principalmente sulla creazione di NFT, alla realizzazione di prototipi e progetti pilota di maggiori dimensioni, . Il 2022 a livello globale è stato segnato

dallo scoppio della bolla delle cripto valute, ma ha visto anche la crescita degli investimenti volti a rendere più solide e scalabili le piattaforme Blockchain e a ridurne gli impatti in termini di consumo energetico, con il lancio ad esempio della nuova versione di Ethereum [20]. I progetti sperimentali continuano ad essere prevalenti, seppure si ravvisi una maggiore maturità di alcuni settori, primo tra tutti il *finance*, che da sempre rappresenta il mercato più avanzato nell'adozione di tecnologie Blockchain.

MOTIVAZIONE PER LO SVILUPPO

La blockchain è emersa come una risposta alle sfide e ai limiti delle infrastrutture tradizionali nel gestire e garantire la sicurezza delle transazioni digitali. Tra le principali motivazioni del suo sviluppo, si possono ricordare:

- Contesto di fiducia e sicurezza: la blockchain offre un'alternativa sicura e decentralizzata per le transazioni digitali, riducendo il rischio di frode e manipolazione rispetto ai database centralizzati;

- **Sfide tecnologiche dei sistemi centralizzati**: la blockchain elimina il punto singolo di fallimento dei sistemi centralizzati, garantendo maggiore affidabilità e disponibilità del servizio;

- **Trasparenza e integrità dei dati:** la blockchain fornisce una registrazione permanente e immutabile delle transazioni, assicurando trasparenza e verificabilità dei dati per tutte le parti coinvolte;

- **Efficienza e riduzione dei costi:** la blockchain semplifica i processi di gestione e convalida delle transazioni, eliminando intermediari e riducendo i costi operativi;

- **Time to Market**: la crescente domanda di soluzioni blockchain ha accelerato lo sviluppo e l'implementazione di nuove applicazioni, riducendo il tempo necessario per portare nuove innovazioni sul mercato.

Affrontando le sfide dei sistemi centralizzati e accelerando l'innovazione, la blockchain offre l'opportunità di creare nuove opportunità di business a livello globale.

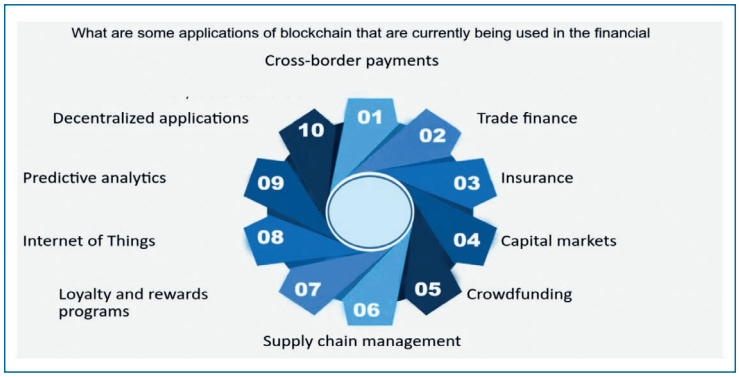


Figura 2: Alcune odierne applicazioni della blockchain

Fonte: https://fastercapital.com/it/contenuto/Come-la-blockchain-sta-scuotendo-il-sistema-finanziario-globale.html

RILEVANZA

La blockchain può contribuire in modo significativo alla transizione digitale in molteplici settori industriali ed economici, fornendo soluzioni innovative pr la gestione e la sicurezza dei dati, migliorando l'efficienza e la trasparenza nei processi aziendali e finanziari. Inoltre, la sua capacità di tracciare e validare le transazioni può aiutare a garantire la conformità normativa e a ridurre le frodi. La blockchain potrebbe ridurre l'impatto ambientale dei processi tradizionali, eliminando la necessità di documenti cartacei e di intermediari fisici. D'altra parte, il carattere distribuito e la necessità di mantenere continuamente attivi i sistemi di blockchain può portare a consumi energetici significativi, che possono viceversa impattare negativamente dal punto di vista della sostenibilità complessiva delle

soluzioni adottate. Sul piano sociale, la blockchain può infine contribuire a fornire servizi finanziari a individui che non hanno accesso ai sistemi bancari tradizionali, promuovendo l'inclusione finanziaria. Inoltre, può garantire una maggiore trasparenza e fiducia nei processi di voto.

La blockchain può inoltre generare un impatto su ognuno dei 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile:

- **SDG 1: Fine della povertà** - fornendo servizi finanziari tramite la blockchain, si può garantire l'accesso a pagamenti, risparmi e prestiti, contribuendo così a ridurre la povertà;
- **SDG 2: Fame zero** - tracciando la catena di approvvigionamento alimentare, la blockchain può assicurare che gli alimenti siano prodotti in modo sostenibile e sicuro, prevenendo la contraffazione;
- **SDG 3: Salute e benessere** - consentendo agli individui di controllare i propri dati medici in modo sicuro, la blockchain può migliorare la gestione dei dati sanitari e l'assistenza sanitaria;
- **SDG 4: Istruzione di qualità** - verificando le credenziali accademiche tramite blockchain, si può garantire l'autenticità dei certificati;
- **SDG 5: Parità di genere** - la trasparenza delle transazioni blockchain può contribuire a prevenire discriminazioni di genere nei pagamenti e nelle opportunità di lavoro;
- **SDG 6: Acqua pulita e igiene** - utilizzando la blockchain per monitorare e gestire le risorse idriche, si può garantire un accesso sicuro e sostenibile all'acqua potabile;
- **SDG 7: Energia pulita e accessibile** - la blockchain può agevolare la transizione verso fonti di energia rinnovabile, riducendo le emissioni di gas serra;
- **SDG 8: Lavoro dignitoso e crescita economica** - facilitando i pagamenti transfrontalieri, la blockchain può migliorare l'accesso ai mercati finanziari e promuovere la crescita economica;

- **SDG 9: Industria, innovazione e infrastrutture** - la blockchain può stimolare l'innovazione industriale e la trasparenza nei processi commerciali;
- **SDG 10: Riduzione delle disuguaglianze** - migliorando la trasparenza nei processi decisionali e finanziari, la blockchain può contribuire a ridurre le disuguaglianze sociali ed economiche;
- **SDG 11: Città e comunità sostenibili** - la blockchain può ottimizzare l'uso delle risorse e migliorare la qualità della vita urbana attraverso la gestione delle informazioni prodotte in contesto urbano;
- **SDG 12: Consumo e produzione responsabili** - tracciando la catena di approvvigionamento, la blockchain può promuovere consumi e produzioni più responsabili;
- **SDG 13: Azione per il clima** - la blockchain può migliorare la trasparenza e l'efficienza nei mercati delle emissioni, contribuendo alla lotta contro il cambiamento climatico;
- **SDG 14: Vita sott'acqua** - utilizzando la blockchain per monitorare e gestire le risorse marine, si può promuovere la conservazione degli ecosistemi marini;
- **SDG 15: Vita sulla terra** - la blockchain può contribuire alla conservazione della biodiversità e alla gestione sostenibile delle risorse naturali, ad esempio offrendo soluzioni di investimento basate su blockchain orientate alla salvaguardia della biodiversità: gli investimenti che salvaguardano la biodiversità (es. quantità di ettari di foresta protetti) sono collegati a NFT;
- **SDG 16: Pace, giustizia e istituzioni solide** - migliorando la trasparenza nei processi decisionali e giudiziari, la blockchain può promuovere la pace e la giustizia;
- **SDG 17: Partnership per gli obiettivi** - la blockchain può facilitare la collaborazione internazionale fornendo un framework trasparente per la condivisione dei dati.

INDICATORI DI IMPATTO

La blockchain è un pilastro della trasformazione digitale per vari settori. Valutare il suo impatto è complesso e richiede di prendere in considerazione indicatori

economici, sociali, etici e ambientali.

Gli **indicatori quantitativi** dell'impatto della blockchain devono offrire una panoramica della sua dimensione economica e industriale. Il volume delle transazioni eseguite sulla blockchain rappresenta uno di questi indicatori, misurabile attraverso il numero totale di transazioni o il valore complessivo delle transazioni finanziarie effettuate. Ad esempio, l'aumento del volume degli scambi di criptovalute indica una maggiore adozione e utilizzo della blockchain nel settore finanziario. Il valore degli asset digitali gestiti sulla blockchain fornisce invece un'indicazione della crescita e dell'importanza economica della tecnologia, evidenziando l'ammontare totale di beni digitali registrati e trasferiti tramite questa piattaforma. Inoltre, i costi ridotti e l'efficienza generata attraverso l'automazione dei processi sono indicatori chiave dell'impatto economico della blockchain. Le aziende possono monitorare i risparmi di tempo e denaro derivanti dall'implementazione della tecnologia blockchain nei loro processi, valutando la riduzione dei costi operativi, delle commissioni di transazione e dei tempi di elaborazione delle transazioni. Questi risparmi quantificabili contribuiscono a dimostrare il valore economico della blockchain e a giustificare gli investimenti nelle sue applicazioni. Inoltre, i sistemi blockchain sono altamente energivori e dunque è opportuno avere indicatori per quantificarne l'impatto. Si può misurare il mix energetico, ossia la combinazione di diverse fonti utilizzate per alimentare le operazioni blockchain, calcolando la percentuale di energia rinnovabile impiegata, analizzando la provenienza geografica e verificando l'impiego di energia verde certificata da parte degli operatori attraverso il tracciamento di certificati di energia rinnovabile (RECs).

Dall' altro lato, gli **indicatori qualitativi** devono esplorare gli aspetti più intangibili dell'impatto della blockchain, concentrandosi su questioni etiche, sociali, legali ed ambientali. La fiducia generata tra le parti coinvolte nelle transazioni rappresenta uno di questi indicatori, evidenziando il grado di affidabilità e sicurezza percepito dai partecipanti alla rete blockchain. L'equità nell'accesso ai servizi finanziari è un

altro indicatore qualitativo, che valuta se la tecnologia blockchain contribuisce a ridurre le disuguaglianze nell'accesso ai servizi finanziari tradizionali, garantendo inclusione e accesso universale.
Inoltre, l'aumento della trasparenza e della responsabilità è un indicatore qualitativo significativo, che riflette la capacità della blockchain di rendere visibili e tracciabili le transazioni e i processi aziendali, promuovendo la responsabilità e la conformità normativa. Infine, l'adesione ai principi etici e normativi, inclusa la conformità alle leggi e alle normative ambientali, rappresenta un elemento cruciale per valutare l'impatto complessivo sulla società e sull'ambiente.

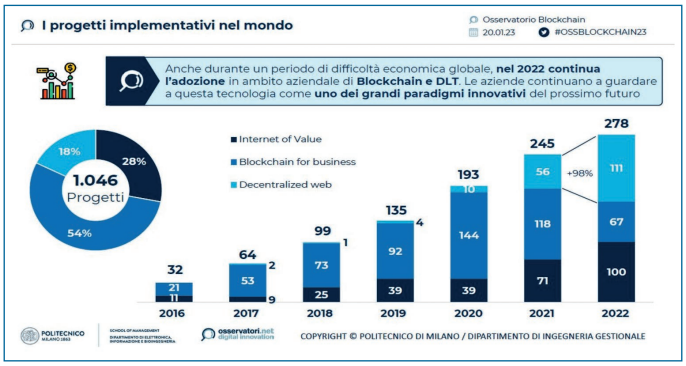


Figura 3: I progetti per implementare la blockchain nel mondo

Fonte: https://www.economyup.it/innovazione/blockchain-in-crescita-dopo-il-cryptowinter-la-spinta-arriva-dal-web-3-0/

STATO DELL'ARTE

In Italia, l'adozione della blockchain sta gradualmente guadagnando terreno, nel settore pubblico come in quello privato. Numerose iniziative e progetti pilota stanno emergendo in diversi ambiti, dimostrando un crescente interesse per il potenziale della blockchain. Nel settore finanziario, diverse istituzioni bancarie italiane stanno esplorando le possibilità offerte dalla blockchain per migliorare l'efficienza operativa e ridurre i costi delle transazioni. Banche come Intesa Sanpaolo e Mediobanca hanno avviato progetti pilota per testare l'applicabilità

[1] *https://www.agid.gov.it/it/agenzia/stampa-e-comunicazione/notizie/2021/03/02/blockchain-agid-promotrice-dellinfrastruttura-italiana-ibsi*

della blockchain nella gestione dei prestiti e nella creazione di sistemi di identità digitale per i clienti. A livello di Pubblica Amministrazione, diverse regioni italiane stanno sperimentando l'uso della blockchain per migliorare i servizi pubblici e la trasparenza: l'Emilia-Romagna ha avviato un progetto per la tracciabilità dei rifiuti, mentre la Lombardia sta esplorando l'uso della tecnologia per migliorare la gestione delle identità digitali e la trasparenza nella pubblica amministrazione. A livello nazionale, IBSI (Italian Blockchain Service Infrastructure) è il progetto - promosso da Agenzia per l'Italia Digitale, CIMEA, CSI Piemonte, ENEA, INAIL, INFRATEL ITALIA, INPS, Politecnico di Milano, Poste Italiane, RSE, GSE, SOGEI e Università di Cagliari - che punta a sperimentare la modalità di progettazione e sviluppo di un ecosistema basato su tecnologie di tipo Registri Distribuiti (DLT), in linea con la Strategia Europea che sta realizzando un'infrastruttura analoga nell'ambito della European Blockchain Partnership[1].
In Italia, numerose startup e imprese stanno sviluppando soluzioni basate su blockchain per settori come logistica, sanità, energia e ambiente. Investitori come CDP Venture Capital, EIT Urban Mobility e Enry's Island supportano l'ecosistema blockchain italiano, insieme a programmi di accelerazione come Climate-KIC Acceleration Programme. Tuttavia, ci sono ancora sfide da superare, soprattutto relativamente a questioni normative, in tema educazione e per la promozione di collaborazioni tra pubblico e privato.

Su scala internazionale, l'adozione della blockchain è ampiamente diffusa e influente in numerosi contesti. Negli Stati Uniti, il settore finanziario è quello nel quale questa tecnologia trova maggiore applicazione, mentre in Cina il governo promuove attivamente lo sviluppo della tecnologia. Il Giappone ha un ambiente regolamentare favorevole, mentre la Svizzera è una destinazione chiave per le startup blockchain. Singapore è un altro hub importante, dal momento che il governo sperimenta la blockchain nei servizi pubblici e nelle startup che sviluppano soluzioni innovative. In generale, l'adozione della blockchain continua a crescere globalmente, con il riconoscimento del suo potenziale trasformativo.

[2] https://www.osservatori.net/it/ricerche/comunicati-stampa/progetti-blockchain-crypto-token

RISORSE ECONOMICHE NECESSARIE

Dal 2016 ad oggi, il settore ha attratto oltre 160 milioni di dollari di flusso di capitale a livello globale, generando un notevole interesse tra gli investitori[2]. Tuttavia, i dati indicano una varietà di investimenti, senza una tendenza chiara di crescita o diminuzione nel tempo. Questa eterogeneità di flussi – che caratterizza anche il caso italiano – può essere attribuita a diversi fattori economici, politici e sociali che influenzano l'instabilità del mercato degli investimenti nel paese. Le attuali tendenze suggeriscono che l'industria italiana della blockchain potrebbe essere prossima a uno sviluppo significativo; pertanto, è cruciale continuare a monitorare attentamente questo settore.

Lo sviluppo della blockchain richiede un significativo impegno economico. Ad esempio, per implementare una blockchain aziendale i costi possono variare da alcune decine di migliaia a diversi milioni di euro, a seconda della complessità del progetto e del numero di parti coinvolte. Per le grandi imprese, il costo medio di sviluppo di una blockchain varia tra i 200.000 e i 500.000 euro, con un costo aggiuntivo di 100.000-300.000 euro all'anno per l'aggiornamento e la manutenzione. Per progetti più complessi, come quelli nel settore finanziario o della logistica, i costi possono oscillare tra 1 e 2 milioni solo per lo sviluppo iniziale. Inoltre, i costi legati all'hardware sono significativi. La creazione e la gestione di nodi di rete richiedono server potenti e affidabili, con costi che possono variare da diverse migliaia a centinaia di migliaia di euro, a seconda delle specifiche tecniche e della scala del progetto. Anche gli investimenti per la parte software possono essere altrettanto impegnativi: lo sviluppo di protocolli personalizzati, applicazioni blockchain e smart contract richiede competenze specializzate e investimenti significativi in tempo e risorse finanziarie. Infine, i costi operativi continui per mantenere e aggiornare la rete includono i costi di gestione del personale, di hosting dei server, di sicurezza informatica e di conformità normativa. Per molte aziende, questi costi possono superare il milione di euro all'anno, a seconda delle dimensioni e della complessità della blockchain implementata.

REALTÀ AUMENTATA E REALTÀ VIRTUALE

La Realtà Aumentata (AR) e la Realtà Virtuale (VR) sono due tecnologie immersive che offrono esperienze coinvolgenti agli utenti, seppur con approcci diversi. Mentre l'AR sovrappone elementi digitali al mondo reale, la VR crea un ambiente simulato che isola gli utenti dall'ambiente reale. Entrambe le tecnologie trovano applicazioni in una vasta gamma di settori.

- Nel settore dell'***intrattenimento e dei giochi***, sia l'AR che la VR hanno rivoluzionato l'esperienza dei giocatori, offrendo esperienze coinvolgenti e innovative. I giochi AR, come Pokémon GO, integrano il mondo reale all'interno dell'esperienza di gioco, trasformando le città in playground digitali. Allo stesso modo, l'AR viene utilizzata in giochi educativi e interattivi, consentendo agli utenti di imparare attraverso l'esperienza pratica e visiva. Le esperienze di VR offrono invece un livello di immersione senza precedenti, permettendo ai giocatori di interagire con mondi virtuali attraverso movimenti fisici.
- Nel settore della ***formazione e delle simulazioni***, sia la VR che l'AR forniscono esperienze immersive per l'addestramento professionale. La VR viene utilizzata per simulare ambienti realistici, consentendo ai professionisti di acquisire competenze in settori critici come l'aviazione e la sicurezza. L'AR fornisce istruzioni in tempo reale e supporto visivo durante la formazione, migliorando l'efficienza e la precisione delle operazioni.
- Nel ***commercio e nel marketing***, sia l'AR che la VR offrono nuove opportunità di coinvolgimento dei clienti. L'AR viene utilizzata per migliorare l'esperienza di acquisto online e offline, consentendo agli acquirenti di visualizzare i prodotti in contesti reali prima dell'acquisto. La VR crea showroom virtuali ed esperienze di prova immersive, consentendo ai clienti di esplorare i prodotti prima dell'acquisto e riducendo la necessità di spazio fisico per l'esposizione dei prodotti.
- Nel settore della ***salute e del benessere***, queste tecnologie vengono impiegate in terapie di esposizione virtuale e addestramento medico. La VR offre simulazioni realistiche per l'addestramento di medici e operatori sanitari, riducendo la necessità di formazione pratica su pazienti reali. L'AR fornisce istruzioni in tempo

reale e supporto visivo durante i trattamenti medici e chirurgici, migliorando la precisione e riducendo il rischio di errori.

- Nel *turismo e nella cultura*, sia l'AR che la VR offrono esperienze immersive per i viaggiatori e gli appassionati di cultura. L'AR permette di esplorare luoghi storici e monumenti da remoto, o arricchendo l'esperienza di viaggio con informazioni aggiuntive. La VR offre esperienze di viaggio virtuali, consentendo di visitare luoghi famosi e di partecipare a simulazioni immersive di siti storici o eventi culturali.

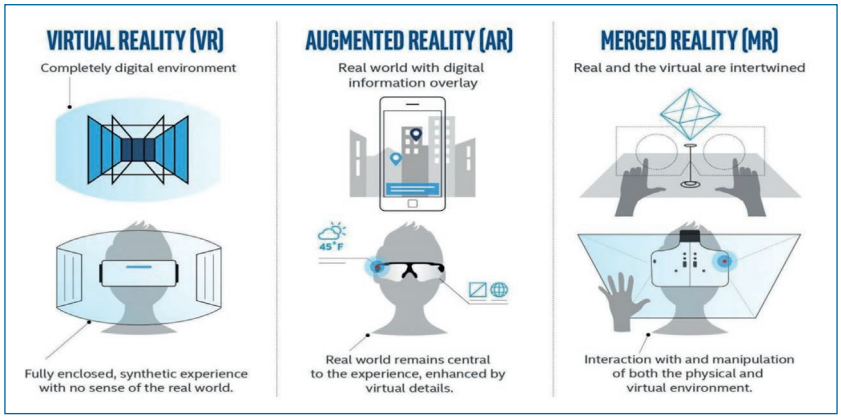


Figura 1: DIfferenza tra VR, AR e MR

Fonte: https://www.scuole-digitali.it/2020/09/08/realta-aumentata-ar-virtuale-vr-e-mista-mr-differenze-ed-elementi-in-comune/

MOTIVAZIONE PER LO SVILUPPO

L'AR e la VR rappresentano due delle tecnologie più innovative e promettenti del nostro tempo, offrendo esperienze immersive che trasformano radicalmente la nostra interazione con il mondo digitale e fisico. Viviamo in un'era in cui le persone cercano sempre più esperienze che vanno oltre la semplice visualizzazione su uno schermo, desiderando interagire e immergersi completamente in mondi

digitali. L'AR e il virtuale offrono un modo innovativo per soddisfare questa esigenza, consentendo agli utenti di esplorare luoghi remoti, interagire con oggetti virtuali e vivere esperienze coinvolgenti.
Inoltre, l'avanzamento delle tecnologie di visualizzazione apre possibilità per lo sviluppo di AR e VR. Schermi ad alta risoluzione, sensori e telecamere 3D supportano la realizzazione di esperienze sempre più realistiche e convincenti aumentando il potenziale di queste tecnologie per una varietà di applicazioni.
Tuttavia, lo sviluppo di AR e VR è accompagnato da una serie di sfide tecnologiche. Una delle sfide principali riguarda il tracking preciso degli oggetti nel mondo reale e la resa realistica degli elementi virtuali. Questo richiede algoritmi sofisticati e hardware potenti per garantire un'esperienza fluida e accurata. Inoltre, l'integrazione tra hardware e software è fondamentale per garantire un funzionamento ottimale dei dispositivi AR e VR. La miniaturizzazione dei componenti e l'ottimizzazione dell'efficienza energetica sono altre sfide da affrontare per rendere i dispositivi basati su queste tecnologie più compatti, leggeri e portatili.
Oltre alle sfide tecniche, è importante considerare le implicazioni socioculturali dello sviluppo di AR e VR. Esse hanno il potenziale per trasformare radicalmente il modo in cui interagiamo con il mondo intorno a noi, influenzando anche la nostra percezione della realtà. È fondamentale esplorare attentamente le implicazioni etiche e sociali di queste tecnologie per garantire che siano sviluppate e utilizzate in modo responsabile.

Nonostante le sfide, le opportunità di mercato per AR e VR sono numerose ed eterogenee. La domanda di esperienze immersive continua a crescere, con sempre più settori (come turismo, istruzione, salute e marketing) che ne esplorano le potenzialità.

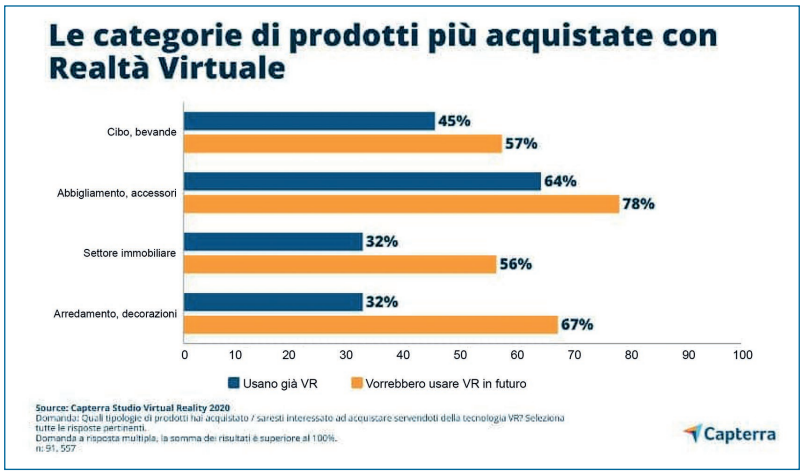


Figura 2: Le categorie di prodotti più acquistate con Realtà VIrtuale

Fonte: https://www.ninja.it/risorse/realta-virtuale-aumentata/

RILEVANZA

L'AR e la VR sono tecnologie innovative con potenziale trasformativo per la società, facilitando la trasformazione digitale e ambientale, migliorando l'istruzione attraverso esperienze coinvolgenti e ottimizzando l'esperienza di acquisto online. Inoltre, contribuiscono alla transizione verso un'economia più sostenibile riducendo la necessità di viaggi fisici, sensibilizzando sulle questioni ambientali e fornendo soluzioni per la gestione delle risorse energetiche.

In virtù di queste caratteristiche, tali tecnologie possono impattare positivamente su diversi SDGs:

- **SDG 4:** Istruzione di qualità - AR e VR possono migliorare l'accesso all'istruzione e la qualità dell'apprendimento, contribuendo al raggiungimento dell'obiettivo di fornire un'educazione inclusiva e di qualità per tutti;
- **SDG 8:** Lavoro dignitoso e crescita economica - lo sviluppo di applicazioni AR e VR crea opportunità di lavoro nel settore tecnologico e contribuisce alla crescita economica attraverso l'innovazione e lo sviluppo di nuovi prodotti e servizi;

- **SDG 9:** Industria, innovazione e infrastrutture - AR e VR sono al centro dell'innovazione digitale e contribuiscono alla costruzione di infrastrutture resilienti e sostenibili;
- **SDG 11:** Città e comunità sostenibili - le esperienze AR e VR possono contribuire a creare città più sostenibili migliorando l'esperienza degli abitanti e riducendo l'impatto ambientale delle attività umane;
- **SDG 13:** Azione per il clima - le applicazioni di AR e VR possono essere utilizzate per sensibilizzare e promuovere azioni per affrontare il cambiamento climatico e ridurre le emissioni di gas serra.

INDICATORI DI IMPATTO

Le tecnologie AR e VR non solo offrono nuove opportunità per l'interazione digitale, ma anche una vasta gamma di impatti politici, economici, industriali, innovativi, sociali, etici, legali e ambientali.
Per questa ragione, risulta essenziale esaminare gli indicatori di impatto per le tecnologie AR e VR, distinguendo tra indicatori quantitativi e qualitativi.

Quando si tratta di valutare l'**impatto quantitativo** delle tecnologie AR/VR, è essenziale misurare diversi fattori chiave che riflettono l'adozione e l'utilizzo effettivo di queste tecnologie. Per comprendere appieno l'impatto economico delle tecnologie AR/VR, è fondamentale quantificare gli *investimenti nel settore* e il valore generato dalle applicazioni di queste tecnologie. Questo potrebbe includere l'analisi delle entrate generate dalle vendite di hardware e software AR/VR, nonché dagli sviluppi di applicazioni specifiche per diversi settori industriali. Un altro aspetto cruciale è monitorare il *numero di aziende e governi che adottano attivamente le tecnologie AR/VR*. Questo può essere valutato attraverso il conteggio delle licenze software vendute, il numero di dispositivi AR/VR in uso o il numero di progetti AR/VR implementati in vari settori. Oltre all'adozione, è importante comprendere quanto *effettivamente vengono utilizzate le applicazioni AR/VR dagli utenti finali.* Questo può essere ottenuto analizzando il numero di ore dedicate

all'utilizzo di queste applicazioni e i tempi di utilizzo registrati dai dispositivi AR/VR. Infine, esaminare l'impatto ambientale delle tecnologie AR/VR e le pratiche sostenibili associate alla loro produzione, utilizzo e smaltimento. Questo può includere valutazioni sull'efficienza energetica dei dispositivi AR/VR e sulle politiche per la riduzione dell'impronta ecologica.

Oltre ai dati quantitativi, è altrettanto importante esaminare gli **impatti qualitativi** delle tecnologie AR/VR su diversi aspetti della società e dell'ambiente circostante. Queste tecnologie possono avere un impatto significativo sulle politiche pubbliche e sull'economia in generale. Ciò potrebbe includere benefici come l'*efficienza operativa migliorata, la riduzione dei costi e la creazione di nuovi posti di lavoro*. Esaminare in che modo le tecnologie AR/VR influenzino i processi industriali e la catena del valore risulta essenziale, poiché può portare a nuovi modelli di business, miglioramenti nella progettazione e nella produzione, e una *maggiore efficienza nell'assistenza*. Le tecnologie AR/VR possono stimolare *l'innovazione e la creatività in vari settori*, ed è quindi importante analizzarne l'influenza sulle interazioni sociali e sul modo in cui le persone apprendono, si intrattengono e lavorano insieme.

Riguardo al tema degli impatti etici, sociali e legali nello sviluppo e utilizzo delle tecnologie di AR/VR, vi sono diversi aspetti complessi e, almeno per ora, solo parzialmente codificati e normati, che spesso vanno oltre la gestione dei dati e della privacy (es. GDPR).

Tra questi si possono ricordare a titolo di esempio la gestione di principi e diritti fondamentali della persona legati a: trasparenza (es. modalità di funzionamento, caratteristiche finalità d'uso dei sistemi); rispetto e dignità (es. riguardo alla rappresentazione della persona in contesti virtuali, o alla responsabilità morale e legale delle azioni che avvengono in un contesto virtuale); non manipolazione (es. la possibilità che informazioni e dati della persona vengano raccolti e utilizzati in maniera scorretta, la possibilità di indurre in maniera non esplicita comporta-

menti specifici, quali le tecniche di nudging e i dark pattern).
Nello sviluppo di applicazioni delle tecnologie AR/VR è quindi importante considerare tali impatti, in linea con gli sviluppi attesi a livello normativo. La recente revisione delle normative per il settore digitale, il Digital Service Act e il Digital Market Act e le normative collegate[1], prende in considerazione diversi di questi aspetti (ad es. sul tema della manipolazione delle informazioni e della pubblicità online),

STATO DELL'ARTE

Le tecnologie VR e AR stanno rapidamente evolvendo in Italia, con un aumento degli investimenti nel settore. A livello globale, dispositivi come Microsoft HoloLens e Oculus Rift stanno trovando varie applicazioni, mentre il settore AR/VR ha attirato più di 10 miliardi di dollari di investimenti nel 2020. Paesi come la Cina e gli Stati Uniti stanno sostenendo attivamente lo sviluppo di queste tecnologie attraverso programmi di finanziamento[2]. Si prevede che entro il 2025 il mercato globale della VR e della AR potrebbe superare i 300 miliardi di dollari[3]. In Italia, il governo ha avviato programmi di sostegno come Industria 4.0 per promuovere lo sviluppo di queste tecnologie, mentre numerose aziende italiane stanno sviluppando soluzioni innovative. Le prospettive future per la VR e la AR in Italia sono promettenti, con un aumento previsto degli investimenti e delle opportunità di mercato, soprattutto nei settori dell'industria manifatturiera, della formazione, della salute e del turismo[4].

[1] *https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digital-services-act-package*
[2] *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0206*
[3] *Metaverso, nel 2025 il mercato varrà fino a 400 miliardi di dollari: i trend di sviluppo per aziende e consumatori - Innovation Post*
[4] *Industry 4.0: a che punto siamo in Italia - Economyup*

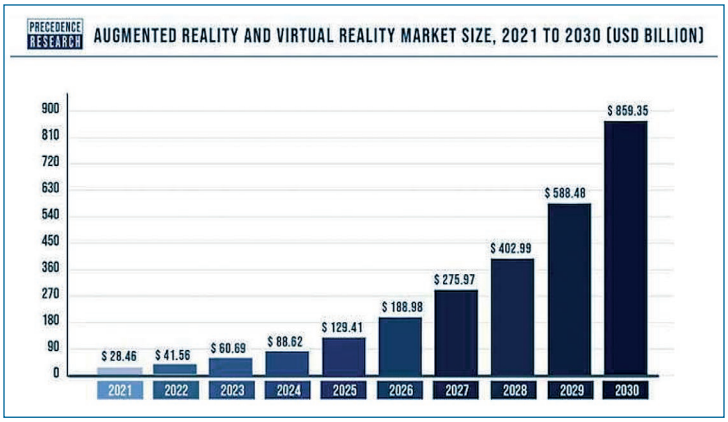


Figura 3: Quota di mercato di AR e VR dal 2021 al 2030 (in miliardi di $)

Fonte: https://iquii.com/2023/05/29/ar-vr-evoluzione-retail-tecnologia-immersiva/

Il Politecnico di Milano è stato selezionato da Meta per condurre un'analisi sul peso economico, il valore sociale delle tecnologie immersive e il loro impatto su persone, società ed economia italiana. Dallo studio è emerso che nel 2029 l'impatto delle tecnologie immersive sull'economia italiana potrebbe essere oscillare tra 18,8 miliardi di euro, pari allo 0,8% del PIL nello scenario più sfavorevole, e 23,4 miliardi di euro, ossia l'1,09% del PIL nello scenario più favorevole. Inoltre, si prevede che le tecnologie AR/VR contribuiranno complessivamente tra i 34,6 e i 47,2 miliardi di euro nel periodo 2024-2029[5].

RISORSE ECONOMICHE NECESSARIE

Le risorse economiche necessarie per lo sviluppo e l'implementazione di AR e VR possono variare considerevolmente in base al tipo di progetto, alle dimensioni dell'azienda e agli obiettivi specifici. Tuttavia, è possibile identificare le principali componenti di investimento:

[5] *https://osservatoriometaverso.it/polimi-limpatto-del-metaverso-sul-pil-italiano/*

- **Investimenti in Ricerca e Sviluppo (R&S)**: le aziende che investono in AR/VR solitamente destinano una parte significativa del loro budget alla ricerca e allo sviluppo. Questi investimenti possono variare notevolmente in base alla complessità del progetto e alla necessità di innovare. Ad esempio, per un progetto AR/VR di dimensioni medie, gli investimenti in R&S possono variare da centinaia di migliaia a diversi milioni di euro;

- **Acquisizione di Hardware e Software:** acquistare hardware e software dedicati è fondamentale per avere sviluppare queste tecnologie. I costi possono includere l'acquisto di visori VR, occhiali AR, telecamere 360°, sensori di tracciamento del movimento, computer ad alte prestazioni e licenze software. Per un progetto di sviluppo AR/VR di piccole-medie dimensioni, i costi per l'hardware possono variare da 10.000 a 100.000 euro, mentre i costi per il software possono aggiungere un ulteriore 20.000 a 50.000 euro;

- **Personale Qualificato:** assumere personale - come gli sviluppatori software specializzati in AR/VR, ingegneri hardware, designer UX/UI, esperti di grafica 3D - risulta fondamentale. I costi del personale per un progetto AR/VR possono variare notevolmente in base allo stato in cui vengo create e all'esperienza richiesta. Ad esempio, per un team di sviluppo composto da 5-10 persone, i costi annuali possono oscillare tra 200000 e un milione di euro;

- **Infrastruttura Tecnologica:** per supportare lo sviluppo e l'implementazione di soluzioni AR/VR, potrebbe essere necessario investire in infrastrutture tecnologiche aggiuntive come server cloud, servizi di hosting e reti di comunicazione ad alta velocità. I costi per l'infrastruttura possono variare in base alle esigenze specifiche del progetto, ma per un progetto di dimensioni medie si possono stimare da 20.000 a 100.000 euro;

- **Test e Valutazione:** i costi per testare e valutare un'applicazione AR/VR possono variare notevolmente in base alla complessità del progetto e alla portata dei

test necessari. Per esempio, i costi per i test di usabilità e di funzionalità possono variare da 10.000 a 50.000 euro;

- **Marketing e Distribuzione:** promuovere e distribuire un'applicazione AR/VR può richiedere un considerevole investimento in marketing. Questi costi possono includere pubblicità online, partecipazione a fiere di settore, collaborazioni con influencer e pubblicità sui social media. Per un lancio di successo, i costi di marketing possono variare da 50.000 a oltre 200.000 euro, a seconda della portata della campagna.

Complessivamente, lo sviluppo e l'implementazione di soluzioni AR/VR richiedono un notevole investimento finanziario, che può variare considerevolmente in base alle esigenze specifiche del progetto e agli obiettivi aziendali. Un'analisi dettagliata dei costi e una pianificazione oculata sono essenziali per garantire il successo e il ritorno sull'investimento delle iniziative AR/VR.

INTERNET OF THINGS

L'Internet of Things (IoT) collega sensori e attuatori a sistemi informatici tramite reti cablate o wireless, consentendo il monitoraggio e la gestione degli oggetti connessi. Tuttavia, l'aumento dei dati e dei dispositivi solleva sfide come connettività, cybersecurity e interoperabilità. Le applicazioni includono Smart Factory, Smart Home, Smart Health e Smart City, che avranno un ruolo significativo nello sviluppo di nuovi servizi.

Tra le applicazioni che esprimono le principali caratteristiche dell'IoT si possono citare i seguenti esempi:

- **I sensori basati sulla fotonica** rilevano la luce visibile o altre lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico. Possono misurare la luminosità, la presenza di oggetti o la qualità dei materiali. I Sensori a Fibra Ottica sfruttano la propagazione della luce attraverso fibre ottiche per misurare variazioni di temperatura, deformazioni o pressione. Sono utili in ambienti sensibili all'elettromagnetismo o quando c'è bisogno di una lunga distanza tra sensore e sorgente dati. Le applicazioni nell'IoT riguardano il monitoraggio ambientale per rilevare inquinanti, la sicurezza per rilevare movimenti o intrusioni e la sanità per monitorare segnali biologici come la frequenza cardiaca o la glicemia, garantendo al contempo il rispetto della privacy. Questi sensori offrono vantaggi come alta sensibilità, misurazione di vari parametri come temperatura e umidità, e minore suscettibilità alle interferenze elettromagnetiche.

- **La sensoristica a basso consumo e autoalimentata** è dotata di circuiti a basso consumo integrati con sistemi di energy harvesting. Un possibile esempio di questa tipologia di sensoristica sono i sensori RFID (Radio Frequency Identification) utilizzati per l'identificazione univoca degli oggetti, consentendo di tracciarne il ciclo di vita dalla produzione al consumo. Esistono due tipologie di RFID: passiva (che riceve energia dal campo RF del lettore) e attiva (con alimentazione propria). Questi sensori offrono vantaggi come acquisizione e trasmissione auto

matica di dati, integrazione nel prodotto, funzionamento senza alimentazione o a basso consumo. Sono utili per tracciabilità, logistica, anticontraffazione e sostenibilità produttiva. In ambito IoT, le tecnologie di connettività stanno rapidamente evolvendo e diversificandosi.

- **Sistemi wireless e connettività:** le tecnologie di comunicazione wireless per applicazioni industriali critiche devono garantire qualità del servizio in termini di latenza e affidabilità. Nell'Industrial IoT, i sensori identificano e monitorano costantemente impianti, materiali e prodotti. L'Edge Cloud vicino ai sensori assicura bassa latenza e alta affidabilità, specialmente con tecnologie emergenti come il Time Sensitive Networking (TSN). Per requisiti come durata della batteria, lunga portata e longevità in ambienti affollati, le tecnologie LPWAN (Low-power wide-area network) come LoRa (Long Range), NB-IoT (Narrow Band-IoT) e LTE-M (Long Term Evolution Machine Type Communication) stanno diventando popolari. Gli operatori principali offrono reti LTE e NB-IoT per applicazioni come illuminazione stradale, agricoltura, monitoraggio ambientale e petrolifero. Altre tecnologie LPWAN come Sidewalk, Wi-SUN, Wirepas, Mioty e Z-Wave Long Range stanno emergendo con specificità e vantaggi. Gli sforzi per l'interoperabilità dei sistemi e dei protocolli, come con il protocollo MATTER (applicazioni smart home), sono cruciali in questo contesto.

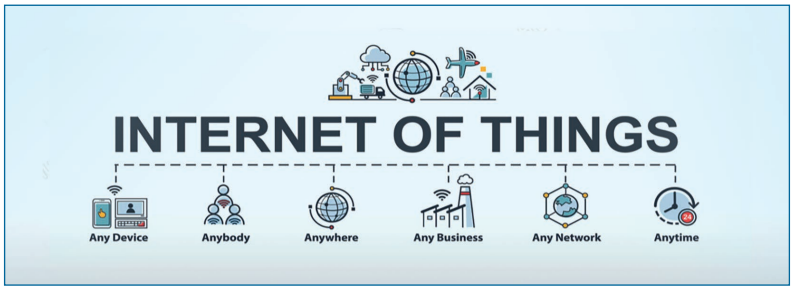


Figura 1: L'Internet of Things

https://www.zerounoweb.it/analytics/big-data/internet-of-things-iot-come-funziona/

MOTIVAZIONE PER LO SVILUPPO

Per garantire il successo e la massima efficienza dell'ecosistema interconnesso IoT, alcune tecnologie emergono come prioritarie ed essenziali:

- **Connettività:** la connettività è l'elemento fondamentale dell'IoT. Tecnologie come il 5G offrono velocità di trasmissione dati senza precedenti, ridotta latenza e la capacità di gestire un gran numero di dispositivi connessi simultaneamente. Le tecnologie LPWAN assumono un ruolo importante, collegando dispositivi a bassa larghezza di banda e consumo energetico su aree estese e dense come le città. Le applicazioni comuni includono illuminazione stradale, misurazione delle utilità, agricoltura industriale, tracciamento degli asset, petrolio e gas, e monitoraggio ambientale, dove la longevità della batteria e la longa portata operativa sono cruciali;

- **Sicurezza**: con il crescente numero di dispositivi connessi, la sicurezza diventa una priorità critica. Tecnologie di crittografia avanzata, autenticazione biometrica e protocolli di sicurezza robusti sono essenziali per proteggere i dati sensibili e prevenire intrusioni indesiderate;

- **Edge Computing:** la potenza di calcolo decentralizzata è fondamentale per ridurre la latenza e migliorare le prestazioni dell'IoT. L'Edge Computing (EC) consente di elaborare dati direttamente sui dispositivi o su server locali, riducendo la dipendenza da connessioni di rete centralizzate;

- **Sensoristica Avanzata:** la qualità dei dati rilevati è cruciale per il successo dell'IoT. Sensori avanzati, come quelli per la misurazione della temperatura, umidità, pressione, e altri parametri, forniscono dati più accurati e consentono una comprensione più approfondita dell'ambiente circostante;

- **Intelligenza Artificiale (IA) e Machine Learning (ML):** IA e ML giocano un ruolo fondamentale nell'elaborazione e nell'analisi dei dati provenienti dai dispositivi IoT. Queste tecnologie consentono di estrarre informazioni significative, identificare pattern e migliorare le prestazioni del sistema nel tempo;

- **Standardizzazione e interoperabilità:** la standardizzazione della comunicazione e dei protocolli è essenziale per garantire l'interoperabilità tra dispositivi di diversi fornitori. Questo favorisce l'adozione diffusa dell'IoT e la creazione di ecosistemi integrati.

Nell'ambito industriale, l'IoT svolge un ruolo fondamentale per garantire sistemi robusti e scalabili, gestendo la complessità dei dispositivi e dei dati. Consente un'espansione senza soluzione di continuità adattandosi alle crescenti esigenze operative. Un vantaggio chiave dell'IoT è l'implementazione di soluzioni come la manutenzione predittiva e l'efficienza energetica, supportate da modelli di analisi per affrontare problemi in modo preventivo e gestire in modo sostenibile le risorse[1].

RILEVANZA

Le tecnologie IoT rivestono un ruolo cruciale nel perseguire gli obiettivi di sviluppo sostenibile, contribuendo alle transizioni digitali, ambientali, energetiche e sociali. Grazie alla loro pervasività, consentono l'automazione dei processi, migliorano l'efficienza operativa e ottimizzano le risorse attraverso l'integrazione di dati da diverse fonti. i.

Per queste ragioni, l'IoT ha diversi impatti sui Sustainable Development Goals (SDGs), contribuendo alla realizzazione di obiettivi specifici.

- **SDG 3: Salute e Benessere** - gli apparecchi IoT, come i dispositivi medici intelligenti e i sensori indossabili, migliorano la salute e il benessere delle persone consentendo il monitoraggio remoto e l'intervento tempestivo in caso di emer-

[1] *https://fai.informazione.it/FCC4C3D8-AE84-43CA-A524-8A800EDFBE56/Lo-sviluppo-dell-Internet-delle-cose-nelle-applicazioni-domestiche-ed-industriali*

genza, oltre a supportare la fornitura di servizi sanitari remoti;

- **SDG 6: Acqua Pulita e Sane Condizioni Igieniche** - i sensori IoT che monitorano il consumo idrico e la qualità dell'acqua possono contribuire a gestire in modo più efficiente le risorse idriche, riducendo gli sprechi e migliorando l'accesso all'acqua potabile;

- **SDG 7: Energia Pulita e Accessibile** - l'uso di soluzioni IoT per la gestione energetica e il monitoraggio dei consumi può contribuire a promuovere l'accesso a fonti di energia pulita e a migliorare l'efficienza energetica.

- **SDG 9: Industria, Innovazione e Infrastrutture** - le tecnologie IoT favoriscono l'innovazione e contribuiscono allo sviluppo di infrastrutture digitali avanzate, che sono cruciali per sostenere la crescita economica e l'accesso all'informazione e alla conoscenza;

- **SDG 11: Città e Comunità Sostenibili** - le soluzioni IoT possono essere utilizzate per sviluppare e gestire Smart Cities, migliorando la qualità della vita urbana, promuovendo la sostenibilità ambientale e facilitando una gestione più efficiente delle risorse e dei servizi urbani; favoriscono la creazione di comunità più sostenibili e resilienti attraverso l'implementazione di sistemi intelligenti per la mobilità, la gestione dei rifiuti, l'illuminazione pubblica e la sicurezza urbana.

- **SDG 12: Produzione e Consumo Sostenibili** - l'uso di sensori IoT per monitorare e ottimizzare l'efficienza delle risorse e dei processi produttivi può contribuire a ridurre gli sprechi e a promuovere pratiche di produzione e consumo sostenibili;

- **SDG 13: Azione per il Clima** – i sensori IoT che rilevano dati ambientali possono aiutare a monitorare e mitigare gli impatti ambientali, contribuendo agli sforzi per affrontare i cambiamenti climatici e adottare pratiche più sostenibili;

• **SDG 16: Pace, Giustizia e Istituzioni Efficaci** - le tecnologie IoT possono essere utilizzate per migliorare la sicurezza urbana e facilitare una risposta più rapida ed efficace in caso di emergenze, contribuendo così a promuovere la stabilità e la sicurezza all'interno delle comunità.

INDICATORI DI IMPATTO

Le applicazioni dell'IoT necessitano di indicatori di impatto qualitativi e quantitativi.

Tra gli **indicatori quantitativi,** si possono citare l'efficienza operativa e riduzione degli sprechi, valutati quantitativamente attraverso la life cycle assessment (LCA), e l'adozione delle soluzioni IoT in settori specifici, misurata quantitativamente attraverso l'aumento del numero di soluzioni implementate in settori specifici come agrifood, edilizia, industria automobilistica, biomedicale e Smart City.

Sul piano degli **indicatori qualitativi,** invece, bisogna guardare all'innovazione e allo sviluppo tecnologico, identificando le nuove tecnologie e le soluzioni innovative integrate con l'IoT; gli impatti etici e legali, attraverso l'analisi delle politiche implementate per affrontare questioni di privacy e sicurezza; gli impatti sociali e ambientali, come l'accessibilità migliorata e i cambiamenti nei modelli di lavoro, la riduzione degli sprechi e la promozione della sostenibilità, monitorati attraverso l'analisi degli effetti sulle comunità e sull'ambiente (oltre che, quantitativamente, attraverso indicatori che studino la riduzione delle emissioni); e infine gli impatti politici ed economici, come la necessità di politiche di standardizzazione e incentivi all'innovazione, studiando i cambiamenti su queste due scale generati dalle tecnologie IoT[2].

[2] *https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/cybersecurity-for-the-iot-how-trust-can-unlock-value*

STATO DELL'ARTE

Nel 2023, il mercato dell'Internet of Things in Italia ha raggiunto un valore di 8,9 miliardi di euro, registrando una crescita del 9% rispetto all'anno precedente. Si stima che nel nostro paese vi siano attualmente 140 milioni di oggetti connessi, pari a 2,4 per abitante. Tra i settori in forte crescita, quelli legati alla "Smart Factory" e alla "Smart City" hanno visto incrementi significativi, rispettivamente del 16% e del 15%. Il numero di connessioni IoT è incrementato a 41 milioni (+5%), mentre le connessioni abilitate da altre tecnologie hanno raggiunto i 100 milioni (+17%), con le reti LPWA in forte crescita (+25%).

Il 18% delle grandi imprese ha avviato progetti legati all'Industrial IoT (IIoT), un trend in calo rispetto al 31% registrato nel 2022. Il 60% di produttori di macchinari possiede già una buona familiarità con gli impianti connessi. La "Smart Car" rappresenta la fetta più grande di mercato, con oltre 1,5 miliardi di euro investiti. Seguono le applicazioni IoT nel settore utility (1,38 miliardi di euro) e i contatori smart, con una crescita significativa nelle installazioni per il gas (87% del totale) ed elettrici di seconda generazione (71%).

Alla fine del 2023, le connessioni IoT cellulari sono state 41 milioni (+5%) e quelle abilitate da altre tecnologie di comunicazione 100 milioni (+17%). I servizi legati all'IoT hanno raggiunto i 4 miliardi di euro (+14% rispetto al 2022), grazie alla crescente capacità da parte delle aziende di raccogliere e valorizzare i dati raccolti dagli oggetti connessi.

Tra le sfide future, si dovranno considerare:

- **Valorizzazione dei dati raccolti:** al fine di migliorare le performance aziendali e sviluppare nuovi modelli di business basati sulla servitizzazione;
- **Impatto di nuovi incentivi:** con il Piano di Transizione 5.0, si spera in una forte ripresa degli investimenti, soprattutto sul lancio di nuovi progetti legati all'Industrial IoT;
- **Efficienza energetica e ESG:** le aziende sono sempre più impegnate sulla sostenibilità ambientale, con focus su efficienza energetica e utilizzo di energia

pulita. Le azioni che si intraprenderanno dovranno essere in linea con gli obiettivi del Piano di Transizione 5.0;

- **5G:** la quinta generazione continua a progredire nel suo sviluppo, suscitando grande interesse per supportare le applicazioni IoT, specialmente con il la "Release 18" del 3GPP che mira a migliorare le prestazioni di rete. L'interoperabilità tra reti pubbliche e private è in aumento, con un numero crescente di Mobile Private network (MPN) installate, soprattutto in ambienti industriali;
- **Intelligenza Artificiale:** l'integrazione tra AI e IoT rappresenta una sfida cruciale. In ambito *consumer*, la "Generative AI" può migliorare l'interazione con dispositivi smart, mentre in ambito *industrial* l'AI può supportare la manutenzione predittiva e prescrittiva, offrendo benefici significativi alle imprese[3].

Il PNRR potrebbe ulteriormente sostenere questa crescita, specialmente per lo sviluppo di Smart City, Smart Building, Smart Grid e Smart Agriculture. Nel settore agrifood, si prevede un'adozione crescente di soluzioni per il controllo dell'irrigazione, con impatti positivi sui consumi idrici.
Nell'edilizia e nel *facility* management, le soluzioni di *smart building* per il risparmio energetico e il benessere degli occupanti potranno ancora crescere grazie alle nuove direttive europee sull'efficienza energetica[4]. Nel settore automobilistico, le Smart Car svolgono un ruolo chiave, con l'IoT che alimenta applicazioni per l'*infotainment*, la sicurezza e la gestione delle flotte.
Nell'industria biomedicale, l'IoT supporta la gestione remota dei pazienti e le nuove tendenze di "Aging in place", consentendo agli anziani di vivere in modo indipendente. In una Smart City, l'IoT trova numerosi casi d'uso, tra cui parcheggi, gestione dei rifiuti, qualità dell'aria, mobilità urbana e sicurezza pubblica.
L'ampliamento delle soluzioni IoT nel settore B2B dipende dalla gestione efficace dei rischi di cybersecurity, poiché la sicurezza informatica è una delle principali criticità nella diffusione dei sistemi IoT aziendali.
La maggior parte dei sistemi IoT attuali sono progettati per un flusso unidirezionale di dati, dal monitoraggio dei sensori all'analisi dei dati, controllati dagli esseri

[3] *https://www.osservatori.net/it/ricerche/comunicati-stampa/internet-of-things-italia-mercato*

[4] *direttiva (UE) 2023/1791*

umani. Tuttavia, stanno emergendo numerose start-up che offrono soluzioni innovative come servizi Over-The-Air, pagamenti machine-to-machine e acquisti In-Thing, aprendo nuove opportunità di mercato[5].
La capacità di estrarre valore dai dati raccolti diventa cruciale, richiedendo l'implementazione di tecnologie come l'IA, la privacy e la sicurezza informatica. Tuttavia, in Italia, molte aziende non sfruttano adeguatamente i dati raccolti dai dispositivi IoT.

Le tecnologie IoT trovano applicazione in vari settori. La crescita è evidente nell'agricoltura di precisione, dove il monitoraggio dei parametri microclimatici ottimizza l'uso delle risorse e riduce l'impatto ambientale.
Nel settore E-Health, la raccolta remota di dati vitali e la localizzazione dei pazienti sono possibili grazie alla connettività IoT. Le Smart City beneficiano del monitoraggio dei trasporti pubblici e dell'illuminazione pubblica, migliorando la vivibilità urbana e la sostenibilità ambientale.
Le Smart Building/Home automatizzano la gestione degli impianti, contribuendo al risparmio energetico e al comfort degli occupanti. L' IoT è impiegata anche nel monitoraggio ambientale urbano e industriale.
Nel settore industriale, la Fabbrica Intelligente ottimizza la gestione della supply chain attraverso la connessione di macchinari. Ad esempio, le Smart Cars migliorano la sicurezza stradale e l'efficienza dei trasporti.
Il Smart Lifecycle supporta la gestione del ciclo di vita dei prodotti, mentre i contatori connessi (Smart Metering) misurano i consumi e consentono la telegestione. Applicazioni verticali stanno emergendo nella logistica, nell'anticontraffazione, nella tracciabilità della catena del freddo e nel settore del retail, migliorando l'esperienza dei clienti e ottimizzando la gestione delle scorte.

.

[5] *Internet of Things: tra continuità e innovazione (osservatori.net)*

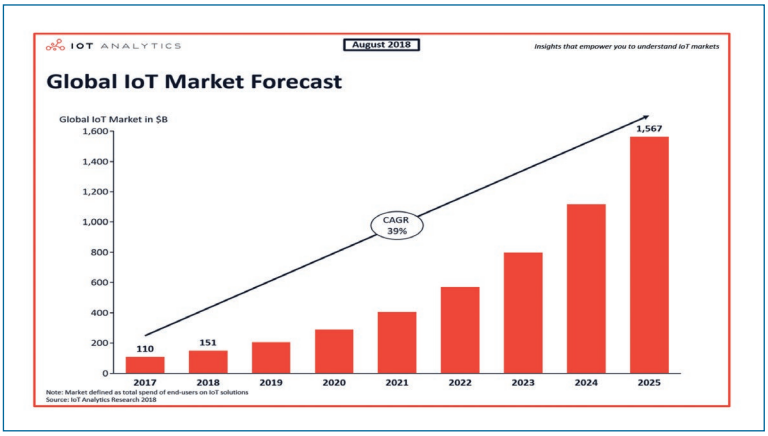


Figura 2: Previsioni di crescita del mercato globale di IoT

Fonte: https://assodel.it/internet-of-things-un-mercato-da-1-567-mld-di-dollari-entro-il-2025/

RISORSE ECONOMICHE NECESSARIE

Per quanto riguarda le risorse economiche necessarie per lo sviluppo delle tecnologie IoT, è importante considerare diversi aspetti, inclusi gli investimenti in ricerca e sviluppo, l'infrastruttura tecnologica, il personale qualificato e le risorse finanziarie per l'implementazione e l'integrazione dei sistemi IoT.

- **Investimenti in ricerca e sviluppo (R&S):** sono cruciali per l'innovazione e il progresso delle tecnologie IoT. Le aziende e le istituzioni dovrebbero destinare risorse per condurre studi, sviluppare prototipi e testare nuove soluzioni IoT per migliorare la qualità dei prodotti, ottimizzare le prestazioni e identificare nuove opportunità di mercato;

- **Infrastruttura tecnologica**: per supportare l'implementazione e l'operatività delle soluzioni IoT, è necessaria un'infrastruttura tecnologica robusta e scalabile. Quest'infrastruttura comprende reti di comunicazione ad alta velocità, server e si-

stemi di archiviazione dati, piattaforme Cloud per l'elaborazione e l'analisi dei dati provenienti da dispositivi e sensori intelligenti. Gli investimenti in infrastruttura tecnologica sono essenziali per garantire la connettività affidabile e la gestione efficiente dei dati;

- **Personale qualificato:** lo sviluppo e la gestione dei sistemi IoT richiedono competenze specializzate, tra cui ingegneria informatica, ingegneria elettronica, scienze dei dati, sicurezza informatica e gestione dei progetti. Le aziende devono investire nella formazione del personale per garantire che abbiano le competenze necessarie per progettare e implementare soluzioni IoT di successo;

- **Risorse finanziarie per l'implementazione e l'integrazione:** oltre agli investimenti in ricerca e sviluppo e infrastruttura tecnologica, le aziende devono allocare risorse finanziarie per l'implementazione e l'integrazione dei sistemi IoT nei loro processi operativi. Questo può includere l'acquisto di hardware e software, la personalizzazione delle soluzioni per soddisfare le esigenze specifiche dell'azienda, la formazione del personale e la gestione del cambiamento organizzativo.

Complessivamente, le risorse economiche necessarie per lo sviluppo delle tecnologie IoT dipendono dalle dimensioni dell'azienda, dalla complessità delle soluzioni implementate e dalle sfide specifiche del settore. È fondamentale che le aziende riconoscano l'importanza di investire in modo strategico nelle tecnologie IoT per rimanere competitive, migliorare l'efficienza operativa e affrontare le sfide emergenti.

CYBER SECURITY

La cybersecurity è un insieme di tecnologie, metodologie e processi per rendere sicuri i sistemi digitali e conseguentemente i sistemi fisici che su questi si basano. In generale, si può parlare della sicurezza dei dati, delle comunicazioni, del software e dei sistemi. Più recentemente si è anche considerato gli aspetti di sicurezza per sistemi di intelligenza artificiale. La cybersecurity è un settore sfidante in quanto esistono numerose minacce di natura antropica alla sicurezza dei sistemi digitali a causa di varie motivazioni, incluse quelle economiche, politiche e sociali.

Vista la crescente digitalizzazione di tutti i settori, la cybersecurity è una delle tecnologie abilitanti che ha maggiore applicazione e rilevanza, in particolare a scopo esemplificativo possiamo elencare i seguenti ambiti di applicazione:

Nel settore **del trasporto merci e passeggeri e della logistica** nel quale è essenziale per proteggere i veicoli e i loro sistemi di controllo, comunicazione e navigazione da attacchi informatici che potrebbero compromettere la sicurezza, la privacy e la funzionalità dei veicoli stessi. La cybersecurity richiede una progettazione "secure by design" e una gestione continua dei rischi e delle vulnerabilità lungo tutto il ciclo di vita del veicolo.

Il **settore energetico** e in generale il più ampio ambito delle **infrastrutture critiche** hanno sempre considerato aspetti di *security* e safety e la cybersecurity è necessaria per garantire la continuità e l'affidabilità del servizio elettrico e per prevenire sabotaggi, interruzioni e manipolazioni da parte di attori malevoli. La cybersecurity implica la protezione delle reti elettriche intelligenti (smart grids), dei sistemi di controllo industriale, dei dispositivi di misura e dei dati sensibili. Con l'emergere delle comunità energetiche anche i problemi di fiducia e privacy diverranno ancor più rilevanti.

Nel **settore medico** le tecnologie della cybersecurity sono vitali per salvaguardare la salute e la sicurezza dei pazienti e per garantire le normative sulla privacy e la protezione dei dati personali. La cybersecurity nel comporta la difesa dei dispo-

sitivi medici (incluso l'IoT), dei sistemi informativi sanitari, delle cartelle cliniche elettroniche e delle comunicazioni tra operatori e pazienti.

Nel settore **finanziario** è cruciale per preservare la fiducia e la reputazione delle istituzioni e per evitare frodi, furti, riciclaggio e cybercriminalità. La cybersecurity richiede la sicurezza delle transazioni, dei sistemi bancari, dei servizi di pagamento, dei dati finanziari e delle identità digitali.



Figura 1: Il cybersecurity framework

Fonte: https://www.aqss-usa.com/cyber-security-assessment-and-remediation

MOTIVAZIONE PER LO SVILUPPO

Le sfide tecnologiche nei prossimi anni sono molteplici e richiedono soluzioni integrate per la protezione dei dati, del software e dei sistemi. È fondamentale integrare la sicurezza in tutte le fasi del ciclo di vita del software, utilizzando approcci come il *DevSecOps* (Development, Security, and Operations) per garantire una sicurezza continua.

Contestualmente, è cruciale sviluppare tecniche per rilevare e contrastare gli attacchi informatici basati sull'IA Generativa, che possono compromettere i sistemi. È necessario anche proteggere a sua volta l'intelligenza artificiale da possibili attacchi, considerando a*dversarial Machine Learning ed explainable AI*.

[1] *La distribuzione a chiave quantistica (in sigla QKD, dall'inglese: Quantum key distribution) è un sistema, basato su meccanica quantistica abilita due parti a produrre e condividere una chiave segreta casuale solamente tra di loro che potranno usare per cifrare e decifrare i loro messaggi. Una proprietà unica e importante della QKD (rispetto ai tradizionali protocollo di distribuzione a chiave, che si basano sulla complessità computazionale delle matematiche sottostanti) è la capacità dei due utenti in comunicazione di rilevare la presenza di una terza parte che tenta di ottenere informazioni sulla chiave, dovuto al fatto che un processo di misura in un sistema quantistico in generale disturba il sistema.*

Adottare soluzione specifiche per la sicurezza delle comunicazioni rimane una priorità, specialmente con l'emergere di nuove tecnologie come il 5G/6G e l'IoT, che portano nuove opportunità ma anche nuove minacce.

Garantire la sicurezza, la privacy, l'etica e la trasparenza delle applicazioni basate sull'IA è cruciale per la fiducia degli utenti e il rispetto dei loro diritti.

La crittografia rimane un pilastro della cybersecurity, ma è necessario adattare gli algoritmi esistenti alla minaccia potenzialmente rappresentata dalle capacità di calcolo e analisi per la decrittografia offerte dei computer quantistici e sfruttare le potenzialità della blockchain per garantire trasparenza e sicurezza.

Il *quantum key distribution*[1] (ad esempio gli approcci di crittografia quantistica), è una realtà emergente che contribuisce alla sicurezza delle comunicazioni, ma richiede ancora sviluppi e standardizzazione.

Il *confidential computing*[2] è una metodologia per proteggere i dati durante l'elaborazione, richiedendo collaborazione tra fornitori di servizi cloud e creazione di fiducia tra utenti e providers.

È fondamentale rafforzare la sicurezza e la resilienza delle infrastrutture critiche, essenziali per il funzionamento della società e dell'economia. La cybersecurity richiede un ciclo continuo di sviluppo e adozione di tecnologie, che spaziano da soluzioni immediate a quelle a medio e lungo termine. Nel breve termine, l'IA, l'analisi dei comportamenti e l'apprendimento automatico possono offrire risposte tempestive e automatizzate alle minacce emergenti. Nel medio termine, l'adozione di standard e certificazioni per la cybersecurity nell'utilizzo di sistemi e dispositivi digitali può migliorare la conformità alle normative, garantendo maggiore affidabilità. Nel lungo termine, è necessaria una trasformazione dei processi e delle infrastrutture che renda i sistemi più sicuri e resilienti, mediante investimenti strategici per il benessere e lo sviluppo della società digitale.

[2] Al contrario delle attuali tecnologie di cifratura (che consentono la protezione dei dati "non in uso") il confidential computing è un ecosistema di soluzioni tecnologiche emergenti (in ambiente cloud) che consentono la protezione continua dei dati quando sono in uso



Figura 2: Esempio di strategia di sicurezza aziendale

Fonte: https://deltalogix.blog/2022/09/14/strategia-di-cybersecurity-quali-sono-gli-aspetti-chiave-da-considerare/

RILEVANZA

La cybersecurity rappresenta un pilastro fondamentale nella transizione digitale, garantendo la protezione delle attività economiche, sociali e culturali che dipendono dal digitale.

Nel dettaglio implementare le cybersecurity in diversi settori ha un considerevole impatto su diversi obiettivi di sviluppo sostenibile:

- **SDG 3: Salute e Benessere** - la cybersecurity contribuisce a proteggere i dati sanitari sensibili e a garantire la sicurezza delle infrastrutture digitali nel settore sanitario, migliorando la qualità e l'accesso ai servizi sanitari e contrastando gli attacchi informatici che potrebbero compromettere la fornitura di servizi essenziali;

- **SDG 7: Energia Pulita ed Accessibile** - la cybersecurity è fondamentale per proteggere le reti energetiche digitali, inclusi progetti come le smart grids e le comunità energetiche rinnovabili (CER);

[3] Programma informatico dannoso/malevolo che può infettare un dispositivo digitale, bloccando l'accesso a tutti o ad alcuni dei suoi contenuti per poi chiedere un riscatto da pagare per poter accedere nuovamente a tali contenuti

[4] Attacchi che combinano diverse tecniche e vettori di attacco per compromettere sistemi, reti e dati. Queste minacce sfruttano una combinazione di strumenti, tattiche e strategie per raggiungere i loro obiettivi, spesso mescolando metodi di attacco tradizionali con tecniche avanzate e sofisticate. Le minacce ibride possono essere particolarmente difficili da rilevare e mitigare a causa della loro natura complessa e multidimensionale. Alcune caratteristiche chiave delle minacce ibride sono: combinazione di tecniche (attacchi informatici tradizionali, come malware e phishing, con tattiche di guerra dell'informazione, sabotaggio fisico, o manipolazione dei media), obiettivi multipli (sistemi informatici, ma anche a infrastrutture critiche, economia, fiducia pubblica e stabilità politica), attori diversi, continuità e persistenza, uso della disinformazione e della manipolazione delle informazioni.

• **SDG 9: Industria, Innovazione e Infrastrutture** - la cybersecurity favorisce lo sviluppo delle tecnologie digitali, proteggendo la ricerca e l'applicazione delle tecnologie digitali da attacchi informatici e promuovendo infrastrutture resilienti, sostenibili e inclusive;

• **SDG 11: Città e Comunità Sostenibili** - la cybersecurity contribuisce a garantire la sicurezza delle reti digitali all'interno delle smart cities e delle comunità digitali, proteggendo le infrastrutture digitali critiche e promuovendo un ambiente urbano sicuro e inclusivo;

• **SDG 16: Pace, Giustizia e Istituzioni Efficaci** - la cybersecurity rafforza la cooperazione e la resilienza a livello nazionale, europeo e internazionale nel cyberspazio, contribuendo alla promozione di società pacifiche, giuste e inclusive e alla costruzione di istituzioni efficaci e responsabili.

INDICATORI DI IMPATTO

L'Agenzia dell'Unione europea per la sicurezza informatica (ENISA) ha segnalato un aumento significativo e complesso dei rischi legati alla sicurezza informatica, tra cui *ransomware*[3] sofisticati, minacce ibride[4] e compromissioni della catena di approvvigionamento, accentuati dalle tensioni geopolitiche. L'Unione Europea si impegna a creare una rete di competenze e capacità di sicurezza e privacy tra le organizzazioni europee, specialmente tra gli operatori di servizi essenziali e gli attori economici degli Stati membri. Le politiche e le azioni come la NIS (Direttiva NISUE 2016/1148 sulla sicurezza delle reti e dei sistemi informativi nell'Unione) e la strategia di cybersecurity dell'Unione[5] mirano a migliorare la sicurezza e la resilienza, promuovendo la cooperazione transnazionale, l'information sharing, le esercitazioni di sicurezza informatica e i programmi di formazione. Inoltre, iniziative come la politica europea di difesa informatica e l'atto europeo sulla resilienza informatica[6] sono cruciali per aumentare la resilienza collettiva e coordinare la gestione delle crisi. Più in dettaglio, risulta essenziale sviluppare degli indicatori

[5] *EU Cybersecurity Strategy (2020) - https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/cybersecurity-strategy*

[6] *Attacchi cProposta per il regolamento europeo Cyber Resilience Act, 2022 - https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/cyber-resilience-act*

che permettono di misurare l'impatto di strategie e programmi volti a migliorare la sicurezza informatica che possono essere riassunti in:

- **Livello di Sicurezza dei Dati:** Misura la capacità di proteggere i dati sensibili da accessi non autorizzati, modifiche indesiderate o perdite di dati. Questo indicatore può includere il numero di violazioni dei dati, la percentuale di incidenti di sicurezza risolti con successo e la conformità agli standard di sicurezza dei dati;

- **Tempo di Rilevamento delle Minacce:** Indica il tempo medio impiegato per rilevare una minaccia o un'attività sospetta all'interno del sistema informatico. Un tempo di rilevamento più breve indica una maggiore capacità di risposta e di mitigazione degli attacchi informatici;

- **Tempo di Risposta agli Incidenti:** Misura il tempo necessario per rispondere ed affrontare un incidente di sicurezza una volta rilevato. Una risposta rapida può limitare l'entità dei danni causati da un attacco informatico e ripristinare la normalità delle operazioni più velocemente;

- **Livello di Consapevolezza della Sicurezza:** Valuta il grado di consapevolezza e preparazione del personale riguardo alle minacce informatiche e alle pratiche di sicurezza. Questo può essere misurato attraverso l'addestramento periodico del personale, l'analisi delle competenze acquisite e il coinvolgimento in esercitazioni di risposta agli incidenti;

- **Investimenti in Sicurezza Informatica**: Indica l'ammontare di risorse finanziarie allocate per implementare e mantenere le misure di sicurezza informatica. Questo può includere il budget dedicato alla sicurezza delle informazioni, gli investimenti in tecnologie di sicurezza informatica e il costo delle misure correttive dopo un incidente di sicurezza;

- **Livello di Conformità alle Normative:** Misura il grado di aderenza alle leggi, regolamenti e standard di sicurezza informatica pertinenti al settore e alla regione geografica in cui opera l'organizzazione. Il rispetto delle normative è importante per evitare sanzioni legali e proteggere la reputazione dell'azienda;

- **Tassi di Anomalie e False Positivi:** Monitora la frequenza delle anomalie rilevate dai sistemi di sicurezza informatica e la percentuale di esse che si rivelano essere falsi positivi. Una riduzione dei falsi positivi indica una maggiore precisione dei sistemi di rilevamento delle minacce;

- **Indicatori di Sicurezza del Traffico di Rete:** Analizza il traffico di rete per individuare pattern sospetti o attività anomale che potrebbero indicare un potenziale attacco informatico. Questi indicatori possono includere il volume di traffico anomalo, la frequenza degli accessi non autorizzati e la presenza di *malware* nelle comunicazioni di rete.

Complessivamente, combinando diversi indicatori di sicurezza informatica, è possibile valutare in modo più completo l'impatto delle misure di cybersecurity e identificare eventuali aree di miglioramento per proteggere in modo più efficace le risorse digitali dell'organizzazione.

STATO DELL'ARTE

Il panorama internazionale della sicurezza informatica è caratterizzato da una complessa interazione tra sviluppi tecnologici, politiche di difesa, normative legislative e impatti economici. Le innovazioni tecnologiche, come l'IA e il Machine Learning, giocano un ruolo cruciale nella scoperta e nella prevenzione delle minacce informatiche, consentendo di identificare e contrastare le vulnerabilità con precisione e rapidità senza precedenti. A livello globale, i Paesi stanno rafforzando le proprie politiche di sicurezza informatica per proteggere le infrastrutture critiche e i dati sensibili, come evidenziato dall'introduzione di normative come il GDPR dell'Unione Europea. Gli attacchi informatici possono avere gravi conse

guenze sull'economia globale, spingendo le imprese ad investire ingenti risorse in soluzioni di sicurezza informatica per mitigare i rischi e proteggere i propri asset digitali.

In Italia, la ricerca in cybersecurity è attiva e gli investimenti nel settore stanno registrando una crescita significativa, con una spesa complessiva di 2,15 miliardi di euro nel 2023. Iniziative come il laboratorio nazionale per la cybersecurity del CINI e l'associazione per la crittografia "de cifris" evidenziano l'impegno del Paese verso la protezione dei dati e la sicurezza digitale[7] e la Strategia Nazionale di Cybersicurezza (2022-2026) rappresentano pilastri fondamentali nella promozione della sicurezza digitale in Italia.

Uno dei grandi investimenti realizzati è la realizzazione dell'Agenzia per la Cybersicurezza nazionale, istituita dal Decreto Legge n.82 del 14 giugno 2021[8] che ha ridefinito l'architettura nazionale di cybersicurezza, con l'obiettivo di razionalizzare e semplificare il sistema di competenze esistenti a livello nazionale, valorizzando ulteriormente gli aspetti di sicurezza e resilienza cibernetiche, anche ai fini della tutela della sicurezza nazionale nello spazio cibernetico. L'Agenzia ha il compito di tutelare la sicurezza e la resilienza nello spazio cibernetico. Si occupa di prevenire e mitigare il maggior numero di attacchi cibernetici e di favorire il raggiungimento dell'autonomia tecnologica. Tra i principali compiti dell'Agenzia c'è l'attuazione della Strategia Nazionale di Cybersicurezza[9], adottata dal Presidente del Consiglio, che contiene gli obiettivi da perseguire entro il 2026.

Grazie al PNRR è stato inoltre finanziato un partenariato esteso da 120 milioni di euro in tre anni[10] – SERICS - che copre le seguenti aree di ricerca: *Human, Social, and Legal Aspects; Misinformation and Fakes; Attacks and Defenses; Operating Systems and Virtualization Security; Cryptography and Distributed Systems Security; Software and Platform Security; Infrastructure Security; Risk Management and Governance; Securing Digital Transformation; Data Governance and Protection.*

[7] *https://www.decifris.it/*
[8] *https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legge:2021-06-14;82*
[9] *https://www.acn.gov.it/portale/strategia-nazionale-di-cybersicurezza*
[10] *https://www.serics.eu*

A livello europeo, il centro di competenza Europeo per la cybersecurity (ECCC) ha identificato priorità per lo sviluppo e la promozione della cybersecurity, tra cui il supporto all'informazione condivisa, lo sviluppo di soluzioni basate sull'IA, la promozione della sicurezza "by design" e l'implementazione della crittografia. La certificazione e la valutazione di prodotti e servizi ICT sono al centro del futuro dell'UE, con l'obiettivo di garantire un ambiente digitale sicuro e affidabile per sostenere l'innovazione e la crescita economica.

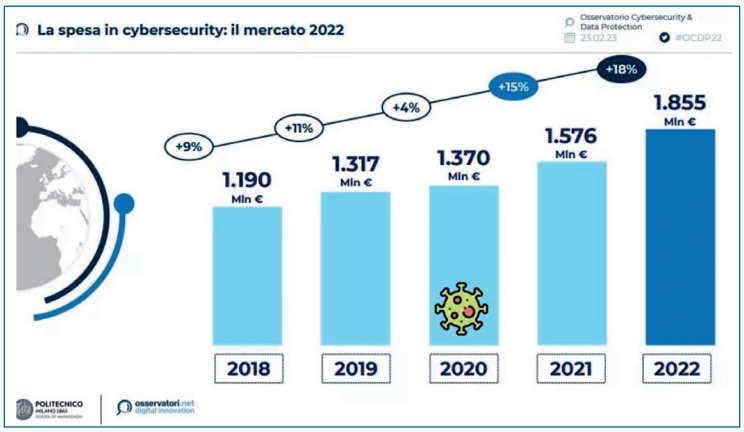


Figura 3: La spesa in cybersecurity nel 2022

Fonte: https://www.corrierecomunicazioni.it/cyber-security/cybersecurity-mercato-alla-soglia-dei-2-miliardi-ora-serve-una-strategia-long-term/

RISORSE ECONOMICHE NECESSARIE

Il mercato della cybersecurity in Europa è in crescita, grazie alla maggiore consapevolezza e domanda di soluzioni e servizi di sicurezza informatica da parte di organizzazioni pubbliche e private, soprattutto in settori critici come l'energia, i trasporti, la sanità e le comunicazioni. Secondo una stima, il mercato europeo

della sicurezza informatica raggiungerà i 22,67 miliardi di dollari entro il 2027, da 8,56 miliardi di dollari nel 2020, crescendo a un CAGR del 14,93% nel periodo 2020-2027[11], Similmente secondo McKinsey il CAGR oscilla dal 10% al 12% nei prossimi anni[12].

Questi numeri che descrivono il mercato stanno crescendo in quanto anche il numero di vulnerabilità ed attacchi ai sistemi informatici cresce. In questo contesto, l'Europa sta facendo della sicurezza informatica una "alta priorità" e finanzia attrezzature e infrastrutture, oltre a promuovere iniziative e regolamenti per armonizzare e rafforzare le capacità e la resilienza dei paesi membri.

Le risorse economiche per lo sviluppo delle tecnologie per la cybersecurity sono molte. A livello nazionale il PNRR per il triennio 23-25 ha fornito un buon supporto, dell'ordine di varie centinaia di milioni di euro, tale supporto dovrà essere anche mantenuto e sostenuto dopo il 2025 per garantire all'Italia un'autonomia strategica in questo vitale settore.

[11] https://www.agendadigitale.eu/sicurezza/il-mercato-europeo-della-cyber-security-sfide-e-opportunita-per-le-imprese/

[12] https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/cybersecurity/new-survey-reveals-2-trillion-dollar-market-opportunity-for-cybersecurity-technology-and-service-providers

SOCI AIRI >

SOCI SOSTENITORI

BRACCO
CNR - CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
MAPEI
PIRELLI

ORGANIZZAZIONI DI IMPRESE

FARMINDUSTRIA
FEDERCHIMICA
UNIONCAMERE

ISTITUTI FINANZIARI

INTESA SANPAOLO

ENTI PUBBLICI DI RICERCA E UNIVERSITÀ

AREA SCIENCE PARK
CENTRO NAST
CSGI
ENEA
INAIL
POLITECNICO DI TORINO - CHILAB
SCUOLA NORMALE SUPERIORE DI PISA
UNIVERSITÀ DI PISA

INDUSTRIE E CENTRI DI RICERCA

BAIC AGRO ITALIA
BIOTECNOMED
BYRON'S HOLDING
BRACCO IMAGING
BREMBO
CAMOZZI AUTOMATION
CENTRO RICERCHE FIAT
CEREAL DOCKS
CERTIMAC
CONSORZIO ITALBIOTEC
CRSLAGHI
CETMA
CIRA
COLOROBBIA CONSULTING
COMSOL
DIASORIN
DOMPÉ
ECOR INTERNATIONAL
ELETTRA SINCROTRONE TRIESTE
E.M.A
ERICSSON TELECOMUNICAZIONI
FINCANTIERI
FONDAZIONE CAVALIERI OTTOLENGHI
FONDAZIONE BRUNO KESSLER
FONDAZIONE PIEMONTE INNOVA
GEWISS
GIUSTO FARAVELLI
INNOVHUB STAZIONI SPERIMENTALI PER L'INDUSTRIA
IVECO
LFOUNDRY
MECCANO
MEMC ELECTRONIC MATERIALS - GLOBALWAFERS COMPANY

**Situazione soci aggiornata a dicembre 2024*

MENARINI SILICON BIOSYSTEMS
METTLER TOLEDO
PIRELLI TYRE
PROGEST
SAES GETTERS
SAIPEM
SMILAB
SPEA
STMICROELECTRONICS
TECNOALIMENTI SOCIETA CONSORTILE PER AZIONI
THALES ALENIA SPACE ITALIA
TODARO INDUSTRY
TXT E-TECH

START UP INNOVATIVE

AIENG
ARCHA SRL
ASSING
COSBERG
ECOR INTERNATIONAL
ENERTECH SOLUTION
EPSILON
IUVO
JONIX
KLASTER
MARITIME TECHNOLOGY CLUSTER FVG
NATIVE TO WEAR
NEXT TECHNOLOGY TECNOTESSILE SRL
NICHE SRL
NVNOVA
PLASTICA ALFA
SULTAN
TECHNETIC ITALIA

SOCIETÀ DI CONSULENZA

AYMING ITALIA
BUGNION
FI GROUP ITALIA
FINSERVICE
LUNATI & MAZZONI
SERVICE GROUP R&D
STUDIO PROMOZIONI
STUDIO TRIBUTARIO E SOCIETARIO DELOITTE
TINEXTA INNOVATION HUB

Airi promuove la ricerca industriale e l'innovazione tecnologica in Italia e in Europa.
Previsioni tecnologiche, policy, networking e tecnologie emergenti.

Scopri di più su www.airi.it

Airi
ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE
50
1974 2024





















Isbn 978-88-98935-642