AIRI - ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE

LE INNOVAZIONI DEL PROSSIMO FUTURO

XI EDIZIONE 2025

PROFILI DI SETTORE



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

PROFILI DI SETTORE

AIRI - ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE

COLLANA LE INNOVAZIONI DEL PROSSIMO FUTURO
XI EDIZIONE – Profilo di settore e indice degli scenari tecnologici

L'opera è composta dal presente volume e dai dieci volumi monografici settoriali. l'elenco degli scenari tecnologici descritti nei dieci volumi è riportato in allegato.

Coordinamento e redazione dell'opera

Airi: Andrea Porcari (coordinatore GdL), Francesco Salvato, Claudia Pinna, Olmo Guagnetti, Elena Destro, Luca Borghini, Sara Morisani, Sesto Viticoli

Gruppo di Lavoro Tecnologie Prioritarie per l'Industria: l'elenco degli esperti che hanno contributo alla redazione dei profili e degli scenari tecnologici sono riportati all'interno dei dieci capitoli settoriali del presente volume

Sezione brevetti, inclusa nella prima parte del volume, curata da: Antonio Romeo, Alessio Misuri, Marco Damiano, Giovanni Manigrasso, Michele Guadalaxara (Dintec), Gaetano De Benedictis (Unioncamere)

ISBN 978-88-98935-65-9
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 maggio 2025
Realizzazione editoriale
Airi
progetto grafico
Goodlab srl Roma - www.goodlab.it



Edizioni:
Agra Editrice srl Roma - www.agraeditrice.it



Disponibile in versione online su
www.airi.it

Per la citazione dell'opera: Gruppo di Lavoro Airi "Tecnologie Prioritarie per l'Industria" (a cura di), Le Innovazioni del Prossimo Futuro, Roma, Agra Editrice, 2025, ISBN 978-88-98935-65-9

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



indice profili di settore

PREFAZIONE 11

INTRODUZIONE 13

SINTESI DEI CONTENUTI 15

FOCUS: SETTORI, TECNOLOGIE E BREVETTI IN ITALIA 36

METODOLOGIA 48

settore 1 AMBIENTE ED ECONOMIA CIRCOLARE 54

settore 2 CHIMICA E MATERIALI 104

settore 3 COSTRUZIONI 126

settore 4 ENERGIA E DECARBONIZZAZIONE 146

settore 5 FARMACEUTICA 176

settore 6 MECCATRONICA 192

settore 7 MICROELETTRONICA E SEMICONDUTTORI 214

settore 8 TECNOLOGIE DIGITALI 282

settore 9 TRASPORTI E MOBILITÀ 320

settore 10 SPAZIO 350

SOCI AIRI 380

indice scenari

Sono riportati di seguito gli scenari tecnologici analizzati dal Rapporto.
La descrizione degli scenari è disponibile nei volumi monografici settoriali, disponibili su www.airi.it.

SETTORE 1 AMBIENTE ED ECONOMIA CIRCOLARE

- La simbiosi industriale e la diagnosi delle risorse per la chiusura dei cicli e la competitività del sistema industriale
- Processo di pirolisi catalitica, con catalizzatori a basso costo per il riciclo chimico delle plastiche miste
- Sviluppo di un processo di riciclo meccanico innovativo per schiume poliuretaniche flessibili post-industriali e post consumo
- Tecnologie per la valorizzazione delle batterie al litio a fine vita
- Nuove tecnologie di evoluzione assistita (TEA) per l'agricoltura
- Tecnologie fermentative per i prodotti Bio-Based
- Tecnologie e soluzioni per l'agricoltura conservativa integrando meccanica, elettronica e biotecnologie
- Tecnologie per la valorizzazione delle acque reflue
- Approccio integrato alla gestione sostenibile dei fanghi di depurazione

SETTORE 2 CHIMICA E MATERIALI

Efficientamento e sostenibilità dei processi

- Processi elettrochimici per la sintesi di prodotti chimici di base
- Sintesi di nuovi sostituenti rinnovabili del bisfenolo A per diversi settori applicativi
- Catalizzatori per l'abbattimento di protossido d'azoto (N2O)
- Valorizzazione della CO2 a chemical e Fuels

Efficientamento e sostenibilità di materiali e prodotti

- Materiali innovativi per i sistemi di accumulo di energia
- Funzionalizzazione chimica di smart sensors per il rilevamento selettivo
- Materiali "eco-friendly" per pale eoliche: vitrimeri e altre resine termo-responsive
- Materiali secondari e nuovi additivi per calcestruzzo

Circolarità e riciclabilità di processi e prodotti

- Riciclo chimico delle plastiche
- Tecnologie e materiali per la circolarità e il riuso di manufatti multimateriale, inclusi gli pneumatici
- Tecnologie per Introdurre Biopolimeri in Pneumatici High Performance
- Additivi funzionali per soluzioni sostenibili
- Sviluppo di packaging compostabili/riciclabili funzionalizzati con principi attivi derivanti da biomasse di scarto
- Upcycling del silverskin, il residuo della torrefazione del caffè

SETTORE 3 COSTRUZIONI

Nuova modalità d'uso delle risorse naturali (materiali/energia) e riduzione della CO2

- Materiali e/o combustibili alternativi e/o a ridotto contenuto di carbonio per la produzione di clinker
- Idrogeno verde - Uso di idrogeno verde per la produzione di cemento
- Materiali secondari - Sottoprodotti industriali o di riciclo, nella produzione di cemento
- Aggregati di riciclo/artificiali a base di sottoprodotti industriali in sostituzione di aggregati naturali per calcestruzzo
- Energie rinnovabili nella produzione di cemento e nella fase di realizzazione dell'opera
- Stoccaggio geologico - Tecnologie CSS (Carbon Capture Storage) specifiche per cementifici

indice scenari

- Durabiità - Progettazione della durabilità delle strutture su base prestazionale

Nuovi materiali e prestazioni

- Calcestruzzi innovativi e/o ad altre prestazioni
- Altre tipologie di calcestruzzo con prestazioni e/o costituenti innovativi
- Calcestruzzi fibrorinforzati (FRC, UHPFRC)
- Materiali ad attivazione alcalina/geopolimeri
- Altri materiali innovativi: fotocatalitici e cool

Nuove tecniche costruttive

- Manifattura avanzata - Stampa 3D di materiali strutturali a base cementizia
- Materiali per strade - Pavimentazioni stradali in calcestruzzo in galleria

Nuove modalità progettuali

- Strumenti di valutazione della sostenibilità (LCA/EPD)
- Modularità, disassemblaggio e sostenibilità del calcestruzzo
- Massa termica e reti intelligenti
- Resilienza strutturale - Strutture (di calcestruzzo) resistenti a fuoco, vento, allagamenti, sisma
- Digitalizzazione - Applicazione alle costruzioni di tecnologie informatiche avanzate
- Intelligenza artificiale nelle costruzioni

Raccolta di casi studio

SETTORE 4 ENERGIA E DECARBONIZZAZIONE

Rinnovabili

- Sistemi a concentrazione solare (CSP, CST)
- Minieolico
- Eolico Floating Offshore

Accumulo dell'energia

- Serbatoi di idrogeno gassoso in composito di tipo V per la mobilità sostenibile
- BESS (Battery Energy Storage Systems)
- Accumulo di energia termica alimentato da solare a concentrazione e altra fonte energetica rinnovabile
- Stoccaggio e Trasporto H2
- Stazioni di rifornimento dell'idrogeno (Hydrogen Refuelling Stations, HRS)
- Pompe di calore ad alta temperatura

Soluzioni digitali

- Smart Grid

Produzione per uso di idrogeno

- Elettrolizzatori a bassa temperatura per la produzione di idrogeno "verde"
- Produzione di idrogeno "verde" attraverso l'applicazione della tecnologia solare a concentrazione
- Waste-to-Hydrogen (WtH)
- Membrane di Separazione Idrogeno
- Celle a combustibile alimentate con idrogeno e combustibili rinnovabili

indice scenari

Materiali avanzati e sostenibili per l'energia
- Celle solari tandem perovskite/silicio

Usi finali
- Produzione di Low Carbon Fuels
- Cattura della CO2 post-combustione
- Cattura diretta della CO2 dall'aria (Direct Air Capture, DAC)
- Stoccaggio e Trasporto CO2
- Robot di Ispezione e Manutenzione degli Impianti
- Droni a idrogeno
- Turbine a gas alimentate con miscele combustibili a elevato contenuto di idrogeno
- I motori bifuel
- Micro-cogeneratori a Celle a combustibile alimentate con idrogeno e combustibili rinnovabili
- Forni industriali a idrogeno

SETTORE 5 FARMACEUTICA

- Piattaforme tecnologiche per lo sviluppo di biofarmaci
- Nuove piattaforme tecnologiche per lo sviluppo di vaccini batterici rilevanti nel contrasto alla antimicrobico resistenza
- Farmaci per terapie avanzate
- Tecnologie innovative di Intelligenza Artificiale per la drug discovery
- Digital & connected care: dalle tecnologie sanitarie alla digital therapeuctis
- Nuovi sviluppi dell'imaging diagnostico: Imaging molecolare e teranostica
- Nuovi sviluppi dell'imaging diagnostico: intelligenza artificiale in radiologia
- Tecnologie per la diagnostica di precisione tramite biopsia liquida
- Nanomedicina

SETTORE 6 MECCATRONICA

- Integrazione di componenti e sistemi meccatronici smart: logiche, sensori, attuatori, sistemi di visione
- Manifattura additiva: Tecnologie e applicazioni per materiali alto-riflettenti
- Manifattura additiva: materiali polimerici sostenibili e multifunzionali
- Manifattura additiva: materiali ceramici
- Sistemi robotici collaborativi ed esoscheletrici
- Simulazione di prodotto e processo
- L'intelligenza artificiale del manufatturiero
- Interfaccia uomo - macchina applicazioni di realtà virtuale e realtà estesa

indice scenari

SETTORE 7 MICROELETTRONICA E SEMICONDUTTORI

- Tecnologie BCD, integrazione di funzioni analogiche, digitali e Smart Power
- MEMS - Micro Electro Mechanical Systems
- Nuovi materiali: tecnologia GaN - Nitruro di Gallio
- Nuovi materiali: tecnologia SiC - Carburo di Silicio
- VIP POWER - Vertical Intelligent Power
- Sistemi di packaging dei chip: package 3D
- Sistemi di packaging dei chip: tecnologie di manifattura additiva e sottrattiva
- Sistemi hardware di edge computing per l'intelligenza artificiale
- Pilot line "from lab to fab" per sviluppi di sensori e dispositivi
- Tecnologie di produzione di substrati di silicio 300 mm tipo n per l'elettronica di potenza

SETTORE 8 TECNOLOGIE DIGITALI

- Calcolo ad alte prestazioni (HPC)
- Intelligenza Artificiale, Machine learning, deep, explainable ai
- Big Data
- Ultra-wide band, 5G, 6G
- Cloud e Edge Computing
- Blockchain
- Realtà aumentata e Realtà Virtuale
- Internet of Things
- Cyber security

SETTORE 9 TRASPORTI E MOBILITÀ

- Scenari Tecnologici
- Mobilità a basse o zero emissioni
- Nuove infrastrutture aeroportuali / portuali
- Nuove configurazioni di mezzi di trasporto
- Digitalizzazione del sistema trasporti
- Mobilità urbana ed interurbana multimodale e automatizzata
- Propulsione stradale innovativa
- Trasporto terrestre delle merci

indice scenari

SETTORE 10 SPAZIO

- Tecnologie per missioni "drag free"
- Tecnologie per lo studio e il monitoraggio del sole
- Strutture avanzate leggere e adattive
- Robotica e intelligenza artificiale: un binomio strategico nell'ambito dell'esplorazione spaziale
- Tecnologie per il rientro atmosferico e per l'esplorazione
- Sistemi avanzati per integrazione, rifornimento, trasporto e rimozione satelliti/detriti in orbita
- Tecnologie e applicazioni per la sicurezza nello spazio
- Tecnologie per antenne a bordo di satelliti
- Tecnologie e applicazioni innovative per mini e micro-satelliti
- Sistemi per la gestione e trasmissione dati ad altissima velocità nelle bande ka e x per le future missioni di osservazione della terra
- Tecnologie avanzate basate su intelligenza artificiale per il trattamento di immagini radar e di dati/segnali per il monitoraggio del satellite
- Tecnologie di cybersecurity per la protezione dei sistemi spaziali
- Orologi atomici spaziali "next generation"
- Tecnologie per la propulsione spaziale
- Sviluppo nuovi propellenti solidi
- Tecnologie per l'accesso allo spazio
- Serbatoi e strutture di nuova generazione per lanciatori e veicoli spaziali
- Additive manufacturing
- Comunicazioni quantistiche
- Global navigation satellite systems (GNSS)
- Protocollo Protocollo 5G - New Radio non Terrestrial Network - e 6G: estendere internet verso le reti nello spazio del futuro
- Tecnologie ottico-fotoniche
- Edge computing per lo spazio

Prefazione

Da oltre venticinque anni, Airi coinvolge manager e ricercatori provenienti da alcune delle principali imprese, centri di ricerca e università, italiane per identificare e analizzare quali siano le tecnologie ad alto impatto socioeconomico destinate a trasformare il sistema industriale.
Giunto alla XI edizione, il Rapporto Airi *Le Innovazioni del Prossimo Futuro* è uno studio di *technology assessment e foresight* unico a livello nazionale. E un quadro aggiornato degli scenari tecnologici che contribuiranno, nel breve-medio periodo e in maniera trasversale e abilitante, all'innovazione nei principali settori produttivi.
Dieci settori e oltre 130 scenari tecnologici che fotografano la ricerca industriale italiana, che da sempre ha una significativa propensione all'esportazione nel mondo della tecnologia.

La tecnologia è oggi un fattore determinante per la competitività del sistema Paese. L'impegno e gli investimenti in Ricerca e Innovazione aiutano le imprese a adattarsi alle rapide dinamiche del contesto socioeconomico e ai mutamenti della domanda. Oggi più che mai, la tecnologia è il fulcro della competitività del sistema Paese, condizionando in modo decisivo le traiettorie di crescita, innovazione e autonomia strategica. Le scelte di oggi determineranno la posizione del sistema Paese nelle diverse catene del valore globali per i prossimi anni, se saremo in grado di presidiare le nostre nicchie e posizioni da leader o se ci riserva un futuro da *follower.*

Lo studio si propone come una guida per i *decision-maker* di istituzioni, industrie e investitori, con l'obiettivo di anticipare e comprendere l'evoluzione del futuro tecnologico e i suoi impatti più rilevanti sulla società.

Nel corso degli anni, le analisi condotte da Airi hanno identificato in anticipo numerose tecnologie, oggi ritenute ad alto impatto e abilitanti per l'innovazione. 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.

L'obiettivo del nostro lavoro 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 promettente è necessario lavorare insieme – istituzioni, imprese e ricerca pubblica – per comprendere e condividere gli asset e le risorse su cui investire. Aggiungo che gli scenari descritti nei volumi hanno anche un significativo valore per le Istituzioni educative come materiali di orientamento e di formazione nell'istruzione tecnico scientifica.

Un sentito ringraziamento ai coordinatori di settore, ai numerosi esperti, ai soci e non soci, e allo staff Airi, che hanno generosamente messo a disposizione il loro tempo e le loro competenze. Senza il loro contributo, la loro competenza e le loro visioni, la realizzazione di questo studio non sarebbe stata possibile.
Tutti nutrono la speranza che questo sforzo possa essere utile ai Programmi operativi e alle prossime Strategie europee, e possa essere utile indicazione per le Istituzioni di ricerca che devono programmare linee di ricerca coerenti con le future sfide della nuova industria.
È un contributo collaborativo alla cultura industriale del Paese che ci rende particolarmente orgogliosi.

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 finanziarie associati, in collaborazione con qualificati partner pubblici e privati.

In linea con la missione di Airi, il Rapporto nasce dall'esigenza di stimolare una riflessione sulle priorità, le risorse e gli strumenti più adeguati a promuovere uno sviluppo sostenibile sul piano sociale, ambientale ed economico. Il Rapporto guarda al futuro in un momento in cui le tecnologie sono ormai parte integrante della vita quotidiana, con applicazioni in continua evoluzione, e in grado di delineare scenari ben diversi da quelli ritenuti possibili fino a poco tempo fa.
Il Rapporto è frutto del contributo volontario dei 267 manager della R&S, ricercatori e professionisti, provenienti da novanta diverse organizzazioni (Fig. 1), membri del Gruppo di Lavoro Airi Tecnologie Prioritarie per l'Industria, che rappresentano in modo significativo il sistema industriale, scientifico e dei servizi avanzati italiani, attivi nei settori presi in esame.

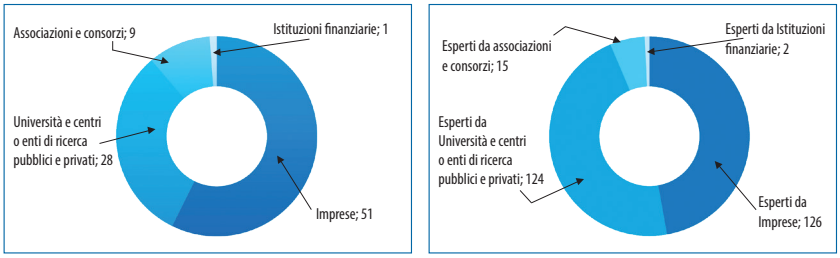


Figura 1: Numero di organizzazioni coinvolte per tipologia (sinistra). Numero di esperti per provenienza (destra)

I settori

Gli scenari tecnologici analizzati in questa edizione rappresentano una selezione fra quelli che secondo i nostri esperti sono o saranno importanti nei prossimi anni per ogni singolo settore industriale. I nostri esperti si sono soffermati sulle relative opportunità e rischi a essi connessi, lungo molteplici filiere scientifiche e industriali nazionali. I settori industriali considerati in questa edizione sono i seguenti:

1) Ambiente ed economia circolare
2) Chimica e materiali
3) Costruzioni
4) Energia e decarbonizzazione
5) Farmaceutica
6) Meccatronica
7) Microelettronica e semiconduttori
8) Tecnologie digitali
9) Trasporti e mobilità
10) Spazio

Va segnalato che alcuni importanti settori, come per esempio l'agro-alimentare, le biotecnologie o il tessile, non sono stati affrontati poiché non sufficientemente rappresentati dal GdL Airi.

Il lavoro svolto ha evidenziato che, per competere su scala globale, le sole iniziative nazionali non sono sufficienti. Il documento sottolinea quindi l'importanza di un impegno europeo coordinato, capace di rafforzare la competitività industriale e scientifica europea, promuovendo soluzioni sostenibili, in linea con le aspettative della società sotto il profilo ambientale, economico e sociale.

A chi è rivolto

Il Rapporto si rivolge a imprese, centri di ricerca, istituzioni e investitori, con uno sguardo trasversale sulle traiettorie tecnologiche emergenti nei principali settori strategici analizzati, utilizzando uno stile accessibile ma sempre attento alla precisione scientifica e tecnica.

In particolare:

• **Tecnici e specialisti,** provenienti tanto dal mondo industriale quanto da quello accademico, potranno trovare nel Rapporto una panoramica organizzata e un approfondimento delle soluzioni e opportunità emergenti nei propri settori, insieme a spunti e connessioni con ambiti tecnici e applicativi ancora poco noti o in fase di consolidamento.

• **Manager e decisori industriali** avranno a disposizione una guida per orientare le strategie e gli investimenti sulla base di una panoramica strutturata di priorità e tendenze.

• **Decisori e regolatori pubblici** troveranno un punto di riferimento sui principali problemi, aspettative e priorità del mondo scientifico e industriale, utile per programmare strumenti adeguati a supportare l'innovazione.

SINTESI DEI CONTENUTI

OBIETTIVI E STRUTTURA

Il *technology assessment e foresight* che presenta questo Rapporto riguarda tecnologie e famiglie di tecnologie e le loro linee innovative di ricerca e sviluppo di dieci settori-ritenuti strategici per l'economia nazionale e per i soci AIRI impegnati nella competizione tecnologica globale - che generano ricadute già nel medio-breve periodo sul sistema produttivo e sui servizi avanzati, come crescita occupazionale, innovazione nei processi e nei prodotti, e incremento delle esportazioni. In alcuni ambiti ad alta specializzazione, si prevede che tali ricadute si consolidino ulteriormente nel lungo periodo.

L'analisi di tipo verticale (per settore) è integrata da una valutazione complessiva (orizzontale) delle sinergie, convergenze e trasversalità delle tecnologie selezionate lungo tutti i settori produttivi.

In quest'undicesima edizione, pur mantenendo la tradizionale impostazione per settori produttivi, per ogni settore sono previste due parti:

Il **profilo di settore** riporta il quadro o profilo generale che caratterizza il settore e si concentra sui seguenti aspetti:

• la posizione dell'industria nazionale nel contesto internazionale ed europeo, tendenze e criticità, le imprese, i dati di mercato, l'occupazione, gli impatti socioeconomici, e gli investimenti in R&S;

• le relazioni con altri settori o ambiti tecnologici, il contributo a tematiche tecnologiche trasversali quali materiali, energia, soluzioni digitali;
• Le implicazioni normative, sostenibilità e impatti etici, sociali e ambientali;
• le criticità per mantenere la competitività su scala globale. Questi, a loro volta, sono fattori fondamentali per lo sviluppo economico e industriale degli Stati più avanzati.

Gli **scenari tecnologici** forniscono una panoramica di singole tecnologie o loro insieme sulle quali il sistema della ricerca industriale italiana intende concentrare risorse economiche e intellettuali nel breve-medio periodo.
Ciascuno scenario, che può includere più tecnologie, riporta una breve descrizione, le motivazioni per la scelta, lo stato dell'arte ed una breve discussione delle risorse necessarie allo sviluppo della tecnologia nel breve-medio periodo.
Gli scenari forniscono una descrizione della realtà tecnica per un pubblico ampio, anche non specialista del settore, interessato ad avere un quadro strutturato e puntuale dello sviluppo della tecnologia.

Nel complesso vengono descritte le condizioni socioeconomiche e tecnologiche a livello settoriale e di scenario tecnologico, l'ordine di grandezza degli investimenti e le condizioni necessarie per favorire lo sviluppo e garantire il successo delle tecnologie identificate.

IL CONTESTO GEOPOLITICO

Viviamo in uno scenario particolarmente complesso e interconnesso, in cui le sfide energetiche, climatiche e sociali, insieme al contesto geopolitico globale instabile, generano dinamiche che influenzano profondamente le strategie industriali e tecnologiche. L'interazione di questi fattori rende particolarmente importante un'analisi prospettica delle filiere tecnologiche, in particolare di quelle che si basano su tecnologie essenziali per molteplici settori, come i semiconduttori o i materiali avanzati, che sono fondamentali per la competitività e lo sviluppo economico globale. Le industrie e le economie regionali, nazionali ed europee si confrontano con criticità crescenti legate all'instabilità e alla rapidità dei cambiamenti nei mercati, alle tensioni sociopolitiche e

alla crescente competizione nella gestione delle catene del valore di materiali, prodotti e servizi. Ad esempio, attualmente è la Cina a detenere in larga parte il controllo delle materie critiche assieme ad altri, pochi, Paesi terzi potenzialmente forieri di instabilità per motivi di carattere geopolitico, rappresentando di conseguenza un tema rilevante per la futura ricerca nel campo dei materiali e dell'economia circolare.

Tali criticità hanno un impatto su tutti i settori economici, in particolare su quelli a più alto valore aggiunto, quali i settori elettronico, digitale, farmaceutico, energetico, spaziale e dei trasporti, caratterizzati da un'elevata concorrenza globale e regolati da norme e standard globali che richiedono investimenti di grande entità, con tempi di ritorno anche molto lunghi.

È dunque necessaria una **pianificazione strategica di "sistema"** in grado di coinvolgere una catena del valore spesso globale, con la necessità da parte privata di assumere rischi notevoli, per dimensione degli investimenti e incertezze di successo, e da parte pubblica di interventi di supporto infrastrutturale e di regolamentazione con una prospettiva di ritorno visibile in tempi più lunghi di quelli normalmente propri della politica.

Tali dinamiche riguardano sia le catene di forniture (materie prime, componentistica), sia la disponibilità di energia per i processi manifatturieri, sia i processi stessi di ricerca, sviluppo e ingegnerizzazione (ad es. capacità di calcolo computazionale, accesso ai servizi cloud, risorse umane qualificate, ecc.).

Nel prossimo futuro la concorrenza internazionale andrà molto probabilmente a intensificarsi, stimolando ulteriori cambiamenti e creando nuove sfide in ambito industriale. Il contesto socioeconomico e di mercato è infatti legato sempre di più ad aspetti quali la distribuzione geografica della produzione, le risorse disponibili (ad es. costo e disponibilità dell'energia, approvvigionamento di materie prime, ecc.), le politiche commerciali e tariffe, l'impatto del cambiamento climatico, la sicurezza delle forniture e la dipendenza da Paesi terzi. La responsabilità del decisore pubblico, anche in supporto delle decisioni dei privati, è limitare gli stress sistemici in corso, prevedere gli scenari futuri, tutelare le catene del valore e diversificare le fonti di approvvigionamento e produzione.

In questo contesto in cui il "peso" ed il consenso quanto più possibile condiviso su necessità ed istanze è essenziale, l'Unione Europea è chiamata ad assumere un ruolo strategico nella definizione di politiche industriali comuni, capaci di ridurre le dipendenze

critiche e incentivare la creazione di catene del valore resilienti. Il rafforzamento del mercato unico europeo, unito a investimenti mirati attraverso strumenti come IPCEI, Chips Act e Green Deal Industrial Plan, è essenziale per colmare il divario competitivo e tecnologico con Stati Uniti e Cina.

L'innovazione rappresenta una leva fondamentale per la mitigazione dei rischi: lo sviluppo di tecnologie e la progettazione dei prodotti al fine di ridurre la dipendenza da materiali critici e favorire approcci di economia circolare sono strumenti concreti per rafforzare l'autonomia strategica e industriale del Paese.
Sulla base delle vulnerabilità, dall'analisi del contesto industriale di ogni Paese, e di quello italiano in particolare, si possono identificare e adottare strategie e politiche volte a mitigare le criticità, aumentare la resilienza e sostituire fattori di produzione critici con tecnologie proprie, da sviluppare in casa o in partnership con Paesi che coniughino basso rischio, capacità tecnologica, capacità economica e mutuo vantaggio dalla condivisione di politiche, per superare le scarsità di materie prime critiche e di tecnologie critiche.
Anche in Italia le istituzioni sono sempre più attente al tema dell'autonomia e indipendenza delle filiere industriali. Il tema della resilienza delle catene del valore sta assumendo una dimensione di sicurezza nazionale che richiede una più **ampia comprensione dell'esposizione delle tecnologie (strategiche, critiche, emergenti**) ai rischi geopolitici per mantenere il passo a livello internazionale nei settori rilevanti per il contesto sociale ed economico del Paese, e conservare e incrementare la competitività dei suoi processi produttivi e dei suoi prodotti.

I FATTORI TECNICI DI RIFERIMENTO

Lo studio è influenzato non solo dal contesto geopolitico ed economico internazionale, appena descritto, ma anche da un insieme di fattori tecnici che stanno già orientando – e orienteranno sempre più – le scelte industriali e scientifiche o a cui viceversa gli scenari tecnologici settoriali analizzati rispondono. Essi sono il riferimento per la definizione delle priorità strategiche per il sistema Paese, in coerenza con le politiche europee su competitività, autonomia strategica e sostenibilità.

Intelligenza artificiale. L'intelligenza artificiale costituisce un asse portante dell'evoluzione tecnologica attuale, in quanto abilita la capacità di analizzare e correlare grandi quantità di dati eterogenei, restituendo informazioni strategiche e soluzioni non immediatamente ricavabili con metodi convenzionali. Essa trova applicazione trasversale, per citare solo alcuni casi, in tutti i processi industriali, nei sistemi di trasporto avanzati e nella gestione dei servizi urbani complessi, in campo biomedico grazie anche alla sua integrazione con infrastrutture digitali, ambienti virtuali e tecnologie di simulazione quali digital twin, realtà aumentata e realtà virtuale.

Energia verde. Il cambiamento climatico, combinato alla necessità di rispondere al fabbisogno energetico della società e del sistema industriale in costante aumento, rappresenta oggi una delle sfide più significative che abbiamo davanti. L'innovazione tecnologica può fornire soluzioni riguardo a molteplici aspetti, quali ad esempio nuove fonti e vettori di energia più sostenibili, migliori e più efficienti sistemi per la distribuzione e l'utilizzo dell'energia, anche grazie alla digitalizzazione, e approcci innovativi per la mitigazione del cambiamento climatico.

Criticità delle risorse. La transizione verso modelli industriali più circolari e sostenibili consente di rendere più efficienti e sostenibili prodotti e processi lungo il loro ciclo di vita, ridurre la dipendenza da catene di fornitura instabili e, nel medio-lungo termine, accrescere la competitività delle filiere produttive. Tale cambiamento richiede un significativo avanzamento sia nei materiali sia nei processi, al fine di ottimizzare l'uso delle risorse naturali e favorire il riutilizzo sicuro degli scarti. Affinché tali soluzioni siano realmente adottabili, è però indispensabile predisporre un quadro e dei modelli organizzativi, normativi ed economici che ne rendano competitiva la produzione e l'impiego, anche rispetto a processi e prodotti tradizionali, oggi spesso più economici ma meno sostenibili.

Mobilità rapida in sicurezza. La domanda di mobilità è in costante crescita, sia per quanto riguarda il trasporto di beni sia per la mobilità delle persone. Le catene di approvvigionamento sono ormai globali in quanto le risorse, specie quelle critiche, non sono presenti esattamente dove poi vengono usate dal sistema industriale, come pure i mercati finali possono essere lontani da dove la produzione avviene in modo efficiente per costi o per competenze. Il problema è amplificato dall'innovazione tecnologica, quale

ad esempio quella elettronica e digitale, che richiede l'utilizzo di catene di fornitura ampie e complesse e di crescenti quantità di materie prime critiche. Al contempo, l'esigenza delle persone di spostarsi in modo efficiente sia energeticamente (nuovi fonti propulsive e motori) sia per tempi e sicurezza (multimodalità e intermodalità) aumenta. Lo sviluppo di una **mobilità rapida in sicurezza** rappresenta una priorità strategica per rispondere alle esigenze di competitività industriale, coesione sociale e sostenibilità. Tale sfida richiede investimenti, infrastrutture dedicate e un forte coordinamento tra ricerca pubblica, industria e policy maker.

Progettazione/visione sistemica. La maggior parte scenari tecnologici analizzati richiedono scelte strategiche e tecnologiche legate anche ad altri ambiti, quali ad esempio materiali, energia, infrastrutture, logistica e trasporto. La complessità delle catene del valore che ne deriva, la difficoltà nel prevedere i diversi fattori che possono influenzare la reale adozione di una innovazione, richiedono un approccio anticipatorio ed olistico all'innovazione. Serve progettare processi e prodotti pensando all'intero ciclo di vita, con una continua attenzione alle potenziali implicazioni e impatti a livello normativo, sociale, ambientale ed economico, alle potenziali sinergie con altri contesti e ambiti industriali. Tale approccio permette all'impresa di comprendere al meglio il reale valore aggiunto dell'innovazione, anche mediante la possibilità di offrire sia prodotti sia servizi, e utilizzare modelli di business innovativi.

Collaborazione pubblico-privato. Le sfide tecnologiche attuali richiedono un impegno su larga scala e l'impiego coordinato di risorse culturali, scientifiche e organizzative. Bisogna saper combinare in modo efficace le competenze più avanzate con forme di **collaborazione strutturate**, innovative e aperte, che favoriscano la creazione di filiere e sistemi dell'innovazione (a scala locale, nazionale o tematica e settoriale). Tra queste rientrano le partnership pubblico-private, i meccanismi di sostegno all'innovazione e modelli evoluti di gestione dell'innovazione.

Un elemento ormai consolidato è la presenza di strutture agili e altamente specializzate – come start-up, aziende innovative o medie imprese di nicchia – che si occupano dello sviluppo delle soluzioni tecnologiche più avanzate. Questi attori operano in stretta connessione con grandi imprese a vocazione internazionale, che integrano tali innovazioni nei propri prodotti complessi, destinati al mercato globale nel rispetto di elevati standard

di sicurezza, qualità e prestazioni. Settori come la farmaceutica, la chimica, lo spazio e i trasporti rappresentano esempi emblematici di questa "delega" dell'innovazione più dirompente a soggetti specializzati.

Soluzioni trasversali ai settori. La stretta collaborazione tra settore pubblico e privato – in cui quest'ultimo mira a massimizzare i ritorni economici e temporali degli investimenti – richiede oggi che le soluzioni tecnologiche sviluppate abbiano un impatto il più possibile trasversale e multisettoriale. Si tratta di un cambiamento significativo rispetto a modelli del passato, in cui l'innovazione era spesso trainata da singoli settori strategici, con una successiva diffusione graduale verso altri ambiti produttivi. Oggi, al contrario, si assiste a un'evoluzione del paradigma: **le tecnologie devono essere progettate fin dall'origine con l'obiettivo di avere un'applicabilità estesa e immediata**. La XI edizione del Rapporto evidenzia come questa tendenza sia già visibile in settori fondamentali come l'energia, la chimica e i trasporti, con importanti conseguenze sulla definizione delle priorità tecnologiche e sulla necessità di orientare fin da subito la ricerca verso soluzioni ad ampio impatto.

Infrastrutture per la ricerca applicata. La crescente complessità delle sfide tecnologiche e sociali richiede soluzioni sempre più raffinate, il cui sviluppo comporta costi elevati e l'esigenza di una validazione tempestiva, affinché possano risultare competitive rispetto a quelle proposte dai principali attori internazionali. Per questo motivo, è fondamentale disporre di infrastrutture adeguate a supportare tutte le fasi della ricerca applicata.

Tale esigenza è particolarmente critica per la validazione di soluzioni complesse e su larga scala, vicine al prodotto finale, che richiedono strutture di prova giustificabili solo a livello europeo, sia per gli alti costi di esercizio sia per le competenze altamente specializzate necessarie al loro funzionamento.

La dimensione europea appare quindi imprescindibile e, al tempo stesso, urgente sia nel breve sia nel medio periodo, per esplorare nuovi percorsi e confrontare in modo oggettivo opzioni e prospettive.

Parallelamente, le realtà innovative di piccole dimensioni necessitano spesso di un accesso semplificato e sicuro alle migliori infrastrutture di ricerca e sperimentazione, così da poter testare in modo adeguato le proprie idee e proposte innovative.

LA DIMENSIONE INDUSTRIALE E GLI INVESTIMENTI R&S ATTESI

Si riporta in questa sezione una valutazione indicativa di dati macroeconomici relativi al complesso dei settori e degli scenari tecnologici analizzati nel Rapporto, oltre ad alcuni dati e informazioni di rilievo emersi dalle analisi settoriali. All'interno di ciascuno dei profili di settore e dei singoli scenari sono riportati dati più puntuali e specifici sui singoli settori.

È nota la difficoltà di correlare ambiti tecnologici, soprattutto se innovativi, con le usuali classificazioni macroeconomiche (ad es. codici Ateco), che sono, per loro natura, aggiornate su periodo lunghi e in riferimento ad ambiti industriali consolidati. Si è perciò deciso di definire una correlazione indicativa tra i dieci settori e i relativi scenari tecnologici analizzati attraverso una selezione di codici Ateco di primo e secondo livello (si veda la sezione sulla metodologia di seguito). I dati emersi forniscono un'indicazione qualitativa del potenziale ricaduta degli scenari tecnologici sul tessuto industriale nazionale.

I dieci settori descritti nel Rapporto ed i relativi scenari tecnologici contribuiscono in maniera diretta ad oltre il **60%** della ricerca industriale nazionale finanziata direttamente dalle imprese, pari a quasi **14 B€**[1], a conferma della loro natura abilitante e trasversale rispetto all'intero sistema produttivo italiano.

In termini di numeri, l'analisi svolta mostra che almeno il 25% delle imprese italiane con almeno 50 addetti sono direttamente interessate alle attività di ricerca e innovazione connesse a tali tecnologie. Significa che gli scenari tecnologici del rapporto possono avere un impatto sulle attività di R&S di una impresa su quattro. Tale stima appare peraltro prudenziale, in quanto molte di questi settori – tra cui la chimica, la meccatronica e il digitale – presentano un'elevata pervasività lungo l'intera catena del valore industriale, e quindi di certo coinvolgono un numero superiore di entità industriali con codici ATECO non direttamente e immediatamente catturati da questa analisi.

Le imprese analizzate impiegano complessivamente circa **3,3** milioni di persone, generano un valore della produzione superiore a **840 B€**, investono oltre **8,5 B€** in attività di ricerca e sviluppo intra-muros e contano oltre **140.000** addetti direttamente coinvolti in R&S. Tali cifre sono significative in quanto rappresentano circa il 20% degli occupati e quasi la metà degli addetti R&S delle imprese nazionali, e il 30% del valore della produzione.

Tuttavia, l'impatto complessivo sull'economia e sulla Ricerca e Sviluppo italiana è verosimilmente ben più ampio: alcuni settori trattati nel Rapporto per volumi economici

[1] *Per confronto, la spesa complessiva in R&S in Italia nel 2022 è pari a 27,3 miliardi di euro, di cui 16,3 miliardi svolti dalle imprese, con una parte finanziata da soggetti terzi (PA, università, fondi esteri) pari a oltre 2 miliardi.*

complessivi rivestono un ruolo particolarmente rilevante nell'economia nazionale. A titolo esemplificativo:

- **Uno studio elaborato da Federchimica** mostra che il moltiplicatore economico della Ricerca & Sviluppo nell'industria chimica in Italia è pari a 2,67. Ciò implica che ogni 100 euro investiti in R&S nel settore chimico generano ulteriori 167 euro di valore aggiunto lungo la filiera: 134 euro per effetto indiretto e 33 euro per effetto indotto.
- **Nel settore farmaceutico** il valore della produzione ammonta a 52 B€, con circa 70.000 addetti diretti, che diventano oltre 150.000 considerando anche l'indotto. Il comparto investe annualmente circa 2 miliardi di euro in attività di Ricerca e Sviluppo, evidenziando una marcata vocazione all'export, con circa il 95% della produzione destinata ai mercati esteri.
- **Il settore dello spazio** è in rapida crescita anche in termini di Ricerca e Sviluppo. Risulta avere il più alto sul rapporto addetti alla R&S sul totale occupati (oltre il 20%), segno di una fortissima specializzazione e con investimenti in R&S pari all'8,57% del valore della produzione.

La stima degli investimenti R&S attesi per realizzare gli scenari descritti nel Rapporto origina dalle valutazioni fornite dagli esperti che per ogni scenario hanno riportato una stima di breve-medio periodo delle risorse economiche necessarie per raggiungere lo sviluppo delle tecnologie selezionate fino al mercato o al prototipo. Poiché tale valore è strettamente legato alla tipologia ed alla maturità della tecnologia considerata, per alcune tecnologie si indicano gli investimenti per realizzare un prototipo, per altre gli investimenti per industrializzare la soluzione proposta. A seconda dello scenario tecnologico considerato, tale stima può riferirsi ad investimenti a livello di sistema (es. infrastruttura, investimento del comparto), di soluzione tecnologica (es. dimostratore) e/o di singola organizzazione (es. industrializzazione della tecnologia).

Date queste premesse, l'ordine di grandezza del totale delle risorse finanziarie stimato necessario per raggiungere lo sviluppo delle tecnologie presentate nel volume da un valore di oltre 12B€. Considerando una durata media di circa tre anni per lo sviluppo delle tecnologie, tale valore corrisponde ad un investimento annuo in R&S di oltre 4B€ necessario per implementare gli oltre 130 scenari tecnologici individuati.

Fonte	Indicatore	Valore
Dati ISTAT 2022	Campione di imprese con attività di R&S e attive nei settori esaminati, sulle quali è atteso un impatto diretto degli scenari tecnologici del rapporto	>650000
	Valore della produzione	840 B€
	Addetti alla R&S	140.000
	Investimenti in attività di ricerca e sviluppo intra-muros	8,5 B€

Tabella 1: Investimenti in R&S nei settori esaminati dal Rapporto: dati ISTAT e stime Rapporto Airi

Metodologia utilizzata

L'ampiezza, la diversità e la complessità dei settori analizzati ha richiesto un'analisi preliminare dei dati disponibili per renderli omogenei e confrontabili tra loro. Abbiamo analizzato i dati Istat e Eurostat, mettendo in relazione i codici ATECO[2] (nella versione precedente a quella introdotta nel 2025, i dati qui forniti si riferiscono all'anno 2022) con i dieci settori esaminati da questo Rapporto. L'analisi ha richiesto alcune correzioni statistiche e tecniche, dovute alla presenza di tecnologie con applicazioni molto specifiche, per le quali è stato necessario individuare i codici ATECO anche a livello di classe o, in alcuni casi, di categoria. A titolo esemplificativo, tecnologie prioritarie molto ampie, come energia e ambiente, interessano intere sezioni ATECO (B, D, E); viceversa le tecnologie di altri settori, come manifattura avanzata e meccatronica, pur nell'ampiezza e diversità delle singole tecnologie abilitanti che vengono integrate, sono molto più specifiche tanto da essere riconducibili a un singolo gruppo ATECO (gruppo 28, in questo caso). I dati relativi agli investimenti R&S necessari nel prossimo futuro citati in questa sezione risultano dalla somma delle risorse economiche inserite dagli esperti all'interno degli scenari tecnologici, con alcune ulteriori stime e revisioni fatte, ove necessario, per dare maggiore omogeneità ai dati.

[2] ATECO è la classificazione delle attività economiche utilizzata dall'ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) per scopi statistici, ma anche per finalità amministrative e fiscali. Si tratta di una codifica alfanumerica che identifica le attività svolte da imprese e professionisti.

La situazione brevettuale in Italia

In Italia, nel 2022 sono state pubblicate 4.773 domande di brevetto presso l'EPO (European Patent Office), 218 in più di quelle del 2021, con una crescita quasi del 5%.

Dal 2016 l'aumento delle domande italiane di brevetto europeo è risultato pressoché continuo, con una variazione del 29% tra il 2013 e il 2022, quando il nostro Paese ha raggiunto il miglior risultato del decennio con un tasso annuo di crescita medio pari al 2,6%.

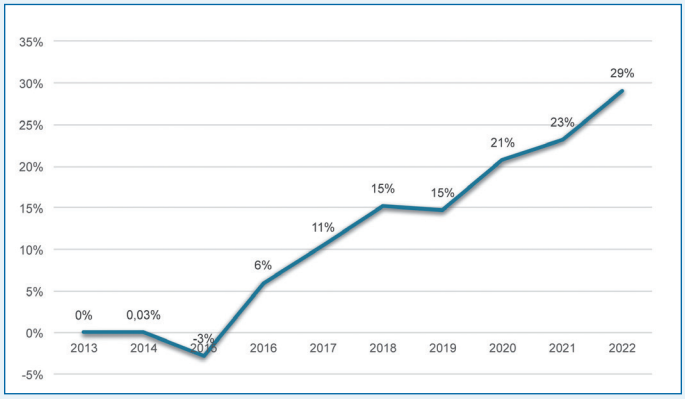


Figura 2: Trend domande di brevetto rispetto all'anno 2013

Entrando più nel dettaglio, nel triennio 2020-2022 circa l'86,8% delle domande pubblicate proviene dalle imprese, il 4,9% dagli Enti di ricerca e dalle Università, e il restante 8,3% dagli inventori privati. Ciò riflette l'importanza degli strumenti di tutela per il sistema produttivo, consentendo da un lato alle imprese di tutelare le proprie invenzioni, valorizzare gli investimenti in R&S e consolidare la propria posizione sul mercato ma, dall'altro, condividere il proprio know-how pubblicamente favorendo così la crescita dell'innovazione tecnologica in Italia. Ovviamente per enti di ricerca ed università questo ruolo di tutela delle proprie conoscenze è messo in secondo piano e quindi naturalmente la titolarità dei brevetti ad università ed enti di ricerca – che pure potrebbero aver avuto un ruolo nella crescita del know-how delle imprese brevettanti – registra percentuali inferiori.

CONCLUSIONI SETTORIALI

Le analisi condotte in ciascuno dei settori considerati consentono di formulare conclusioni tecniche specifiche per ogni ambito esaminato. Al tempo stesso, emergono indicazioni di più ampio respiro, con una significativa valenza generale, strategica e politica, che mettono in evidenza i profondi legami tra tutti i settori industriali analizzati nel volume.



Le tecnologie per l'**ambiente e l'economia circolare**, strettamente connesse alla produzione e all'uso dell'energia, comportano significative sfide sociali, economiche e industriali. Serve una simbiosi industriale che metta in relazione produttori di materie prime secondarie con utilizzatori anche appartenenti a settori diversi da quelli tradizionali. E' quanto mostrato dagli scenari tecnologici, dedicati al recupero e riciclo di materie prime e seconde, nei settori della plastica, delle batterie, dell'ingegneria ambientale, della filiera agroalimentare. Tali processi e prodotti possono presentare prestazioni diverse, maggiore complessità e costi più elevati nel breve medio termine con ritorno dell'investimento spesso nel lungo termine e/o a livello di comparto o sistema. Servono quindi **criteri di valutazione degli investimenti** che considerino gli impatti ambientali lungo il ciclo di vita, in una visione di filiera ed i costi delle emissioni e degli scarti.



Chimica e materiali sono componenti essenziali alla base della gran parte dei processi e prodotti per uso quotidiano e per applicazioni industriali e quindi una competenza strategica per sostenere la competitività di tutte le filiere produttive. Tuttavia, il settore chimico è tra i più energivori, rappresentando il principale consumatore di gas naturale e il secondo, dopo le costruzioni, per il consumo di energia elettrica. La sfida consiste nel ridurre gli impatti ambientali in modo da generare benefici per le filiere a valle e sostenerne la competitività. Gli scenari tecnologici affrontano i temi dell'**efficientamento, della circolarità e riciclabilità di processi, materiali e prodotti lungo l'intero ciclo di vita**, mediante lo sviluppo di materiali bio-based, di processi e tecnologie per la decarbonizzazione, di sistemi per l'accumulo e la produzione di energia. L'obiettivo è combinare il miglioramento delle prestazioni e sostenibilità, con

particolare attenzione ai prodotti chimici e materiali prodotti su larga scala con un impatto socioeconomico e ambientale significativo.



Il settore delle **costruzioni** e dei materiali per l'edilizia oltre ad essere tra le forze trainanti per l'economia nazionale ed europea rappresenta il campo di prova per eccellenza delle scelte tecniche e strategiche su produzione di energia, sostenibilità ed economia circolare. La filiera del **cemento** è il primo anello della catena che consente la realizzazione di infrastrutture e edifici sicuri e affidabili. La produzione di una tonnellata di cemento, che richiede per la sola componente elettrica circa 116 KWh, **mostra le forti implicazioni industriali ed economiche delle scelte tecnologiche da farsi**. Gli scenari tecnologici propongono nuove modalità d'uso delle risorse naturali e di materiali secondari e riciclati, fonti alternative di energia, cattura della CO_2, sviluppo di nuovi materiali e prestazioni, nuove tecniche costruttive e modalità progettuali. Le tecnologie descritte nel volume potrebbero spingere altri settori industriali ad investire nel recupero dei residui industriali o scarti di produzione.



Per rimanere competitivi nello sfidante contesto geopolitico e tecnico prima delineato, si dovranno in tempi brevi adottare azioni incisive e coordinate che permettano di sfruttare appieno le potenzialità delle **tecnologie digitali** nei processi industriali per l'adeguamento di macchine, sistemi, reti, infrastrutture nelle imprese piccole, medie e grandi in maniera coordinata con gli enti di ricerca pubblici e privati e con le agenzie regolatorie e di controllo pubbliche. Gli scenari tecnologici mostrano la necessità di strumenti di calcolo sempre più potenti e intelligenti: Intelligenza Artificiale, realtà aumentata e virtuale, big data, capacità di elaborazione locale, mobile o centralizzata (cloud e edge computing), software avanzati e architetture di calcolo evolute, reti a banda ultralarga, che garantiscano al contempo **efficienza d'uso e alta connettività, sicurezza dei dati, efficienza energetica** e che siano gestiti con attenzione alle implicazioni etiche, sociali e legali.

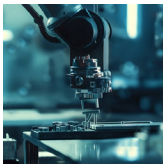


Il fabbisogno di **energia** per usi industriali e civili continua a crescere, in parte anche a causa dello sviluppo tecnologico, come l'energia necessaria per i sistemi di calcolo avanzato. Questo spinge verso la ricerca di tecnologie in grado di migliorare l'efficienza energetica e ottimizzare l'uso dei carburanti e dei sistemi di generazione tradizionali. Allo stesso tempo, per favorire il processo di **decarbonizzazione** e ridurre l'impatto ambientale, è essenziale integrare **fonti energetiche rinnovabili, in particolare solare, biomasse e idrogeno** come vettore flessibile, insieme a sistemi di accumulo per gestire i picchi di domanda e stabilizzare la rete. Le sfide tecnologiche riguardano quindi la produzione, lo stoccaggio e la distribuzione dell'energia, lo sviluppo di nuove fonti e la loro applicazione in un numero crescente di processi aziendali, che a loro volta richiedono nuovi metodi di produzione, macchinari e strumenti applicativi.



L'industria **farmaceutica** rappresenta un asset strategico per l'Italia, sia per la salute pubblica sia per l'economia. Il settore sta vivendo un'innovazione scientifica e tecnologica in rapida evoluzione per **sviluppare percorsi terapeutici sempre più mirati e personalizzati,** vaccini a mRNA, terapie geniche, terapie cellulari somatiche e dell'ingegneria tissutale.

Il successo di questo comparto è il frutto di un robusto network di ricerca che coinvolge imprese del settore, start-up, piccole e medie imprese innovative, università, istituti di ricerca ed enti no-profit, sia nel settore pubblico che privato che, anche grazie all'adozione delle tecnologie digitali sta diversificano e accelerando gli sviluppi industriale. Tuttavia, l'industria farmaceutica italiana deve affrontare sfide globali, come minori investimenti rispetto a Stati Uniti e Cina e l'uso sempre più determinante dell'Intelligenza Artificiale e di altre tecnologie emergenti per mantenere la competitività.



La **meccatronica** combina tecnologie complementari per ottenere l'automazione di prodotti, sistemi e processi manifatturieri diventando il cuore dello sviluppo della fabbrica "intelligente" in tutti i settori industriali. Gli scenari tecnologici propongono **processi e asset produttivi performanti, flessibili, collaborativi** mediante: l'integrazione di componenti funzionali e "intelligenti"; sistemi per la produzione rapida

e personalizzata; tecnologie robotiche e di intelligenza artificiale; processi produttivi evolutivi e adattativi e l'automazione; metodi e strumenti innovativi per la sostenibilità. Tali tecnologie portano ad un cambio di paradigma in tutte le fasi della manifattura ed a nuovi modelli di interazione uomo-macchina per produzioni sempre più personalizzate. La meccatronica, infine, è una capacità distintiva nazionale evolutasi nel tempo a partire dalle eccellenze nei settori della meccanica e del tessile che rappresenta un'ampia parte delle esportazioni nazionali, con una tendenza in crescita.



Microelettronica e semiconduttori sono un abilitante per l'innovazione riguardo a tutti i settori produttivi ed alle diverse soluzioni che emergono nel Rapporto. Essere competitivi in questo ambito è essenziale per mantenere la competitività a livello nazionale ed europeo. Possedere come l'Italia, il know-how in questo settore è strategico poiché rende possibile l'uso di tecnologie digitali avanzate, quali l'Intelligenza artificiale, e consente, per esempio, **una gestione più efficiente della potenza e dell'energia, il dispiegamento su larga scala di oggetti autonomi connessi al cloud, una mobilità più intelligente.** Come emerge dagli scenari tecnologici, l'Italia vanta imprese, centri di ricerca e università all'avanguardia sullo sviluppo e produzione di substrati, materiali, processi e dispositivi su piccola, media e grande scala con applicazioni trasversali e capacità di proporre soluzioni di eccellenza globali .



Il sistema dei **trasporti** nelle sue varie modalità – strada, aereo, ferrovia navale – consente la mobilità delle persone e delle merci rende lo sviluppo economico sicuro e sostenibile e rafforza l'autonomia strategica e la resilienza dell'Europa e dei singoli Paesi consentendo il corretto funzionamento delle catene di fornitura globali. Lo scenario di medio termine perseguito in Europa prevede una **mobilità multimodale efficiente, sicura e altamente interconnessa con mezzi di trasporto a basse o zero emissioni e uso di carburanti rinnovabili.** Realizzare questo scenario richiede il concorso sinergico di molti dei settori industriali citati nel Rapporto che dovranno fornire energia, materiali, processi e strumenti avanzati (digitali e microelettronica) per lo sviluppo di sistemi di trasporto e la gestione della mobilità più efficienti e sostenibili.



Il settore **spaziale** rende possibili applicazioni ormai essenziali per la nostra vita quotidiana, come il GPS a sostegno della mobilità, l'osservazione della Terra per le previsioni meteo e il monitoraggio dello stato dell'ambiente, il traffico marittimo e le comunicazioni, tecnologie e sistemi per la difesa. D'altra parte, il **settore spaziale richiede un'innovazione continua in tutte le sue componenti**, sia adattando soluzioni provenienti da altri settori alle peculiari condizioni operative, sia fornendo soluzioni e spunti ad altri ambiti, come le tecniche avanzate di telecomunicazione, l'energetica dello spazio, la sistemistica e la sensoristica avanzata, le tecnologie produttive intelligenti e sofisticate, nonché la sicurezza nei lanci e nello spazio. Anche nel settore spaziale, come già accade nella microelettronica, si evidenzia l'eccellenza nazionale a livello globale, un patrimonio che dovrà essere preservato e consolidato.

CONCLUSIONI GENERALI

Il risultato complessivo de Le Innovazioni del Prossimo Futuro, che include l'analisi e la descrizione di oltre 130 scenari tecnologici distinti -ciascuno caratterizzato da diverse tecnologie- costituisce un insieme strategico di riferimento tanto per il mondo industriale e scientifico nazionale quanto per i decisori politici. Questa sintesi raccoglie e integra alcune delle principali considerazioni e proposte emerse nei dieci settori esaminati. Ne risulta un ampio ventaglio di idee, opzioni e prospettive, molte delle quali sono interconnesse e complementari rilevando alcune criticità di attuazione atte ad affrontare la complessità delle sfide proposte.

Investimenti in R&S significativi sia pubblici che privati. La loro necessità è un fattore essenziale, da realizzare già nel breve periodo in modo coordinato sia tra i vari settori sia tra gli scenari relativi a ciascun settore.

Poiché i settori industriali presentano caratteristiche eterogenee, l'ammontare finanziario richiesto può variare notevolmente. Allo stesso modo, le condizioni socioeconomiche necessarie per implementare le nuove soluzioni possono essere in alcuni casi stabili, in altre fortemente evolutive, a seconda del settore e contesto produttivo considerato.

- Alcuni settori sono caratterizzati da un'evoluzione rapida, che impone un **aggiornamento altrettanto rapido dei prodotti o dei processi**. L'attività di ricerca industriale e di sviluppo

tecnologico si concentra principalmente sul medio-breve periodo e mira a miglioramenti, spesso incrementali, per mantenere il vantaggio competitivo nel mercato. In tali contesti, è necessario un impegno di risorse economiche che, pur essendo relativamente limitato, deve essere intensivo e immediato, in particolare nelle fasi di sviluppo della tecnologia e di validazione dell'innovazione di prodotto o processo. Tali attività si svolgono in un ambiente normativo, economico e sociale generalmente "stabile", che consente l'adozione delle soluzioni proposte.

• Al contrario, quando la richiesta di evoluzione tecnologica, sia di prodotto sia di processo, è più radicale, è necessario **rispondere a esigenze fortemente diverse da quelle esistenti:** la nuova tecnologia deve spesso integrarsi con altre tecnologie in un prodotto finale complesso che richiede tempi lunghi o infrastrutture del tutto nuove, oppure rispettare severi criteri di qualità e sicurezza che implicano lunghi tempi di qualifica. In questi casi si richiede un periodo di tempo più lungo e impegni finanziari più consistenti per passare dalla ricerca applicata, in cui si esplorano le potenzialità delle singole opzioni tecniche, all'integrazione della tecnologia nel prodotto, insieme alle altre sia nuove o allo stato dell'arte grazie a dimostratori a scala reale, prototipi o impianti pilota. L'impegno finanziario complessivo è maggiore e distribuito nel tempo, anche su molti anni, a intensità crescente. Il rischio associato è significativo: l'integrazione potrebbe mostrare che la tecnologia abilitante iniziale non raggiunge i risultati previsti a causa derivati dall'interazione con altre tecnologie o dai vincoli operativi e normativi.

Anche da un punto di vista tecnologico, il Rapporto tratta **scenari e tecnologie dichiaratamente molto diverse tra loro sia per maturità sia per complessità** intrinseca sia per raffinatezza e complessità del loro studio e validazione (si pensi alla validazione delle tecnologie spaziali o aeronautiche). Questa diversità conduce a dimensioni di investimento di ordini di grandezza diversi:

• Alcune tecnologie di base, come a titolo di esempio lo sviluppo di materiali avanzati, richiedono attività di ricerca dedicate, spesso con un grande contributo di risorse umane nella fase di ideazione per sviluppare l'idea, ma che possono essere affrontate anche da singole organizzazioni o gruppi di organizzazioni

• Le tecnologie che implicano integrazione in sistemi complessi, come quelle in ambito

farmaceutico, spaziale o nei trasporti, necessitano di un impegno rilevante di numerosi e diversificati attori in tutte le fasi di sviluppo, in particolare in quella di ingegnerizzazione per condurre verifiche rigorose, sia per la sicurezza sia per la scala del prodotto. Realizzare questi investimenti in modo corretto non è solo una questione finanziaria o di decisione industriale, ma dipende anche da una serie di scelte strategiche e politiche più ampie per essere affrontare o rispondere ai fattori "di sistema" prima descritti.

Strumenti di sostegno all'innovazione delle filiere nazionali. Le numerose innovazioni tecnologiche descritte nel Rapporto, unitamente ai significativi cambiamenti nelle condizioni geopolitiche e ai fattori tecnici che influenzano tutti i settori esaminati, impongono l'attuazione di strumenti di supporto alle filiere produttive nazionali.

- **Digitalizzazione**. L'uso esteso di soluzioni digitali nelle fasi di concezione, produzione, uso e manutenzione dei processi e prodotti, rende necessario: favorire lo scambio e trasferimento di competenze, conoscenza ed infrastrutture tra tecnologie, applicazioni e settori tra loro diversi; accrescere le competenze nella gestione dei dati, inclusi gli aspetti di proprietà intellettuale, di etica e sicurezza, coinvolgendo i diversi operatori della filiera e gli utenti finali che forniscono, gestiscono e usano i dati.
- **Internazionalizzazione.** Sostenere le filiere e distretti nazionali affinché gestiscano al meglio la dimensione sovranazionale della loro produzione, aspetto particolarmente evidente in settori, quali meccatronica, il tessile e l'agroalimentare. È necessaria una politica di sostegno nazionale al Made in Italy, in particolare a favore delle PMI che possono non avere le risorse e le competenze necessarie per collaborare in maniera efficace su tecnologie avanzate con catene di fornitura, partner e clienti esteri.
- **Contributo nazionale allo sviluppo e adozione di norme tecniche settoriali.** Promuovere e supportare la presenza organizzata e attiva degli attori nazionali nelle organizzazioni e nei gruppi di lavoro che elaborano standard tecnici, regolatori e di qualità supportando la partecipazione nelle opportune sedi europee e internazionali. Tale presenza consente non solo di tutelare le soluzioni innovative sviluppate dalle filiere nazionali, ma anche di mantenere un osservatorio privilegiato sulle scelte e gli indirizzi altrui, per essere pronti a offrire soluzioni congrue. Inoltre, la partecipazione attiva permette di diffondere alle PMI e alle reti di fornitura la normativa internazionale vigente e in fase di elaborazione, facilitando la loro tempestiva capacità di adattarsi e reagire alle evoluzioni normative.

• **Strumenti di controllo e monitoraggio nazionali.** Sarà utile dotarsi di strumenti nazionali di monitoraggio e previsione delle vulnerabilità basati su criteri comuni superando la diversità[3] tra definizione usate negli "aiuti di stato" da quella in uso nella ricerca precompetitiva. Essi dovranno operare lungo le catene del valore, per guidare tempestivamente le politiche industriali, commerciali e di investimento e gestire le conseguenze dei cambiamenti sul complesso della società, compreso il loro impatto sul mercato del lavoro, a beneficio dell'intero sistema industriale, massimizzando gli impatti degli investimenti.

Dimensione (almeno) europea. Il Rapporto evidenzia come la realizzazione della maggior parte degli scenari tecnologici descritti richieda una dimensione sovranazionale, condizione necessaria per generare un impatto industriale significativo e competere efficacemente con altri attori globali, sfruttando appieno le opportunità offerte dalla tecnologia e dal mercato. È infatti sempre più raro che una soluzione altamente innovativa possa produrre effetti industriali e sociali rilevanti se confinata a un mercato nazionale, o anche solo europeo, come dimostrano i casi dei settori dei trasporti, dell'energia rinnovabile (solare e idrogeno), del digitale, della microelettronica, della farmaceutica e della chimica.

La necessità di operare su una scala sovranazionale solleva però diverse questioni di rilievo per il sistema della ricerca industriale nazionale:

• **Valorizzare le migliori risorse tecniche, scientifiche e manageriali**, che non sempre sono disponibili all'interno di un singolo Paese, settore o entità. La sfida di integrare tecnologie eterogenee nel contesto complesso e interconnesso della società moderna richiede competenze e risorse che possono non essere disponibili nei confini nazionali.

• **Disponibilità di infrastrutture di ricerca, calcolo e simulazione, e di impianti di prova a scala reale.** Questi strumenti sono essenziali per lo studio e lo sviluppo di fenomeni e "prodotti", soprattutto i più complessi, ma giustificabili solo in un contesto sovranazionale, dove i costi, i tempi di utilizzo e le capacità tecniche possano essere ottimizzati.

• **Contributo alla definizione di standard tecnici e regolamenti di sicurezza validi a livello globale in aggiunta a quello nazionale.** Il "peso" tecnico, industriale e scientifico collettivo dei proponenti uno standard è cruciale: le proposte di poco "peso" rischiano di essere superate da quelle dei competitor globali, costringendo le entità europee a

[3v] *Le definizioni di "ricerca di base", ricerca applicata" e "sviluppo precompetitivo" usate da ISTAT e nelle iniziative legate alla normativa EU sugli "aiuti di Stato" non sono immediatamente confrontabili con la scala TRL usata in Horizon Europe ed in genere delle iniziative a sostegno della ricerca precompetitiva creando non piccole difficoltà nell'analisi degli impatti degli investimenti*

inseguire standard pensati per soddisfare soluzioni e tecnologie esterne.

• **Maggiori risorse finanziarie per sostenere sia la fase di sviluppo delle tecnologie e la loro introduzione sul mercato.** Un mercato più grande facilita l'adozione delle nuove soluzioni, coprendo i costi aggiuntivi derivanti dalla loro limitata maturità e dalle prestazioni che potrebbero differire rispetto alle soluzioni tradizionali.

Complementarità con le azioni EU. La dimensione europea necessaria a raggiungere l'eccellenza globale può però non garantire la tutela delle capacità nazionali appena "meno eccellenti" ma strategiche per il Paese tecnicamente, industrialmente o per impatto sociale. D'altra parte, il Paese deve conservare il vantaggio competitivo nei settori in cui esso è oggi leader.

È quindi essenziale avere un piano nazionale strutturato e flessibile, coordinato con i piani regionali da un lato e con quelli europei dall'altro, che permetta sia di colmare eventuali "gap" nazionali rispetto alle competenze e risorse UE sia di conservare le leadership acquisite. I due tipi di intervento sono molto diversi per contenuti, finalità e tempi di implementazione. Il Rapporto identifica nei vari settori molte aree appartenenti alle due tipologie che possono essere un riferimento per i decisori politici per identificare i contenuti dell'innovazione da sostenere.

Strumenti attuativi adeguati. La sola identificazione del "che cosa" fare, cioè i contenuti e i temi, non è sufficiente a raggiungere gli obiettivi desiderati. In campo europeo, e ancora di più in campo nazionale, il "come fare" richiede strumenti attuativi adeguati alle sfide. Le soluzioni attuative necessarie ai singoli settori e ai diversi stadi di maturità tecnologica richiedono strumenti diversi per intensità e regole di finanziamento, tempi di realizzazione, criteri di accesso e flessibilità nella determinazione delle attività e dei partner coinvolti. I costi e la catena del valore coinvolta (da università a grandi imprese passando per centri di ricerca privati e pubblici, SME e start-up, medie aziende) hanno competenze e capacità molto diverse e hanno bisogno di misure adatte e specifiche. In definitiva, è richiesto un sistema adattativo di supporto all'innovazione adatto allo stadio di maturità ed alle necessità del settore specifico. Il tema è stato ampiamente trattato da Airi nel documento strategico elaborato con i soci per il prossimo Programma Quadro della Ricerca EU (FP 10).

Formazione eccellente. L'analisi dei singoli settori e degli scenari tecnologici proposti evidenzia come lo sviluppo tecnologico in corso porti a cambiamenti significativi nei modelli di business, nel consumo e nei ruoli produttivi: le tecnologie avanzate non possono essere sviluppate e adottate senza risorse umane adeguatamente formate.
Emerge la necessità, complemento essenziale e imprescindibile agli investimenti in tecnologia, di garantire che i lavoratori acquisiscano competenze sulle nuove tecnologie e sui nuovi metodi di lavoro, con l'obiettivo di favorire l'adozione efficace dell'innovazione tecnologica nei processi produttivi e della gestione etica e legale dei dati e delle soluzioni proposte.
Saranno necessari corsi di alta formazione universitaria e programmi tecnico-specialistici e operativi che forniscano ai lavoratori e ai giovani gli strumenti necessari a gestire la complessità tecnica e industriale. Per raggiungere questo obiettivo le esperienze pubbliche e private dovranno collaborare in modo sostanziale, promuovendo un trasferimento bidirezionale di conoscenze. In Italia è cruciale superare le barriere che ancora separano i due mondi, adottando le prassi dei Paesi più innovativi dove è consolidata una stretta collaborazione tra il mondo accademico, le organizzazioni di ricerca, l'industria e le agenzie di regolamentazione.

La speranza è l'XI edizione de *Le Innovazioni del Prossimo Futuro* sia un utile strumento per **orientare le università, le aziende e le istituzioni, nonché per definire linee di ricerca coerenti con le priorità strategiche per il futuro del sistema industriale italiano**. Si auspica che queste strategie possano contribuire a consolidare le eccellenze esistenti e stimolare l'innovazione in aree capaci di generare ritorni significativi per la società. Allo stesso tempo, le indicazioni fornite nel Rapporto dovrebbero essere un punto di riferimento per le istituzioni pubbliche, affinché possano sviluppare un Programma Nazionale di Ricerca concreto ed efficace, nonché programmi operativi che rispondano concretamente alle necessità del settore industriale.

FOCUS: SETTORI, TECNOLOGIE E BREVETTI IN ITALIA

Con il contributo di Unioncamere-Dintec è stata realizzata un'analisi sull'andamento delle domande italiane di brevetto europeo nei settori ad alto impatto tecnologico trattati nel Rapporto, con l'obiettivo di fornire una misura concreta dell'attività scientifica e industriale in corso. I brevetti rappresentano infatti un indicatore prezioso – seppur parziale – della capacità innovativa di un sistema economico, permettendo di tracciare con chiarezza l'evoluzione delle traiettorie tecnologiche più rilevanti.

Il focus si concentra sull'analisi delle domande pubblicate nel triennio 2020–2022 a livello nazionale, integrando prospettive settoriali e tecnologiche, e ne esamina la distribuzione per dimensione d'impresa e per classi tecnologiche rilevanti. Viene inoltre dedicata attenzione al tema delle tecnologie per la sostenibilità ambientale e sociale, e delle collaborazioni inter-organizzative, e alle ricadute economiche associate all'attività brevettuale, mettendo in luce il ruolo centrale delle imprese – in particolare PMI – nella valorizzazione della ricerca attraverso strumenti di tutela della proprietà intellettuale.

Il quadro che emerge conferma non solo la centralità delle imprese innovative nel tessuto produttivo italiano, ma anche l'importanza di strumenti come i brevetti per misurare e promuovere lo sviluppo tecnologico. In questo contesto, iniziative come il progetto MIR – Matching Impresa Ricerca rappresentano un passo concreto per favorire il dialogo tra imprese e mondo della ricerca, contribuendo a rafforzare la capacità competitiva del Paese.

Per realizzare l'analisi, si è fatto riferimento alla banca dati Unioncamere-Dintec sulle domande italiane di brevetto europeo pubblicate (limitandoci al periodo 2020 -2022), integrata annualmente con dati provenienti da altre fonti del sistema camerale. Tra le informazioni reperibili, il codice ATECO permette di classificare le domande di brevetto secondo i principali settori economici nazionali. Ad esempio, attraverso il cross-matching tra i codici ATECO delle imprese titolari delle domande italiane di brevetto europeo pubblicate presso l'EPO e il cluster di codici ATECO associati ai dieci settori de "Le Innovazioni del Prossimo Futuro", è stato possibile ricavare un campione che denominiamo **"ATECO IPF (Innovazioni del Prossimo Futuro)" di 5.788 domande italiane di brevetto** pubblicate tra il 2020 e il 2022 presso l'EPO – con almeno un'impresa titolare

- secondo la procedura europea.

Tale selezione può essere confrontata con il dato complessivo, riferito al campione di tutte le imprese nazionali. Nel triennio 2020–2022, si ottiene un campione nazionale composto da 13.794 domande italiane di brevetto europeo pubblicate presso l'EPO, riferite ad almeno un'impresa titolare.

Dieci settori trattati nel Rapporto	Numero assoluto di brevetti EU (2020-2022)
AMBIENTE E TRANSIZIONE CIRCOLARE	3
CHIMICA E MATERIALI	406
EDILIZIA E COSTRUZIONI	162
ENERGIA	15
FARMACEUTICA	349
MECCATRONICA/MANIFATTURA AVANZATA	3316
MICROELETTRONICA E SEMICONDUTTORI	413
TECNOLOGIE DIGITALI	329
TRASPORTI E MOBILITA'	650
SPAZIO	145

Tabella 2 - Numero di brevetti europei (2020-2022) rispetto al campione ATECO relativo ai settori trattati nel Rapporto (ATECO IPF): mostra il numero assoluto di brevetti pubblicati presso l'Ufficio Europeo dei Brevetti (EPO) da imprese italiane operanti nei settori tecnologici considerati strategici per il futuro industriale del Paese[4].

Facendo un confronto a livello tecnologico, rispetto al campione nazionale, prevalgono le domande di brevetto per tecnologie meccaniche e per il comparto dei trasporti, pari circa al 40% delle domande pubblicate. Inoltre, si registra una crescita significativa di domande: nel 2022 si registra un aumento del 6,7% rispetto all'anno precedente (arrivando a 1.910 domande per questo ambito tecnologico).

[4] Ogni valore della banca dati Unioncamere-Dintec e, quindi, del campione ATECO – IPF è stato calcolato attribuendo una quota-parte di brevetto rispetto al numero di titolari. In altre parole, se indichiamo con n il numero di titolari, allora il brevetto avrà peso pari a 1/n (es. se un titolare, peso 1; se due titolari, peso 0,5; …), garantendo una più realistica quantificazione rigorosa delle domande italiane di brevetto europeo pubblicate rispetto al numero effettivo di titolari.

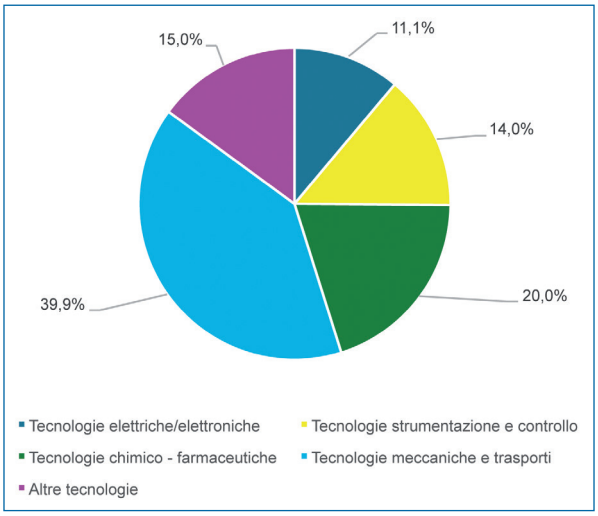


Figura 3: Distribuzione media dei brevetti per area tecnologica 2020-2022 rispetto al campione nazionale: illustra la ripartizione percentuale media dei brevetti pubblicati dalle imprese italiane tra il 2020 e il 2022, suddivisi per macrocategorie tecnologiche.

Nell'orizzonte temporale esaminato, aumentano anche le domande di brevetto sulle nuove tecnologie di strumentazione e controllo, e quelle relative all'elettricità e all'elettronica con una crescita media rispettivamente del 14% e dell'11,1%.

È interessante un approfondimento sui brevetti riguardanti le tecnologie per la sostenibilità ambientale e sociale, tema affrontato in numerosi dei settori trattati nel presente Rapporto, che mostra il crescente interesse industriale e scientifico per questi aspetti. Le domande italiane di brevetto riguardanti tecnologie green sono aumentate a livello nazionale, principalmente se legate alla gestione dei rifiuti che aumentano del 37%, e alle energie alternative, che nel 2022 registrano un aumento del 72% rispetto all'anno precedente. Importante anche la crescita registrata per le domande di brevetto relative alla gestione e al design dei prodotti sostenibili, cresciute rispettivamente dal 2021 al 2022 da 32 a 53 unità.

Settore "Green"	Numero di domande italiane di brevetto europeo pubblicate		
	2020	2021	2022
Energie alternative	45	32	55
Trasporti	32	48	40
Immagazzinamento energia	44	48	49
Gestione dei rifiuti	61	69	85
Agricoltura	0	4	6
Aspetti connessi con gestione, design e regolamentazione	38	32	53
Produzione di energia nucleare	0	2	2

Tabella 3 - Domande italiane di brevetto europeo per i settori "Green" 2020-2022: riporta il numero di domande di brevetto europeo pubblicate da imprese italiane nei principali ambiti tecnologici legati alla transizione ecologica nel triennio 2020-2022.

Ulteriori considerazioni ed analisi sono possibili ed estremamente interessanti, ma richiedono di esaminare i brevetti secondo classificazioni diverse da quelle associate ai settori trattati nel Rapporto che quindi non consentono un confronto immediato tra i diversi valori presentati.

Per approfondire l'analisi, è utile fare riferimento alla classificazione Internazionale dei brevetti (IPC – International Patent Classification) di WIPO, che consente di suddividere le invenzioni in categorie (o classi) tecnologiche ben definite. Tale classificazione non è connessa in maniera diretta a quella utilizzata per le tecnologie ad alto impatto socioeconomico analizzate nel presente Rapporto. Tuttavia, riteniamo rappresenti un utile dato di riferimento in relazione ad almeno alcuni degli scenari tecnologici (e delle tecnologie specifiche descritte in ciascuno scenario) trattate nel volume. Osserviamo le 10 categorie tecnologiche IPC che, nel triennio 2020-2022, hanno registrato il maggior numero di pubblicazioni a livello nazionale.

Domande italiane di brevetto europeo pubblicate per top 10 Classi IPC					
TOP 10 Classi IPC	**Descrizione Classe IPC**	**2020**	**2021**	**2022**	**Totale**
A61	MEDICAL OR VETERINARY SCIENCE; HYGIENE	448	489	544	1481
B65	CONVEYING; PACKING; STORING; HANDLING THIN OR FILAMENTARY MATERIAL	309	264	347	919
G01	MEASURING; TESTING	213	218	235	665
B60	VEHICLES IN GENERAL	227	232	206	664
A47	FURNITURE; DOMESTIC ARTICLES OR APPLIANCES; COFFEE MILLS; SPICE MILLS; SUCTION CLEANERS IN GENERAL	188	190	167	545
F16	ENGINEERING ELEMENTS OR UNITS; GENERAL MEASURES FOR PRODUCING AND MAINTAINING EFFECTIVE FUNCTIONING OF MACHINES OR INSTALLATIONS; THERMAL INSULATION IN GENERAL	175	181	169	525
B29	WORKING OF PLASTICS; WORKING OF SUBSTANCES IN A PLASTIC STATE IN GENERAL	113	126	142	381
A01	AGRICULTURE; FORESTRY; ANIMAL HUSBANDRY; HUNTING; TRAPPING; FISHING	118	106	147	370
H01	ELECTRIC ELEMENTS	120	119	131	369
G06	COMPUTING; CALCULATING OR COUNTING	80	97	150	327

Tabella 4 - Domande italiane di brevetto europeo per le 10 principali classi IPC (2020-2022): presenta le dieci classi IPC con il maggior numero di domande di brevetto europeo pubblicate dai richiedenti italiani nel triennio 2020-2022

In cima alla classifica si colloca la classe A61, relativa alle scienze mediche, veterinarie e all'igiene che, con un totale di 544 domande nel 2022, mostra una crescita costante nel triennio, riflettendo probabilmente l'impatto della pandemia, che ha stimolato ingenti investimenti in ricerca biomedica, dispositivi medici e soluzioni igienico-sanitarie.

Segue la classe B65, che comprende tecnologie per il confezionamento, il trasporto e lo stoccaggio di materiali. Con 347 brevetti pubblicati nel 2022, il settore si conferma strategico, soprattutto in relazione alla logistica, al packaging sostenibile e all'automazione industriale.
Le classi G01 (misurazione e collaudo) e B60 (veicoli in generale) sono quasi equivalenti in termini di domande complessive (665 e 664). La prima indica un'attenzione crescente verso la precisione e il controllo nei processi produttivi, mentre la seconda testimonia il peso del settore automotive, con un interesse indirizzato alla mobilità elettrica e alle tecnologie intelligenti per i trasporti.
Anche la classe A47, che riguarda articoli domestici e arredi, risulta particolarmente attiva (167 brevetti), segnalando come il design e la funzionalità degli ambienti domestici rappresentino un ambito fertile per l'innovazione. Invece, tecnologie di natura più tecnica e ingegneristica si ritrovano nella classe F16 (componenti e soluzioni per il funzionamento delle macchine), con 169 brevetti, a conferma del legame forte tra industria manifatturiera e sviluppo tecnologico.
Completano la top 10 alcune classi più specialistiche: B29 (lavorazione delle materie plastiche), A01 (agricoltura e attività correlate), H01 (componenti elettrici), e G06, che riguarda il calcolo, la computazione e l'informatica. Quest'ultima, pur chiudendo la classifica con 150 brevetti, mostra un significativo incremento tra 2020 e 2022, a testimonianza della crescita dell'innovazione digitale e dell'intelligenza artificiale anche in Italia.

Analizzando la distribuzione delle domande italiane di brevetto europeo pubblicate in relazione alla dimensione d'impresa, emerge un altro quadro particolarmente interessante, soprattutto quando l'attenzione si concentra sui settori del Rapporto (quindi, sul campione ATECO-IPF) e sulle dieci classi IPC più rilevanti a livello nazionale. Questo tipo di analisi permette di mettere in luce come le diverse tipologie di imprese – piccole, medie e grandi – si posizionino rispetto alle aree tecnologiche più strategiche, rivelando approcci distinti all'innovazione e alla tutela della proprietà intellettuale.

Nel triennio 2020–2022, emerge con chiarezza come le imprese grandi (250 o più addetti)

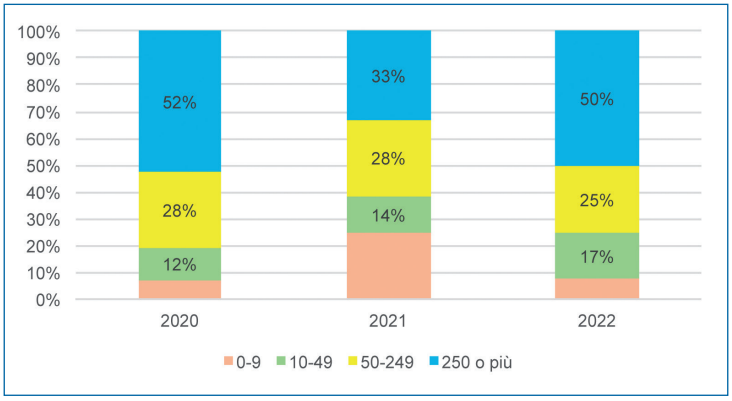


Figura 4: Domande italiane di brevetto europeo per classe dimensionale di impresa (numero di addetti) 2020-2022, rispetto al campione ATECO relativo ai settori trattati nel Rapporto (ATECO IPF): rappresenta la distribuzione percentuale delle domande di brevetto europeo pubblicate da imprese italiane suddivise per fascia di numero di addetti (0-9, 10-49, 50-249, 250 o più nel triennio 2020-2022

abbiano avuto un ruolo predominante nella presentazione di domande di brevetto europeo, rappresentando mediamente il 45% del totale. Solo nel 2020, la loro incidenza superava il 50%, mentre nei due anni successivi è risultata intorno al 33% e al 50%. Questo andamento conferma che le grandi imprese dispongono di maggiori risorse economiche, infrastrutturali e umane da destinare all'innovazione, oltre a una cultura brevettuale più consolidata. Le medie imprese (50–249 addetti) rappresentano il secondo gruppo più attivo, con un'incidenza media del 27%, segno che anche nella fascia intermedia della struttura produttiva italiana vi è un investimento importante in ricerca e sviluppo. Le piccole imprese (10–49 addetti) mantengono una quota stabile intorno al 14%, mentre le microimprese (0–9 addetti), pur crescendo in modo significativo nel 2021 (25%), mostrano un'incidenza complessiva più bassa, pari mediamente al 13%.

Se si analizzano le stesse dimensioni d'impresa rispetto alla TOP 10 classi IPC del campione nazionale, emergono differenze significative tra settori tecnologici:

- nella classe A61 (scienze mediche e igiene), il contributo delle microimprese (0–9 dipendenti) è sorprendentemente elevato (35%), a dimostrazione di una certa vivacità

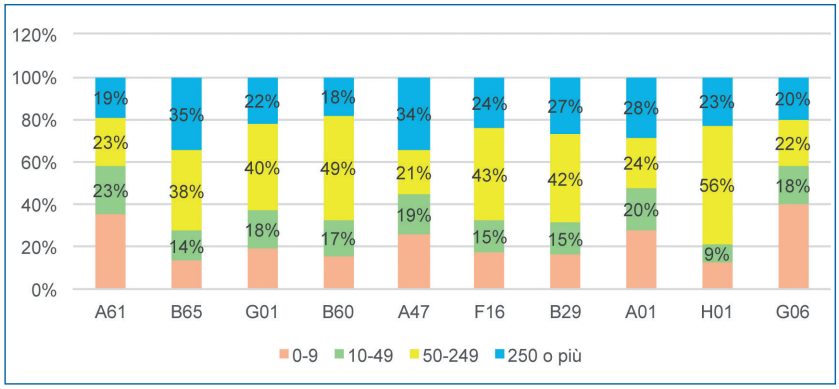


Figura 5: Domande italiane di brevetto europeo per top 10 classi IPC e classe dimensionale d'impresa (2020-2022) rispetto al campione nazionale : mostra la distribuzione percentuale delle domande di brevetto europeo pubblicate dalle imprese italiane, suddivise per le prime 10 classi IPC (International Patent Classification9 e per fascia dimensionale in base al numero di addetti.

anche tra realtà piccole e innovative, probabilmente legate a startup o spin-off accademici;

- al contrario, settori come B65 (confezionamento, movimentazione) e B60 (veicoli in generale) mostrano un peso maggiore delle grandi imprese, rispettivamente con un'incidenza del 35% e del 49%. Si tratta di ambiti dove l'innovazione è spesso integrata in catene produttive complesse, tipiche di aziende strutturate;
- interessante è il dato della classe H01 (elementi elettrici), dove il 56% delle domande proviene da imprese medie (50–249 addetti), segnalando un comparto in cui la media impresa riesce ad avere un peso tecnologico rilevante, forse grazie alla specializzazione tecnica.
- infine, la classe G06 (informatica e calcolo) è quella in cui le microimprese risultano protagoniste assolute: il 40% delle domande proviene da aziende con meno di 10 dipendenti. Questo riflette probabilmente la natura "leggera" ma altamente innovativa del settore digitale, spesso animato da startup, software house e realtà flessibili.

In molti casi la collaborazione tra diversi soggetti è importante per lo sviluppo di una domanda di brevetto. Nell'ambito della brevettazione contitolata (ovvero un brevetto con più di un titolare), è evidente come le imprese siano l'hub che apre a possibili contitolarità dove sono presenti tutti gli altri soggetti:

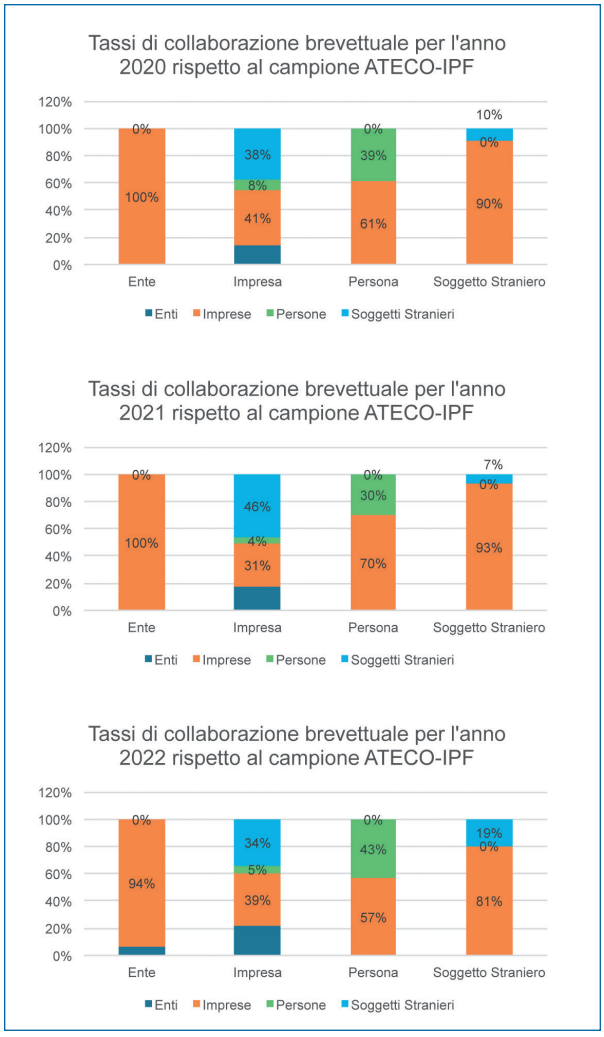


Figura 6-6-7: Tassi di collaborazione brevettuale per soggetto 2020-2022: rappresenta la composizione percentuale delle collaborazioni brevettuali in Italia nel triennio 2020-2022, suddivise per tipologia di soggetti coinvolti (enti, imprese, persone fisiche, soggetti stranieri) rispetto al campione ATECO relativo ai settori trattati nel Rapporto (ATECO IPF)

Gli enti collaborano quasi esclusivamente con le imprese, anche se nel 2022 si registra una lieve apertura verso soggetti esteri (6%). Viceversa, le persone fisiche mantengono relazioni forti con le imprese. Da notare inoltre che eventuali effetti di emersione delle collaborazioni tra enti potrebbero emergere a partire dai dati del 2025 per effetto dell'abolizione del così detto "professor privilege" nel 2023.

È evidente come le imprese di piccola e media dimensione sono quelle potrebbero trarre maggior beneficio dalle collaborazioni con gli enti di ricerca, per poter velocemente avere accesso a competenze e network internazionali cui le grandi imprese hanno già accesso grazie ai propri dipartimenti di ricerca e sviluppo. Unioncamere, con il supporto di Dintec, all'interno della collaborazione con il CNR e il coinvolgimento di CNIT, CREA, ENEA, Politecnico di Torino, ha introdotto il progetto MIR (Matching Impresa Ricerca) che ha proprio l'obbiettivo di far incontrare le imprese con i team di ricerca (si veda Box).

Un aspetto centrale per comprendere il valore dell'innovazione tecnologica nel sistema produttivo nazionale è l'analisi delle ricadute economiche generate dalle imprese italiane che hanno depositato brevetti europei , in particolare in riferimento agli scenari tecnologici prioritari individuati nel presente Rapporto.

Partendo dalle imprese brevettanti e dai valori della produzione di ciascuna impresa è interessante notare che il totale del valore della produzione di queste imprese risulta essere pari a 362 miliardi di euro per i tre anni. Andando a considerare le sole imprese brevettanti nei settori delle Tecnologie Prioritarie (pari al 37% delle imprese brevettanti del campione nazionale), si nota che queste imprese incidono per quasi il 50% del valore della produzione totale.

Nota: valori di riferimento per le imprese trovate nel registro imprese	Valore della Produzione (2020-2022) (B€) legati ai settori de "Le Innovazioni del Prossimo Futuro" al netto di un'impresa presa singolarmente			
	2020	**2021**	**2022**	**TOTALE**
Nazionale	103.671	120.669	137.758	362.098
TP (Settori)	51.291	58.624	66.773	176.688
Incidenza TP	49,5%	48,6%	48,5%	48,8%

Tabella 5 - Valore della produzione delle imprese italiane dei settori del Rapporto "Le Innovazioni del Prossimo Futuro" rispetto al totale nazionale 2020-2022: presenta il valore della produzione delle imprese attive nei settori trattati dal Rapporto, confrontato con il valore totale della produzione nazionale nel triennio 2020-2022, al netto di un'impresa considerata singolarmente. Dati sul valore della produzione Infocamere - Elaborazioni Dintec.

Osservando il peso economico attribuibile alla popolazione dei brevetti rientranti nella TOP 10 Classi IPC del campione nazionale, emerge che – oltre a rappresentare i segmenti tecnologici più significativi in termini di brevetti – tali classi contribuiscono significativamente alla produzione industriale.

Valore della Produzione (B€) delle TOP 10 Classi IPC al netto di un'impresa presa singolarmente					
TOP 10 Classi IPC	**Descrizione Classe IPC**	**2020**	**2021**	**2022**	**Totale**
A01	AGRICULTURE; FORESTRY; ANIMAL HUSBANDRY; HUNTING; TRAPPING; FISHING	4,3	4,8	5,6	14,7
A47	FURNITURE; DOMESTIC ARTICLES OR APPLIANCES; COFFEE MILLS; SPICE MILLS; SUCTION CLEANERS IN GENERALL	8,3	7,6	8,6	24,5
A61	MEDICAL OR VETERINARY SCIENCE; HYGIENE	15,0	15,0	16,4	46,4
B29	WORKING OF PLASTICS; WORKING OF SUBSTANCES IN A PLASTIC STATE IN GENERAL	4,8	5,8	6,2	16,8
B60	VEHICLES IN GENERAL	5,6	6,7	7,6	19,9
B65	CONVEYING; PACKING; STORING; HANDLING THIN OR FILAMENTARY MATERIAL	13,4	12,5	15,2	41,1
F16	ENGINEERING ELEMENTS OR UNITS; GENERAL MEASURES FOR PRODUCING AND MAINTAINING EFFECTIVE FUNCTIONING OF MACHINES OR INSTALLATIONS; THERMAL INSULATION IN GENERAL	9,6	11,4	12,4	33,4
G01	MEASURING; TESTING	12,2	15,8	16,8	44,8
G06	COMPUTING; CALCULATING OR COUNTING	5,5	6,0	6,6	18,1
H01	ELECTRIC ELEMENTS	7,3	9,2	9,8	26,3

Tabella 6 - Valore della produzione delle imprese italiane nelle Top 10 classi IPC (2020-2022): mostra il valore della produzione generato dalle imprese italiane appartenenti alle dieci principali classi tecnologiche IPC (International Patent Classification) nel triennio 2020-2022, al netto di un'impresa considerata singolarmente. Dati sul valore della produzione Infocamere - Elaborazioni Dintec.

PROGETTO MIR: MATCHING IMPRESA E RICERCA

In un contesto italiano caratterizzato da un utilizzo ancora limitato e disomogeneo degli strumenti di tutela industriale specialmente per le imprese di più piccole dimensioni, risulta fondamentale promuovere iniziative capaci di colmare il divario tra sistema produttivo e mondo della ricerca. Le piccole e medie imprese sono quelle che maggiormente potrebbero trarre beneficio dalle collaborazioni con gli enti di ricerca, per poter avere un accesso più veloce a competenze e network internazionali cui le grandi imprese hanno già accesso grazie ai propri dipartimenti di ricerca e sviluppo. In tale ambito, Unioncamere, grazie al supporto tecnico della società in house Dintec, all'interno dell'accordo quadro Unioncamere-CNR, ha sviluppato la metodologia **MIR - Matching Impresa e Ricerca**[5] che nasce proprio per avvicinare le micro, piccole e medie imprese (MPMI) italiane al mondo della ricerca, promuovendo innovazione e sviluppo tecnologico. MIR vede oggi la partecipazione dei principali enti di ricerca italiani CNR, ENEA, CREA, CNIT e il Politecnico di Torino.

La metodologia si basa sul supporto che gli uffici delle Camere di Commercio possono dare alle imprese nel definire il proprio fabbisogno tecnologico attraverso un processo di analisi condiviso, successivamente - grazie ad una piattaforma digitale e a procedure condivise con i Team di ricerca afferenti ai centri di ricerca e università aderenti –, il fabbisogno è analizzato dai ricercatori e in caso vi siano possibili percorsi di risoluzione di comune interesse, viene organizzato un incontro per verificarne l'effettiva fattibilità tecnica ed economica.

Dal suo avvio oltre 175 team di ricerca hanno visionato le schede portando a oltre 40 incontri e match positivi. Queste collaborazioni possono permettere alle imprese di avviare percorsi di ricerca che potrebbero portare alla creazione di innovazioni e magari di brevetti, e ai ricercatori di avviare nuovi filoni di attività e di attivare possibili nuovi canali di finanziamento delle proprie attività di ricerca.

[5] *Sito di riferimento MIR: https://mir.unioncamere.it/*

METODOLOGIA

L'approccio seguito per la realizzazione del Rapporto è incentrato sulle attività del Gruppo di Lavoro dedicato costituito da Airi e si può illustrare mediante tre fasi principali, riportate di seguito

Gruppo di Lavoro Tecnologie Prioritarie di Airi

Le attività sono iniziate con la scelta dei coordinatori dello studio, indicativamente due per settore, nominati in accordo con il Consiglio Direttivo di AIRI e il conseguente aggiornamento dei membri del Gruppo di Lavoro (GdL) *Tecnologie Prioritarie* coordinato da AIRI. Il GdL si è arricchito nel tempo con gli esperti selezionati dai coordinatori.

Nel suo complesso, il Rapporto è stato realizzato grazie all'impegno diretto per oltre due anni di 180 esperti soci e non soci, che nel loro insieme hanno competenze approfondite e riconosciute in relazione sia ai settori produttivi sia alle diverse tecnologie trattate.

1.Selezione delle tecnologie e degli esperti

Il Gruppo di Lavoro, composto inizialmente dai coordinatori, ha avviato una prima analisi per la selezione delle tecnologie da approfondire-. Sono state considerate diverse fonti, tra cui piani strategici di sviluppo industriale e documenti di policy europei e nazionali in materia di ricerca e innovazione.

Le tecnologie individuate nelle precedenti edizioni (principalmente la decima edizione del 2020) 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).

Il coinvolgimento della base associativa ha consentito di raccogliere suggerimenti utili alla definizione del nuovo catalogo tecnologico e alla selezione degli esperti da coinvolgere.

In questa fase sono stati inoltre definiti la struttura generale del Rapporto, le linee guida per la redazione dei contributi, i modelli di analisi e i contenuti attesi. I risultati ottenuti hanno consentito di associare gli esperti alle tecnologie e ai settori di riferimento.

2. Elaborazione dei profili di settore e degli scenari tecnologici.

Lavorando a livello settoriale, è stata elaborata una versione sintetica degli scenari tecnologici. Il Board dei coordinatori ha supervisionato il programma di attività e fornito suggerimenti sulle scelte prese a livello settoriale. Il processo è stato iterativo: durante l'analisi è stato possibile rivedere, eliminare o aggiungere tecnologie ed includere, ove necessario, altri esperti. Il risultato della seconda fase è stata una prima versione del profilo di settore e degli scenari tecnologici.

3. Revisione e integrazione

Il Gruppo di Lavoro ha condotto una revisione complessiva dei contenuti, sia sotto il profilo tecnico-scientifico sia editoriale. L'obiettivo era garantire arricchire e garantire la coerenza tra i diversi scenari tecnologici, individuando eventuali sovrapposizioni e valorizzando le possibili sinergie. Si è inoltre cercato, per quanto possibile data la diversità dei temi trattati e le differenti esigenze in termini di dettaglio e tempistiche, di conferire alla pubblicazione un'impostazione il più possibile omogenea.

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 è svolto in un periodo di circa due anni (da metà 2023 a metà 2025).

I coordinatori e i membri dei gruppi di lavoro settoriali sono riportati nelle prime pagine dei capitoli relativi a ciascuno dei diversi settori.

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),
- politica ed economica (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 (tempo atteso per lo sviluppo e applicazione delle tecnologie)
- 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.

Ove opportuno, si è infine considerata nella scelta anche la sintonia con le linee europee di ricerca e sviluppo tecnologico. La relazione tra le scelte tecnologiche nazionali e quelle europee è di particolare rilievo. Da un lato, le scelte nazionali devono perseguire e consolidare le eccellenze nazionali e individuare e sostenere iniziative utili a colmare eventuali divari scientifici, tecnologici e industriali nei settori individuati come più rilevanti per il Paese. Dall'altro, come detto, l'orizzonte della ricerca tecnologica nei prossimi anni richiede risorse molto rilevanti scientifiche, umane, industriali e infrastrutturali che hanno bisogno di una dimensione almeno europea.

La definizione delle tecnologie tracciata da Airi è avvenuta attraverso un'analisi strutturata, fondata su criteri di impatto, urgenza e coerenza con le politiche nazionali ed europee di ricerca e innovazione. L'analisi si orienta verso la crescente integrazione del sistema nazionale di ricerca e innovazione nel contesto europeo, considerata essenziale per affrontare la complessità dei bisogni sociali emergenti e la crescente competizione tecnologica globale. Tale traiettoria rafforza il sistema produttivo europeo e nazionale, favorendo lo sviluppo di soluzioni tecnologicamente avanzate, sostenibili e socialmente

responsabili.
Airi dedica crescente attenzione al rafforzamento delle connessioni con il contesto europeo, partecipando a progetti cooperativi su scala comunitaria e contribuendo con idee e proposte all'elaborazione del prossimo Programma Quadro per la Ricerca e l'Innovazione. L'obiettivo è promuovere iniziative di ricerca e innovazione ben strutturate, con impatti significativi.

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
L'analisi dei temi è stata condotta tenendo conto dei limiti di estensione del volume complessivo e dell'impegno richiesto, considerando anche la natura volontaria della partecipazione degli esperti coinvolti.
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.
Sono stati utilizzati dati tratti da una selezione di fonti bibliografiche, sia pubbliche sia interne alle aziende e ai centri di ricerca coinvolti, scelte per rappresentare in modo significativo i settori analizzati. L'obiettivo non è stato l'esaustività, ma la solidità e la rilevanza dell'analisi condotta.
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 e imprecisioni.

PROFILI DI SETTORE

AMBIENTE ED ECONOMIA CIRCOLARE

AMBIENTE ED ECONOMIA CIRCOLARE

PROFILI DI SETTORE

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

ENEA	**Claudia Brunori**

ESPERTI

ENEA	**Daniela Claps, Rovena Preka**

AMBIENTE ED ECONOMIA CIRCOLARE

SCENARI TECNOLOGICI

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

ENEA	**Claudia Brunori**

ESPERTI

ACQUA E SOLE- NEORISORSE SRL	**Federica Barone, Andrea Giordano**
BAIC AGRO ITALIA	**Henrique Oliveira, Veronica Menendez**
CEREAL DOCKS	**Enrico Costanzo**
CERTIMAC	**Luca Laghi, Simone Bandini**
CETMA	**Alessandro Marseglia, Antonella Tarzia, Doriana Cristofaro**
CLAN- CLUSTER AGRIFOOD NAZIONALE	**Cristina Di Domizio**
ENEA	**Roberto Balducchi, Tiziana Beltrani, Daniela Claps, Nicola Colonna, Silvia Di Fabio, Alessia Fiore, Gabriella Fiorentino, Danilo Fontana, Marco La Monica, Michela Langone, Gian Paolo Leone, Luigi Petta, Rovena Preka, Riccardo Tuffi**
GRUPPO ACEA SPA	**Giancarlo Cecchini, Alessandro Frugis, Giulia Sagnotti**
GRUPPO CAP	**Roberto Di Cosmo, Davide Scaglione**
NATURALIA INGREDIENTS	**Veronica Vallini**
NVNOVA SRL	**Sabino Sinesi**
PIRELLI	**Luca Giannini**
SMILAB	**Fabio Chiesa**
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA E INSTM	**Elza Bontempi**

L'AMBIENTE E L'EMERGENZA CLIMATICA

Il 2025 inizia con un nuovo record negativo: gennaio è stato il mese più caldo mai registrato (+2,51°C sopra la media), come rivelato dal Servizio Copernicus[1], il programma di osservazione della Terra di Agenzia Spaziale Europea (ESA) e Commissione Europea. La temperatura globale ha segnato +1,75°C rispetto ai livelli preindustriali (e +0,79°C rispetto alla media 1991-2020), proseguendo l'andamento del 2024, l'anno più caldo di sempre.
Infatti, il 2024 ha comportato un superamento della soglia di 1,5°C in più della temperatura media globale rispetto al periodo preindustriale, il limite più importante deciso dall'Accordo di Parigi sul clima.
Secondo un'analisi di sei set di dati internazionali utilizzati dall'OMM[2], la temperatura media globale dell'aria della superficie, da gennaio a settembre 2024, è stata di 1,54°C al di sopra della media preindustriale. Il rapporto è stato pubblicato il primo giorno della Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, la COP29 di Baku, in Azerbaigian,
Secondo i dati di Copernicus, il 2024 è stato di 0,12°C più caldo rispetto al 2023 ed è stato di 0,72°C più caldo rispetto alla media del periodo 1991-2020. Tutti i mesi da gennaio a giugno del 2024 sono stati più caldi degli stessi mesi negli anni precedenti, da quando si raccolgono questi dati. Agosto è stato pressoché caldo come agosto 2023 e i restanti mesi del 2024 sono stati i secondi più caldi rispetto ai corrispondenti del 2023. Nel complesso, gli ultimi dieci anni sono stati i più caldi mai registrati.

Il 2024 ha visto temperature globali senza precedenti, in seguito al notevole calore del 2023. È anche diventato il primo anno con una temperatura media nettamente superiore di 1,5 °C rispetto al livello preindustriale, una soglia stabilita dall'accordo di Parigi per ridurre significativamente i rischi e gli impatti del cambiamento climatico. Sono stati battuti molteplici record globali, per i livelli di gas serra e per la temperatura dell'aria e della superficie del mare, contribuendo a eventi estremi, tra cui inondazioni, ondate di calore e incendi boschivi. Questi dati evidenziano gli impatti accelerati del cambiamento climatico causato dall'uomo,

[1] https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024

[2] https://library.wmo.int/idurl/4/69075

con altissimi costi in termini di perdite di vite umane, ma anche economiche e finanziarie.

La Figura evidenzia le anomalie climatiche significative del 2024 rispetto al periodo 1991-2020[3]. Nel 2024, 11 mesi su 12 e circa il 75% dei giorni hanno mostrato temperature medie globali dell'aria in superficie superiori di oltre 1,5 °C rispetto ai livelli preindustriali.

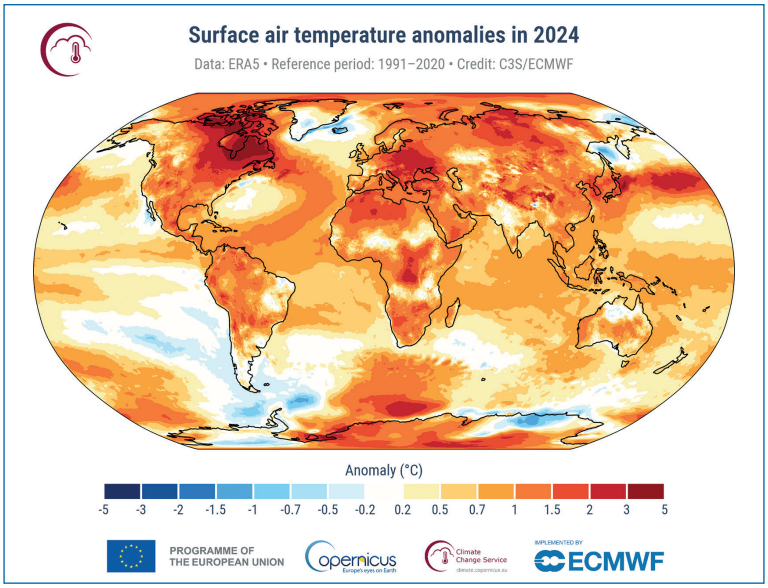


Figura 1: Anomalie nella temperatura, 2024
(Fonte: C3S/ECMWF, The 2024 Annual Climate SummaryGlobal Climate Highlights 2024[4])

La comunità scientifica è fermamente risoluta nell'affermare che il surriscaldamento globale a cui assistiamo sia di origine antropica e che le conseguenze di questo fenomeno abbiano un impatto devastante sull'economia, la società e l'ambiente. A questa crisi climatica si aggiunge anche l'emergenza della perdita di biodiversità; fenomeni strettamente connessi tra loro, che minacciano il benes-

[3] *Copernicus climate change (C3s): https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023*

[4] *https://climate.copernicus.eu/copernicus-2024-first-year-exceed-15degc-above-pre-industrial-level*

sere e la sopravvivenza stessa delle generazioni attuali e future.
Secondo il Living Planet Report (WWF, 2022), che esplora proprio la natura di queste connessioni, l'uso e il consumo eccessivo del suolo resta ancora la più grande minaccia attuale, costituendo la causa della distruzione e frammentazione degli habitat naturali di molte specie vegetali e animali sulla terraferma, nelle acque dolci e nel mare. Tuttavia, se l'aumento medio delle temperature supererà 1,5°C, è probabile che il cambiamento climatico diventi la causa principale della perdita di biodiversità nei prossimi decenni. L'aumento delle temperature sta già determinando eventi di mortalità di massa, nonché le prime estinzioni di specie.
L'indice di integrità della biodiversità[5] stima quanta biodiversità originariamente presente nelle comunità ecologiche terrestri rimanga in media; relativamente all'anno 2020 l'indice riporta una media globale del 77%, con enormi differenze all'interno della superficie terrestre. Il Living Planet Index (LPI) globale 2022 (uno dei principali indicatori dello stato della biodiversità biologica a livello globale[6]) mostra un calo medio del 69% nell'abbondanza delle popolazioni monitorate tra il 1970 e il 2018.
Il LPI globale, tuttavia, non fornisce un quadro completo della situazione: ci sono differenze nei trend di abbondanza tra le regioni, con i maggiori declini nelle aree tropicali, confermando quindi che alcune aree saranno maggiormente interessate dalla perdita di biodiversità rispetto ad altre.
Nonostante 30 anni di impegni politici per fermare la perdita di biodiversità, si continuano a osservare cali simili a quelli mostrati negli anni precedenti. L'aumento delle temperature medie di 1,5°C comporterà una perdita del 70-90% dei coralli, mentre si prevede che un riscaldamento di 2°C causerà una perdita di oltre il 99%.

Ad oggi, gli sforzi per fermare la perdita di biodiversità non hanno avuto il risultato atteso: nessuno dei 20 obiettivi di Aichi[7] per la biodiversità per il 2020 è stato

[5] L'indice di integrità della biodiversità (Biodiversity Intactness Index) è un indicatore che misura la quantità di biodiversità originale presente in una regione. Si tratta di un indicatore a lungo termine che valuta la salute della biodiversità in percentuale. Si basa sul confronto tra lo stato attuale di un ecosistema e la sua condizione originaria. Serve a monitorare la biodiversità e l'impatto delle attività umane sugli habitat. Serve a tracciare l'evoluzione della biodiversità nel tempo.

[6] https://www.livingplanetindex.org/ Global Climate Highlights 2024 | Copernicus The 2024 Annual Climate Summary Global Climate Highlights 2024

[7] Convention on Biological Diversity, Strategic Plan 2011-2020, Aichi targets (https://www.cbd.int/sp/targets), ripresi dalla European Union Biodiversity Strategy (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=legissum:ev0029)

pienamente raggiunto, e in alcuni casi la situazione nel 2020 è risultata peggiore rispetto al 2010. Le foreste sono molto importanti per la regolazione del clima terrestre e dell'anidride carbonica, tant'è che si stima che tra il 2001 ed il 2019 ne abbiano assorbito dall'atmosfera circa 7,6 gigatonnellate all'anno, ovvero circa il 18 % delle emissioni di carbonio causate dall'uomo. Nonostante ciò, ogni anno vengono persi circa 10 milioni di ettari di foreste, un'area grande quanto il Portogallo (WWF, 2022).

D'altra parte, anche il raggiungimento degli obiettivi di Parigi (COP25, 2015), in particolare quello di mantenere l'aumento della temperatura sotto i 2°C, sembra essere a rischio. Le misure prese finora saranno in grado di "fermare" l'aumento a 2-3°C, e forse più, ed è probabile che l'obiettivo di 1,5°C verrà superato prima del 2030.

Il surriscaldamento globale è in grado di cambiare anche il modo in cui funzionano gli ecosistemi, tramite un processo chiamato "feedback climatico positivo", che consiste nell'attivare processi ecologici che nel tempo causano un maggiore riscaldamento. Questi processi ecologici, se dovessero raggiungere un punto critico, potrebbero diventare irreversibili, con un conseguente surriscaldamento a ritmi molto più elevati degli attuali. Queste dinamiche sono ben descritte nella sintesi aggiornata degli impatti del cambiamento climatico sulle specie selvatiche e sugli ecosistemi in cui vivono pubblicata dall' Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 6th assessment report, 2023).

LA QUESTIONE DELLE RISORSE E DELL'USO DEI MAERIALI

L'uso di combustibili fossili, l'abbattimento delle foreste e l'allevamento del bestiame, i trasporti, l'edilizia ed il patrimonio costruito sono tra le attività con emissioni climalteranti di maggior rilievo ed hanno un impatto sempre più forte sul clima e sulla temperatura del pianeta. Tuttavia, anche l'estrazione e l'uso dei materiali impatta fortemente sul cambiamento climatico.
Il nostro **attuale sistema economico può essere considerato una "economia lineare"**, costruita su un modello di estrazione di materie prime dalla natura, trasformazione in prodotti, utilizzo e successivo scarto come rifiuti. Questo modello economico ha un impatto significativo sull'ambiente e contribuisce alle crisi del clima, della biodiversità e dell'inquinamento: l'economia lineare basata sulla logica "prendere-usare-gettare" è dispendiosa, estrattiva, antieconomica e responsabile in larga misura del cambiamento climatico e dell'esaurimento delle risorse. Non preserviamo in maniera adeguata, né usiamo in maniera efficiente le risorse naturali sulle quali si fonda la nostra qualità di vita: acqua, suolo, aria, bio-risorse, risorse minerarie.

Dagli anni '70 del Novecento la popolazione mondiale è più che raddoppiata e il PIL globale è quadruplicato, richiedendo quindi grandi quantità di risorse naturali per alimentare lo sviluppo economico e il benessere umano.

I dati globali mostrano che negli ultimi cinquant'anni l'**utilizzo di materiali** è sempre cresciuto, non c'è stato un periodo prolungato di stabilizzazione o di declino della domanda globale di materiali. Infatti, nel periodo 1970-2017, l'estrazione globale annuale di materiali è cresciuta da 27,1 a 92,1 miliardi di tonnellate, con una crescita media annua del 2,6%. Il nuovo millennio ha inaugurato un forte aumento del fabbisogno materiale globale, che è cresciuto del 2,3% annuo nel periodo 1970-2000, e poi ha accelerato al 3,2% annuo tra 2000 e 2017 (IRP, 2019). La crescita della domanda materiale globale è stata in gran parte guidata da importanti investimenti in infrastrutture e dall'aumento del tenore di vita nei paesi in via di sviluppo e in transizione, soprattutto in Asia (Schandl & West, 2010). Seb

bene si sia verificato un breve rallentamento nel tasso di crescita della domanda di materiali tra il 2008 e il 2010 a causa della crisi finanziaria globale, ciò ha chiaramente avuto un impatto molto limitato sulla traiettoria complessiva.
Secondo il report del 2022 di Circle Economy (Circularity Gap Report 2022), nei sei anni tra la Conferenza del clima tenuta a Parigi COP25 (2015) e la COP26 di Glasgow (2021), sono state estratte altre 70% di materie prima dall'economia globale. Oltretutto, questo persistente uso intensivo del materiale e la continua ricerca di crescita economica non hanno portato ad una riduzione della disoccupazione e delle disuguaglianze (CGR, 2022).
Gran parte delle emissioni di gas serra (GHG) è direttamente o indirettamente collegata alla gestione dei materiali. Questi provengono dalla combustione di combustibili fossili per produrre energia, dall'agricoltura, dal settore manifatturiero e dall'edilizia. L'aumento dell'estrazione e dell'uso dei materiali contribuisce ad un aumento globale delle emissioni di gas serra; si stima che le emissioni totali raggiungeranno le 75 Gt di CO_2-eq. entro il 2060, di cui la gestione dei materiali costituirebbe circa 50 Gt CO_2-eq (OECD,2018).

Anche gli impatti ambientali dei **metalli** a livello globale sono gravi e diversificati. L'analisi del ciclo di vita dell'estrazione e della produzione globale di sette metalli (ferro, alluminio, rame, zinco, piombo, nichel e manganese) e di due **materiali da costruzione** (cemento, sabbia e ghiaia) mostra un'ampia gamma di conseguenze ambientali: impatti significativi sull'acidificazione, il cambiamento climatico, la domanda cumulativa di energia, l'eutrofizzazione, la tossicità per l'uomo, l'uso del suolo, la riduzione dello strato di ozono, l'ossidazione fotochimica e l'ecotossicità acquatica e terrestre (OECD, 2018).
Si stima che entro il 2060 gli impatti ambientali globali derivanti dall'uso di questi metalli saranno più che raddoppiati, e in alcuni casi addirittura quadruplicati, nonostante i continui miglioramenti in termini di efficienza, che riducono gli impatti ambientali per unità di produzione.
Rispetto ai metalli, il cemento, la sabbia e la ghiaia hanno un impatto per chilo

molto inferiore, ma il loro volume di utilizzo è enorme. Questi materiali sono particolarmente associati agli impatti dei cambiamenti climatici e all'ossidazione fotochimica, che ha gravi effetti sulla salute.
I sette metalli e i due materiali da costruzione insieme rappresentano quasi un quarto di tutte le emissioni di gas serra e un sesto della domanda cumulativa di energia (OECD 2018).
Il report quinquennale del "Global resources outlook" 2024[8], segnala come, dall'edizione del 2019, le tendenze crescenti nell'utilizzo delle risorse globali siano continuate o accelerate. Infatti, si riporta che il consumo globale delle risorse potrebbe aumentare del 60% nei prossimi 35 anni in seguito all'industrializzazione, all'urbanizzazione e all'andamento della crescita della popolazione registrato negli ultimi 50 anni.
Questi ritmi, diventati ormai insostenibili per il pianeta, non possono più essere sostenuti dal solo cambiamento delle modalità in cui produciamo: è invece necessario e i**ndispensabile ridurre la domanda delle materie prime**.
D'altra parte, considerando la diversa concentrazione geografica delle risorse primarie nel pianeta, le filiere di approvvigionamento e quindi i mercati di molti materiali, strategicamente importanti per i sistemi di produzione e la fornitura di servizi essenziali, si sono inevitabilmente globalizzati. Di conseguenza, i prezzi per queste risorse a livello locale sono in gran parte determinati dagli eventi mondiali, e riflettono quindi i prezzi e la volatilità del mercato globale. La pandemia del COVID19 e le recenti crisi in Ucraina ed Israele hanno reso evidente la fragilità delle economie globalizzate, soprattutto quelle dipendenti dalle importazioni delle materie prime.

IL PROBLEMA DELLE MATERIE PRIME CRITICHE

L'attenzione dell'Europa sul tema delle materie prime nasce circa 15 anni fa con l'Iniziativa Europea sulle Materie Prime del 2008. Da allora, sono stati messi in funzione diversi strumenti operativi per affrontare il tema dell'approvvigionamento sicuro e sostenibile delle materie prime, secondo un approccio basato

[8] *https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook-2024*

su 3 pilastri principali:

- Estrazione primaria sostenibile
- Riciclo
- Sostituzione

In particolare, sono state inoltre individuate le materie prime cosiddette critiche, ovvero quelle materie prime necessarie per il sistema produttivo dei Paesi Europei il cui approvvigionamento è dipendente da Paesi extra europei a rischio di instabilità geo politica. Tale lista è stata elaborata la prima volta nel 2011 con individuazione di 14 Materie Prime Critiche e successivamente aggiornata ogni tre anni, fino ad arrivare a 34 Materie Prime Critiche identificate nel 2023.
Il contesto geopolitico attuale ha acuito la **criticità delle catene di approvvigionamento di numerose materie** prime indispensabili non solo per la transizione energetica e digitale, ma anche per la sicurezza nazionale.
Per materie prime critiche si intendono quelle non alimentari e non energetiche i cui problemi di approvvigionamento, di carattere politico, commerciale e ambientale, rendono prioritario un cambio di strategia economica e un forte aggiornamento tecnologico.

La maggior parte delle materie prime critiche è importata quasi al 100% da territori extra europei e prodotte in pochi Paesi, spesso instabili dal punto di vista geopolitico, che ne determinano il mercato a livello globale. Si tratta di materie prime fondamentali per la transizione energetica, per la mobilità elettrica, per la transizione digitale, la difesa e l'aerospazio, e la loro domanda è in costante aumento.
L'UE ha quindi la necessità di diversificare e ridurre la propria dipendenza dal petrolio e dal gas importati ed accelerare i propri obiettivi per la transizione energetica. Questo processo sta richiedendo un massiccio aumento dell'energia eolica e del fotovoltaico (PV), delle batterie e dell'idrogeno per immagazzinare l'elettricità e alimentare i veicoli, e delle pompe di calore per il riscaldamento e il raffrescamento ad alta efficienza energetica. Tutto ciò porta con sé una nuova domanda di materie prime critiche e strategiche, molte delle quali sono anche richieste per

le tecnologie necessarie per soddisfare le strategie dell'UE per la digitalizzazione, la difesa e l'aerospazio.

Nei prossimi decenni il più elevato aumento relativo alla domanda di materie prime critiche è previsto nel settore della mobilità elettrica.
Le tecnologie rilevanti che contribuiscono a questo settore sono le batterie, le celle a combustibile e i motori di trazione[9]. I materiali strategici più importanti per le batterie sono litio, grafite, cobalto, nichel e manganese; gli elementi delle terre rare, ovvero disprosio, neodimio, praseodimio e terbio, sono utilizzati nei magneti permanenti dei motori di trazione; e il platino è utilizzato nelle celle a combustibile. Le terre rare sono anche materiali fondamentali per i magneti utilizzati nelle turbine eoliche e nelle tecnologie ICT; il platino compare anche negli elettrolizzatori e nelle tecnologie ICT. Rispetto al 2020, si prevede che la domanda di litio per batterie nell'UE aumenterà di 12 volte nel 2030 e di 21 volte nel 2050. A livello globale, l'aumento rispetto al 2020 è di 18 volte nel 2030 e di 90 volte nel 2050. Un andamento simile si riscontra per la grafite (naturale e sintetica). Per il platino, la tendenza è analoga a livello globale, mentre nell'UE la crescita per quest'ultimo dovrebbe essere più elevata: 30 volte nel 2030 e 200 volte nel 2050 rispetto al 2020. Entro il 2050, la domanda globale di litio e grafite per batterie raggiungerà il 19,5%: 9 volte l'attuale offerta globale, rispettivamente. Per il platino l'impatto è più moderato, con una domanda globale nel 2050 per tutte le tecnologie pari a 0,6 volte l'attuale offerta globale (JRC, 2023).

[9] *Gli scenari tecnologici legati a questi aspetti sono trattati principalmente nei volumi Le Innovazioni del prossimo futuro dedicati ad Energia e decarbonizzazione e Trasporti e mobilità*

POLITICHE E NORME A SUPPORTO DELL'ECONOMIA CIRCOLARE

LE POLITICHE DELL'UNIONE EUROPEA PER L'AMBIENTE E I CAMBIAMENTI CLIMATICI

Nel novembre 2019 il Parlamento europeo ha dichiarato l'emergenza climatica chiedendo alla Commissione europea di assicurare che tutte le proposte fossero in linea con l'obiettivo di limitare il riscaldamento globale al di sotto di 1,5°C e ridurre in modo significativo le emissioni di gas a effetto serra.

La Commissione Europea ha presentato il **Green Deal europeo (2019)**, una nuova strategia di crescita mirata a trasformare l'UE in una società giusta e prospera, dotata di un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva, che nel 2050 non genererà emissioni nette di gas a effetto serra, e in cui la crescita economica sarà dissociata dall'uso delle risorse.

Il Green Deal europeo, parte integrante della strategia europea per attuare l'Agenda 2030 e gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite, mette in evidenza la necessità di un approccio olistico e intersettoriale e, attraverso una tabella di marcia per raggiungere la neutralità climatica in Europa entro il 2050, individua azioni chiave riguardanti: clima, ambiente, energia, trasporti, industria, agricoltura e finanza sostenibile, tutti settori fortemente interconnessi.

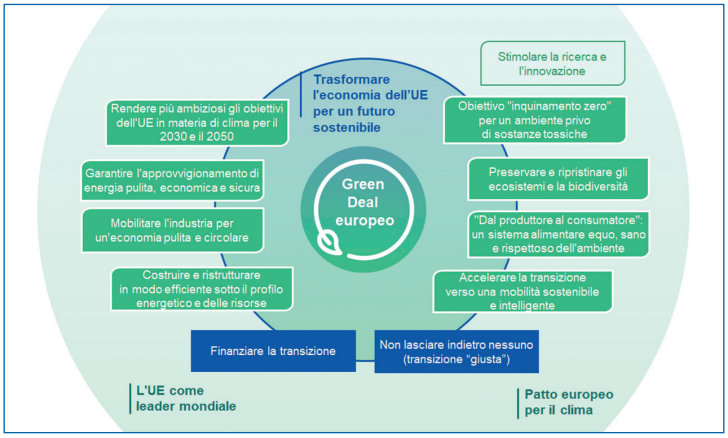


Figura 2: Il Green Deal europeo (Fonte: COM(2019) 640 final)

Il Green Deal europeo indica la strada verso una profonda trasformazione, anche con strategie di riferimento, come quelle in materia di biodiversità (Strategia sulla biodiversità per il 2030), di sistemi di approvvigionamento alimentare equi e sani (Strategia *from farm to fork*) e di sostanze chimiche sostenibili (Strategia in materia di sostanze chimiche sostenibili).
Nel quadro del Green Deal, con l'obiettivo di sostenere la duplice transizione verso una economia verde e digitale, l'UE ha adottato una nuova **Strategia industriale per l'Europa (2020)**, aggiornata nel 2021, e un nuovo **Piano d'azione per l'economia circolare (2020)** che prevede una serie di iniziative, strettamente collegate, destinate a istituire un quadro strategico in cui i prodotti, i servizi e i modelli di business e consumo sostenibili, costituiscono la norma. Nel 2021, la Commissione Europea ha poi presentato la nuova **Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici** con la quale delinea una visione a lungo termine affinché l'UE diventi, entro il 2050, una società resiliente ai cambiamenti climatici e del tutto adeguata ai loro inevitabili impatti. Alla Strategia ha fatto seguito l'emanazione della prima **legge europea** sul clima, con cui gli Stati membri si sono impegnati a ridurre le emissioni nette di gas a effetto serra nell'UE di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, e il pacchetto di proposte **"Pronti per il 55 %" (Fit for 55)** che mira a tradurre in normativa le ambizioni del Green Deal attraverso la revisione di alcuni provvedimenti legislativi e il lancio di nuove iniziative in settori strategici (clima, energia e combustibili, trasporti, edilizia, uso del suolo e silvicoltura). Le nuove proposte del Fit for 55 includono: la Strategia forestale dell'UE. il meccanismo di regolazione del carbonio alle frontiere **(CBAM)** conosciuto anche come 'carbon tax', il **Fondo sociale per il clima**, la proposta ReFuelEU Aviation sui carburanti per l'aviazione sostenibile e la proposta FuelEU Maritime per rendere più green lo spazio marittimo europeo. Gli aggiornamenti proposti dalla Fit for 55 hanno invece interessato: la direttiva sul Sistema di scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nell'**UE (EU ETS)**, il Regolamento sull'uso del suolo, il cambiamento di uso del suolo e la silvicoltura **(LULUCF)**, il Regolamento sulla condivisione degli sforzi (ESR), la Direttiva

sulle energie rinnovabili **(RED)**, la Direttiva sull'efficienza energetica **(EED)** e la Direttiva sulle infrastrutture per i combustibili alternativi **(AFID)**.

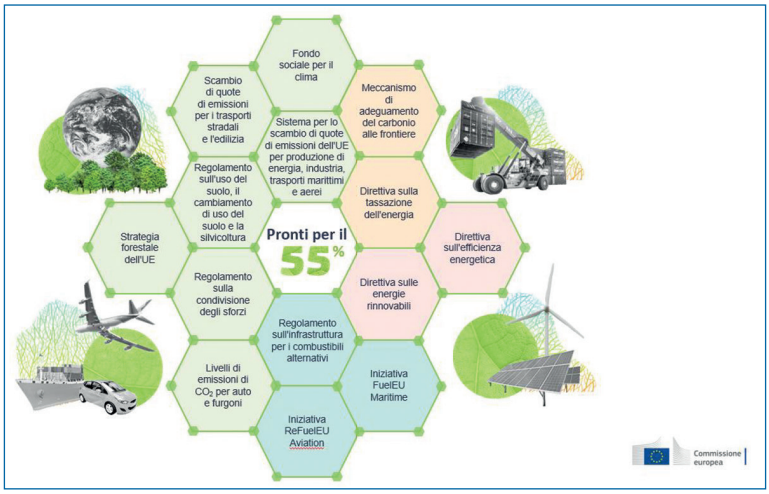


Figura 3: Pacchetto di proposte "Pronti per il 55%" (Fonte: COM(2021) 550 final)

La revisione del regolamento LULUCF, in particolare, si presenta come strettamente interconnessa al più recente Regolamento UE sulla deforestazione e sul degrado forestale, alla nuova Strategia dell'UE per le foreste per il 2030, alla Strategia dell'UE per il suolo per il 2030 e al Regolamento UE sul ripristino della natura che, attraverso specifiche misure, mira a ripristinare almeno il 20% delle zone terrestri e marine dell'UE entro il 2030 e tutti gli ecosistemi che necessitano di ripristino entro il 2050.

Per dirigere l'UE verso l'inquinamento zero, in stretta sinergia con il nuovo Piano d'azione per l'economia circolare, la Commissione europea ha adottato nel 2021 un **Piano d'azione per l'inquinamento zero** con una visione integrata per il 2050 che include un elenco di 33 azioni volte a ridurre l'inquinamento alla

fonte e a stabilire una serie di obiettivi da raggiungere in prima battuta entro il 2030, seguita dal **Piano industriale del Green Deal per l'era a zero emissioni nette** (2023) che mira ad accelerare la trasformazione a zero emissioni nette dell'industria e dal **Net-Zero Industry Act** che istituisce un quadro di misure per rafforzare l'ecosistema europeo di produzione di prodotti delle tecnologie a zero emissioni nette, fissando per l'Europa l'obiettivo di produrre il 40% del suo fabbisogno annuo di tecnologie a zero emissioni nette entro il 2030, sulla base di piani nazionali per l'energia e il clima (PNEC), e di raggiungere il 15% del valore del mercato globale per tali tecnologie entro il 2040.

Con la Corporate **Sustainability Reporting Directive – CSRD,** che amplia e sostituisce la precedente direttiva sulla rendicontazione non-finanziaria (NFRD), l'UE stabilisce invece requisiti più stringenti per la comunicazione delle informazioni di sostenibilità, promuovendo una maggiore trasparenza e responsabilità da parte delle aziende mentre con la Corporate **Sustainability Due Diligence Directive (CSDDD)** impegna le imprese a identificare e affrontare gli effetti negativi delle loro attività sui diritti umani e sull'ambiente nel pieno rispetto dei fattori ESG.

Sul piano degli investimenti, per garantire il conseguimento degli obiettivi previsti dal Green Deal europeo, la Commissione si è impegnata a mobilitare almeno mille miliardi di euro di investimenti pubblici e privati per i successivi dieci anni[10].



Figura 4: I quattro pilastri del Piano industriale del Green Deal per l'era a zero emissioni nette (Fonte: Commissione europea)

Il 30% del bilancio pluriennale dell'UE (2021-2028) e dello strumento unico dell'UE **NextGenerationEU** (NGEU)[11] per la ripresa è stato destinato agli investimenti green. I Paesi dell'UE, inoltre, dovranno destinare almeno il

[10] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_48

[11] https://next-generation-eu.europa.eu/index_it

37% dei finanziamenti ricevuti nell'ambito del ***Recovery and Resilience Facility*** da 672,5 miliardi di euro a investimenti e riforme che supportano gli obiettivi climatici. La Commissione europea intende inoltre raccogliere il 30% dei fondi in ambito NGEU con l'emissione di obbligazioni verdi. Altre risorse provengono dalla politica di coesione dell'UE (**FESR e Fondo di coesione**)[12] e dal Piano di investimenti per un'Europa sostenibile (SEIP), che include il meccanismo per una transizione giusta (**Just Transition Mechanism**)[13]. Quest'ultimo, per alleviare l'impatto socioeconomico della transizione, fornisce un supporto mirato per mobilitare circa 55 miliardi, nel periodo 2021-2027, attraverso un nuovo Fondo per una transizione giusta (**Just transition fund**), il programma InvestEU per una "transizione giusta" e una nuova linea di credito per il settore pubblico. Infine, il piano **REPowerEU**[14] (2023), un'iniziativa della Commissione europea che revisiona il Regolamento RRF (dispositivo per la ripresa e la resilienza) con l'obiettivo di ridurre la dipendenza europea dai combustibili fossili russi e accelerare la transizione verde attraverso il risparmio di energia, gli investimenti nelle energie rinnovabili e la diversificazione dell'approvvigionamento energetico. Le modifiche al RRF hanno consentito agli Stati membri di aggiungere capitoli dedicati al REPowerEU nei rispettivi piani per la ripresa e la resilienza e finanziare specifiche misure di investimento e di riforma. Tra gli strumenti che mirano a stimolare gli investimenti del settore privato verso i progetti green si citano infine le misure di finanza sostenibile, incluso il **Regolamento sulla Tassonomia**[15] che ha introdotto una classificazione delle attività che possono essere considerate sostenibili in base all'allineamento agli obiettivi ambientali dell'Unione Europea e al rispetto di alcune clausole di carattere sociale.

[12] https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/93/coesione-economica-sociale-e-territoriale
Si veda anche il Regolamento (UE) 2021/1060 recante le disposizioni comuni applicabili al Fondo europeo di sviluppo regionale, al Fondo sociale europeo Plus, al Fondo di coesione, al Fondo per una transizione giusta, al Fondo europeo per gli affari marittimi, la pesca e l'acquacoltura, e le regole finanziarie applicabili a tali fondi e al Fondo Asilo, migrazione e integrazione, al Fondo sicurezza interna e allo Strumento di sostegno finanziario per la gestione delle frontiere e la politica dei visti. Con particolare attenzione agli obiettivi climatici, il Regolamento (UE) 2021/1060 rende esplicito come i fondi dovrebbero contribuire all'integrazione delle misure per il clima e al conseguimento dell'obiettivo generale del 30 % della spesa di bilancio dell'Unione a favore degli obiettivi climatici.

[13] https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-mechanism_en

[14] https://www.consilium.europa.eu/it/policies/repowereu/



Figura 5: e azioni a sostegno del Green Deal europeo – Le azioni (Fonte: Commissione europea)

LA NORMATIVA EUROPEA SULLE MATERIE PRIME CRITICHE

Con l'adozione nel 2024 del Regolamento sulle materie prime critiche (Critical Raw Materials Act – CRMA), l'Unione Europea mira a migliorare il funzionamento del mercato interno, istituendo un quadro atto a garantire l'accesso dell'Unione ad un approvvigionamento sicuro, resiliente e sostenibile di materie prime critiche (CRM), anche favorendo l'efficienza e la circolarità lungo tutta la catena del valore. Per raggiungere questo obiettivo generale il CRMA stabilisce misure volte a diversificare le importazioni dell'UE per ridurre le dipendenze strategiche, migliorare la capacità dell'UE di monitorare e attenuare i rischi di perturbazioni dell'approvvigionamento di materie prime critiche, rafforzare la circolarità e la sostenibilità.

Il Regolamento presenta un elenco di 34 materie prime critiche (lista V) di cui 17 considerate strategiche (SRM) in quanto essenziali per la transizione verde e digitale, nonché per la difesa e lo spazio. Entro il 24 maggio 2027, e successivamente almeno ogni tre anni, la Commissione riesaminerà e, se necessario, aggiornerà, l'elenco delle materie prime critiche.

[15] *https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en?etrans=it&prefLang=it*

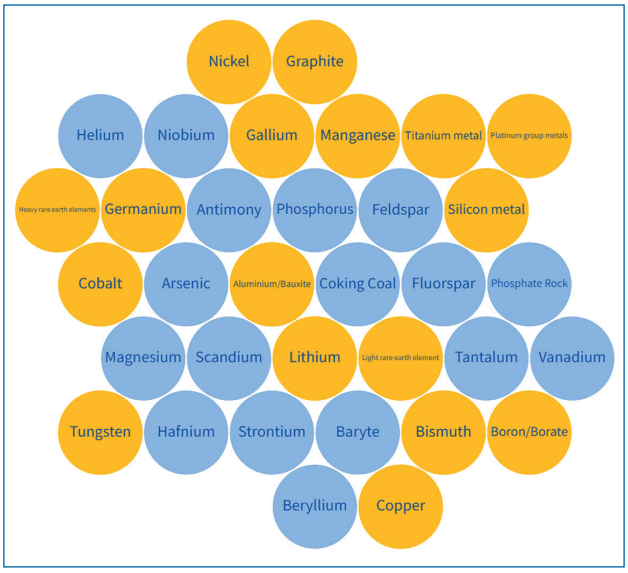


Figura 6: Materie prime critiche e strategiche (in arancione) (Fonte: European Council (2024)

Il CRMA fissa per l'Unione Europea i seguenti obiettivi al 2030:

- almeno il 10% del consumo annuo di SRM deve provenire da estrazioni all'interno dell'UE
- almeno il 40% del consumo annuo di SRM deve provenire da trasformazione all'interno dell'UE
- almeno il 25% del consumo annuo di SRM deve provenire da riciclaggio interno.

Le importazioni di materie prime dovranno essere diversificate e non più del 65% del consumo annuo dell'Unione di ciascuna materia prima strategica, in qualsiasi fase della lavorazione, potrà provenire da un unico Paese terzo. Entro il 1°gennaio 2027, la Commissione Europea dovrà invece adottare un atto delegato per stabilire parametri di riferimento per la capacità di riciclaggio dell'Unione espressi in termini di quota delle materie prime strategiche disponibili nei pertinenti flussi di rifiuti.

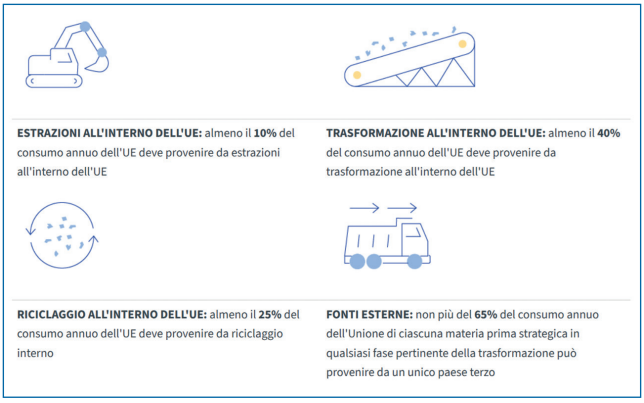


Figura 7: Obiettivi per il 2030 del CRM Act(Fonte: European Council (2024)

Il CRMA prevede inoltre sostegno nell'accesso ai finanziamenti per i cosiddetti progetti "strategici", in grado di contribuire alla sicurezza dell'approvvigionamento di materie prime strategiche nell'Unione, e stabilisce punti di contatto unico a livello nazionale, procedure più snelle e termini da non superare per il rilascio delle relative autorizzazioni (27 mesi per i progetti strategici che prevedono l'estrazione, 15 mesi per i progetti strategici che prevedono esclusivamente la trasformazione o il riciclaggio). Le domande per il riconoscimento di un progetto come "strategico" dovranno essere presentate nell'ambito di un invito aperto, pubblicato dalla Commissione Europea, con date di scadenza regolari.

Altre misure previste dal CRMA sono destinate invece a contribuire al rafforzamento delle diverse fasi della catena del valore: i Programmi nazionali di esplorazione generale per le CRM e i minerali vettori di CRM; il Monitoraggio e la preparazione delle imprese ai rischi; il Sistema di aggregazione della domanda di SRM delle imprese interessate stabilite nell'Unione; i Programmi nazionali contenenti misure sulla circolarità; il recupero di materie prime critiche dai rifiuti di estrazione.

Sul piano della governance, il CRMA istituisce il **Comitato europeo per le materie prime critiche**, composto da rappresentanti degli Stati membri e della Com-

missione europea, incaricato di fornire consulenza alla Commissione in merito alla selezione dei progetti strategici e ad altri aspetti del regolamento.

IL PIANO D'AZIONE EUROPEO PER L'ECONOMIA CIRCOLARE

Nel marzo 2020, la Commissione Europea ha presentato un nuovo Piano d'azione per l'economia circolare (CEAP) che stabilisce un programma orientato al futuro per costruire un'Europa più pulita e competitiva.
Il CEAP, in linea con il Green Deal europeo, evidenzia che la circolarità è un elemento essenziale di una trasformazione più ampia dell'industria verso la neutralità climatica e la competitività a lungo termine e, ai fini della sua promozione, annuncia misure legislative e non legislative (35 azioni) che mirano a:

- assicurare lo sviluppo di prodotti sostenibili e la circolarità dei processi produttivi
- responsabilizzare i consumatori
- adottare politiche mirate per settori specifici che fanno ingente uso di risorse e presentano un elevato potenziale di circolarità (elettronica e TIC, batterie e veicoli, imballaggi, plastica, prodotti tessili, edilizia, prodotti alimentari, acqua e sostanze nutritive).
- ridurre i rifiuti, anche agevolando la simbiosi industriale con l'istituzione di un sistema di comunicazione e certificazione promosso dall'industria.

Nel marzo 2022 è stato pubblicato dalla Commissione Europea il primo pacchetto di proposte di misure nell'ambito del CEAP che mira al potenziamento dei prodotti sostenibili, la responsabilizzazione dei consumatori per la transizione verde, la revisione del regolamento sui prodotti da costruzione e una strategia sui tessili sostenibili.

Un secondo pacchetto (novembre 2022) ha incluso misure relative agli imballaggi e rifiuti da imballaggio, un nuovo quadro politico per fare chiarezza per consumatori e industrie sulle plastiche biodegradabili, compostabili e biobased,

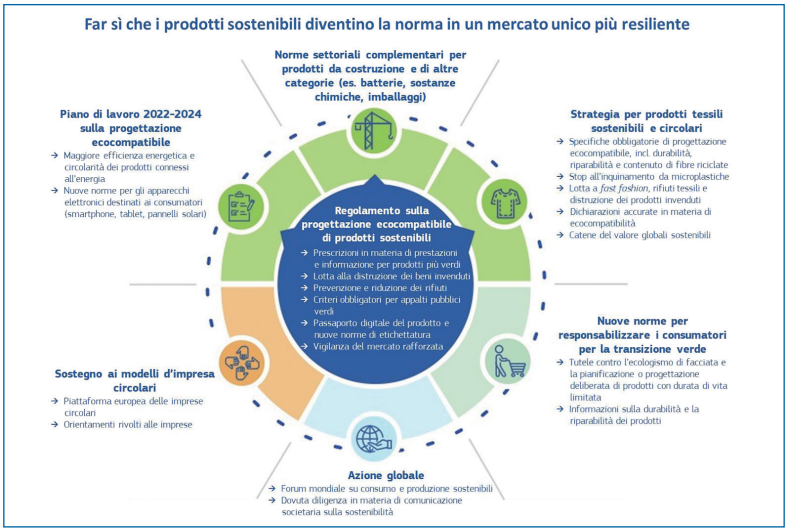


Figura 8: «Prodotti sostenibili: dall'eccezione alla regola» (Fonte: COM (2022) 140 final)

e una proposta di regolamento per un quadro normativo per i certificati di assorbimento del carbonio.
Un terzo pacchetto di misure (marzo 2023) ha proposto misure per regolamentare le dichiarazioni ecologiche delle aziende e garantire il diritto alla riparazione dei prodotti. Nell'ambito del CEAP, la Commissione ha proposto, inoltre, la revisione della Direttiva quadro sui rifiuti, per promuovere la gestione sostenibile dei rifiuti tessili e alimentari, nonché la revisione delle norme sugli inquinanti organici persistenti (POP) per ridurre la quantità di sostanze chimiche pericolose nei rifiuti e nei processi di produzione, e l'istituzione di un sistema di certificazione a livello europeo per l'eliminazione del carbonio.

Nell'ambito del CEAP sono state adottate dall'UE politiche chiave per settori specifici: il nuovo Regolamento sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio; il nuovo Regolamento sulle batterie e rifiuti di batterie; il Quadro strategico dell'UE in materia di plastica biologica, compostabile e biodegradabile; il nuovo Regolamento sui

prodotti da costruzione, la revisione del Regolamento relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele (CLP), la nuova Direttiva sul trattamento delle acque reflue urbane, il nuovo Regolamento relativo alla spedizione dei rifiuti, il Regolamento sulle materie prime critiche. A queste politiche, si aggiunge il riesame della direttiva sulle emissioni industriali, che mira a sostenere le industrie nel loro impegno a conseguire l'obiettivo inquinamento zero entro il 2050 e la Direttiva sulla responsabilizzazione dei consumatori per la transizione verde affinché i consumatori possano prendere decisioni di acquisto più consapevoli e contribuire in tal modo a modelli di consumo più sostenibili.

Delle misure annunciate nell'ambito del nuovo Piano d'azione europeo per l'economia circolare, l'iniziativa sui prodotti sostenibili o "*Sustainable Product Iniziative*"è sicuramente tra le più significative e il Regolamento sulla progettazione ecocompatibile di prodotti sostenibili (ESPR, Ecodesign for Sustainable Products Regulation) ne costituisce la colonna portante.

Considerato che il modo in cui un prodotto è progettato determina fino all'80% del suo impatto ambientale nel ciclo di vita[16], con l'ESPR l'UE mira a definire un quadro volto a fissare specifiche di progettazione ecocompatibile e obblighi di informazione per quasi tutte le categorie di beni fisici immessi sul mercato dell'Unione, così da ottenere un miglioramento della loro circolarità, prestazione energetica e degli altri aspetti legati alla sostenibilità ambientale. Le specifiche dei prodotti saranno introdotte attraverso atti delegati della Commissione europea seguendo piani di lavoro pluriennali (il primo sarà pubblicato ad aprile 2025), per consentire alla Commissione di effettuare un'attenta valutazione dei settori in cui c'è maggiore necessità di un'azione normativa.

In aggiunta alle specifiche di progettazione, l'ESPR prevede che tutti i prodotti disciplinati dall'ESPR siano muniti di un passaporto digitale del prodotto che consente di contraddistinguerli e identificarli e rimanda alle informazioni pertinenti sulla circolarità e la sostenibilità. L'ESPR consentirà inoltre all'UE di stabilire prescrizioni in materia di etichettatura, ad esempio in relazione alla riparabilità dei

[16] *EcoDesign your future: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4d42d597-4f92-4498-8e1d-857cc157e6db*

prodotti, obiettivo per il quale l'UE ha recentemente adottato una Direttiva sul diritto alla riparazione che mira ad estendere la durata di vita dei prodotti, ridurre i rifiuti e promuovere un'economia più sostenibile e circolare.

A seguito della adozione da parte del Consiglio europeo (giugno 2024) dell'agenda strategica 2024-2029 che stabilisce le priorità e gli orientamenti strategici dell'UE per il ciclo istituzionale 2024-2029, orientando quindi i lavori delle istituzioni dell'UE, anche la Commissione europea ha stabilito le 7 priorità[17] del suo nuovo mandato annunciando tra gli obiettivi una normativa per accelerare la decarbonizzazione industriale, sostenendo le industrie e le imprese nella transizione, e l'emanazione di nuova normativa sull'economia circolare (EU Circular Economy Act) per contribuire a generare la domanda di materiali secondari sul mercato e creare un mercato unico dei rifiuti, in particolare per le materie prime critiche.



Figura 9: Le priorità della Commissione Europea 2024-2029 (Fonte: Commissione Europea)

[17] *Priorità 2024-2029 della Commissione Europea: https://commission.europa.eu/priorities-2024-2029_it*

ECONOMIA CIRCOLARE

Sappiamo quindi che serve un cambiamento trasformazionale, ovvero un cambiamento che modifichi radicalmente il modo in cui si produce e si consuma, la tecnologia e i sistemi economici e finanziari.
È necessario un approccio basato sul pensiero sistemico che possa affrontare la complessità, gestire l'incertezza, bilanciare i compromessi e limitare gli effetti di rimbalzo. L'Economia Circolare si contrappone all'attuale modello economico basato su un uso lineare delle risorse che è alla base delle grandi crisi ambientali ed economiche degli ultimi anni e si pone proprio l'obiettivo di cambiare il paradigma di sviluppo e passare da un modello "end of pipe" a quello della chiusura dei cicli.

L'Economia Circolare si può definire come un **modello economico innovativo basato su un approccio rigenerativo e collaborativo, incentrato sull'uso e gestione più efficiente delle risorse** (Figura10)**; è un sistema di utilizzo delle risorse a più livelli che prevede la chiusura completa di tutti i cicli delle risorse.**
Il riciclo e altri mezzi che ottimizzano la portata e la direzione dei flussi di risorse contribuiscono all'economia circolare sostenendo pratiche e attività. Nella sua forma concettuale perfetta, tutti i cicli delle risorse saranno completamente chiusi. Nella sua forma realistica e imperfetta, un certo utilizzo delle risorse vergini è inevitabile (Figge et al., 2023).
Questo nuovo modello implica necessariamente anche profondi cambiamenti a livello di politiche e modelli di produzione e consumo, basati sulla valorizzazione del capitale economico, naturale e sociale, e che quindi debbono vedere coinvolti il sistema industriale e il tessuto sociale.
L'Economia Circolare crea un contesto favorevole allo sviluppo di innovazioni e dà alle imprese la possibilità di realizzare nel contesto della transizione ecologica e del piano di azione europeo per l'economia circolare considerevoli vantaggi economici e di competitività, oltre a promuovere la resilienza alle attuali crisi geopolitiche accorciando le catene di approvvigionamento e consentendo di ideare soluzioni nuove e creative lungo tutta la catena del valore, di risparmiare risorse ed energia e di creare occupazione, apportando benefici per l'ambiente e l'integrazione sociale.

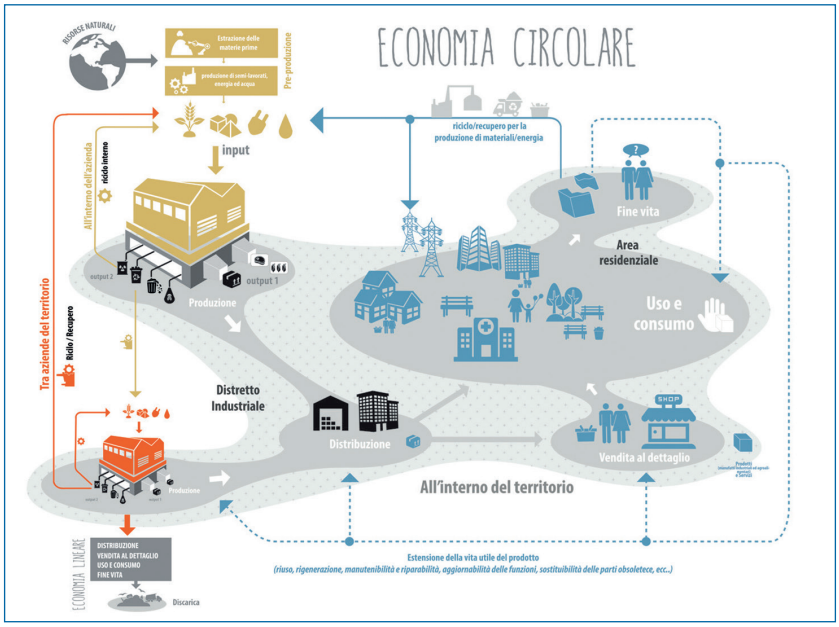


Figura 10: Modello dell'Economia Circolare (Fonte: elaborazione ENEA)

Questo nuovo modello implica necessariamente anche profondi cambiamenti a livello di politiche e modelli di produzione e consumo, basati sulla valorizzazione del capitale economico, naturale e sociale, e che quindi debbono vedere coinvolti il sistema industriale e il tessuto sociale.

L'Economia Circolare crea un contesto favorevole allo sviluppo di innovazioni e dà alle imprese la possibilità di realizzare nel contesto della transizione ecologica e del piano di azione europeo per l'economia circolare considerevoli vantaggi economici e di competitività, oltre a promuovere la resilienza alle attuali crisi geopolitiche accorciando le catene di approvvigionamento e consentendo di ideare soluzioni nuove e creative lungo tutta la catena del valore, di risparmiare risorse ed energia e di creare occupazione, apportando benefici per l'ambiente e l'integrazione sociale.

La transizione verso un modello economico circolare è già avviata, anche se spesso si scontra purtroppo con l'attuale sistema organizzativo, che è ancora basato su un approccio lineare. **Una transizione di successo necessità di cambi radicali nei modelli gestionali e negli stili di vita e di strumenti adeguati** di accompagnamento tra cui: politiche, strumenti normativi e finanziari, formazione/informazione, innovazione tecnologica, di sistema e sociale. La grande sfida dei prossimi anni coinvolge tutti i settori (imprese, istituzioni, innovatori, società civile), ciascuno con il proprio ruolo.

La chiave per la transizione è l'innovazione. Occorre implementare tutte quelle tecnologie, strumenti e metodologie sviluppate per integrare i disciplinari di produzione con le migliori pratiche di gestione ambientale al fine di **ottimizzare le filiere in termini di riduzione dei consumi idrici e di materie prime, miglioramento dell'efficienza energetica e riduzione dei rifiuti prodotti, delle emissioni climalteranti e della perdita di biodiversità.**

A livello di sistema produttivo, eco-innovazione di prodotto, di processo e di sistema sono strumenti necessari per un modello produttivo circolare e rigenerativo e per un sistema di uso/consumo caratterizzato dall'estensione della vita dei prodotti, dal riuso di componenti e da sistemi di riciclo in grado di garantire elevati standard di qualità dei materiali e prodotti riciclati. Fondamentale la progettazione dei prodotti finalizzata alla durabilità, riparabilità e riciclabilità e alla sostituzione di sostanze pericolose e materie prime critiche.
Progetti innovativi per l'economia circolare riguardano anche lo sviluppo di nuovi modelli di eco-business, approcci collaborativi tra aziende dissimili e nuovi modelli di lavoro (es. smart working) e di consumo (sharing economy, pay for service, etc.) come da Figura 11 .

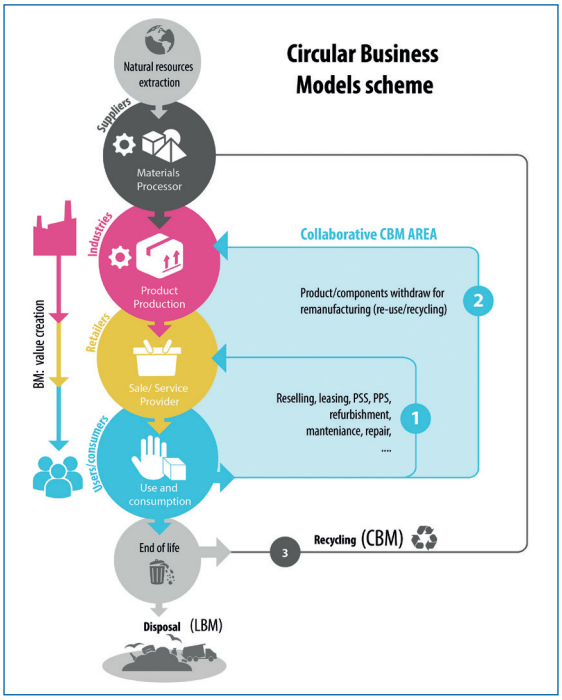


Figura 11: Modelli di Business Circolari (CBM) (Fonte: Elaborazione ENEA)

Lahti et al. (2018) ritengono che: "*Un modello di business circolare è progettato per creare e acquisire valore contribuendo al contempo a raggiungere uno stato ideale di utilizzo delle risorse (ad esempio, trovare un modello che assomigli il più possibile alla natura e si avvicini al raggiungimento del ciclo completo dei materiali). Di conseguenza, l'obiettivo dei business model circolari si sposta dal realizzare profitti attraverso la vendita di prodotti o manufatti al realizzare profitti attraverso il flusso di risorse, materiali e prodotti nel tempo, compreso il riutilizzo di beni e il riciclaggio delle risorse. Questo ragionamento implica che le aziende possono ridurre gli impatti negativi sull'ambiente fornendo e catturando valore attraverso questa proposta di valore alternativa*".

I modelli di business circolari cercano fondamentalmente di riconfigurare l'uso delle risorse materiali da parte di un'azienda al fine di apportare miglioramenti ambientali, in un contesto in cui il valore di tale miglioramento è solitamente non riconosciuto nei ritorni privati dell'azienda.

Come già sottolineato, si tratta di cambi radicali che necessitano di adeguati strumenti di supporto alle imprese, tra cui strumenti normativi e finanziari, agevolazioni, formazione.

La **simbiosi industriale** è uno degli strumenti più potenti che possa essere utilizzato. Questa può essere definita come un sistema integrato per condividere risorse (materiali, energia, acqua, sottoprodotti, scarti, servizi, competenze, strumenti, database, ecc.) secondo un approccio di tipo collaborativo in cui l'output di un'azienda può essere utilizzato come input da un'altra azienda nell'ambito del suo processo di produzione (Figura 12).

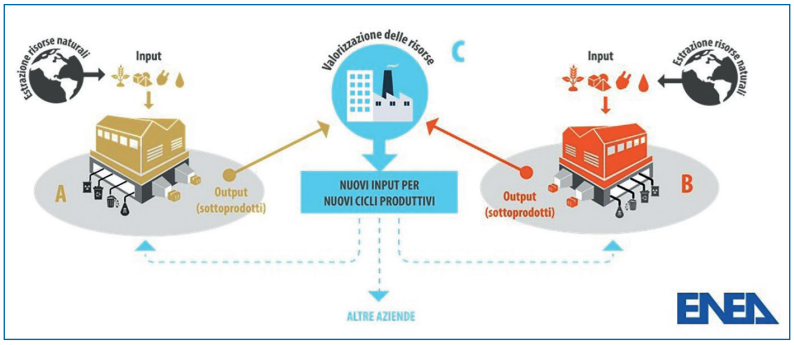


Figura 12: La simbiosi industriale (Fonte: Elaborazione ENEA)

La simbiosi industriale rappresenta dunque una strategia di ottimizzazione dell'uso delle risorse, che coinvolge le industrie di un territorio, al fine di generare vantaggi competitivi per le imprese: l'applicazione dei principi della simbiosi industriale consente alle aziende di utilizzare in modo più efficace flussi di materiali,

energia, acqua e altre attività, conseguendo una maggiore produttività complessiva e generando opportunità per le imprese, per le aree e i distretti industriali, per lo sviluppo locale e per la valorizzazione delle risorse in maniera aggregativa (favorendo quindi economie di scala).
Secondo un rapporto della Commissione Europa del 2018, questa tecnica ha un potenziale di mercato annuo tra i 7 e 13 miliardi di euro, ai quali aggiungere oltre 70 miliardi di costi di discarica evitati (Brunori, 2022).

RICADUTE ECONOMICHE E DI MERCATO

Il modello economico circolare è basato su un uso più efficiente e rigenerativo delle risorse rispetto all'attuale modello economico lineare e consente una significativa riduzione del consumo delle risorse primarie e delle relative emissioni climalteranti.
I materiali secondari (derivanti da attività di riuso/riciclo) reimmessi nell'economia globale, altrimenti noti come input circolari, rappresentano il 7,2% di tutti gli input materiali nell'economia globale. Negli ultimi cinque anni, la circolarità mondiale si è ridotta dal 9,1% al 7,2% degli input materiali totali (CGR,2023).
Nell'UE nel 2023, il tasso di utilizzo di materia proveniente dal riciclo è stato pari all'11,8% (Eurostat, 2024) Rispetto all'anno precedente c'è stato un lievissimo incremento (dello 0,3 %), ma rimane comunque la più alta percentuale mai raggiunta. Nella classifica dei paesi UE, l'Italia si classifica seconda (20%) raddoppiando quindi la percentuale europea ed è seconda solo all'Olanda (30,8%). Il Rapporto sull'Economia Circolare 2024 elaborato dal CEN con la collaborazione dell'ENEA sottolinea come l'Italia primeggia in tassi di riciclo nella classifica dei principali paesi UE (Francia, Germania, Spagna ecc), un primato raggiunto principalmente grazie agli alti tassi di riciclo del settore degli imballaggi (Rapporto Economia Circolare, 2024)

La Circular Economy Initiative Germany stima che, rispetto al percorso di business-as-usual, le strategie dedicate all'economia circolare possono ridurre il

consumo di risorse in Germania di circa due terzi entro il 2050 (Kadner et al. 2021), come mostrato in Figura 13 .

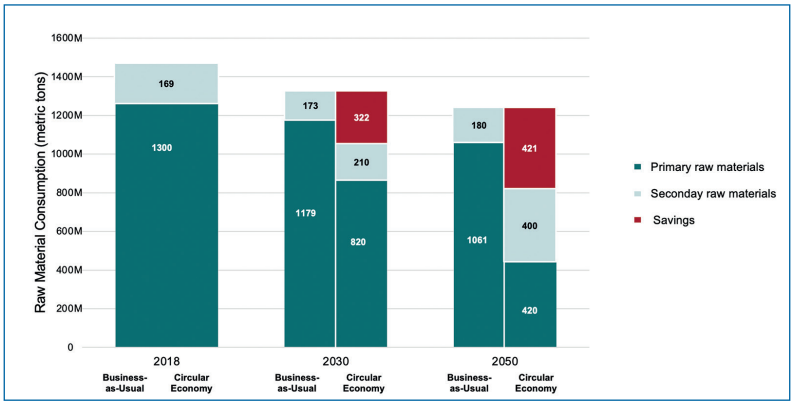


Figura 13: Confronto del consumo di risorse tra scenario "business as usual" ed "economia circolare" in Germania (Fonte: Wuppertal institute, 2022)

Nel caso specifico delle materie prime critiche, i Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE) sono una potenziale miniera urbana di materie prime secondarie che potrebbe contribuire al rafforzamento dell'indipendenza dall'importazione di materie prime critiche creando opportunità di business e nuove professioni, con benefici economici, sociali e ambientali. A livello globale, la quantità di rifiuti elettronici sta aumentando ad un ritmo pari a quasi 2 milioni di tonnellate all'anno e nel 2030 si stima una produzione complessiva di quasi 75 milioni di tonnellate.

In Italia i rifiuti elettronici riciclati correttamente sono pari al 39,4% ed occorre uno sforzo sistemico per raggiungere l'obiettivo europeo del 65%. Secondo uno studio di The European House – Ambrosetti a fronte del raggiungimento dell'obiettivo Europeo sul tasso di raccolta si potrebbero recuperare circa 7,6 mila tonnellate di materie prime critiche, riducendo le spese per importazione con un vantaggio economico pari a quasi 14 milioni di euro ed una riduzione delle emissioni di oltre 1 milione di tonnellate di CO_2. Gli scenari evolutivi delle materie

prime critiche e il riciclo dei prodotti tecnologici come leva strategica per ridurre i rischi di approvvigionamento per l'Italia 2022 – TEHA.[18]

Al fine di poter cogliere le grandi opportunità connesse con il settore del riciclo delle Materie Prime Critiche da RAEE occorre implementare nel Paese una strategia integrata per l'economia circolare basata sulla promozione di raccolta, realizzazione di impianti innovativi e selettivi capaci di recuperare in maniera sostenibile le materie prime e adozione di schemi incentivanti per l'utilizzo di materiali riciclati. L'Italia ha elaborato la sua roadmap per le materie prime critiche attualmente aggiornata al 2024.[19]

La transizione verso la circolarità richiede un commercio internazionale agile ma regolamentato, per consentire ai modelli di business circolari di espandersi sufficientemente e diventare competitivi evitando risultati indesiderati, come ad esempio lo scarico di rifiuti. Le iniziative di economia circolare si svolgono in gran parte a livello nazionale, entro i confini nazionali. Tuttavia, l'economia circolare può avere importanti interconnessioni con il commercio internazionale in diverse modalità.
In relazione ai beni, due distinti flussi commerciali possono influenzare la circolarità di un'economia: il commercio all'interno delle catene di approvvigionamento e il commercio di prodotti a fine vita. Ad esempio, gli sforzi a monte sulla progettazione ecocompatibile o sulla gestione del contenuto dei materiali dovrebbero tenere conto delle catene di approvvigionamento che si estendono oltre i confini, poiché le importazioni possono avvenire attraverso il commercio di materie prime e beni intermedi che alimentano i processi di produzione nonché i prodotti finali per consumo dell'utente finale. Per quanto riguarda le catene del valore a fine vita, i prodotti che giungono a fine vita possono essere raccolti (lavorati) ed esportati come commercio di rifiuti e rottami, commercio di materie prime seconde, commercio di beni destinati alla ristrutturazione e rigenerazione e commercio di beni di seconda mano.

[18] *https://erion.it/it/studi-e-proposte/materie-prime-critiche-raee/*

[19] *https://www.ambrosetti.eu/news/la-roadmap-italiana-per-le-materie-prime-critiche/*

Oltre allo scambio di beni, l'economia circolare può avere implicazioni anche sullo scambio di servizi. Una transizione verso l'economia circolare prevede generalmente un grado più elevato di coinvolgimento del settore dei servizi, come la manutenzione, la riparazione e i sistemi di servizio del prodotto, e può comportare nuove opportunità per il commercio di servizi.

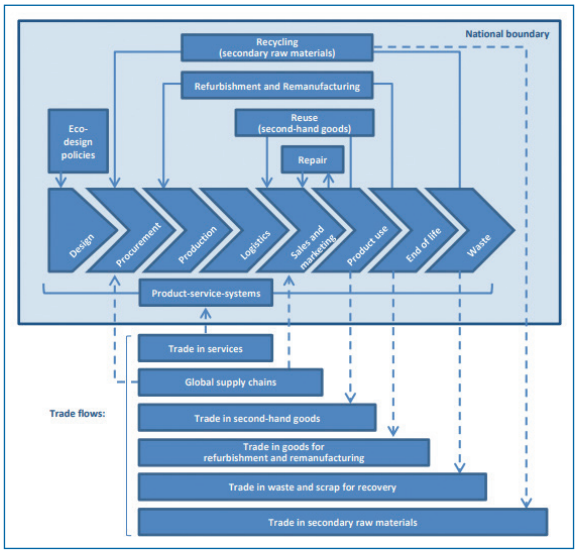


Figura 14: Interconnessioni tra commercio internazionale ed economia circolare (Fonte: OECD, 2021)

Per quanto riguarda la catena di fine vita, il volume di commercio globale è stato considerevole.

Secondo gli indicatori commerciali e ambientali dell'OCSE sviluppati da Garsous (2019) e aggiornati sulla base dei dati UN COMTRADE, il commercio globale di rifiuti e rottami ha raggiunto 182 milioni di tonnellate in peso e 95 miliardi di dollari in valore nel 2018. In questo anno i rifiuti e i rottami di metalli, carta e plastica rappresentavano complessivamente il 97% del valore totale e il 95% del peso totale. In particolare, rifiuti e rottami metallici rappresentano l'82% del valore totale e il

54% del peso totale nel 2018, diventando così la categoria di rifiuti e rottami più commercializzata. Seguono la carta (12% in valore totale e 37% in peso totale nel 2018) e la plastica (3% in valore totale e 5% in peso totale nel 2018).
Nel periodo dal 2003 al 2018, la quantità di rifiuti e rottami scambiati ha raggiunto il picco nel 2012, ed è generalmente aumentata nel tempo del 204% in valore, e del 23% in peso, il che implica che il valore unitario di rifiuti e rottami è aumentato significativamente durante lo scorso decennio. Nello stesso periodo, il valore unitario dei metalli è aumentato del 210%, della carta del 73% e della plastica del 58% (OECD, 2022). Ciò riflette il fatto che rifiuti e rottami continuano a essere risorse con un intrinseco valore economico e commerciale.
Per quanto riguarda invece il commercio delle materie prime seconde, i dati livello globale presentano numerosi gap, mentre a livello UE sono molto più robusti. In sintesi, l'UE sta trasformando più materie prime seconde e sta migliorando la propria bilancia commerciale di questi materiali. Dal 2004 al 2016, il tasso di utilizzo dei materiali circolari nell'UE è aumentato di 3,4 punti percentuali, passando dall'8,3% all'11,7%. Spinte dall'aumento dell'uso interno di materiali circolari, le esportazioni di materie prime secondarie sono aumentate del 70%, da 21,7 milioni di tonnellate nel 2004 a 36,9 milioni di tonnellate nel 2018. Di conseguenza, le importazioni sono diminuite del 35%, da 9 milioni di tonnellate nel 2004 a 5,9 milioni di tonnellate nel 2018 (OECD, 2022).
Garantire la qualità e il contenuto, nonché creare mercati per questi materiali, è essenziale per la loro diffusione. Pertanto, si prevede che il ruolo degli standard di qualità dei materiali, degli standard di contenuto dei materiali, dei sistemi di certificazione, nonché della progettazione ecocompatibile, dell'etichettatura ecologica e degli appalti pubblici sarà fondamentale per sviluppare un'economia circolare ed efficiente sotto il profilo delle risorse.

RICADUTE OCCUPAZIONALI

L'economia circolare è considerata da molti paesi come un'opportunità per la creazione di posti di lavoro. Lo sviluppo di un'economia basata sul riutilizzo, sulla-

rigenerazione, e soprattutto sulla riparazione richiede una maggiore intensità di manodopera rispetto a un'economia lineare (UE, 2017). Allo stesso modo, promuovere il riciclaggio e la produzione secondaria di metalli non ferrosi richiede più manodopera rispetto alla produzione primaria (The Club of Rome, 2015). L'utilizzo della politica per stimolare direttamente la produzione di riciclo e di materie prime seconde può quindi ottenere effetti occupazionali più forti di quelli ottenuti con un pacchetto politico meno mirato. Ciò è particolarmente vero per i paesi che importano gran parte del loro fabbisogno di materie prime, che possono così sostituire le importazioni con l'attività economica interna. Nei paesi che importano gran parte del loro fabbisogno di materie prime, ad esempio, la sostituzione delle importazioni con l'attività economica interna può portare alla creazione di posti di lavoro a livello nazionale.

In previsione di un pacchetto di politiche che combini tasse sui materiali con sussidi al riciclo e ai mercati secondari, l'economia circolare può aumentare considerevolmente l'occupazione in questi settori (Bibas et al., 2021). Questo scenario rileva che l'occupazione globale nei settori della produzione e del riciclaggio dei metalli secondari sarà rispettivamente superiore del 27% e del 46% rispetto allo scenario business-as-usual nel 2040. Anche i settori correlati, come quelli che producono sostituti dei prodotti basati su materie prime, potrebbero raggiungere un livello di occupazione più elevato. Tuttavia, poiché alcuni settori subiranno la distruzione di posti di lavoro a causa delle tasse sulle materie prime, l'effetto complessivo sull'occupazione risulta essere solo leggermente positivo (0,03%) su scala globale (Chateau e Mavroeidi, 2020). Inoltre, si potranno avere anche effetti asimmetrici su diverse regioni. Inoltre, nei paesi con un settore estrattivo significativo, l'effetto netto sull'occupazione potrebbe essere negativo e i guadagni di posti di lavoro nel settore secondario potrebbero in alcuni paesi essere superati da maggiori perdite di posti di lavoro nel settore estrattivo (Chateau e Mavroeidi, 2020). In ogni caso, dalla analisi (figura 15) emerge che nella quasi totalità dei casi la creazione di lavoro è nettamente maggiore della sua perdita.

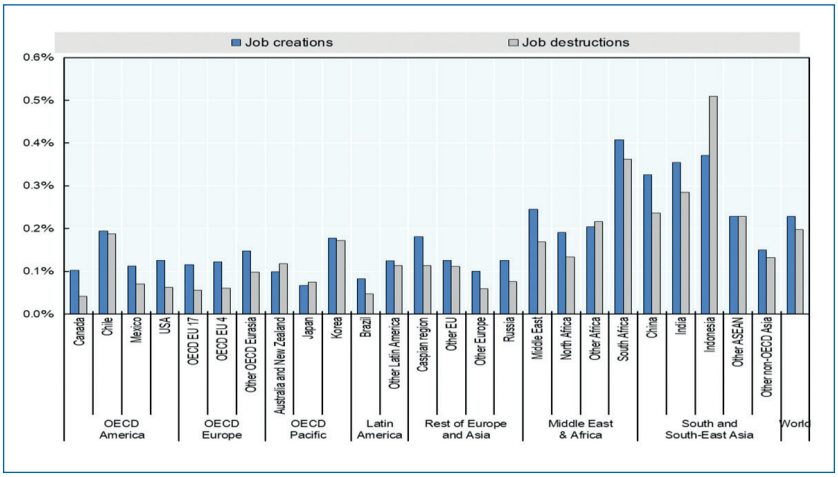


Figura 15: Creazione e perdita di posti di lavoro all'aumento dell'economia circolare (Fonte: OECD, 2020)

SFIDE SOCIALI E IMPATTO SUGLI SDGS

La transizione circolare contribuirà a raggiungere una serie di obiettivi che possono essere divisi in tre ambiti, economici, sociali e ambientali, sebbene alcuni possono appartenere a più d'uno:

Ambito economico

Un obiettivo economico essenziale della transizione è raggiungere il disaccoppiamento tra crescita economica e utilizzo dei materiali. Il concetto del disaccoppiamento nell'economia circolare è associato non solo all'uso efficiente delle risorse, ma anche agli impatti ambientali derivanti, come mostrato in Figura 16 . Ciò realizzabile attraverso tre canali principali:

- cambiamento tecnologico (miglioramento dell'efficienza);
- innovazione, compresa l'introduzione di beni più durevoli;
- sostituzione dei materiali orientandosi verso opzioni più rispettose dell'ambiente.

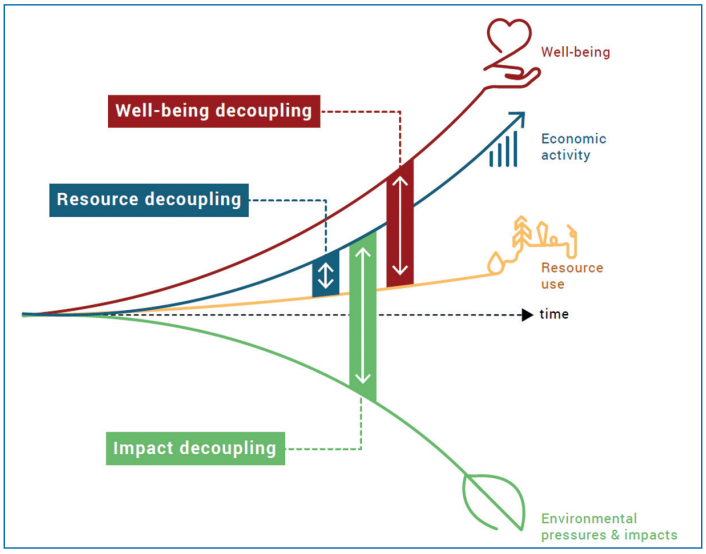


Figura 16: Disaccoppiamento dell'uso delle risorse naturali e degli impatti ambientali dalla crescita economica (Fonte: IRP 2017/a)

Inoltre, per i paesi importatori come quelli dell'area UE, la transizione è un modo per rafforzare la resilienza economica riducendo quindi la dipendenza dalle importazioni. Allo stesso tempo, affrontando l'efficienza delle risorse e la quantità di rifiuti, i modelli di business circolari mirano ad aumentare la competitività delle imprese nazionali. Un altro aspetto economico importante della transizione è creare opportunità di business e promuovere l'economia della condivisione (sharing economy), che può derivare da cambiamenti nelle modalità di produzione (Livingstone et al., 2022).

Ambito ambientale

Gli obiettivi ambientali della transizione sono principalmente orientati a ridurre l'impronta ambientale della produzione e del consumo di materiali, obiettivo che può essere raggiunto in molteplici modalità. L'economia circolare punta a ridurre

la pressione sull'estrazione delle materie prime vergini e contribuisce a gestire in modo efficiente le risorse naturali. Un altro importante obiettivo che va di pari passo con tale ambizione è quello di aumentare la quota delle materie prime seconde nell'economia, poiché si stima che il loro impatto ambientale sia, in media, inferiore di un ordine di grandezza rispetto a quello delle materie prime a parità di peso (OECD, 2018).

Ambito sociale

Gli obiettivi sociali della transizione circolare includono (Livingstone et al., 2022):

- l'aumento delle opportunità di lavoro (ad esempio attraverso lo sviluppo di modelli di business circolari);
- l'aumento del benessere generale (ad esempio garantendo un reddito disponibile più elevato derivante da una maggiore crescita economica);
- il miglioramento della salute pubblica attraverso la riduzione dell'esposizione a sostanze pericolose e l'uso di materiali meno dannosi per la salute umana.

L'espansione della sharing economy ed i nuovi modelli di business circolari che promuovono la condivisione, piuttosto che la proprietà, hanno il potenziale per ridurre l'uso delle risorse e consentire agli individui l'accesso ai servizi a un costo potenzialmente inferiore (OECD, 2019).

Inoltre, la transizione all'economia circolare può contribuire a raggiungere molti dei 17 obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) sviluppati dalle Nazioni Unite (Figura 17).

TRANSIZIONE DIGITALE

La digitalizzazione e l'economia circolare sono strettamente connesse, in quanto i dati e la loro gestione sono fondamentali per una corretta ed efficace transizione circolare. La digitalizzazione sta sconvolgendo i parametri dell'attuale sistema economico tramite la trasformazione delle catene del valore, cambiando la strut-

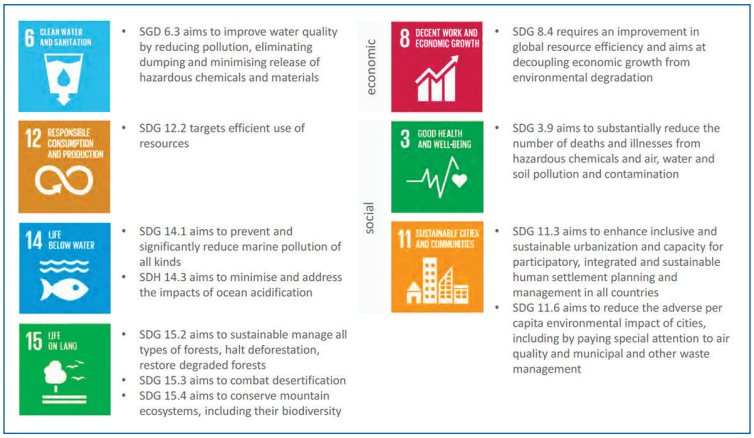


Figura 17: Allineamento degli obiettivi SDG con gli obiettivi della transizione circolare (Fonte: OECD, 2022)

tura e il funzionamento dei mercati, consentendo la realizzazione di piattaforme ed ecosistemi, influenzando il comportamento dei consumatori e il modo in cui le relazioni vengono sviluppate, mantenute e avanzate, aumentando la conservazione del valore e mitigando alcune delle esternalità ambientali.

I flussi di informazioni generati dagli asset intelligenti possono essere considerati uno dei principali motori della transizione digitale, creando significative opportunità economiche. Le tecnologie digitali facilitano il processo decisionale basato sui dati e consentono di ottimizzare le prestazioni di sistemi e processi. Aiutano, creando e catturando valore in nuovi modi durante il ciclo di vita delle risorse e facilitano la loro condivisione o locazione in più settori, aziende e individui (Ellen MacArthur Foundation, 2016).
L'economia circolare, d'altra parte, richiede un approccio sistematico che vada oltre le azioni delle singole aziende. Un prerequisito necessario, ad esempio, per agire nell'economia circolare è l'accesso alle informazioni sulle fasi a monte e la comprensione reciproca dell'impatto delle proprie azioni imprenditoriali sulle fasi

a valle della catena del valore. Queste informazioni, combinate con la motivazione sociale e gli incentivi politici, possono promuovere la volontà e la capacità di agire, in un'ottica di economia circolare. Pertanto, collegare i flussi di materiali fisici con i flussi di dati digitali è una parte fondamentale di molte misure e strategie utilizzate per perseguire un'economia circolare (Wuppertal institute, 2022).
Pertanto, non esiste economia circolare senza dati. Solo la digitalizzazione può gettare le basi per una trasformazione ecologica globale della nostra economia.
Con l'aiuto dell'Industria 4.0 e dell'Internet delle Cose (IoT), la trasformazione digitale dell'economia ha già iniziato ad accelerare e offre molteplici punti di partenza per una trasformazione ecologica e circolare. La base è data dall'interazione di soluzioni digitali in quattro aree funzionali centrali:

- Raccolta e connessione dei dati
- Unione e condivisione dei dati
- Autenticazione e sicurezza dei dati
- Analisi dei dati

Le soluzioni digitali combinano un'ampia varietà di tecnologie digitali chiave come sensori connessi, IoT, edge e cloud computing, nonché piattaforme digitali, tecnologie di contabilità distribuita (DLT) come blockchain e metodi analitici come big data e intelligenza artificiale (IA)[20].
Inoltre, la digitalizzazione sta modificando sempre più i processi produttivi, le catene del valore, le posizioni competitive, nonché i rapporti con clienti e partner. Le aziende stanno costruendo ecosistemi di dati e la competitività industriale e la leadership tecnologica sono sempre più definite dalla capacità di coordinare e modellare le relazioni tra i dati. Da qui possono e devono partire le strategie per lo sviluppo dell'economia circolare. Digitalizzazione e sostenibilità devono essere pensate e agite insieme come parte della "Twin Transition" (Wuppertal Institute, 2022).

Come nel caso di qualsiasi innovazione, anche per la transizione digitale occorre tenere in considerazione i possibili rischi ed effetti collaterali legati ad esempio ad un maggiore consumo di energia e di materie prime critiche per la realizzazione delle infrastrutture digitali.

[20] Tali scenari tecnologici sono trattati nel volume de Le Innovazioni del Prossimo futuro dedicato alle Tecnologie digitali

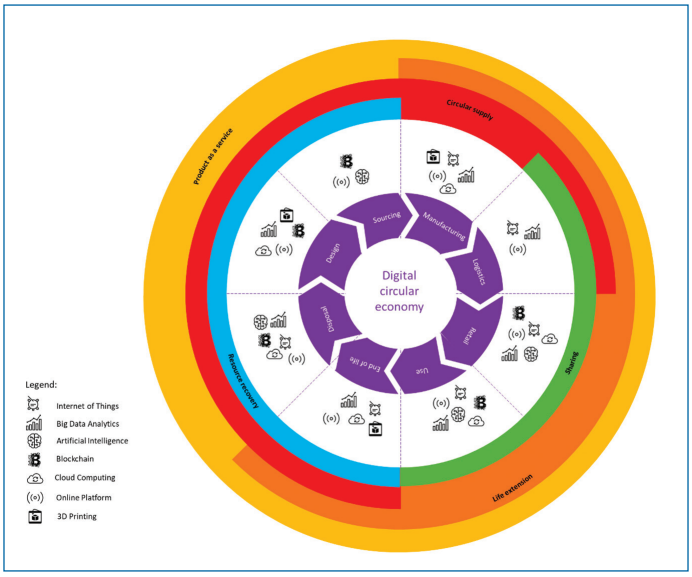


Figura 17: Tecnologie digitali che facilitano lo scale-up dei circular business models (Fonte: OECD, 2022)

Nella maggior parte dei casi, è il potere combinatorio delle singole tecnologie a facilitare l'espansione dei modelli di business circolari; non è quindi possibile individuare o quantificare l'entità del loro contributo individuale.

SINTONIA CON LE TECNOLOGIE ABILITANTI

Una ricerca di Ortega Gras et al. (2021) definisce tre tecnologie maggiormente utilizzate come abilitatori delle pratiche dell'economia circolare: Big Data, Intelligenza Artificiale e Internet delle Cose, utilizzate principalmente per monitorare il consumo energetico e analisi dinamica a supporto della gestione energetica dell'economia circolare. Inoltre, si segnalano due ulteriori tecnologie implementate con scopi sostenibili: la robotica, utilizzata principalmente per facilitare i pro cessi di raccolta differenziata e di assemblaggio, e la produzione additiva, come

facilitatore chiave di pratiche di eco-design.
Per quanto riguarda i settori industriali, la gestione dei rifiuti è stata rapidamente trasformata attraverso l'applicazione delle tecnologie menzionate al fine di migliorare l'efficienza dei diversi processi. Altri settori industriali in cui sono state rilevate pratiche di implementazione delle tecnologie 4.0 nell'ambito dell'economia circolare sono quello automobilistico, edile, elettrico ed elettronico, mobilità e settori dell'industria manifatturiera, come quello del mobile o del tessile.

SCENARI TECNOLOGICI

Data l'ampiezza del settore e delle sfide delineate precedentemente è stato necessario fare una scelta specifica degli scenari tecnologici da trattare nello studio. Si è deciso di proporre una metodologia innovativa volta ad implementare modelli di business sostenibili (la simbiosi industriale), e una serie di tecnologie per l'uso efficiente delle risorse e il recupero e riciclo di materie prime e seconde.
Gli scenari propongono un approccio metodologico per la diagnosi delle risorse e la chiusura dei cicli (simbiosi industriale) ed una selezione di metodi e tecnologie esemplificative per l'implementazione di approcci di economia circolare in tre diversi contesti:
Tali tecnologie per la loro strategicità richiedono investimenti in tecnologia, processi, aggiornamento di organizzazione e competenze nei prossimi tre – cinque anni.

Approccio metodologico

- La simbiosi industriale e la diagnosi delle risorse per la chiusura dei cicli e la competitività del sistema industriale

Il riciclo e la valorizzazione del fine vita

- Processo di pirolisi catalitica, con catalizzatori a basso costo, per il riciclo chimico delle plastiche miste
- Sviluppo di un processo di riciclo meccanico innovativo per schiume poliuretaniche flessibili post-industriali e post-consumo
- Tecnologie per la valorizzazione delle batterie al litio a fine vita

Il settore agroalimentare

- Nuove tecnologie di Evoluzione Assistita (TEA) per l'agricoltura
- Tecnologie Fermentative per i prodotti Bio-Based
- Agricoltura Conservativa

L'ingegneria ambientale

- Tecnologie per la valorizzazione delle acque reflue
- Approccio integrato alla gestione sostenibile dei fanghi di depurazione
- one

BIBLIOGRAFIA

Articoli tecnici

• IPCC, 2023: *Climate Change 2023*: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

• IRP (2022). Making Climate Targets Achievable: Improving Wellbeing through Reduced Absolute Resource Use. Potočnik, J., Teixeira, I. A think piece of the International Resource Panel Co-Chairs

• NOAA National Centers for Environmental Information, Monthly Global Climate Report for Annual 2023, published online January 2024, retrieved on February 19, 2024 from https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313

• C3S/ECMWF (2024) "The 2023 Annual Climate Summary" Global Climate Highlights 2023, retrieved on February 19, 2024 from https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023

• OECD HIGHLIGHTS (2018) Global Material Resources Outlook to 2060 – Economic Drivers and Environmental Consequences

• IRP (2019). Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. Oberle, B.,

• Bringezu, S., Hatfield-Dodds, S., Hellweg, S., Schandl, H., Clement, J., and Cabernard, L., Che, N., Chen, D., Droz-Georget , H., Ekins, P., Fischer-Kowalski, M., Flörke, M., Frank, S., Froemelt , A., Geschke, A., Haupt , M., Havlik, P., Hüfner, R., Lenzen, M., Lieber, M., Liu, B., Lu, Y., Lutter, S., Mehr , J., Miatto, A., Newth, D., Oberschelp , C., Obersteiner, M., Pfister, S., Piccoli, E., Schaldach, R., Schüngel, J., Sonderegger, T., Sudheshwar, A., Tanikawa, H., van der Voet, E., Walker, C., West, J., Wang, Z., Zhu, B. A Report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya

• Brunori, 2022 "Urban mining e materie prime critiche" Energia, ambiente e innovazione, ENEA magazine. DOI 10.12910/EAI2022-057

• Livingstone, L., et al. (2022), "Synergies and trade-offs in the transition to a resource-efficient and circular economy", *OECD Environment Policy Papers,* No. 34, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/e8bb5c6e-en

• Chateau, J. and E. Mavroeidi (2020), "The jobs potential of a transition towards a resource

efficient and circular economy", OECD Environment Working Papers, No. 167, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/28e768df-en

• Barteková, E. and P. Börkey (2022), "Digitalisation for the transition to a resource efficient and circular economy", *OECD Environment Working Papers*, No. 192, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/6f6d18e7-en

• The Club of Rome (2015), *The circular economy and benefits for society: jobs and climate clear winners in an economy based on renewable energy and resource efficiency.*

• Chateau, J. and E. Mavroeidi (2020), "The jobs potential of a transition towards a resource efficient and circular economy", *OECD Environment Working Papers*, No. 167, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/28e768df-en

• Yamaguchi, S. (2021), "International trade and circular economy - Policy alignment", *OECD Trade and Environment Working Papers*, No. 2021/02, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/ae4a2176-en

• Figge, Frank and Thorpe, Andrea Stevenson and Gutberlet, Melissa, Definitions of the Circular Economy - Circularity Matters (March 14, 2023). Ecological Economics, Vol. 208, 2023, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4398717

• Ekins, P., Domenech, T., Drummond, P., Bleischwitz, R., Hughes, N. and Lotti, L. (2019), "The Circular Economy: What, Why, How and Where", Background paper for an OECD/EC Workshop on 5 July 2019 within the workshop series "Managing environmental and energy transitions for regions and cities", Paris

• Carrara, S., Bobba, S., Blagoeva, D., Alves Dias, P., Cavalli, A., Georgitzikis, K., Grohol, M., Itul, A., Kuzov, T., Latunussa, C., Lyons, L., Malano, G., Maury, T., Prior Arce, Á., Somers, J., Telsnig, T., Veeh, C., Wittmer, D., Black, C., Pennington, D., Christou, M., Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/386650, JRC132889.

• Barteková, E. and P. Börkey (2022), "Digitalisation for the transition to a resource efficient and circular economy", OECD Environment Working Papers, No. 192, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/6f6d18e7-en.

• Ramesohl, Berg, Wirtz, (2022), The circular economy and digitalisation - strategies for a di

gital-ecological industry transformation: a study commmissioned by Huawei Technologies Germany GmbH, Wuppertal Institute.

Riferimenti a politiche e normative europee

- Il Green Deal europeo, Bruxelles, 11.12.2019, COM(2019) 640 final.
- Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030 - Riportare la natura nella nostra vita, Bruxelles, 20.5.2020.
- Una strategia "Dal produttore al consumatore" per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente,Bruxelles, 20.5.2020.
- Strategia in materia di sostanze chimiche sostenibili Verso un ambiente privo di sostanze tossiche, Bruxelles, 14.10.2020, COM(2020) 667 final.
- Una nuova strategia industriale per l'Europa, Bruxelles, 10.3.2020, COM(2020) 102 final.
- Aggiornamento della nuova strategia industriale 2020: costruire un mercato unico più forte per la ripresa dell'Europa, Bruxelles, 5.5.2021, COM(2021) 350 final.
- Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare - Per un'Europa più pulita e più competitiva, Bruxelles, 11.3.2020, COM(2020) 98 final.
- Plasmare un'Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici, Bruxelles, 24.2.2021, COM(2021) 82 final.
- Regolamento (UE) 2021/1119 del 30 giugno 2021 che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (CE) n. 401/2009 e il regolamento (UE) 2018/1999 («Normativa europea sul clima»).
- "Pronti per il 55 %": realizzare l'obiettivo climatico dell'UE per il 2030 lungo il cammino verso la neutralità climatica, Bruxelles, 14.7.2021, COM(2021) 550 final.
- Nuova strategia dell'UE per le foreste per il 2030, Bruxelles, 16.7.2021, COM(2021) 572 final.
- Regolamento (UE) 2023/956 del 10 maggio 2023 che istituisce un meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere.
- Regolamento (UE) 2023/955 che istituisce un Fondo sociale per il clima e che modifica il regolamento (UE)2021/1060.
- Direttiva (UE) 2023/959 del 10 maggio 2023 recante modifica della direttiva 2003/87/CE, che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nell'Unione, e della decisione (UE) 2015/1814, relativa all'istituzione e al funzionamento di una riserva stabilizzatrice del mercato nel sistema dell'Unione per lo scambio di quote di

emissione dei gas a effetto serra.

• Regolamento (UE) 2023/839 del 19 aprile 2023 che modifica il regolamento (UE) 2018/841 per quanto riguarda l'ambito di applicazione, semplificando le norme di comunicazione e conformità e stabilendo gli obiettivi degli Stati membri per il 2030, e il regolamento (UE) 2018/1999 per quanto riguarda il miglioramento del monitoraggio, della comunicazione, della rilevazione dei progressi e della revisione.

• Direttiva (UE) 2023/2413 del 18 ottobre 2023 che modifica la direttiva (UE) 2018/2001, il regolamento (UE) 2018/1999 e la direttiva n. 98/70/CE per quanto riguarda la promozione dell'energia da fonti rinnovabili e che abroga la direttiva (UE) 2015/652 del Consiglio.

• Direttiva (UE) 2023/1791 del 13 settembre 2023 sull'efficienza energetica e che modifica il regolamento (UE) 2023/955 (rifusione).

• Regolamento (UE) 2023/1115 del 31 maggio 2023 relativo alla messa a disposizione sul mercato dell'Unione e all'esportazione dall'Unione di determinate materie prime e determinati prodotti associati alla deforestazione e al degrado forestale e che abroga il regolamento (UE) n. 995/2010

• Nuova strategia dell'UE per le foreste per il 2030, COM/2021/572 final

• Strategia dell'UE per il suolo per il 2030 Suoli sani a vantaggio delle persone, degli alimenti, della natura e del clima COM/2021/699 final

• Regolamento (UE) 2024/1991 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 giugno 2024, sul ripristino della natura e che modifica il regolamento (UE) 2022/869.

• Un percorso verso un pianeta più sano per tutti Piano d'azione dell''UE: "Verso l'inquinamento zero per l'aria, l'acqua e il suolo". COM(2021) 400 final, Bruxelles, 12.5.2021.

• Un piano industriale del Green Deal per l'era a zero emissioni nette, Bruxelles, 1.2.2023, COM(2023) 62 final.

• Regolamento (UE) 2024/1735 del 13 giugno 2024 che istituisce un quadro di misure per rafforzare l'ecosistema europeo di produzione delle tecnologie a zero emissioni nette e che modifica il regolamento (UE) 2018/1724.

• Direttiva (UE) 2022/2464 del 14 dicembre 2022 che modifica il regolamento (UE) n. 537/2014, la direttiva 2004/109/CE, la direttiva 2006/43/CE e la direttiva 2013/34/UE per quanto riguarda la rendicontazione societaria di sostenibilità.

• Direttiva (UE) 2024/1760 del 13 giugno 2024 relativa al dovere di diligenza delle imprese ai fini della sostenibilità e che modifica la direttiva (UE) 2019/1937 e il regolamento (UE) 2023/285.

• Regolamento (UE) 2024/1252 dell'11 aprile 2024 che istituisce un quadro atto a garantire un approvvigionamento sicuro e sostenibile di materie prime critiche e che modifica i regolamenti (UE) n. 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 e (UE) 2019/1020.

• Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare Per un'Europa più pulita e più competitiva, Bruxelles, 11.3.2020, COM (2020) 98 final.

• Prodotti sostenibili: dall'eccezione alla regola, Bruxelles, 30.3.2022. COM(2022) 140 final.

• Regolamento sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio, che modifica il regolamento (UE) 2019/1020 e la direttiva (UE) 2019/904 e che abroga la direttiva 94/62/CE, in fase di pubblicazione sulla GUUE.

• Regolamento (UE) 2023/1542 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 12 luglio 2023, relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie, che modifica la direttiva 2008/98/CE e il regolamento (UE) 2019/1020 e abroga la direttiva 2006/66/CE.

• EU policy framework on biobased, biodegradable and compostable plastics.

• Regolamento (UE) 2024/3110 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 novembre 2024, che fissa norme armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e abroga il regolamento (UE) n. 305/2011.

• Regolamento (UE) 2024/2865 del 23 ottobre 2024 che modifica il regolamento (CE) n. 1272/2008, relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele.

• Direttiva (UE) 2024/3019 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 novembre 2024, concernente il trattamento delle acque reflue urbane, (rifusione).

• Regolamento (UE) 2024/1157 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 aprile 2024, relativo alle spedizioni di rifiuti, che modifica i regolamenti (UE) n. 1257/2013 e (UE) 2020/1056 e abroga il Regolamento (CE) n. 1013/2006

• Regolamento (UE) 2024/1252 dell'11 aprile 2024 che istituisce un quadro atto a garantire un approvvigionamento sicuro e sostenibile di materie prime critiche e che modifica i regolamenti (UE) n. 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 e (UE) 2019/1020.

• Direttiva (UE) 2024/1785 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 aprile 2024, che modifica la direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento), e la direttiva 1999/31/CE del Consiglio, relativa alle discariche di rifiuti.

• Direttiva (UE) 2024/825 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 28 febbraio 2024, che modifica le direttive 2005/29/CE e 2011/83/UE per quanto riguarda la responsabilizzazione

dei consumatori per la transizione verde mediante il miglioramento della tutela dalle pratiche sleali e dell'informazione.

- Regolamento (UE) 2024/1781 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 giugno 2024, che stabilisce il quadro per la definizione dei requisiti di progettazione ecocompatibile per prodotti sostenibili, modifica la direttiva (UE) 2020/1828 e il regolamento (UE) 2023/1542 e abroga la direttiva 2009/125/CE.

- Direttiva (UE) 2024/1799 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 giugno 2024, recante norme comuni che promuovono la riparazione dei beni e che modifica il regolamento (UE) 2017/2394 e le direttive (UE) 2019/771 e (UE) 2020/1828.

CHIMICA E MATERIALI

CHIMICA E MATERIALI

PROFILI DI SETTORE

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

FAST - Federazione delle Associazioni Scientifiche e Tecniche e CNR SCITEC	**Rinaldo Psaro**

ESPERTI

FEDERCHIMICA	**Juliette Vitaloni**

CHIMICA E MATERIALI

SCENARI TECNOLOGICI

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

FAST - Federazione delle Associazioni Scientifiche e Tecniche e CNR SCITEC	**Rinaldo Psaro**

ESPERTI

ARCHA	**Francesca Gambineri, Massimiliano Franceschi**
CLARIANT PRODOTTI (ITALIA) SPA	**Corrado Colombo, Alberto Cremona**
CNR ISSMC	**Alessandra Sanson**
CNR SCITEC	**Nicoletta Ravasio**
ENI SPA	**Paolo Pollesel, Giuseppe Sabetta, Alessandra Tacca, Michele Tomaselli**
INNOVHUB SSI	**Angelo Lunghi, Pierangela Rovellini**
MAPEI S.P.A.	**Giorgio Ferrari**
PIRELLI S.P.A	**Luca Giannini, Luciano Tadiello, Francesco Parazzoli**
POLITECNICO MILANO	**Luca Lietti**
POLITECNICO TORINO	**Federico Bella**
UNIVERSITÀ DI PISA	**Anna Maria Raspolli Galletti**
VERSALIS S.P.A.	**Nicola Vecchini**

L'INDUSTRIA CHIMICA

L'industria chimica rappresenta un settore essenziale e strategico per lo sviluppo e la transizione ecologica. Il 95% dei beni manufatti incorpora componenti chimici, che si tratti di beni di uso quotidiano o abilitanti per la transizione ecologica, quali pale eoliche, pannelli solari e batterie per la mobilità sostenibile. A livello nazionale, il settore chimico rappresenta il quinto per fatturato e, a livello europeo, quella italiana è la terza industria chimica per valore della produzione (oltre 67 miliardi) e numero di addetti (oltre 113 mila)[1].

Si tratta di un settore che vede le proprie imprese pienamente inserite all'interno delle catene globali del valore. Il 61% della produzione domestica viene, infatti, realizzato da imprese multinazionali a capitale sia nazionale che estero, accomunate da un elevato grado di specializzazione in funzione dei fattori di competitività locali e da una forte proiezione verso l'export.



Figura 1: Saldo commerciale della chimica (elaborazione Federchimica)

Grazie all'elevata qualificazione delle risorse umane, le retribuzioni nel settore risultano del 38% superiori alla media nazionale in presenza, e negli anni recenti si è registrata una crescita di occupati under-35 decisamente più sostenuta rispetto alla media industriale (19% versus 8% nel 2015-2022)[2]. Le imprese chimiche in Italia sono consapevoli che la ricerca rivesta un ruolo fondamentale, sia in prospettiva di sostegno alla competitività sia per poter affrontare con successo la

[1] *Elaborazione su dati Istat (2021, ultimo anno disponibile), Eurostat e Cefic Chemdata International.*

[2] *Dato sulle retribuzioni da fonte Istat mentre quello sull'occupazione under-35 da INPS.*

sfida della transizione ecologica. Gli ambiziosi obiettivi del Green Deal Europeo richiederanno ingenti investimenti: in base alle stime di The European House Ambrosetti[3], la transizione ecologica dell'industria chimica in Italia richiederà quasi 20 miliardi di investimenti aggiuntivi entro il 2050 (il 40% in più rispetto alla media del periodo 2016-2020) e, considerando anche i costi operativi, si superano i 30 miliardi.

Secondo Eurostat, nell'ultimo decennio il personale dedicato alla R&S ha mostrato un tasso di crescita del 76%, arrivando a superare le 8.600 persone con una quota sull'occupazione dell'8%, sostanzialmente in linea con la media settoriale europea. Nel contempo, la chimica è il settore industriale che presenta, in Italia, la quota più elevata di imprese (59%) che hanno investito in prodotti a maggior risparmio energetico e in tecnologie per la sostenibilità ambientale (anni 2018-2022)[4]. Il settore chimico è anche uno di quei comparti che ha già conseguito rilevanti conversioni ecologiche dei propri processi produttivi e riduzione dei rispettivi impatti, diretti e indiretti, generati sull'ambiente, con la presenza di imprese tecnologicamente all'avanguardia e dotate di rilevanti capacità di ricerca e investimento nell'ambito della chimica circolare e da biomasse.



Figura 1: Saldo commerciale della chimica (elaborazione Federchimica)

[3] *Rapporto "L'industria chimica come competenza abilitante per il made in Italy e per lo sviluppo sostenibile" Federchimica e Parti Sociali, redatto da TEHA.*

[4] *Fondazione Symbola, Rapporto GreenItaly.*

Tuttavia, la competitività del settore dipende significativamente anche da tutta una serie di fattori esterni all'impresa che compongono il cosiddetto Sistema Paese e, sempre di più, il Sistema dell'Unione Europea. Tra i fattori più penalizzanti vi sono, da un lato, le asimmetrie competitive di costo in ambito energetico (gas ed elettricità); dall'altro, il cosiddetto "tsunami normativo" derivante dal Green Deal Europeo non adeguatamente accompagnato da una politica industriale.

RUOLO E CARATTERISTICHE DELL'INDUSTRIA CHIMICA IN ITALIA

Con più di 2.800 siti produttivi, un valore della produzione nel 2023 pari a oltre 67 miliardi di euro e quasi 113 mila addetti altamente qualificati, l'Italia rappresenta la terza industria chimica europea, sia per produzione che per numero di occupati. La chimica è, per fatturato, la quinta industria del Paese e, grazie alla sua pervasività e collocazione a monte di tutte le filiere, il suo contributo alla creazione di valore per il Paese consente di generare sia direttamente che indirettamente, per via degli effetti moltiplicativi, un volume di affari pari a 3,32 volte l'investimento iniziale. I prodotti chimici sono, infatti, componenti essenziali del 95% dei manufatti, siano essi di uso quotidiano o impiegati in applicazioni centrali per la transizione ecologica quali batterie, pale eoliche o pannelli solari. Di conseguenza, l'industria chimica rappresenta una competenza abilitante strategica per sostenere la competitività di tutte le filiere a valle e affrontare la sfida della transizione ecologica.

In Italia, secondo Federchimica, l'industria chimica vede la presenza equilibrata di tre tipologie di attori: le PMI (41% del valore della produzione), i medio-grandi Gruppi nazionali (21%) e le imprese a capitale estero (38%)[5]. L'importanza delle PMI nell'industria chimica non deve essere sottovalutata: a livello europeo attivano ben il 36% dell'occupazione settoriale, e in Italia tale quota si avvicina al 61%.

Occupazione diretta e attivata dall'industria chimica in Italia
(migliaia di addetti, anno 2023)

Addetti chimici diretti	112,7
Addetti attivati nelle filiere collegate	212,0
Totale posti di lavoro attivati dalla chimica	**324,7**

Note: indotto generato attraverso gli acquisti diretti e indiretti e gli investimenti
Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti su dati Istat

Figura 3: Posti di lavoro attivati dalla chimica (elaborazione Federchimica)

[5] *I medio-grandi Gruppi italiani sono definiti in base a vendite mondiali superiori a 100 milioni di euro. Fonte: Federchimica, anno 2023*

Esiste, tuttavia, anche un nucleo non ristretto di aziende a capitale italiano che, pur non essendo equiparabili in termini dimensionali con i principali attori della chimica internazionale, possiedono la massa critica per affrontare le impegnative sfide tecnologiche e ambientali. Anche le imprese a capitale estero rappresentano una risorsa importante. La loro attività crea valore sul territorio nazionale dove producono e fanno ricerca (oltre 200 milioni di euro all'anno). In diversi casi l'Italia ospita un vero e proprio centro di eccellenza, che rappresenta il punto di riferimento del Gruppo a livello mondiale per la R&S in determinate aree della chimica o per specifiche produzioni. Le imprese chimiche si sono inserite con successo all'interno delle catene globali del valore. Il 61% della produzione realizzata in Italia, infatti, fa capo a imprese multinazionali a capitale sia domestico sia estero caratterizzata anche da una forte propensione all'export.

In base a dati Istat ed Eurostat, l'Italia è specializzata nella chimica delle specialità e di consumo, che riveste una quota della produzione settoriale complessiva pari al 57% a fronte del 37% a livello UE. Tra gli ambiti che godono di avanzi commerciali rientrano la cosmetica, le pitture e vernici, gli adesivi, gli smalti ceramici, gli additivi per olii lubrificanti e per cementi, i catalizzatori, i detergenti, i plastificanti e gli stabilizzanti per gomma e plastica, i prodotti per il trattamento, la finitura e la tintura del tessile e cuoio. L'Italia riveste, inoltre, posizioni di leadership nel panorama mondiale nei principi attivi farmaceutici, con quote esportate che superano l'85% della produzione. Il Paese, inoltre, è ben posizionato nella chimica circolare e da biomasse, dove sono presenti imprese tecnologicamente all'avanguardia e dotate di rilevanti capacità di ricerca e investimento.

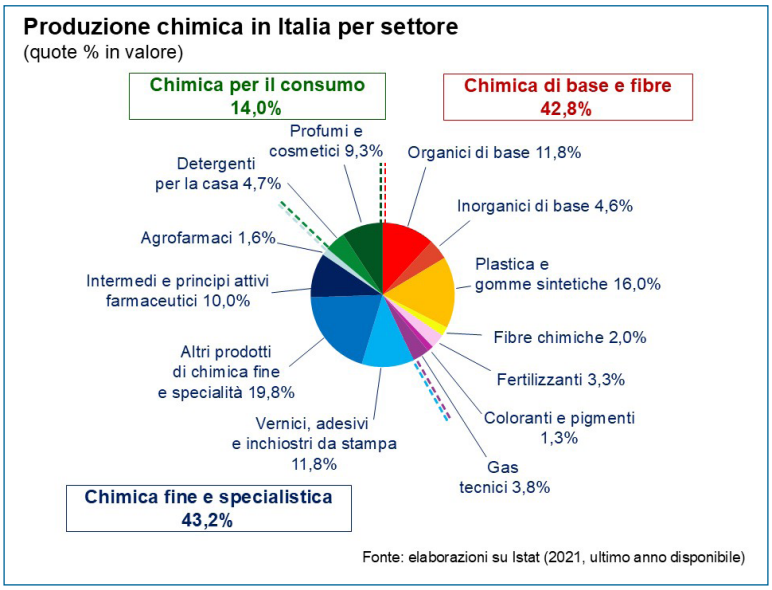


Figura 4: Produzione chimica italiana per settore (elaborazione Federchimica)

Tra i punti di forza del settore – riconosciuti anche dai vertici delle filiali estere in Italia – rientra la qualità delle Risorse Umane, oltre che un solido, moderno ed efficace Sistema di Relazioni Industriali che, attraverso il dialogo continuo tra le Parti Sociali, consente di coniugare la ricerca delle migliori condizioni di competitività con un forte orientamento alla Responsabilità Sociale. La chimica è un settore caratterizzato da una tra le più elevate produttività del lavoro nel panorama industriale, che, secondo Istat, consente retribuzioni del 38% superiori alla media manifatturiera.

Il confronto per titolo di studio evidenzia come nella chimica il fattore competenze sia particolarmente strategico: infatti, secondo Federchimica, la quota di personale laureato, pari al 27%, risulta quasi doppia rispetto alla media dell'industria (15%). L'INPS registra dati molto positivi anche per l'occupazione giovanile:

nel periodo 2015-2022 gli under 35 nella chimica sono cresciuti del 19%, a fronte di un incremento ben più contenuto nell'industria manifatturiera (+8%). In aggiunta, all'interno del settore chimico, l'Istat riporta che la retribuzione di un giovane lavoratore dipendente è superiore del 19% rispetto alla media nazionale. Le imprese acquisiscono nuove competenze, che crescono costantemente anche dopo l'assunzione attraverso azioni per la formazione e lo sviluppo professionale, all'insegna di multidisciplinarietà e soft skills. Tuttavia, una delle nuove sfide è rappresentata dalla difficoltà di reperimento di personale dotato di competenze digitali e green, ma anche con riferimento a mansioni operative quali turnisti e addetti alla produzione. Infatti, nel 2022, oltre un terzo delle nuove assunzioni previste è risultato di "difficile reperimento". In questo contesto assume ancora maggior importanza la formazione: la chimica, insieme alla farmaceutica, è il settore che investe di più in questo ambito che coinvolge, ogni anno, oltre il 30% dipendenti.

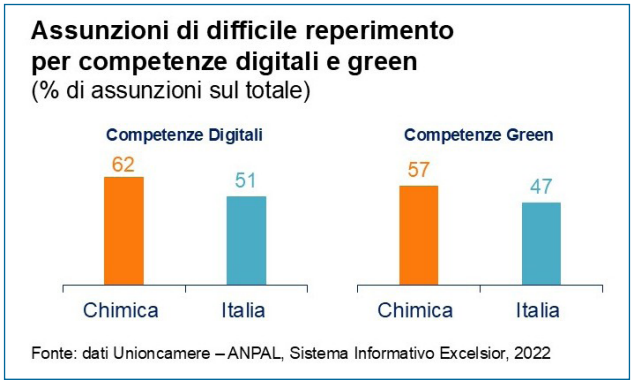


Figura 5: Assunzioni di difficile reperimento (elaborazione Federchimica)

RICERCA E SVILUPPO SEMPRE PIÙ ORIENTATI ALLA TRANSIZIONE ECOLOGICA

Nonostante un contesto complesso e denso di incertezze, le imprese chimiche sono consapevoli che, per affrontare con successo la sfida ambientale e sostenere la competitività, la ricerca rivesta un ruolo essenziale. In particolare, gli obiettivi ambiziosi del Green Deal Europeo potranno essere conseguiti solo attraverso una forte e diffusa spinta verso l'innovazione tecnologica. Le spese in innovazione delle imprese chimiche in Italia superano i 980 milioni di euro, di cui 698 milioni indirizzati alla R&S (anno 2022). Il rapporto tra investimenti in R&S e valore aggiunto – tra i principali indicatori che misurano l'intensità della R&S – nella chimica risulta pari al 5,2%, ben al di sopra della media manifatturiera (4%). Nell'ultimo decennio, il personale dedicato alla R&S ha mostrato una significativa dinamica al rialzo, con un tasso di crescita del 76%. Attualmente gli addetti alla R&S sono più di 8.600, rappresentando l'8% dell'occupazione, una quota sostanzialmente in linea con la media settoriale europea[6].

Spese di innovazione e ricerca della chimica in Italia

	Spese (milioni di €)	Incidenza sul valore aggiunto
Innovazione	983	7,3%
- di cui R&S	698	5,2%

Fonte: elaborazioni su Istat; anno 2022

Figura 6: Spese in R&S e impatto sul valore aggiunto (elaborazione Federchimica)

L'industria chimica è leader nel fornire soluzioni per la sostenibilità ambientale. Come già accennato, infatti, tra i settori manifatturieri si distingue per la quota più alta di imprese che hanno investito in prodotti a maggior risparmio energetico e in tecnologie per la sostenibilità ambientale (59% del totale nel periodo 2018-2022). In effetti, l'impegno per la tutela dell'ambiente nel settore chimico ha

[6] *Elaborazione su dati Istat ed Eurostat.*

una lunga storia con risultati tangibili e di assoluta eccellenza: la riduzione delle emissioni dirette di CO_2 (-64% dal 1990) ha già superato l'obiettivo europeo al 2030 (-55%), i consumi di acqua a parità di produzione sono stati ridotti del 57% dal 2005 e il riciclo rappresenta già oggi la prima modalità di gestione dei rifiuti (quota del 45%)[7].

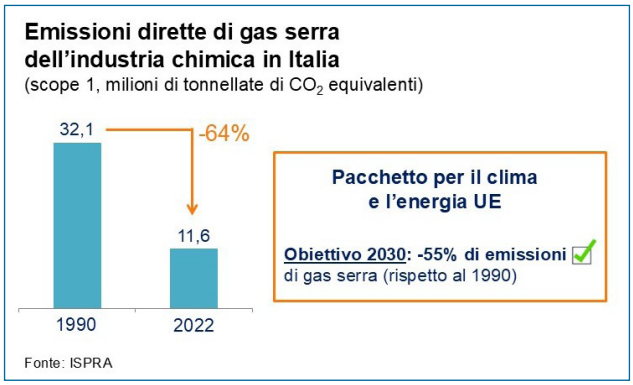


Figura 7: Riduzione delle emissioni di CO2 (elaborazione Federchimica)

Grazie alle sue innovazioni, l'industria chimica non riduce solamente il proprio impatto sugli ecosistemi naturali, ma consente la diffusione di benefici ambientali anche agli utilizzatori presenti praticamente in tutte le filiere. Nuove tecnologie breakthrough sono in fase di sviluppo o industrializzazione (quali riciclo chimico, prodotti da fonti bio e rinnovabili, idrogeno low carbon e rinnovabile, cattura, stoccaggio e riutilizzo della CO_2), così come altrettanto rilevante è il contributo delle innovazioni di processi e prodotti già esistenti in un'ottica di miglioramento continuo. Le imprese chimiche, infatti, sono fortemente impegnate in numerosi ambiti quali l'efficienza e l'autoproduzione energetica, l'ottimizzazione dell'uso di tutte le risorse naturali e lungo l'intero ciclo di vita dei prodotti, lo sviluppo dell'economia circolare e dell'eco-progettazione, il rafforzamento della collaborazione lungo la filiera e dell'informazione/formazione nei confronti di utilizzatori e consumatori finali.

[7] *Dati Ispra e Federchimica, Rapporto Responsible Care.*

La ricerca richiede sempre più un modello di innovazione aperta e di collaborazione pubblico-privato. Il 14% delle imprese chimiche in Italia collabora con Università e Istituti di ricerca per progetti di innovazione, una quota ben superiore alla media manifatturiera nazionale (5%) e non lontana dalla media europea di settore (17%)[8]. Il modello di open innovation comporta per le imprese la gestione di processi innovativi complessi con ritorni aleatori e dilatati nel tempo che richiedono un Responsabile della ricerca con forti competenze manageriali al fine di gestire team allargati con un'attenta programmazione finanziaria e il controllo dei risultati in itinere. D'altra parte, la ricerca pubblica dovrebbe presidiare adeguatamente non solo la chimica di sintesi e i polimeri, ma anche quella delle formulazioni e assumere un atteggiamento proattivo nei confronti delle imprese.

[8] *Fonte: Eurostat Community Innovation Survey.*

FATTORI DI COMPETITIVITÀ E SISTEMA PAESE

La competitività dell'industria chimica è particolarmente sensibile alle condizioni esterne all'impresa, ovvero al cosiddetto Sistema Paese che sempre più coinvolge non solo l'Italia ma anche l'UE. Elementi quali la ricerca e il sistema formativo, l'assetto normativo, l'energia e le infrastrutture costituiscono fattori determinanti che, se carenti nel confronto internazionale, danneggiano la competitività delle imprese. Tali fattori assumono rilevanza ancora maggiore alla luce della sfida della transizione ecologica e degli enormi investimenti necessari a realizzarla (come accennato precedentemente, in base alle stime di The European House Ambrosetti, la transizione ecologica dell'industria chimica in Italia richiederà quasi 20 miliardi di investimenti aggiuntivi entro il 2050[9].

Il settore chimico è tra i più energivori dell'economia, il primo per consumo di gas naturale e il secondo, tra quelli energy-intensive, per consumo di energia elettrica. Per l'industria chimica, i combustibili fossili non solo costituiscono una fonte energetica ancora importante, ma fungono anche da materia prima impiegata nei processi produttivi e, alla luce delle tecnologie disponibili attualmente, la loro integrale sostituzione non è praticabile. La disponibilità di fonti di energia stabili e a costi accessibili è uno dei fattori chiave per la competitività della chimica.

Nonostante il rientro del prezzo del gas su livelli più gestibili, la questione energetica non può dirsi risolta e rischia di condizionare gli investimenti. In particolare, rilevano molteplici fonti di asimmetria competitiva. Secondo la Banca Mondiale, nel 2024 i prezzi del gas si mantengono su livelli pari a circa il quadruplo di quelli statunitensi e rimangono soggetti a rischi al rialzo alla luce delle persistenti tensioni geopolitiche e della dipendenza dalle importazioni di GNL soggette alla concorrenza di una domanda asiatica in continua espansione (anche in vista di una progressiva sostituzione del carbone).

L'Italia, inoltre, risente anche dei differenziali nel prezzo dell'elettricità nei confronti degli altri principali produttori europei. Secondo dati Ember, nel corso del 2024

[9] *Rapporto "L'industria chimica come competenza abilitante per il made in Italy e per lo sviluppo sostenibile" Federchimica e Parti Sociali, redatto da TEHA.*

il prezzo medio all'ingrosso è risultato pari a circa 100€/MWh a fronte dei 50 della Francia, che beneficia del nucleare, e della Spagna, dove lo sviluppo delle rinnovabili procede più spedito e soprattutto il prezzo dell'elettricità all'ingrosso non è più ancorato al prezzo marginale del gas. Per effetto dell'accelerazione impressa dall'Europa agli obiettivi di decarbonizzazione, complici anche fenomeni speculativi, il costo dei permessi per le emissioni di CO2 – nell'ambito del sistema europeo ETS (Emission Trading Scheme) – ha subito un'escalation, passando dai 25 euro del 2019 ai 65 del 2024 nonostante la debolezza dell'attività industriale[10].

L'industria chimica è tra i settori che più possono contribuire a realizzare concretamente la transizione ambientale, ma è anche tra i più esposti ai rischi connessi a costi non competitivi dell'energia e a un sistema normativo penalizzante a livello europeo che comporta oneri asimmetrici rispetto ai concorrenti e talvolta ostacola l'innovazione invece di promuoverla. La chimica è, a tutti gli effetti, il settore coinvolto dal maggior numero di iniziative legislative connesse al Green Deal ed è impattata trasversalmente in innumerevoli ambiti quali transizione energetica, neutralità climatica, gestione dei rifiuti e circolarità, etichettatura dei prodotti, finanza sostenibile.

[10] *Dati SENDECO2.*

SCENARI TECNOLOGICI

Chimica e materiali rappresenta un ambito estremamente ampio, che abbraccia l'evoluzione delle tecnologie chimiche e dei materiali avanzati, con rilevanti implicazioni per l'industria, la sostenibilità e l'innovazione scientifica. Il tratto distintivo dell'industria chimica risiede proprio nella sua capacità di sviluppare nuovi prodotti, processi e tecnologie, puntando costantemente al miglioramento della sostenibilità e dell'efficienza operativa.
Considerata la vastità del settore e la molteplicità delle sfide emerse, si è resa necessaria una selezione mirata degli scenari tecnologici da approfondire nello studio. A tal fine, sono state individuate tre macroaree tematiche, all'interno delle quali sono state raggruppate tecnologie affini:

Efficientamento e sostenibilità dei processi

Questa area tematica è centrale per l'industria chimica, sempre più orientata verso modelli di economia circolare e responsabilità ambientale. Si focalizza sull'ottimizzazione delle modalità con cui vengono condotte le reazioni chimiche e i cicli produttivi, con l'obiettivo di incrementare le rese, ridurre i consumi e minimizzare l'impatto ambientale.

- Innovazione nella produzione di prodotti chimici

Negli ultimi anni, la produzione elettrochimica di composti chimici a partire da CO_2, azoto e acqua è passata da una fase prettamente accademica a una fase di maturazione avanzata, con la nascita di spin-off e aziende innovative impegnate nel portare queste tecnologie verso l'industrializzazione. A livello globale, il settore è fortemente trainato dalla crescente pressione per la decarbonizzazione dei processi industriali e dalla necessità di sviluppare soluzioni sostenibili nei settori della chimica e dell'energia.

- Innovazione di prodotto

L'introduzione sul mercato italiano dell'acido di fenolico e dei suoi esteri rappresenterebbe un'importante innovazione, sia per la natura bio-based dei composti,

sia per l'ampio spettro di potenziali applicazioni. L'impatto industriale atteso è rilevante, in particolare nei comparti dei polimeri bio-based, come policarbonati, poliesteri, resine epossidiche e benzoxaziniche, ma anche in ambiti quali la cosmetica, la concia delle pelli e la produzione di ritardanti di fiamma.

• Abbattimento catalitico di N20

Tra i principali processi industriali responsabili dell'emissione di protossido di azoto (N_2O) come sottoprodotto figurano la produzione di acido nitrico e acido adipico. Lo sviluppo di tecnologie per l'abbattimento catalitico del N_2O da questi impianti chimici può generare benefici ambientali significativi e migliorare la sostenibilità complessiva del settore. In questo ambito, l'Italia si distingue per lo sviluppo e l'implementazione di soluzioni tecnologiche avanzate.

• Tecnologie per la conversione diretta della CO_2

La conversione diretta della CO_2 con idrogeno rinnovabile per la produzione di e-chemicals ed e-fuels rappresenta una leva strategica per la transizione energetica. Nel settore chimico, questa tecnologia consente la sintesi sostenibile di composti a basso impatto ambientale (green chemicals), mentre in ambito energetico permette la generazione di combustibili a emissioni nette zero di carbonio (carbon-neutral fuels), sempre più supportati dalle normative europee. Il riconoscimento del valore strategico di queste tecnologie è fondamentale, sia a livello nazionale che internazionale.

Efficientamento e sostenibilità di materiali e prodotti

In questo ambito si affrontano la progettazione, la produzione e l'utilizzo di materiali e beni finiti con un approccio che mira a ridurne l'impatto ambientale lungo l'intero ciclo di vita. Si pone attenzione anche al miglioramento delle prestazioni (durata, leggerezza, funzionalità) e alla possibilità di riciclo o riutilizzo.

• Sensori funzionali

Il settore dei sensori intelligenti funzionalizzati chimicamente è in rapida evoluzione, grazie all'impiego di materiali innovativi e all'integrazione di tecnologie multidisciplinari come la microfluidica e la biosensoristica. Nonostante i rilevanti progressi compiuti negli ultimi anni, il settore deve ancora affrontare sfide importanti, tra cui il miglioramento della stabilità a lungo termine dei dispositivi, la riduzione dei costi di produzione, l'ottimizzazione dell'elaborazione dei dati e la semplificazione dell'interfaccia utente.

• Innovazione nel settore batterie

Nel campo della produzione di batterie, una delle principali sfide è il potenziamento delle prestazioni, al fine di garantire una maggiore autonomia per veicoli elettrici e dispositivi portatili. Le attività di ricerca e sviluppo si concentrano non solo sulla selezione di nuovi materiali, ma anche sull'innovazione dei processi produttivi, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica e la sostenibilità del ciclo di vita delle batterie.

• Nuovi materiali avanzati

Le resine termo-responsive rappresentano una promettente alternativa alle tradizionali resine termoindurenti in molteplici ambiti applicativi. Questi materiali avanzati sono in grado di rispondere agli stimoli termici e soddisfano sia i requisiti prestazionali che quelli ambientali imposti dalla crescente domanda di soluzioni sostenibili, contribuendo in modo significativo allo sviluppo di un'economia circolare.

• Additivi chimici innovativi

La chimica dei materiali gioca un ruolo strategico nella transizione dal calcestruzzo tradizionale a quello sostenibile. I nuovi cementi a bassa impronta carbonica, caratterizzati da un ridotto contenuto di clinker e da un'elevata percentuale di materiali cementizi supplementari, richiedono lo sviluppo di additivi chimici

innovativi in grado di garantire prestazioni comparabili a quelle del cemento Portland. In tale contesto, è stata introdotta una nuova classe di additivi – i Low Carbon Concrete Admixtures – appositamente progettata per soddisfare le esigenze di sostenibilità e di efficienza prestazionale del calcestruzzo di nuova generazione.

Circolarità e riciclabilità di processi e prodotti

Si tratta di un tema chiave nell'ambito della chimica industriale, che promuove la progettazione e la gestione di materiali e processi affinché le risorse non vengano disperse, ma possano essere continuamente riutilizzate, recuperate o riciclate.

- Riciclo chimico e tecnologie emergenti

I processi di riciclo chimico, come precedentemente illustrato, si basano su diverse tecnologie. Tra queste, la pirolisi – sia nella sua forma termica che catalitica – risulta attualmente la più diffusa. Diventa quindi essenziale adottare e implementare soluzioni tecnologiche in grado di garantire un riciclo pressoché totale della plastica a fine vita. L'introduzione di questi nuovi processi potrà generare effetti positivi non solo in termini occupazionali e di avanzamento tecnologico, ma anche nel miglioramento delle attività di raccolta e selezione dei rifiuti plastici.

- Gestione degli pneumatici a fine vita

L'accumulo crescente di pneumatici fuori uso rappresenta una sfida ambientale di rilievo. La produzione di pneumatici richiede grandi quantità di risorse naturali – come petrolio e gomma naturale – il cui sfruttamento ha un impatto ambientale significativo. Le principali difficoltà tecnologiche legate al recupero degli pneumatici riguardano l'efficiente separazione dei componenti (gomma, acciaio e fibre tessili) e il miglioramento della qualità dei materiali riciclati per renderli competitivi rispetto alle materie prime vergini. In questo ambito, la ricerca e sviluppo si concentra su tecnologie avanzate di pirolisi, micronizzazione e devulcanizzazione, mirate alla produzione di materiali ad alte prestazioni.

• **Sostenibilità nella filiera degli pneumatici**

I target di sostenibilità fissati dalle case automobilistiche sono ormai un elemento competitivo cruciale nel settore della componentistica, in particolare per quanto riguarda gli pneumatici. Oggi, ogni nuovo prodotto di alta gamma lanciato sul mercato europeo deve includere una percentuale crescente di materiali bio-based, in linea con gli obiettivi di decarbonizzazione definiti nei piani industriali delle aziende produttrici. I biopolimeri rappresentano una fonte estremamente interessante di materie prime ad alte prestazioni, anche se il loro impiego nella tecnologia dello pneumatico non è ancora pienamente maturo.

• **Innovazione nel packaging e coating**

Il mercato globale dei coating per imballaggi è in costante evoluzione, spinto dalla crescente richiesta di prestazioni elevate: durabilità, resistenza meccanica, compatibilità con il contatto alimentare e sostenibilità del fine vita sono solo alcune delle caratteristiche richieste. In questo contesto, lo sviluppo di packaging compostabili, funzionalizzati con principi attivi derivati da biomasse di scarto, rappresenta una delle frontiere più promettenti, con ricadute positive sia dal punto di vista ambientale che tecnologico.

• **Valorizzazione degli scarti agroindustriali**

L'agroindustria genera una vasta gamma di scarti: dai residui in campo e quelli di produzione, fino ai rifiuti della distribuzione e del consumo. Ciascuna di queste categorie può essere valorizzata grazie all'identificazione di principi attivi e di altri componenti presenti nella biomassa residua, aprendo la strada alla progettazione di percorsi di simbiosi industriale. Un esempio concreto è rappresentato dal silverskin, sottoprodotto della tostatura del caffè: la raccolta, l'estrazione dei principi attivi e la loro valorizzazione tramite processi di funzionalizzazione costituiscono una innovazione tecnologica.

COSTRUZIONI

COSTRUZIONI

PROFILI DI SETTORE

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

HEIDELBERG MATERIALS ITALIA CEMENTI S.P.A.	**Antonio Princigallo**
UNIVERSITÀ DI BRESCIA	**Giovanni Plizzari**

ESPERTI

FEDERBETON	**Laura Negri, Michela Pola**

COSTRUZIONI

SCENARI TECNOLOGICI

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

HEIDELBERG MATERIALS ITALIA CEMENTI S.P.A.	**Antonio Princigallo**
UNIVERSITÀ DI BRESCIA	**Giovanni Plizzari**

ESPERTI

ANCE Lombardia (Associazione Regionale dei Costruttori Edili Lombardi)	**Andrea Pastori, Sara Grassi, Valentina Rossi**
CERTIMAC	**Luca Laghi, Eleonora Sangiorgi**
CETMA	**Alessandro Marseglia, Vito Tarantino**
ENEA	**Antonella Luciano, Claudia Brunori**
FEDERBETON	**Laura Negri, Michela Pola**
POLITECNICO DI MILANO	**Monica Lavagna**
STRESS-S.c.a.r.l.	**Alberto Zinno, Adriana Pacifico**
WEBUILD INNOVATIONS	**Riccardo Angiuli**

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni si osserva una sempre maggiore attenzione e crescenti investimenti da parte di istituzioni e industrie nazionali ed europee riguardo all'innovazione tecnologica nel settore delle costruzioni.

Le tecnologie emergenti e abilitanti promettono di avere un impatto lungo tutta filiera costruttiva, con un ruolo unico per portare elementi di innovazione in prodotti, materiali e tecnologie che contribuiranno al miglioramento delle prestazioni, allo sviluppo sostenibile e al risparmio delle risorse naturali impiegate.

Il settore è caratterizzato da una propensione all'innovazione importante ma spesso limitata dalle risorse rese disponibili. Cambiamenti significativi del modo di progettare e costruire, come quelli che possono essere indotti dallo sviluppo tecnologico, sono infatti complessi, in quanto richiedono investimenti rilevanti, sono soggetti ad un quadro normativo stringente e possono avere un impatto sia di breve sia di medio e lungo periodo su molteplici attori lungo la filiera.

Un continuo processo di trasformazione e adattamento della filiera delle costruzioni è sempre più importante per il mantenimento della produttività e competitività e per un uso ottimale delle risorse impiegate.

Per questi motivi Airi ha scelto di inserire, per la prima volta, il settore delle costruzioni nell'analisi realizzata con la XI edizione de "Le Innovazioni del prossimo futuro".

Data l'ampiezza dei temi trattati in questo primo studio si è scelto di dedicarsi ad un ambito specifico, quella della filiera del cemento e del calcestruzzo.

LA FILIERA ITALIANA DEL CEMENTO E DEL CALCESTRUZZO

Il settore delle costruzioni è tra le forze trainanti per l'economia europea e la Commissione Europea sta lavorando per orientarne lo sviluppo secondo i principi dell'economia circolare. Il mondo della ricerca si sta adoperando sempre di più per sviluppare materiali sostenibili, prevedendo il riutilizzo di materiali di scarto.

La filiera del cemento e del calcestruzzo svolge da sempre un ruolo strategico per lo sviluppo socioeconomico del Paese, essendo il primo anello della catena che consente la realizzazione di infrastrutture e edifici sicuri e affidabili. Il valore della produzione di questa filiera è di 13 B€, con più di 2700 aziende e circa 35 mila addetti nei vari comparti -cemento, calcestruzzo preconfezionato e i suoi additivi, travi reticolari, calce e gesso e aggregati da riciclo.

Nel seguito saranno messi in luce alcuni aspetti della tecnologia del calcestruzzo che sono considerati con elevate potenzialità di sviluppo nel medio termine sulla base delle proprietà intrinseche del materiale e ben in relazione agli obiettivi della sostenibilità definiti dalla EC. Infatti i materiali con prestazioni elevate e/o a carattere innovativo, possono fornire particolari vantaggi nel senso della sostenibilità. In particolare, le tecnologie selezionate sono orientate al prossimo futuro e conseguentemente sono connaturate ad un certo grado di innovatività di grado differente caso per caso. Seppure alcune già disponibili in qualche forma, esse richiedono ulteriori sforzi sia per quanto riguarda lo sviluppo tecnologico in senso stretto, sia per quanto concerne la diffusione. Tale sforzo di carattere scientifico/tecnico/normativo sarà possibile solo rendendo disponibili risorse adeguate.

MERCATO E IMPATTI SOCIOECONOMICI

La sostenibilità come principale obiettivo industriale del settore Cemento

La produzione, ad alto consumo di energia, con consumi della sola componente elettrica pari a circa 1,9 TWh all'anno, con l'impiego di circa 116 KWh per la produzione di una tonnellata di cemento è tra le principali caratteristiche della filiera.

Consapevoli del proprio ruolo rilevante nel raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità nazionali e delle implicazioni di costo e competitività industriale, le imprese del comparto hanno promosso l'adozione di una Strategia di decarbonizzazione ad hoc per il settore del cemento.

Le imprese della filiera stanno investendo ingenti risorse economiche per il raggiungimento di un processo produttivo più sostenibile e per la realizzazione di prodotti con una minore impronta carbonica. Al contempo, tuttavia, la grave crisi energetica ancora parzialmente in corso e il fenomeno dell'aumento dei costi delle materie prime hanno gravemente impattato il settore, rendendo necessario il potenziamento a livello nazionale di misure di supporto alle imprese del comparto, al fine di assicurarne la competitività e tenuta. Gli interventi come il credito d'imposta hanno consentito alle imprese di superare uno dei periodi più difficili della storia recente, scongiurando il rischio di vedere scomparire un intero settore industriale come quello del cemento.

Il costo dell'energia ha iniziato a scendere dopo aver toccato picchi mai registrati prima. Secondo i dati elaborati da Federbeton, nel biennio 2022-23 il costo di produzione è cresciuto enormemente soprattutto a causa dei rincari energetici. L'energia, sia elettrica che termica, impiegata nel processo rappresenta infatti oltre il 50% dei costi variabili di produzione. Il prezzo d'acquisto medio dell'energia elettrica dopo aver raggiunto i 500 €/MWh durante l'estate 2022 si è poi stabilizzato su valori più bassi (92 €/MWh il valore medio del primo trimestre 2024). Rimangono, tuttavia, valori ancora non confrontabili con quello del 2019 di poco più di 50 €/MWh o del 2020 di circa 40 €/MWh (fonte GME); un prezzo dell'energia

che ha, peraltro, oscillazioni giornaliere rende molto difficile la programmazione della produzione del cemento. All'aumento dei costi di produzione ha contribuito anche il prezzo del petcoke, il combustibile utilizzato nel settore (ad esempio, nel 2024 più che triplicato rispetto alla media dei valori registrati nel 2019).

Nonostante questo, l'attenzione nei confronti dell'industria nazionale deve rimanere alta. Permane, infatti, il rischio di una perdita di competitività nei confronti dei Paesi extra-EU che hanno standard ambientali e di conseguenza costi, più bassi. Non va dimenticato che l'industria italiana del cemento (insieme a quella europea) ha di fronte una sfida ambiziosa: raggiungere la carbon neutrality nel 2050. Ai costi di produzione comunque più alti che in passato ed al valore dei diritti di emissione (quotazione media del primo trimestre 2024 pari a 60 € a tonnellata; valore elevatissimo se confrontato con i 25 € registrati in media nel 2019), si aggiungono gli investimenti che le imprese dovranno mettere in campo per la decarbonizzazione: 4,2 B€, oltre a extra-costi operativi pari a circa 1,4 B€ annui (dati emersi dalla Strategia di decarbonizzazione del settore cemento, elaborata nel 2021 con il supporto di Kpmg[1]).

La sfida della sostenibilità per l'Italia e l'Europa

La sostenibilità è però più impegnativa che per altri comparti. Nella produzione di cemento, infatti, il 60-70% delle emissioni dirette di CO_2 deriva dalle stesse reazioni chimiche di processo ed è quindi incomprimibile (seppure, limitatamente a tale quota, siano possibili assorbimenti di CO_2 atmosferica con la carbonatazione del calcestruzzo). Ciò rende necessario il ricorso alla cattura della CO_2, finalizzata allo stoccaggio geologico (e/o uso), tecnologia legata a investimenti ben superiori rispetto a quelli di altri settori energivori. Questo pone le imprese europee in posizione di svantaggio rispetto a quelle extra-EU che non condividono gli stessi obiettivi di decarbonizzazione e le stesse normative ambientali. In Italia, peraltro, la situazione è più critica rispetto al resto dell'Europa perché il cemento è un materiale facilmente trasportabile via mare e il nostro Paese, per questioni geografiche, è particolarmente esposto all'importazione. L'Italia ha 8.000 km

di coste ed è circondata da Paesi sul Mediterraneo che hanno una capacità produttiva in esubero e una struttura di costo più competitiva, tale da riuscire a consegnare cemento sul territorio a un prezzo inferiore rispetto al prezzo medio nazionale (-25% secondo le rilevazioni ISTAT). Un aumento delle importazioni si è già registrato negli ultimi anni a seguito dell'aumento del costo dei diritti di emissione. Conseguentemente è stato generato un extra-profitto per l'importazione da Paesi non aderenti all'Unione Europea (non sottoposti al sistema ETS); è prevedibile un peggioramento a seguito dell'incremento dei costi dell'energia e degli sforzi che l'industria dovrà sostenere per la decarbonizzazione. Il settore sta quindi attraversando un momento di grande difficoltà e rischia una delocalizzazione senza possibilità di ritorno. Il rischio è dunque concreto e si manifesta in un momento storico che vede il cemento indispensabile per la ripartenza. Non si tratta di un problema limitato al comparto del cemento; la ricaduta negativa interesserebbe un ampio contesto economico e sociale. Il cemento e il calcestruzzo sono, infatti, materiali necessari per la vita quotidiana, la mobilità, la sicurezza e la stessa crescita economica del Paese. Perdita di competitività dell'industria nazionale significherebbe legare l'approvvigionamento alle importazioni, rendendo più instabili i flussi ed i livelli di costo; questo metterebbe in difficoltà l'intera filiera delle costruzioni, rallentando i cantieri pubblici in una fase positiva in cui le costruzioni stanno trainandone un'importante ripresa economica. Dal punto di vista ambientale, inoltre, si assisterebbe alla "delocalizzazione" delle emissioni in altri Paesi con normative meno stringenti rispetto a quelle europee, con un impatto globale maggiore, anche a causa delle più ampie distanze di trasporto. Non meno importante, si perderebbe infine la garanzia sulla qualità dei materiali, i cui controlli sarebbero in parte demandati ai Paesi importatori, con possibili ricadute sulla sicurezza delle opere. Diversamente, l'attuale contesto di emergenza infrastrutturale necessita di materiali affidabili ed opere sicure e sostenibili. Dopo la fase emergenziale legata all'incremento del costo dell'energia, servono ora misure strutturali di sostegno e tutela delle imprese italiane[2,3].

I POSSIBILI APPROCCI ALLA SOSTENIBILITÀ

Supportare le imprese nello sviluppo di infrastrutture "breakthrough", strategiche per la decarbonizzazione (cattura, stoccaggio e utilizzo della CO_2, utilizzo di idrogeno nel processo di produzione di cemento, etc.) per non delegare a Paesi extra-EU la sicurezza delle costruzioni e delle infrastrutture italiane e valorizzare e tutelare la filiera italiana del cemento e del calcestruzzo (Federbeton, 2022)[4].

Preservare la competitività delle imprese nazionali. A livello europeo, il meccanismo di adeguamento CBAM (*Carbon Border Adjustment*) prevede misure per proteggere la competitività dell'industria nazionale del cemento dalle importazioni da Paesi extra-UE. Purtroppo, però, i tempi previsti per l'entrata in vigore non sono abbastanza tempestivi e potrebbero arrivare addirittura troppo tardi. Fino al 2026 infatti non è previsto alcun pagamento e la partenza pianificata risulta debole ed insufficiente a livellare il piano competitivo con i produttori dei paesi terzi (si paga solo il 2,5% nel 2026; si arriva al 100% solo nel 2034). Il settore del cemento ha, inoltre, a disposizione ampi spazi, costituiti dalle porzioni di aree estrattive già sfruttate, che rientrano già tra le aree idonee per lo sviluppo della produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

L'uso dei combustibili alternativi in sostituzione di quelli fossili è un'opportunità per l'ambiente, la collettività e l'indipendenza energetica del Paese. Si tratta, infatti, di una risorsa energetica a km0, immediatamente applicabile e che può portare una riduzione delle emissioni di CO_2 del 12%. I combustibili alternativi derivano dai rifiuti non riciclabili né riutilizzabili in altro modo e che vengono così sottratti al conferimento in discarica, all'incenerimento o all'export. Le cementerie rappresentano così un tassello del ciclo virtuoso dell'economia circolare. L'Europa ha fissato, inoltre, l'obiettivo di riduzione al 10% per il conferimento in discarica dei rifiuti urbani entro il 2035. I combustibili alternativi sono ampiamente utilizzati in Europa, proprio perché sicuri, convenienti e vantaggiosi anche in termini ambientali. I Paesi europei più avanzati arrivano a oltre il 70% (la media europea è 53%) mentre in Italia la sostituzione dei prodotti petroliferi tramite CSS è limi

tata al 22,5%. Un tasso di sostituzione del 66% in Italia porterebbe al taglio di 6,8 milioni di tonnellate di CO_2 emesse in atmosfera, grazie al mancato conferimento in discarica di questo materiale (stima elaborata dal Laboratorio REF Ricerche)[5]. Occorre quindi sostenere **semplificazioni amministrative** che equiparano l'utilizzo del CSS-Combustibile[1] a quello dei combustibili "tradizionali", rendendo più rapido l'iter burocratico pur mantenendo inalterate le garanzie di controllo e la trasparenza. Ad oggi non c'è un'applicazione omogenea sul territorio, a discapito di una soluzione che rappresenta un'opportunità per l'ambiente, la collettività e l'indipendenza energetica del Paese.

Ridurre l'utilizzo di pet-coke per ridurre anche l'impatto del trasporto di un combustibile, di derivazione petrolifera, importato principalmente dal Golfo del Messico. Attualmente consumiamo 1,1 milioni di tonnellate di pet-coke all'anno a un costo medio di 150€/t (dati 2022)[6]. La spesa totale è di 165 M€. Ipotizzando un utilizzo di combustibili alternativi con un tasso di sostituzione dell'80%, così come nella strategia di decarbonizzazione del settore, si risparmierebbero 130 M€, (corrispondenti al 7% del fatturato). La carenza di quote gratuite di emissione, del sistema ETS, ed il loro costo stabilizzatosi tra i 70 e gli 80 €/ton sta avendo un impatto estremamente negativo sulle produzioni nazionali di cemento per effetto dei flussi di importazione che crescono a un ritmo esponenziale negli ultimi 4 anni. Se non si pone un freno a questo fenomeno il nostro paese rischia di rimanere legato alle importazioni di cemento da paesi terzi.

Valutazione estesa al ciclo di vita del prodotto edilizio, considerando gli impatti ambientali legati alle fasi di produzione dei materiali e componenti, all'uso e al fine vita, nonché i benefici attesi dalle attività potenziali di riuso e riciclo dei materiali al termine della vita utile (Life Cycle Assessment). Infatti, l'uso di Environmental Product Declaration (EPD) per confrontare materiali al di fuori del contesto applicativo (soluzione costruttiva, edificio) dovrebbe essere evitato, essendo rilevante la funzione che il materiale svolge in uso. Inoltre, nelle valutazioni di soste-

[1] Il combustibile solido secondario (CSS) è un tipo di combustibile derivato dalla lavorazione dei rifiuti urbani non pericolosi e speciali non pericolosi. Può essere suddiviso in due principali tipologie: il CSS e il CSS-combustibile, che differiscono per le loro caratteristiche chimico/ fisiche e per la normativa applicabile. Il CSS-combustibile è materiale che ha cessato la qualifica di "rifiuto" e che pertanto viene considerato un nuovo prodotto.

nibilità, è necessario fare opportuno riferimento alla proprietà del calcestruzzo di ricarbonatare, ossia di riassorbire la CO_2. Adeguate scelte progettuali favoriscono la sostenibilità e un uso ottimale dei materiali in relazione alle rispettive proprietà, ottimizzando la geometria degli elementi costruttivi e strutturali, economizzando la quantità di materiale impiegato, scelta tra soluzioni costruttive alternative a parità di prestazione. Si citano, a titolo esemplificativo: la norma tecnica UNI EN 15978:2011 Sostenibilità delle costruzioni - Valutazione della prestazione ambientale degli edifici - Metodo di calcolo e il framework europeo Level(s) per la valutazione della sostenibilità degli edifici; i protocolli LEED, BREEAM, Casaclima, ITACA, WELL; i CAM edilizia; i criteri DNSH. Si deve osservare che la sostenibilità è descritta da indicatori di impatto non omogenei; pertanto, la costituzione di indicatori cumulativi a partire dai singoli e la maturazione di una valutazione complessiva di sostenibilità, così come una classificazione complessiva quantitativa, seppure complessa, è di estrema importanza. Un'adeguata evoluzione delle normative potrà consentire una più profonda comprensione di tutti gli aspetti della sostenibilità delle costruzioni.

SOSTENIBILITÀ DELLA FILIERA PRODUTTIVA DEL CALCESTRUZZO

A livello globale, lo schema di certificazione CSC attesta la gestione responsabile di una filiera produttiva da sempre impegnata per la sostenibilità, nel senso più ampio del termine. CSC è approda in Italia grazie all'iniziativa di Federbeton che, nel 2017, assume il ruolo di RSO – Regional System Operator –, ovvero di interfaccia nazionale con il gestore dello schema livello globale (CSC – Concrete Sustainability Council). La scelta è dettata dalla volontà di mettere a disposizione degli stakeholder uno strumento concreto per misurare il ruolo del settore nella sostenibilità delle costruzioni. Lo schema riguarda direttamente il calcestruzzo (preconfezionato e prefabbricato), ma coinvolge tutta la filiera attraverso la certificazione dei fornitori di cemento e di aggregati.

Lo schema prevede anche moduli aggiuntivi che riguardano aspetti specifici. Primo fra tutti il modulo CO2 che misura la riduzione di emissioni rispetto a un riferimento nazionale. A livello italiano tale riferimento è in fase di definizione, in coerenza con la revisione della UNI 11104 (attualmente in corso in ambito UNI).

Risulta pertanto essenziale identificare specifiche caratteristiche tecniche e classificare i relativi livelli di prestazione al fine di individuare i prodotti come sostenibili, evitando pertanto il ricorso a dichiarazioni generiche e/o non tecnicamente validate. In tale contesto, il ruolo delle tecnologie innovative, strettamente connesso allo sviluppo di materiali innovativi per l'ottenimento di prestazioni migliorative nelle costruzioni, assume una particolare rilevanza e può consentire di porre solide basi per uno sviluppo sostenibile delle costruzioni.

Al riguardo si segnala il nuovo regolamento sui prodotti da costruzione (nuovo CPR[7]) ed il regolamento europeo (ESPR)[8] che definisce i requisiti di progettazione ecocompatibile per prodotti sostenibili.

INDIRIZZI E TEMI TECNOLOGICI

Le criticità evidenziate possono essere superate per la parte tecnologica perseguendo uno sviluppo, di prodotto e di processo, supportato da un coerente sviluppo normativo/regolamentare utile a favorire l'evoluzione del settore in senso sostenibile. L'innovazione tecnologica dovrà essere prioritariamente orientata alla decarbonizzazione in senso ampio, cogliendo aspetti di prodotto/processo e relativi alla costruzione nel suo insieme. Gli aspetti da approfondire sono relativi ai seguenti ambiti:

- Efficienza energetica in prospettiva rinnovabile;
- Ottimizzazione delle risorse nell'ottica dell'economia circolare e progressiva riduzione dei rifiuti;
- Sviluppo di nuovi materiali e caratteristiche/prestazioni;
- Adozione di nuove modalità progettuali e tecniche costruttive che possano favorire la sostenibilità.

Il percorso nel senso della sostenibilità include varie dimensioni, tra cui biodiversità, salute, sicurezza ed in generale fattori socioeconomici.

Si osserva un certo grado di sovrapposizione tra diversi ambiti. Una data tecnologia può infatti principalmente basarsi su un una data proprietà determinando potenzialmente particolari vantaggi tecnici in una data applicazione; la mancata diffusione in quella applicazione (es. calcestruzzi per strade) giustificherebbe di per sé maggiore dedizione e risorse.

La trasversalità riguarda sia gli ambiti prima descritti e parallelamente la progettazione. Ad esempio, l'idea, sottesa in uno dei casi descritti negli scenari tecnologici proposti in questo studio, è di utilizzare la massa termica (proprietà) come proprietà di base della tecnologia. Il calcestruzzo ha intrinsecamente una capacità termica notevole, ma l'impiego di costituenti non tradizionali potrebbe ottenerne incrementi ulteriori con effetto ultimo vantaggioso in termini di sostituzione delle fonti fossili utilizzate maggiormente per le fasi di fabbisogno energetico di

picco. Si tratta quindi di scelte non esclusivamente inerenti alla progettazione strutturale, ma di interfaccia tra lo sviluppo di materiali innovativi e/o la progettazione microstrutturale dei materiali stessi.

Infine, lo stretto rapporto tra progettazione e dati sperimentali emerge prepotentemente da una lettura del quadro presentato negli scenari tecnologici, in relazione in particolare agli sviluppi delle tecnologie digitali e all'intelligenza artificiale. Nel caso specifico dell'intelligenza artificiale, solo una stretta sinergia tra e metodiche legate alla progettazione e all'analisi dei dati sperimentali (deduttiva nel primo caso ed induttiva nel secondo) consentirà di orientare al meglio lo sviluppo futuro impedendo derive tecnologiche, possibili in entrambi gli ambiti se considerati come entità indipendenti. Si pensi ad esempio all'inutilità pratica e/o oneri associati alla produzione di dati sperimentali se non inseriti in un quadro razionale complessivamente orientato alla sostenibilità della costruzione o d'altra parte ai rischi associati all'uso di modelli non validati sperimentalmente, anche se per tramite di sistemi di intelligenza artificiale.



Figura 1: Viadotto Genova San Giorgio (foto concessa da Heidelberg Materials)

Il potenziale che questi nuovi materiali potrebbero avere su differenti settori industriali appare strategico non solo da un punto di vista ambientale, ma anche economico e sociale. Infatti, la possibilità di utilizzare materiali di scarto, che diversamente sarebbero destinati ad essere smaltiti in discarica, potrebbe spingere diversi settori industriali ad investire nel recupero dei residui industriali o scarti di produzione in favore di una proficua collaborazione con il settore delle costruzioni auspicando, in tal modo, nuove opportunità di crescita industriale, generazione di nuovi posti di lavoro e contribuire allo sviluppo di nuovi prodotti sostenibili che, in linea con i principi e gli obiettivi dell'UE, risultino a bassa impronta di CO_2. In aggiunta la conseguente riduzione dei rifiuti avrebbe una valenza positiva sotto il profilo ambientale, economico e sociale.

GLI SCENARI TECNOLOGICI

Le tecnologie identificate per lo sviluppo del settore edilizia e costruzioni inerenti alla filiera del cemento e calcestruzzo ritenute particolarmente rilevanti sono riportate in Tabella 1. Tali tecnologie saranno descritte brevemente negli aspetti tecnici essenziali. Per semplicità descrittiva, le tecnologie sono raggruppate in relazione alla caratteristica innovativa identificata come prevalente (uso di risorse naturali/CO_2; caratteristiche prestazionali; regole progettuali; tecniche costruttive). Sono identificati anche i relativi SDG[II].

Gli scenari tecnologici per lo sviluppo del settore edilizia e costruzioni inerenti al calcestruzzo presentati in questo volume sono:

A. Nuova modalità d'uso delle risorse naturali (materiali /energia) e CO2

1. Combustibili e/o materiali alternativi
2. Uso di idrogeno verde per la produzione di cemento
3. Materiali secondari
4. Aggregati di riciclo /artificiali
5. Energie rinnovabili nella produzione di cemento e nella fase di realizzazione dell'opera

[II] https://sdgs.un.org/goals

6. Stoccaggio geologico
7. Progettazione della durabilità delle strutture su base prestazionale

B. Nuovi materiali e prestazioni

8. Calcestruzzi innovativi e/o alte prestazioni
9. Altre tipologie di calcestruzzo con prestazioni e/costituenti innovativi
10. Calcestruzzi fibrorinforzati (FRC, UHPFRC)
11. Altri materiali innovativi: Materiali ad attivazione alcalina/geopolimeri
12. Altri materiali innovativi: fotocatalitici e cool

C. Nuovo tecniche costruttive

13. Manifattura avanzata - Stampa 3D di materiali strutturali a base cementizia
14. Materiali per strade - Pavimentazioni stradali in calcestruzzo in galleria

D. Nuove modalità progettuali

15. Strumenti di valutazione della sostenibilità (LCA/EPD)
16. Modularità, disassemblaggio e sostenibilità del calcestruzzo
17. Massa termica e reti intelligenti
18. Resilienza strutturale - Strutture (di calcestruzzo) resistenti a fuoco, vento, allagamenti, sisma
19. Digitalizzazione - Applicazione alle costruzioni di tecnologie informatiche avanzate
20. Intelligenza artificiale nelle costruzioni

Impatto e risorse necessarie

La Tabella 1 segnala le aree su cui concentrare le risorse e le principali aree di impatto connesse agli scenari tecnologici selezionati. Le tecnologie identificate necessitano auspicabilmente ed in grado specifico adeguate risorse nello sviluppo industriale, scientifico-tecnologico, normativo-regolamentare. In particolare, è essenziale un'attività di ricerca, sviluppo ed innovazione, sia di prodotto che di processo in linea con le esigenze dell'industria delle costruzioni.

[III] *Indicatore qualitativo (applicabile solo per riga): alto (***), medio (**), basso (*), applicabile per confronto qualitativo di ogni tecnologia identificata (non utilizzabile per confrontare tecnologie differenti).*

[IV] *Indicato Gli SDGs rilevanti: 1 (no poverty) - 1.5; 2 (zero hunger) – 2.1, 2.2, 2.3, 2.4; 3 (Good Health and Well-being) - 3.6; 4 (Quality Education) -4.4; 5 (Gender Equality); 6 (Clean Water and Sanitation) - 6.1, 6.2, 6.3, 6.5, 6.6; 7 (Affordable and Clean Energy) - 7.1, 7.2, 7.3; 8 (Decent Work and Economic Growth); 9 (Industry, Innovation and Infrastructure) - 9.2, 9.5; 10 (Reduced Inequalities); 11 (Sustainable Cities and Communities); 12 (Responsible Consumption and Production) - 12.2, 12.4 12.5; 13 (Climate Action) - 13.1; 14 (Life Below Water) - 14.1, 14.2 14.3. Si veda https://gccassociation.org/sustainability-innovation/the-un-sustainable-development-goals/.*

Tabella 1 Principali aree di impatto connesse agli scenari tecnologici selezionati

Tecnologie per il settore Edilizia e Costruzioni (filiera del calcestruzzo)	Impegno qualitativo di risorse[III]			impatti sociali
	sviluppo industriale	scientifico/ tecnologico	normativo/ regolamentare	Sustainable Development Goals (SDG)[IV] rilevanti per il calcestruzzo
Combustibili e/o materiali alternativi	*	*	***	√ Durabilità, resilienza ai disastri naturali, √ sostenibilità, innovatività, √ disponibilità, accessibilità, √ resistenza meccanica, al fuoco, √ assorbimento CO_2 atmosferica, √ uso di rifiuti (solo in filiera a monte), riciclo (EoW), materiali e combustibili alternativi, √ riuso, disassemblaggio, √ efficienza energetica, massa termica, riduzione "isola di calore", √ compatibilità ambientale, √ promozione di sviluppo economico ed urbanistico √ conformità a normative e regolamenti nazionali ed europei √ collaborazioni pubbliche /private.
Idrogeno verde	***	**	*	
Materiali secondari	**	**	**	
Aggregati di riciclo / artificiali	**	**	**	
Energie rinnovabili	***	**	-	
Stoccaggio geologico	***	**	**	
Durabilità	*	***	***	
Calcestruzzi innovativi e/o alte prestazioni	***	***	***	
Calcestruzzi fibrorinforzati	*	*	**	
Altri materiali innovativi	***	***	***	
Manifattura avanzata	***	***	***	
Materiali per strade	-	-	*	
Strumenti di valutazione della sostenibilità	-	***	***	
Modularità e disassemblaggio	*	*	*	
Massa termica e reti intelligenti	*	***	*	
Resilienza strutturale	*	*	*	
Digitalizzazione	***	***	***	
Intelligenza Artificiale	***	***	***	

ENERGIA E DECARBONIZZAZIONE

ENERGIA E DECARBONIZZAZIONE

PROFILI DI SETTORE

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

ENEA	**Giulia Monteleone, Giovanni Francesco Lista**
FONDAZIONE BRUNO KESSLER	**Luigi Crema**

ESPERTI

ENEA	**Nadia Cerone, Simona De Iuliis, Ramiro dell'Erba, Paola Delli Veneri, Antonio Di Pietro, Antonio Donatelli, Walter Gaggioli, Eugenio Giacomazzi, Michela Lanchi, Giuseppe Messina, Michele Migliarese Caputi, Salvatore Paolini, Valeria Russo, Vincenzo Sabatelli, GiovannSau, Carlo Tebano, Luca Turchetti, Maria Valenti, Francesco Vellucci**
CETMA	**Alessandro Marseglia**
CNR ITAE	**Antonino Aricò**
FONDAZIONE BRUNO KESSLER	**Matteo Testi, Edoardo Gino Macchi**
INNOVHUB SSI	**Angelo Lunghi**
POLITECNICO DI MILANO	**Luca Lietti**
POLITECNICO DI TORINO	**Andrea Lanzini, Daniele Ferrario, Antonio De Padova, Romano Borchiellini**
RINA CONSULTING	**Natalia Pierozzi, Luigi Francesco Di Vito, Filippo Cirilli**
SNAM SPA	**Dina Lanzi**
UNIVERSITÀ DI PISA	**Lorenzo Ferrari, Guido Francesco Frate, Chiara Galletti, Isabella Pecorini**
AIRI	**Francesco Salvato, Andrea Porcari**

INTRODUZIONE

Dal 1992, Summit della Terra di Rio, alla COP 29, tenutasi in Azerbaijan nel novembre 2024, le varie conferenze internazionali hanno dimostrano l'attenzione dei Governi e della società ai cambiamenti climatici e per l'impatto che tali cambiamenti comportano, in primis sulla qualità della vita delle specie viventi del pianeta.

In questo quadro la produzione sostenibile di energia a supporto di tutte le attività umane è un problema di vitale interesse come mostrato in fig. 1 per la EU ed in fig. 2 nel mondo. La produzione di energia rappresenta, da sola, circa un terzo delle emissioni globali e in modo indiretto ma sostanziale concorre alle emissioni degli altri settori economici.

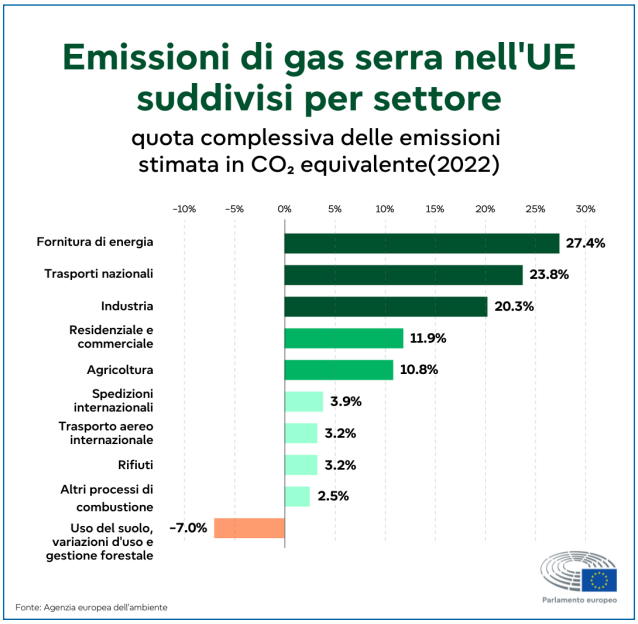


Figura 1: Emissioni globali di gas serra per settore in EU

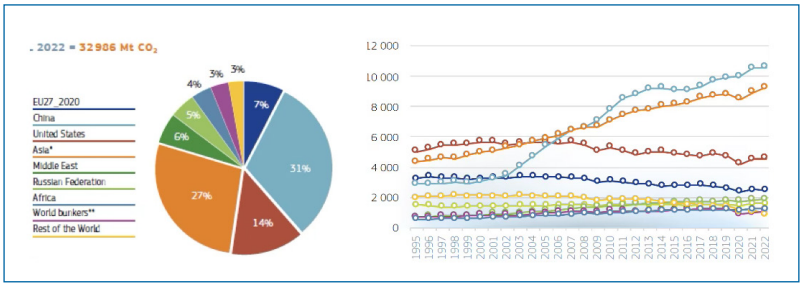


Figura 2: Emissioni di CO2 nel mondo per regione. Fonte: EU Energy Statistical Pocketbook 2024

La grande sfida è quella di ridurre l'emissione in atmosfera di gas serra[1], cioè di quei gas che determinano accumulo di energia, proveniente dal sole, all'interno dell'atmosfera terrestre e ne impediscono la fuoriuscita determinando un aumento della temperatura. Nel 2022, le emissioni di gas serra generate dalle attività economiche hanno raggiunto 32.9 B tonnellate di CO2 equivalente, il 48% in più rispetto al 2000 nonostante l'attenzione posta per la loro riduzione (vedi fig. 2) in cui le rinnovabili hanno però ancora un ruolo marginale a livello globale (fig. 3).

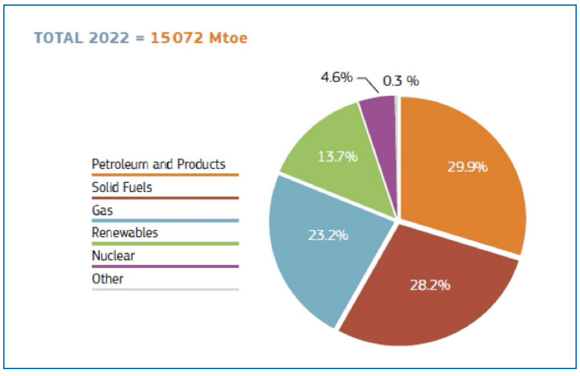


Figura 3: Produzione di energia nel mondo per tipo di sorgente. EU Energy Statistical Pocketbook 2024

[1] *https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20230316STO77629/cambiamento-climatico-gas-a-effetto-serra-che-causano-il-riscaldamento-globale per la EU ed anche https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-overview*

La quota di emissioni CO2 equivalenti della EU sul totale mondiale era del 14% nel 2000 per diventare del 7.6% con una riduzione in termini assoluti di circa il 30% indice che mostra come gli sforzi intrapresi sono stati efficaci.
La legge sul clima[2] approvata dal Parlamento Europeo il 24 giugno 2021, ha reso giuridicamente vincolante l'obiettivo di ridurre le emissioni del 55%, rispetto al 1990, entro il 2030 e la neutralità climatica entro il 2050 ed il regolamento che recepisce agli accordi Parigi sul clima[3]. Questo implica delle conseguenze molto importanti e delle sfide tecnologiche molto impegnative nel campo della produzione, distribuzione e uso dell'energia nonché nei settori industriali che ne fanno uso, cioè tutti, che richiedono una costante attenzione da parte delle Autorità coinvolte.
La severità della sfida è evidente anche esaminando i soli dati nazionali come esempio. I dati ultimi del PNIEC 2024 (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima)[4] risultano per alcuni versi meno performanti rispetto ai dati del PNIEC 2019, ciò evidenzia che per perseguire gli obiettivi indicati nella legge europea sul clima, occorrono investimenti molto consistenti per le attività di R&S al fine di realizzare nuove tecnologie e rendere sempre più performanti quelle esistenti.

[2] https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_it

[3] Regolamento EU 2018/1999 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/ALL/?uri=CELEX:32018R1999

[4] https://www.mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2024_revfin_01072024.pdf

SCENARIO INTERNAZIONALE

Il conflitto Russia-Ucraina ha messo in evidenza come la forte dipendenza delle forniture di fonti energetiche da un solo paese possa determinare gravi disagi anche a paesi non coinvolti direttamente nel conflitto. È sicuramente il caso dei Paesi Europei che hanno visto diminuire le forniture di gas russo e di contro aumentare i prezzi generando non poche difficoltà all'interno della società europea[5].
Quindi in un contesto così complesso ed interdipendente, è assolutamente necessario un incremento della diversificazione sia delle aree di produzione delle fonti energetiche sia delle fonti stesse proprio per evitare, o comunque contenere in limiti accettabili, i possibili rischi di dipendenza energetica e di sicurezza delle forniture.
Il progresso tecnologico che accompagna questa nostra era, consente di incrementare la produzione dell'energia proveniente da fonti energetiche rinnovabili, grazie soprattutto ai progressi nell'efficientamento dei dispositivi di produzione, ed allo stesso tempo di incrementare le possibili riserve di petrolio e gas, grazie alle continue scoperte, anche in aree cosiddette di frontiera – quali acque ultra profonde, zone artiche, bacini non convenzionali – costose e tecnicamente più complesse da sfruttare.
I dati contenuti nel rapporto concernente il "Monitoraggio globale dell'estrazione di petrolio e gas"[6] indicano che nel 2023 sono stati approvati almeno altri 20 giacimenti autorizzando l'estrazione di 8 miliardi di barili di petrolio equivalente (boe). Entro la fine di questo decennio, alle compagnie mirano ad avere il benestare per l'estrazione di un valore totale pari a 4 volte quello del 2023 e precisamente 31.2 miliardi di barili di petrolio equivalente in 64 nuovi centri di estrazione.
Le fonti rinnovabili, pur contribuendo ancora in modo limitato al soddisfacimento della domanda globale di energia, hanno registrato una tendenza in continuo aumento del loro contributo.
Nel 2023, secondo dati IRENA[7] contenuti nel rapporto Renewable Capacity Statistics, pubblicato da IRENA il 27 marzo 2024, i maggiori aumenti si sono registrati in Asia, in Europa ed USA.

[5] *Un'analisi recente sulle sfide EU in tema di energia è contenuta in https://commission.europa.eu/document/download/ec1409c1-d4b4-4882-8bdd-3519f86bbb92_en?filename=The%20future%20of%20European%20competitiveness_%20In-depth%20analysis%20and%20recommendations_0.pdf*

[6] *https://globalenergymonitor.org/it/press-release/fourfold-increase-in-new-oil-and-gas-fields-to-push-climate-further-from-1-5c-pathway/#:~:text=I%20dati%20in%20Monitoraggio%20globale,di%20petrolio%20equivalente%20(boe)*

[7] *https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Mar/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2024.pdf*

Il rapporto riporta che alla fine dell'anno 2023 a livello globale si produceva energia da fonti rinnovabili pari a 3870 GW, con un aumento di energia rinnovabile di 473 GW, vale a dire del 13,9%. Complessivamente, le energie solare ed eolica dominano la classifica mondiale della produzione di energia rinnovabile ed insieme rappresentano il 97,6% di tutti gli aumenti netti di rinnovabili nel 2023.

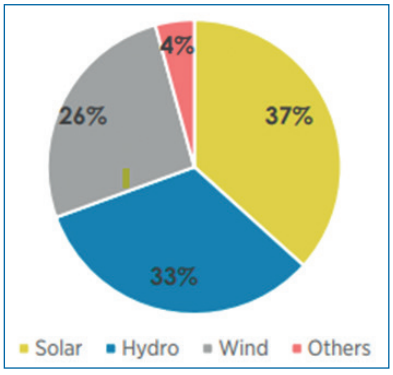


Figura 4: Tipi di produzione energia da fonti rinnovabili[8]

In particolare, gli incrementi delle rinnovabili hanno visto un aumento di 71,2 GW (+10%) in Europa mentre in Nord America di 34,9 GW (+7%). In Africa c'è stato un aumento di 2,7 GW (+4,6%). L'Asia ha realizzato il maggior incremento anche durante il 2023 pari al 69,3% del totale, incrementando la sua produzione di 327,8 GW. In Sud America si è registrato un aumento della capacità totale di 22,4 GW (+8,4%). L'Oceania ha avuto un'espansione pari a 5,5 GW (+9,4%).
Riguardo agli incrementi delle varie fonti di energia rinnovabili, lo stesso rapporto IRENA del 2024 riporta che gli aumenti più significativi si sono avuti per l'Energia Solare (+346 GW pari a 32,2%) per l'Energia Eolica (+116 GW pari al +12,9%) per l'Energia idroelettrica (+7,0 GW pari al + 0,6%).
Per la Bioenergia si è avuto un aumento di 4,4 GW marcando un rallentamento della crescita rispetto agli anni precedenti quando si era avuto un aumento di 8,1

[8] *Fonte IRENA https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Mar/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2024.pdf*

e 7,6 GW rispettivamente. L'elettricità rinnovabile off-grid ha visto un incremento di 0,6 GW nel 2023 (+4,6%) raggiungendo nel 2023 la capacità totale di 12,7 GW Più modesto l'incremento di energia geotermica pari a 0,2 GW.

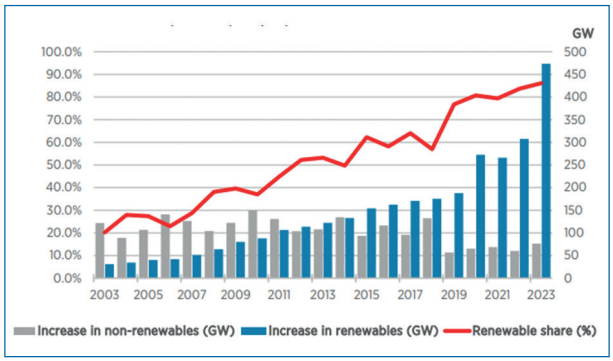


Figura 5: Variazione della produzione di energia rinnovabili[9]

Il tema correlato all'utilizzo delle varie fonti energetiche è ovviamente quello delle emissioni in atmosfera dei cosiddetti gas climalteranti e delle conseguenze sull'andamento climatico.

L'implementazione delle tecnologie pulite sta accelerando in diversi settori ed oggi in un numero crescente di paesi, l'elettricità proveniente da rinnovabili è più economica rispetto all'elettricità da fossili (fig. 6).

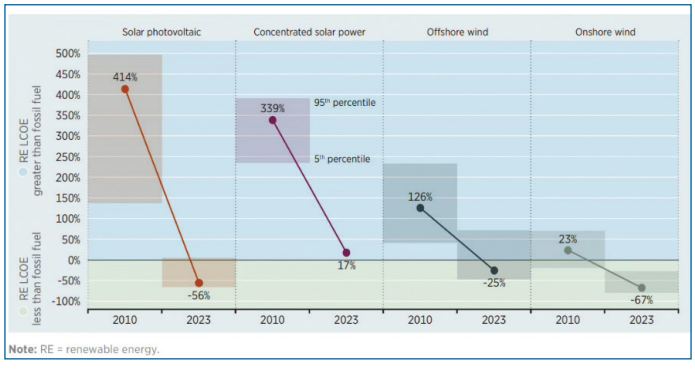


Figura 6: Costi energia rinnovabile rispetto alle fonti fossili[10]

[9] Fonte IRENA https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Mar/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2024.pdf

[10] https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Sep/IRENA_Renewabl_power_generation_costs_in_2023.pdf

L'aumento della capacità energetica dovuta alle rinnovabili è passato dal 37% del 2010 all'86% del 2023. La collaborazione a livello internazionale sarà fondamentale per raggiungere l'obiettivo prefissato.

- Attualmente il solare e l'eolico si stanno espandendo raddoppiando la propria produzione ogni 3,5 anni. Se questa tendenza sarà mantenuta, si raggiungerà, per le due tipologie, una capacità installata di 8 TW entro il 2030. Gli scenari per "zero emissioni" prevedono una capacità totale di 11 TW[11].
- L'energia idroelettrica è la principale fonte rinnovabile di energia elettrica prodotta al mondo e si prevede che resterà tale per il prossimo decennio quando la sua produzione sarà superata dalla produzione di energia eolica e fotovoltaica. Attualmente la produzione di energia idroelettrica è pari alla somma della produzione di energia da parte di tutte le altre rinnovabile messe insieme. La produzione idroelettrica nel 2022, ha raggiunto i 4.185 TWh. Nello scenario NZE[12], energia idroelettrica mantiene un tasso di crescita medio annuo della generazione di circa il 4% nel 2023-2030 per fornire circa 5.500 TWh di elettricità all'anno. E' fondamentale riconoscere le centrali idroelettriche come il fulcro della produzione di energia pulita del futuro e per questo bisognerebbe intervenire in particolare nel settore delle autorizzazioni al fine di rendere le procedure affidabili ma più snelle e garantire la sostenibilità dei progetti[13].
- L'energia geotermica è una forma di energia poco sfruttata ma che ha delle caratteristiche molto importanti. Andando in profondità nella crosta terrestre si troverà un aumento di temperatura pari a 30 °C/Km (gradiente geotermico), l'energia geotermica viene resa in modo naturale attraverso i geyser o i soffioni oppure attraverso i pozzi geotermici. Attualmente solo l'1% della produzione mondiale di energia è di tipo geotermico. Si ritiene che con adeguate politiche di sostegno, tale forma di energia potrà essere incrementata per dare un contributo significativo alla produzione globale di energia pulita.

[11] *IEA, IRENA e UN Climate Change High-Level Champions (2023), Breakthrough Agenda Report 2023, IEA, Parigi*

[12] *Net Zero Emissions by 2050 della IEA*

[13] *https://www.hydropower.org/publications/2024-world-hydropower-outlook*

Si fa notare come in questa pubblicazione non sono stati previste contributi specifici riguardanti queste due forme di energia poiché il loro sviluppo è legato principalmente a scelte su investimenti volti ad aumentare il numero delle installazioni ma usando sostanzialmente tecnologie esistenti.

In questo già complesso scenario, il gruppo di lavoro Airi ha ritenuto opportuno non trascurare per completezza una ulteriore fonte energetica ampiamente dibattuta in questi ultimi anni, il nucleare. A causa della complessità della sfida, richiederebbe una trattazione approfondita in un documento dedicato che dibatta gli scenari e le tecnologie innovative specifiche atte a rendere possibile il suo uso esteso, la sua produzione e trasporto con scelte tecniche e decisioni politiche molto rilevanti.
La scelta del gruppo di lavoro è stata di fornire per il nucleare solo un sintetico approfondimento delle peculiarità della scelta.

Le tecnologie nucleari

Le analisi modellistiche mostrano che in uno scenario di decarbonizzazione il nucleare permetterebbe di realizzare un sistema elettrico economicamente competitivo grazie alla sua la capacità -dispacciabilità- di contribuire alla regolazione e distribuzione dell'energia elettrica nella rete, garantendo che la produzione e il consumo di energia siano sempre bilanciati.
Le difficoltà di garantire la sicurezza del sistema elettrico aumentano infatti in modo non lineare quando la quota coperta dalle fonti rinnovabili variabili supera una certa soglia. Oltre quella soglia aumentano in modo non lineare anche i costi totali di sistema. Il "value-adjusted LCOE"[14], che include il "valore di sistema" delle tecnologie (contributo in termini di adeguatezza e flessibilità), nel caso di solare ed eolico tende a salire con l'aumento della loro quota nel sistema, per via dell'incremento dei costi di sistema da esse determinato, mentre tende a scendere nel caso di introduzione nel mix energetico del nucleare e di altre risorse simili a basse emissioni di CO_2.

[14]Il costo livellato dell'elettricità (LCOE) è il rapporto tra l'energia totale prodotta dal sistema energetico per costruirlo e gestirlo durante il suo ciclo di vita e il costo totale medio del sistema durante tale ciclo di vita.

I grandi investimenti, sia pubblici che privati, che stanno convergendo sulla tecnologia della fusione, potrebbero dare un'accelerazione allo sviluppo ed accorciare sensibilmente i tempi di commercializzazione delle centrali a fusione rispetto alla previsione attuale, che secondo la maggioranza degli esperti del settore, va ben oltre la metà del secolo. La Road Map europea per l'energia da fusione[15] prevede la realizzazione del primo prototipo di reattore a fusione (DEMO) all'inizio della seconda metà del secolo. L'Italia è uno dei principali membri del Consorzio ed è presente con una compagine di 20 soggetti, fra università, consorzi, istituti di ricerca e industrie, coordinata da ENEA. In Italia, inoltre, si sta costruendo la DTT Facility, un impianto da 600 M€ previsto dalla Road Map europea, che, assieme a ITER, permetterà di risolvere le problematiche ancora aperte e di progettare e realizzare nei tempi previsti il reattore dimostrativo DEMO. Ciononostante, la maggioranza della comunità scientifica internazionale ritiene che i reattori a fusione potranno diventare impianti commerciali che possano essere gestiti con affidabilità e continuità solo nella seconda parte del secolo.

Nel 2022 la fissione nucleare è stata la seconda fonte di produzione di energia elettrica carbon free nel mondo, superata solo dall'idroelettrico. Di recente la EU ha incluso l'energia nucleare nella tassonomia per le tecnologie energetiche per far parte della spina dorsale di un mix energetico a emissioni zero con un dispiegamento che potrebbe aver luogo nel prossimo decennio. Tutti i concetti oggi sviluppati hanno in comune la taglia, più piccola se confrontata con le centrali nucleari convenzionali (da pochi, a qualche centinaio, di MWe), e una progettazione che si pone come obiettivo la realizzazione di gran parte dell'impianto in una fabbrica per il successivo trasporto in sito (modularità). Le tecnologie nucleari avanzate possono essere classificate in 2 gruppi:

- Small Modular Reactors (SMR), che sfruttano la tecnologia dell'attuale flotta LWR (Gen III) su scala ridotta.
- Advanced Modular Reactor (AMR), derivati dalle tecnologie di quarta generazione, con nuovi sistemi di raffreddamento o combustibili innovativi per offrire prestazioni migliori e nuove funzionalità

[15] https://euro-fusion.org/eurofusion/roadmap/

(cogenerazione, produzione di idrogeno, gestione più semplice dei rifiuti nucleari).

In questa complessa prospettiva tecnica e politica, avranno ruoli chiave l'adozione dell'approccio di economia circolare, la pervasività della digitalizzazione e l'Internet of Things, la crescente diffusione di fonti rinnovabili e l'aumento della loro efficienza, la capacità di gestire reti elettriche complesse che collegano fonti di produzione elettrica diverse per taglia e tipo, lo storage della CO_2 o il suo impiego attraverso la conversione a e-fuel, lo storage di energia e la collaborazione internazionale mirata alla diffusione e sviluppo delle tecnologie pulite onde favorire una più rapida transizione verso un mondo carbon neutral.

La situazione italiana

L'invasione dell'Ucraina da parte della Russia ha determinato un cambio dello scenario dell'approvvigionamento energetico anche in Italia che ha dovuto far fronte alla riduzione delle importazioni di gas russo (dai 30 miliardi di m3 del 2021 agli 11 miliardi di m3 del 2022 fino ad arrivare ai 2.9 miliardi nel 2023, passando quindi da un valore pari al 40% del totale (2021) fino al 5% del 2023. Attualmente il maggior fornitore di gas è l'Algeria seguito dall'Azerbaijan, anche le importazioni di GNL, trasportato via nave ai rigassificatori, sono leggermente aumentate.

Riguardo ai consumi, nel 2023 il consumo di energia primaria è stato di 157 Mtep, in riduzione del 2,5% rispetto al 2022. Le fonti di energia primaria hanno subito anch'esse una variazione in funzione del calo dei consumi. In particolare, il consumo di gas naturale è diminuito di -5,6 Mtep, il consumo di carbone di -2,2 Mtep e di petrolio di -1 Mtep, questi valori sono stati parzialmente compensati da un aumento della produzione di energia da fonti rinnovabili pari a +3,3 Mtep e maggiori importazioni di energia elettrica pari a +1,8 Mtep.
Complessivamente le fonti fossili hanno coperto il 71% del fabbisogno (minimo storico) mentre le rinnovabili il 22% ed un valore pari al 7% è stato coperto da importazione di energia elettrica.

Riguardo agli investimenti pubblici in ricerca energetica, i valori in Italia sono abbastanza contenuti, nel 2021 l'aumento della spesa pubblica è stata dello 0,6% con aumenti significativi nel settore dell'idrogeno (+160%), del nucleare (+40%) e delle tecnologie per la conversione, trasmissione e stoccaggio di energia (+16%). Con l'approvazione del PNRR, le risorse destinate alla transizione energetica sono aumentate considerevolmente fino a comprendere il 40% dello stanziamento totale. In particolare, il 31,05% delle risorse, pari a 59,5 B€, sono state destinate alla Missione 2 "Rivoluzione verde e transizione ecologica" al fine di raggiungere gli obiettivi fissati dal Gran Deal Europeo.

Nel complesso quindi, pur rimanendo elevata la dipendenza dal mix di fonti fossili, è da rilevare come l'andamento dell'utilizzo di tali fonti è in costante diminuzione, rispetto al 2010 (82,6%) la differenza è pari all'11,6%.

SCENARI FUTURI DI PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI IN ITALIA

Il "Fit for 55 package" della EU[16] ha stabilito un pacchetto di norme che prevedono una copertura del fabbisogno energetico del 55% da fonti rinnovabili fino ad arrivare alla neutralità climatica nel 2050.
Per quanto riguarda l'Italia, i dati riportati nel PNIEC 2024 consentono di fare un confronto tra le tendenze in atto in Italia e le traiettorie che i diversi indicatori dovrebbero seguire per raggiungere gli obiettivi 2030. È evidente un generale rallentamento delle azioni in essere per cui gli obiettivi al 2030 risultano più lontani e molti degli indicatori richiedono variazioni decisamente più ambiziose rispetto all'ultimo quinquennio (fig. 7 e 8).

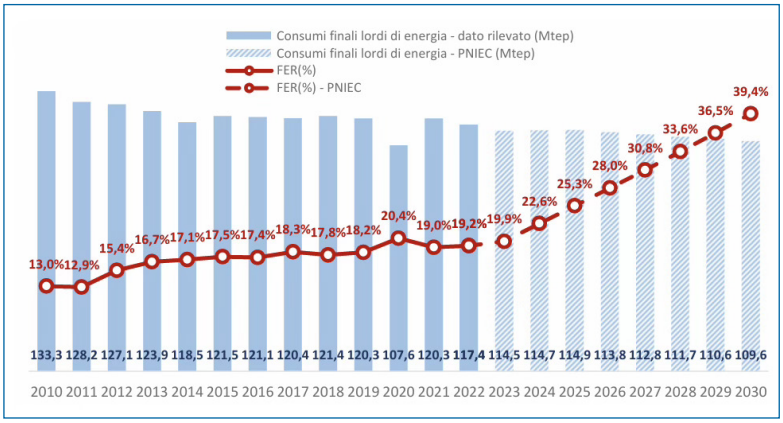


Figura 7: raiettoria della quota energia rinnovabile complessiva[17]

Un confronto tra i dati del PNIEC 2019 e quelli del PNIEC 2024, dimostra che gli obiettivi 2030 erano più facilmente raggiungibili partendo dalla situazione 2019 rispetto ai dati pubblicati nel 2024.

[16] *IEA, Ill pacchetto "Fit for 55" di luglio e dicembre 2021 è stato progettato per realizzare gli obiettivi della legge europea sul clima: neutralità climatica entro il 2050 e una riduzione del 55% delle emissioni nette di gas serra (GHG) entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990*
https://globalenergymonitor.org/it/press-release/fourfold-increase-in-new-oil-and-gas-fields-to-push-climate-further-from-1-5c-pathway/#:~:text=I%20dati%20in%20Monitoraggio%20globale,di%20petrolio%20equivalente%20(boe)

[17] *Fonte: PNIEC - Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica – giugno 2024*
https://www.mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2024_revfin_01072024.pdf

	Obiettivi 2030			Dati storici			Variazione media annua				
	Ft55 (+REPower EU)	PNIEC 2024 / Pol. Agg.	PNIEC 2019	2019	2023	2024 (proiez.)	2019-2024	2024-2030 Ft55	2024-2030 PNIEC'24	2019-2030 PNIEC'19	
Quota FER[18] su consumi finali lordi di energia (criteri RED3)	38,4/39 %	39,4%	30%	18,1%	19,7%	20,5%	0,5%	3,2%	3,2%	1,1%	La quota FER dovrebbe salire del 3% ogni anno, negli ultimi 5 anni è salita dello 0,5%
Quota FER su consumi finali lordi di energia elettrica		63%	55%	35%	39%	40%	1%	3,3%	3,8%	1,8%	PNIEC più ambizioso dello scenario EC Ft55. La quota di FER elettriche dovrebbe salire del 3,8% ogni anno, negli ultimi 3 anni è salita dell'1%
Quota FER su consumi finali lordi di energia nei trasporti	29%	34%	22%	9%	11%		0,5%	2,9%	3,3%	1,2%	PNIEC più ambizioso dello scenario EC Ft55. La quota di FER nei trasporti dovrebbe salire del 3,3% ogni anno, nel 2019-2023 è salita dello 0,5%
Quota FER su consumi finali lordi per riscaldamento e raffrescamento	29,6%	36%	34%		20%	22	0,7%	2,1%	1,9%	1,3%	La quota di FER dovrebbe salire del 2% ogni anno, nel 2019-2023 è salita dello 0,7%
Quota idrogeno da FER sul totale H2 nell'industria		54%									

Figura 8: Situazione FER rispetto ad obiettivi in Italia (elaborazione ENEA)

In questo quadro generale molto sfidante per l'Italia nei prossimi anni la tabella in fig. 8 mostra però un dato qualificante: il 40% dei consumi lordi reali di energia elettrica sono coperti da fonti rinnovabili, percentuale ben superiore a quella mondiale nel 2023 mostrata in fig. 9a ed in linea con quelli EU in fig. 9b.

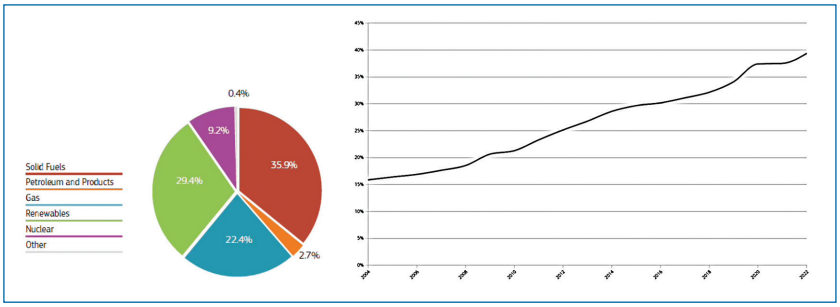


Fig 9a Fig 9b

Figura 9: Energia elettrica prodotta da rinnovabili nel mondo e in EU. Fonte Eurostat e EU Energy Statistical Pocketbook 2024

Alla luce di questi dati e del relativo minore contributo delle FER ai consumi finali di energia per trasporti, riscaldamento e raffrescamento (vedi dati in fig. 8), la discussione seguente esamina il contributo delle FER alla produzione di elettricità in Italia.

Lo scenario di policy elaborato nel PNIEC prevede che al 2030 siano installati complessivamente circa 132 GW di impianti a fonti rinnovabili (di cui 80 GW fotovoltaici e 30 GW eolici), con un incremento di circa 75 GW rispetto al 2021 (di cui +57 GW da fotovoltaico e +19 GW da eolico) e circa 230 TWh di generazione complessiva (19 Mtep). L'attuale tendenza di aumento della penetrazione delle fonti rinnovabili nel sistema energetico risulta ampiamente insufficiente per raggiungere i target 2030:

- nei primi otto mesi del 2024 la traiettoria di crescita della capacità fotovoltaica si è avvicinata a quella coerente con il target 2030;
- resta più problematico il trend dell'eolico, per il quale la più recente previsione di Wind Europe per l'Italia stima una capacità installata al 2030 pari a 17,6 GW, ben 11 GW in meno del target PNIEC.

Con riferimento ai suddetti obiettivi, gli stessi, seppure ambiziosi, risultano inferiori rispetto al reale potenziale di installazione e produzione del settore elettrico, come evidenziato da numerose associazioni ed aziende di settore, e risultano non allineati con gli impegni assunti.

Per il raggiungimento dei target definiti sarà necessario, in ogni caso, non solo stimolare nuova produzione, ma anche preservare quella esistente e anzi, laddove possibile, incrementarla promuovendo il revamping e repowering di impianti rinnovabili, seguendo un approccio ispirato alla riduzione del consumo di territorio. Per il fotovoltaico, si dovrà promuovere l'installazione innanzitutto su edificato, privilegiare l'installazione a terra in zone improduttive, non destinate ad altri usi produttivi (ad esempio agricoltura).

Questa situazione è una chiara indicazione del fatto che per raggiungere gli obiettivi 2030, bisogna introdurre azioni e strumenti che possano garantire un deciso miglioramento delle performance di tutti gli indicatori.

Adeguati investimenti che spingano nella direzione dello sviluppo di nuove tec

nologie e un maggior efficientamento di quelle esistenti sarà la via maestra per traguardare gli obiettivi prefissati.
La Strategia Italiana di lungo termine del PNIEC sulla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra prevede che al 2050 la produzione di energia elettrica da FER sia pari all'80-90 % con un eventuale residuo da gas. Il tutto legato alla evoluzione della domanda di energia elettrica.
Tale domanda sarà in sostanza influenzata da due fattori, da una parte l'aumento di efficienza energetica nell'utilizzo di elettricità, dall'altra il maggior utilizzo di energia elettrica e di dispositivi più efficienti rispetto agli equivalenti a gas, che comporterà un aumento di richiesta di energia elettrica ma in compenso una minore richiesta di energia totale.
Nello scenario di decarbonizzazione al 2050 descritto nella Strategia è prevista un più ampio ricorso all'energia elettrica nei consumi ed all'idrogeno sia come combustibile che per lo stoccaggio dell'energia. Il cosiddetto scenario di decarbonizzazione a basso profilo prevede un valore di generazione di energia elettrica da FER pari al 95% mentre in quello ad alto profilo si arriva al 100%.
Attualmente, nella relazione di accompagno al DEF del 2023, si afferma che, grazie anche all'adozione delle misure previste dal PNRR, l'obiettivo di ridurre al 2030 le emissioni del 33%, rispetto al 2005, nei settori non-ETS, secondo quanto previsto dalle norme del cosiddetto "Effort Sharing Europeo", sarà vicino ai risultati raggiunti ma non sarà conseguito. La relazione mette anche in evidenza come le attuali norme permettano sicuramente un incremento delle rinnovabili senza purtuttavia avere efficacia sul fronte dell'abbattimento dei consumi determinando quindi un risultato contenuto per le riduzioni di emissioni climalteranti rispetto a quanto previsto nei settori di competenza dell'"Effort sharing". Sarà necessario intervenire nel settore trasporti, favorendo il trasporto pubblico rispetto alla mobilità privata e nell'ambito del trasporto pubblico favorire il passaggio dal trasporto su gomma a quello su ferro e marittimo, sia per le persone che per le merci, e nel settore civile favorendo la riduzione del fabbisogno energetico degli edifici ed incrementando l'utilizzo di tecnologie a bassa emissività.

EFFETTI SULL'OCCUPAZIONE DELLA PRODUZIONE DI ENERGIE RINNOVABILI

Il "Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2023[18] pubblicato da IRENA, riporta che gli occupati globalmente nel solo settore delle Energie rinnovabili erano, a fine del 2022, pari a 13,7 milioni, un numero quasi raddoppiato rispetto al 2012 quando il settore occupava un numero di addetti pari 7,3milioni. La maggior parte degli addetti sono concentrati in Cina, Usa, UE ed UK, con la Cina che fa la parte del leone.

Nel settore energetico, a livello globale, per quanto indicato nel secondo rapporto "World Energy Employment[19] di IEA, lavoravano a fine anno 2022 quasi 67 milioni di persone con un incremento di 3,4 milioni rispetto ai livelli di pre-pandemia. Il maggior incremento rispetto ai livelli pre-pandemici si è avuto nei settori dell'energia pulita mentre nel settore dei combustibili fossili la ripresa dell'occupazione è stata più lenta con un numero di circa 1,3 milioni di addetti in meno rispetto allo stesso periodo.

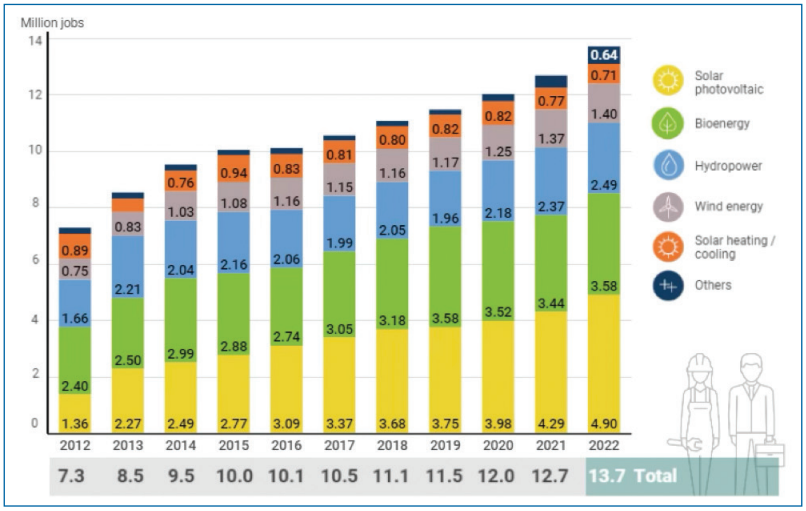


Figura10: Evoluzione dell'occupazione globale nelle energie rinnovabili in base alla tecnologia, 2012-2022[20]

[18] https://www.irena.org/Publications/2023/Sep/Renewable-energy-and-jobs-Annual-review-2023

[19] https://www.iea.org/reports/world-energy-employment-2023/executive-summary

[20] Fonte: IRENA https://www.irena.org/Digital-content/Digital-Story/2023/Sep/A-decade-of-progress-Renewables-jobs-on-the-rise/detail

L'incremento dei lavoratori nel settore dell'energia pulita trova un notevole ostacolo nella carenza di manodopera specializzata oltre che di personale laureato. Nel settore energetico, il 36% dei posti disponibili rientrano nella definizione di "occupazioni altamente qualificate", secondo la definizione dell'Organizzazione Mondiale del Lavoro, rispetto al 27% dell'economia totale.
Il settore più performante nell'ambito dell'energia pulita è stato il settore fotovoltaico che, anche per il futuro, rappresenta uno dei settori più promettenti.
Il Rapporto 2022 sull'occupazione nel settore solare nell'EU (SolarPower Europe, 2022)[21] stima che siano 465 600 i lavoratori a tempo pieno dipendenti nel 2021, in aumento rispetto ai circa 357.000 nel 2020. Ciò include circa 205.000 posti di lavoro diretti e 261.000 posti di lavoro indiretti, nella lavorazione dei materiali e nella logistica. Altri paesi leader includono la Germania (circa 86 900 posti di lavoro), la Spagna (65 600), Paesi Bassi (36 400), Grecia (33 700), Francia (33 200) e Italia (24 300). Tutti quanti hanno guadagnato significativamente in termini di occupazione rispetto all'anno precedente, riflettendo la crescita di nuove implementazioni.

Sarà fondamentale per il raggiungimento dell'obiettivo "zero emissioni" che i governi, oltre a favorire la possibilità di accedere a programmi di formazione sull'energia pulita, si facciano anche carico dei costi sostenuti dai lavoratori che cercano la qualificazione. I Paesi che vorranno essere competitivi in futuro nel settore delle FER dovranno avere come obiettivo, sin da subito, quello di creare un numero adeguato di personale qualificato impegnandosi ad attirare anche un numero crescente di donne che attualmente rappresentano solo il 15% del totale.

[21] *Fonte: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Sep/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2023.pdf*

LE STRATEGIE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA RINNOVABILE E DECARBONIZZAZIONE IN EUROPA ED IN ITALIA

Già nel luglio 2020 la EC ha adottato[22] due strategie ritenute di riferimento per delineare le misure necessarie per la transizione verso un sistema energetico decarbonizzato: la "strategia per l'integrazione del sistema energetico (Smart sector integration)" e la "strategia sull'idrogeno". La prima prevede sei azioni principali volte a garantire l'efficienza, la resilienza e la sicurezza del sistema energetico futuro, puntando su: (i) un sistema energetico più circolare ed efficiente; (ii) utilizzo diffuso di energia elettrica rinnovabile; (iii) promozione di combustibili rinnovabili e a basse emissioni di carbonio; (iv) sviluppo di nuovi mercati; (v) realizzazione di nuove infrastrutture resilienti e sicure; (vi) digitalizzazione.
La strategia sull'idrogeno prevede una traiettoria graduale per accelerare la penetrazione dell'idrogeno "verde" -prodotto da energia rinnovabile-, in tutti quegli ambiti in cui l'uso diretto del vettore elettrico rinnovabile non è perseguibile, attraverso tre fasi strategiche da implementare nel periodo 2020-2050.

Il piano RePower EU[23] presentato dalla Commissione Europea il 18 maggio 2022, rafforza gli impegni e gli obiettivi già definiti e mira a sostituire le fonti fossili importate dalla Russia in un orizzonte temporale di 5 anni, riducendo già di 2/3 le importazioni di gas russo entro un anno. Le misure contenute nel piano ribadiscono il necessario ricorso alle seguenti linee di intervento: (i) risparmio energetico; (ii) diversificazione dell'approvvigionamento energetico; (ii) rapida diffusione delle energie rinnovabili (capacità complessiva di produzione di energia rinnovabile 1.236 GW entro il 2030, pari al 45% di rinnovabili sul consumo finale).

In parallelo alla produzione di energia, i paesi dell'EU si sono impegnati a conseguire l'obiettivo della neutralità climatica entro il 2050 rispettando gli impegni internazionali assunti nell'ambito dell'accordo di Parigi un piano strategico che mira a contrastare il cambiamento climatico e il surriscaldamento globale tramite l'adozione di misure specifiche e decisive capaci di instaurare un nuovo modello di sviluppo sostenibile e circolare. In particolare, la EC si è posta l'obiettivo di conseguire entro il 2050 la neutralità climatica e di ridurre entro il 2030 le emissioni

[22] *EU strategy for energy system integration https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM:2020:299:FIN*

[23] *https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en*

di gas a effetto serra di almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990. L'idea alla base è che un'Europa a impatto climatico zero potrà garantire un'economia più moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva a livello internazionale. La transizione verso la neutralità climatica offrirà, quindi, un potenziale di crescita economica, di sviluppo tecnologico e competitivo, l'introduzione di nuovi modelli di business, la creazione di nuovi mercati e migliori condizioni di vita.

Il PNIEC 2030 (Piano Nazionale Integrato per l'Energia ed il Clima)[24] ha dato l'avvio al percorso di transizione energetica dell'Italia verso la totale decarbonizzazione da conseguire entro il 2050 in accordo alla strategia ed agli indirizzi EU. Esso riproduce l'attuale scenario di policy italiano che consente di traguardare gli obiettivi di decarbonizzazione, copertura rinnovabile ed efficienza energetica previsti al 2030 dalla EU. L'Italia intende accelerare la transizione dai combustibili fossili alle fonti rinnovabili, promuovendo l'abbandono del carbone per la generazione elettrica a favore di un mix elettrico basato su una quota crescente di rinnovabili e, per la parte residua, sul gas. La concretizzazione di tale transizione è subordinata alla programmazione e alla realizzazione delle tecnologie innovative e delle necessarie infrastrutture di trasporto, stoccaggio e distribuzione.

La produzione sostenibile di energia in quantità sufficiente alle esigenze della società è alla base della transizione verso una economia a basse emissioni di carbonio necessaria per mitigare i cambiamenti climatici, ma al tempo stesso è essenziale la preservazione della competitività delle imprese per garantire sviluppo e stabilità economica e sociale. È dunque richiesto un approccio olistico che bilanci i rischi e le opportunità associate al processo di decarbonizzazione con la necessità di produrre energia in quantità sufficiente a sostenere i bisogni della società. Uno dei principali rischi è rappresentato dalle potenziali perdite di competitività delle industrie tradizionalmente ad alta intensità di energia o con elevate emissioni di carbonio (settori che rientrano nello Emission Trading System o ETS[25]). Infatti, l'adozione di nuove fonti energetiche a basse emissioni

[24] *https://www.mase.gov.it/energia/energia-e-clima-2030*

[25] *https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en*

ma a costi più elevati o con maggiori complessità di uso ovvero di nuovi processi e tecnologie per la riduzione delle emissioni delle fonti energetiche tradizionali potrebbe aumentare i costi di produzione e ridurre la redditività. Al tempo stesso la transizione verso le energie rinnovabili e le tecnologie a basse emissioni di carbonio può generare nuove fonti di crescita economica e occupazione. Settori come quelli delle energie rinnovabili, dell'efficienza energetica, dei nuovi vettori energetici puliti, della mobilità sostenibile e di tutte le tecnologie green associate offrono opportunità di investimento e innovazione, promuovendo la creazione di nuovi mercati e l'emergere di imprese competitive in settori ad alto potenziale di sviluppo.

A fronte di tale contesto la capacità di innovazione dell'industria italiana deve cambiare passo. Lo sviluppo di tecnologie innovative riveste dunque un ruolo di assoluta preminenza nel quadro del percorso di produzione, distribuzione ed uso di fonti energetiche a basso impatto ambientale e decarbonizzazione.

Il tema è anche direttamente collegato a tutti gli altri settori industriali ed alla società nel suo complesso in quanto fornitore delle fonti di approvvigionamento energetico necessarie al loro funzionamento. In tale ottica rivestono particolare importanza le strategie energetiche e di sostenibilità di quei settori cui il settore energetico deve fare fronte e seguire fornendo soluzioni.

Nel campo industriale la competitività si dovrà fondare sul Net Zero Industry Act[26], approvato in via definitiva dal Parlamento Europeo nell'aprile 2024, che individua otto gruppi di tecnologie strategiche per la transizione Net Zero industriale della produzione di energia: solare fotovoltaico e termico, energia eolica onshore e rinnovabili offshore, batterie/stoccaggio, pompe di calore e tecnologie dell'energia geotermica, elettrolizzatori e celle a combustibile, biogas/biometano sostenibile, cattura e stoccaggio del carbonio, tecnologie di rete.

[26] *https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/net-zero-industry-act_en*

Altro pilastro per la definizione degli obiettivi di competitività è rappresentato dal Critical Raw Material Act[27]. Questa normativa EU punta a ridurre la dipendenza dalle importazioni da singoli Paesi fornitori, ponendo le basi dell'autonomia strategica dell'Europa, rafforzando le capacità lungo tutte le fasi della catena del valore delle diverse tecnologie ed aumentare le resilienze nazionali riducendo le dipendenze e promuovendo la sostenibilità e la circolarità della catena di approvvigionamento strategica delle materie prime. La strategia di rafforzamento della specializzazione industriale italiana nelle tecnologie energetiche che proceda di pari passo con la strategia di miglioramento della indipendenza europea sui materiali critici.

[27] *https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_2748*

L'INNOVAZIONE ITALIANA NEL SETTORE ENERGIA RINNOVABILE E DECARBONIZZAZIONE

L'attuale quadro dell'innovazione dell'Italia nelle tecnologie del settore energia rinnovabile e decarbonizzazione segnala una situazione di sostanziale despecializzazione dell'industria italiana (indice di specializzazione tecnologica basato sull'attività brevettuale inferiore all'unità) per tutti i gruppi di tecnologie strategiche per la transizione Net Zero di cui sono disponibili dati (fotovoltaico, eolico, batterie/stoccaggio, tecnologie dell'idrogeno), con l'unica eccezione del solare termico. La despecializzazione tecnologica trova, peraltro, riscontro nell'emergere di crescenti passivi sul fronte dell'interscambio commerciale. La situazione indica, dunque, la necessità di riequilibrare la specializzazione italiana nelle tecnologie strategiche per l'energia rinnovabile e la decarbonizzazione, in modo da superare nel medio periodo l'attuale situazione di despecializzazione relativa e, nel lungo periodo, raggiungere una adeguata situazione di specializzazione in almeno alcune di esse.

n questo scenario si segnalano alcuni aspetti rilevanti per l'innovazione italiana nel settore dell'energia rinnovabile e decarbonizzazione:

- Il nuovo sistema energetico EU sarà caratterizzato sempre di più da una quota significativa di fonti energetiche rinnovabili e di sistemi per la decarbonizzazione e dalla diffusione di sistemi sempre più decentralizzati, digitalizzati e interconnessi. Appare evidente che esso dovrà essere dotato di maggiore flessibilità per integrare la massiccia e rapida diffusione della generazione discontinua e non programmabile da fonti rinnovabili e la graduale sostituzione dei generatori a combustibili fossili, garantendo al tempo stesso la sicurezza dell'approvvigionamento energetico, elevata resilienza e una transizione energetica a prezzi accessibili.
- L'accumulo dell'energia svolgerà un ruolo cruciale nel sistema energetico attuale e futuro, contribuendo ad aumentare l'efficienza e la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e consentendo di:
  (i) abbassare i prezzi dell'elettricità durante le ore di punta,
  (ii) ridurre le fluttuazioni dei prezzi, (iii) adattare il consumo energetico dei consumatori alle proprie esigenze (promuovendo così il ruolo attivo degli utenti finali). In tale contesto la disponibilità di tecnologie per l'accumulo,

di breve o lunga durata, economicamente e ambientalmente sostenibili, diventa sempre più necessaria.

- La generazione di dati da parte del sistema energetico ad esempio con il miglioramento delle tecnologie e infrastrutture di misura e il demand side management (insieme di azioni volte a gestire in maniera efficiente il consumo di energia riducendo i costi), l'aumento della capacità di trasmissione dati delle reti di telecomunicazioni (banda larga) e l'accessibilità a una enorme mole di dati generati al di fuori del sistema energetico (ad esempio IoT - Internet of Things) ma di rilievo anche per il settore, richiedono che gli operatori si dotino di capacità di calcolo e analisi (Big Data) e di strumenti di Intelligenza Artificiale sia per migliorare la propria operatività, sia per offrire nuovi servizi.

Di conseguenza il rafforzamento della struttura scientifica e produttiva nazionale richiede un programma di investimenti in attività di R&S e innovazione prioritariamente nei seguenti settori in accordo alla partizione proposta nel Net Zero Industry Act:

i. rinnovabili che includono il solare fotovoltaico e termico, energia eolica onshore e rinnovabili offshore;
ii. tecnologie e sistemi di accumulo dell'energia con batterie o con produzione e stoccaggio di idrogeno, pompe di calore;
iii. soluzioni digitali e di automazione legati ai servizi di rete;
iv. produzione di idrogeno che includono elettrolizzatori e celle a combustibile;
v. materiali avanzati e sostenibili per l'energia.

Dal punto di vista industriale, anche nella prospettiva di sviluppo su mercati esteri, questi investimenti potranno permettere di creare filiere tecnologiche e industriali su: produzione di batterie e accumuli elettrochimici, tecnologie per il fotovoltaico e per l'eolico, impiantistica legata alla produzione e all'impiego dell'idrogeno e dei gas rinnovabili, tecnologie per la penetrazione negli usi finali dei vettori energetici rinnovabili (pompe di calore, celle a combustibile, ecc.) e digitalizzazione.

GLI SCENARI TECNOLOGICI

Le tecnologie proposte coprono gli otto gruppi di tecnologie strategiche individuati dal Net Zero Industry Act nelle cinque aree prima definite cui si aggiunge un'area dedicata agli usi finali dell'energia ed alle infrastrutture e strumenti necessari per il migliore utilizzo sia operativo sia in termini di maggiore efficienza energetica delle tecnologie.
In particolare, gli scenari tecnologici nelle aree ii), iii) iv) e v) comprendono le tecnologie per la produzione, stoccaggio e trasporto del vettore idrogeno che a giudizio del gruppo di lavoro sarà uno dei protagonisti dell'azione globale di decarbonizzazione. Ad esse si aggiungono alcune applicazioni per l'uso finale dell'Idrogeno sia in ambito civile che in ambito industriale atte a rendere operativo il suo uso nel breve-medio periodo.
Analoga attenzione è posta nei confronti della CO2 che, come detto, è responsabile dell'80% dei volumi di emissione dei gas serra. Si trattano i metodi di cattura della CO2, del suo stoccaggio e trasporto, nonché delle sue applicazioni per la produzione dei cosiddetti carburanti sintetici (e-fuel).

Gli scenari tecnologici presentati in questo volume sono:

i. Rinnovabili:
1. Sistemi a concentrazione solare (CSP, CST)
2. Minieolico
3. Eolico Floating Offshore

ii. Accumulo dell'energia:
4. Serbatoi di idrogeno gassoso in composito di tipo v per la mobilità sostenibile
5. BESS (battery energy storage systems)
6. Accumulo di energia termica alimentato da solare a concentrazione e altra fonte energetica rinnovabile

7. Stoccaggio e trasporto H2
8. Stazioni di rifornimento dell'idrogeno (hydrogen refuelling stations, HRS)
9. Pompe di calore ad alta temperatura

iii. Soluzioni digitali: automazione e servizi di rete;
11. Smart grid

iv. Produzione e uso di idrogeno:
12. Elettrolizzatori a bassa temperatura per la produzione di idrogeno "verde"
13. Produzione di idrogeno "verde" attraverso l'applicazione della tecnologia solare a concentrazione
14. Waste-to-Hydrogen (wth)
15. Membrane di separazione idrogeno
16. Celle a combustibile alimentate con idrogeno e combustibili rinnovabil

v. Materiali avanzati e sostenibili per l'energia.
17. Celle solari tandem perovskite/silicio

vi. Usi finali
18. Produzione di low carbon fuels
19. Cattura della CO2 post-combustione
20. Cattura diretta della CO2 dall'aria (Direct Air Capture, DAC)
21. Stoccaggio e trasporto CO2
22. Robot di ispezione e manutenzione degli impianti
23. Droni a idrogeno

24. Turbine a gas alimentate con miscele combustibili a elevato contenuto di idrogeno
25. I motori bifuel
26. Micro-cogeneratori a celle a combustibile alimentate con idrogeno e combustibili rinnovabili
27. Forni industriali a idrogeno

FARMACEUTICA

FARMACEUTICA

PROFILI DI SETTORE

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

FARMINDUSTRIA	**Mauro Racaniello**

ESPERTI

FARMINDUSTRIA	**Roberto Triola, Riccardo Pareschi**

FARMACEUTICA

SCENARI TECNOLOGICI

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

FARMINDUSTRIA	**Mauro Racaniello**

ESPERTI

BRACCO IMAGING SPA	**Francesco Blasi, Federico Maisano**
DOMPÉ FARMACEUTICI S.P.A.	**Maria Candida Cesta, Marcello Allegretti Andrea R. Beccari, Alberto Bettanti**
FARMINDUSTRIA	**Roberto Triola, Riccardo Pareschi**
FONDAZIONE DON GNOCCHI	**Marzia Bedoni**
GSK	**Federico Marchetti, Ennio De Gregorio**
MENARINI	**Elena Bevilacqua**
PFIZER	**Luciano Pacelli, Eva Montuori**
UNIVERSITÀ DI MODENA E REGGIO EMILIA	**Giovanni Tosi**
UNIVERSITÀ DI NAPOLI FEDERICO II	**Fabiana Quaglia**
VERTEX PHARMACEUTICALS	**Chiara Gherardi, Patricia Dang, Micaela Dell'Uomo**

L'INDUSTRIA FARMACEUTICA IN ITALIA

L'industria farmaceutica in Italia è un asset strategico per la salute e l'economia del paese. Con 52 miliardi di euro di valore della produzione nel 2023, e un export che ne rappresenta oltre il 90%, l'Italia è un hub europeo per la manifattura di prodotti farmaceutici che vengono esportati in tutto il mondo.

Le imprese del farmaco in Italia – un mix unico, tra piccole, medie e grandi aziende a capitale italiano e grandi imprese a capitale internazionale – sono circa 300, presenti sul territorio con siti produttivi, attività di R&S e sedi commerciali; vi trovano occupazione 70 mila persone e, considerando i settori dell'indotto, la filiera nel complesso conta oltre 150.000 addetti. Gli investimenti nel paese sono pari a 3,6 miliardi di euro e mostrano, negli ultimi dieci anni, una dinamica in continua crescita. Di questi, 1,6 miliardi di euro sono investiti nella produzione, mentre nella R&S gli investimenti raggiungono i 2 miliardi, di cui oltre 700 milioni in studi clinici: il contributo all'ecosistema della ricerca nazionale è tra i più alti tra i diversi settori industriali del paese, in un network di ricerca che coinvolge le imprese del farmaco e gli altri attori dell'ecosistema, quali start-up e piccole e medie imprese innovative, università, istituti di ricerca, enti no-profit, sia nel privato sia tra soggetti privati e pubblici.

Le sfide che vedono impegnata l'industria farmaceutica sono molteplici, alcune trasversali anche ad altri settori, altre di carattere globale e altre ancora più specifiche del contesto italiano. Tra le principali vi sono: la necessità di stare al passo con le nuove tecnologie e la digitalizzazione, e con le nuove esigenze e domande in campo sanitario, come il bisogno di ripensare il Servizio Sanitario Nazionale e, in generale, le modalità di cura e assistenza; la sfida posta dalla transizione ecologica e dagli obiettivi di sviluppo sostenibile, non solo nella sua accezione ambientale, ma anche economica e sociale; e quella per gli investimenti, sempre più forte sia a livello globale sia tra paesi europei, che Italia ed Europa possono vincere solo con un contesto più attrattivo e con una visione che veda convergere politiche sanitarie e politiche industriali.

Tabella 1 – Statistiche principali dell'industria farmaceutica in Italia

Statistiche	Anno 2023
Valore della produzione (mld €)	52
Export (mld €)	49
Investimenti (mld €)	3,6
- in R&S	2
- in produzione	1,6
Occupazione (n. addetti)	70.000
- in R&S	7.050

CARATTERISTICHE DELLE IMPRESE FARMACEUTICHE IN ITALIA

Le imprese del settore farmaceutico operanti in Italia sono complessivamente 284, di cui 220 produttrici di specialità medicinali. Nel settore la dimensione media delle imprese è certamente più grande rispetto alla media dell'industria, ma anche ai settori più capital intensive: la maggior parte degli addetti (79%) è occupata infatti in imprese dai 250 addetti e più, in confronto a una media manifatturiera del 28%. Le imprese piccole e medie rappresentano una componente importante per il settore, sia da un punto di vista quantitativo – nell'Unione Europea l'Italia risulta prima per produzione e addetti – sia per le loro caratteristiche qualitative, ovvero per elevati valore aggiunto e grado di istruzione degli occupati.

Tenendo conto sia del fatturato, sia di parametri quali occupazione, investimenti, vendite estere e imposte pagate, il settore è composto per il 42% da imprese a

capitale italiano e per il 58% da imprese a capitale estero (32% europee e giapponesi, 26% USA), una composizione unica in Europa. In Italia, tra tutte le imprese a capitale internazionale quelle del farmaco hanno un ruolo di primo piano per occupazione, valore aggiunto, investimenti, export, generando valore anche attraverso gli acquisti effettuati nell'indotto. L'Italia è prima tra i grandi paesi europei per presenza di imprese a capitale statunitense, tedesco, francese, svizzero e giapponese; inoltre, è un hub mondiale per la produzione di vaccini per quanto riguarda le imprese a capitale inglese.

Le imprese a capitale italiano si caratterizzano per investimenti crescenti in produzione e ricerca e per un fatturato realizzato all'estero pari a circa il 75% del totale, più della media dell'industria (43%) e in notevole crescita, conseguita non in un'ottica di delocalizzazione ma di presidio di nuovi mercati. Tale crescita ha consentito di rafforzare la presenza in Italia e gli investimenti in R&S e produzione, che per ogni addetto sono circa tre volte quelli della media manifatturiera.

PRODUZIONE ED EXPORT

Con più di 130 siti produttivi e un valore della produzione farmaceutica nel 2023 pari a 52 miliardi di euro l'Italia si posiziona tra i principali hub europei e mondiali per la manifattura di prodotti farmaceutici, sottolineando l'importanza e la strategicità dell'industria farmaceutica per la crescita economica del paese. Dal 2018 al 2023, infatti, l'indice Istat della produzione industriale, riferita ai volumi prodotti, registra per la farmaceutica una crescita del 17,4%, un incremento tra i più elevati tra tutte le attività manifatturiere e in controtendenza rispetto alla media (-2,7%).

A sostenere integralmente la dinamica della produzione farmaceutica in Italia è l'export, che negli ultimi anni è arrivato a rappresentare oltre il 90% del valore della produzione e che dal 2013 al 2023 è più che raddoppiato: +150%, una crescita superiore a quella della farmaceutica nell'Ue (+129%) e di Germania, Francia e

Spagna. Oggi l'export farmaceutico costituisce circa l'8,3% del totale delle esportazioni dell'Italia – dieci anni fa pesava poco più del 5% – ed è destinato principalmente a mercati avanzati, oltre la metà è diretto verso i paesi europei, Regno Unito e Svizzera inclusi, mentre fra i paesi extra-europei i maggiori mercati di destinazione sono Stati Uniti, Giappone e Corea del Sud- e negli ultimi dieci anni, è in aumento il peso degli scambi con la Cina. Sempre con riferimento al decennio 2013-2023, si registra anche una significativa crescita del valore medio dei prodotti farmaceutici esportati (+87%), fino a raggiungere i livelli della Germania: un dato che riflette l'aumento del contenuto innovativo e della qualità della produzione in Italia, oltreché gli investimenti delle imprese nelle linee produttive – che nel 2023 ammontano a 1,6 miliardi di euro, in crescita del 15% rispetto al 2018.

Tra i fattori che hanno maggiormente contribuito allo sviluppo dell'industria farmaceutica in Italia vi sono la qualità delle Risorse Umane e la presenza di un'ampia filiera di eccellenza, che comprende fornitori di materie prime e semilavorati, di macchine e tecnologie per il processo e il confezionamento, di componenti e servizi industriali, che con la farmaceutica generano un sistema di grande valore per lo sviluppo economico e sociale. Nel 2023 nei settori fornitori erano occupate 83 mila persone e, considerando anche i settori attivati dai consumi generati dalla presenza dei fornitori – l'occupazione dell'indotto superava le 236 mila persone.

OCCUPAZIONE

Nel 2023 l'occupazione farmaceutica in Italia contava 70 mila persone. Il confronto per titolo di studio evidenzia come nella farmaceutica il fattore competenze sia particolarmente importante: infatti, la quota di personale laureato, pari al 54%, risulta superiore alla media dell'industria (21%) e, considerando anche il personale diplomato, la quota di occupati con titolo di studio raggiunge il 90%, rispetto al 63% della media dell'industria.

Tra il 2018 e il 2023 l'industria farmaceutica ha aumentato l'occupazione più della media nazionale: +8,5% rispetto a +2,9% della media, soprattutto grazie alla crescita delle mansioni di R&S, produzione e personale di sede. Le donne sono risultate il 45% del totale (il 53% nella R&S), valore significativamente più alto della media dell'industria manifatturiera (29%). La maggiore presenza femminile rispetto alla media si riscontra in tutte le categorie occupazionali, ma è superiore tra dirigenti e quadri (47% del totale nella farmaceutica, rispetto al 24% nella manifattura). Dati molto positivi si registrano anche per l'occupazione giovanile: nel quinquennio 2018-2023 gli under 35 nella farmaceutica sono cresciuti del 22%. Complessivamente, circa l'85% degli under 35 ha un contratto a tempo indeterminato. Elementi che fotografano un positivo processo di ricambio generazionale. Le imprese acquisiscono nuove competenze, che crescono anche dopo l'assunzione attraverso azioni per la formazione e lo sviluppo professionale, all'insegna di multidisciplinarietà e soft skills.

RICERCA E SVILUPPO

Nel 2023 in Italia le imprese farmaceutiche hanno investito nella R&S 2 miliardi di euro, il 7% del totale degli investimenti nel paese, posizionandosi tra i principali settori che contribuiscono alla ricerca in Italia. Negli ultimi dieci anni gli investimenti in R&S della farmaceutica mostrano una dinamica crescente, con un tasso di crescita medio annuo del 4%, a indicare una forte attrattività del sistema di ricerca del paese, in particolare nella ricerca clinica.

A ulteriore dimostrazione del forte dinamismo della R&S farmaceutica in Italia, i dati dello European Patent Office (EPO) relativi alle domande di brevetto in ambito farmaceutico presentate dall'Italia tra il 2019 e il 2023 mostrano un incremento del 35% rispetto al quinquennio precedente, dato ben superiore alla media, nello stesso ambito, dei grandi paesi europei (+23%)[1].

[1] *Tassi di crescita calcolati sulla base delle medie delle domande di brevetto presentate nei periodi considerati.*

Nonostante il trend positivo della R&S farmaceutica in Italia, la perdita di terreno dell'Europa in termini di investimenti negli ultimi vent'anni rispetto a paesi come gli Stati Uniti e la Cina[2] e l'evoluzione dello scenario internazionale post-Covid – caratterizzato da una crescente frammentazione e una sempre maggiore competitività, fra macro-aree ma anche fra i paesi europei – rende necessario un rafforzamento, sia a livello nazionale sia in ottica europea, dell'attrattività del sistema di ricerca italiano, anche alla luce degli investimenti dell'industria farmaceutica a livello internazionale previsti in crescita nei prossimi anni.

La R&S farmaceutica in Italia conta più di 7 mila persone, il 10% del totale degli occupati del settore farmaceutico, in aumento del 7% rispetto al 2018. L'occupazione nella R&S farmaceutica è caratterizzata da un'ampia presenza di donne, pari al 53% del totale, un dato importante, in linea con la media dell'industria farmaceutica in Europa e al di sopra di quello del totale delle imprese in Italia (22%).

Uno dei principali indicatori che misurano l'intensità della R&S, ovvero il rapporto tra investimenti in R&S e valore aggiunto, nella farmaceutica è pari al 17%, ben al di sopra della media dei settori a medio-alta tecnologia (10%) e di quella dell'industria manifatturiera (4%). Rispetto agli altri settori, l'industria farmaceutica si distingue inoltre per la quota più alta di imprese innovative, circa il 90%, e la più alta spesa in innovazione per addetto, circa 3 volte superiore alla media dell'industria manifatturiera. Questi dati mostrano l'impatto positivo delle attività di R&S farmaceutica sull'ecosistema della ricerca in Italia.

Negli ultimi anni, infatti, la ricerca farmaceutica in Italia (e, in generale, a livello globale) si è sviluppata sempre più in network con gli altri attori della R&S – ovvero con università, start-up, piccole e medie imprese innovative, istituti di ricerca, enti no-profit, nel pubblico come nel privato, creando un ecosistema che vanta molte

[2] *Tra il 2001 e il 2020 la quota in termini di investimenti in R&S dell'Europa, includendo anche Svizzera e Regno Unito, rispetto al totale delle maggiori economie – che include, oltre all'Europa, Stati Uniti, Giappone e Cina – è passata dal 41% al 31%; nello stesso periodo, la quota degli Stati Uniti è passata dal 44% al 52% mentre quella della Cina dall'1% all'8%. Fonte: Charles, Rivers and Associates (2022), Factors affecting the location of biopharmaceutical investments and implications for European policy priorities,* https://www.efpia.eu/media/676753/cra-efpia-investment-location-final-report.pdf.

eccellenze riconosciute a livello internazionale. Oggi l'industria farmaceutica in Italia risulta al vertice del ranking dei settori industriali per accordi di innovazione con università e centri pubblici di ricerca.

SPERIMENTAZIONE CLINICA

L'Italia riveste un ruolo importante e crescente per la ricerca clinica: l'industria farmaceutica vi investe oltre 700 milioni di euro all'anno, il più alto contributo al sistema nazionale di R&S.

L'investimento in studi clinici genera molte esternalità positive: rende disponibili terapie innovative per i pazienti; offre possibilità di crescita professionale a medici e ricercatori, incrementando la competitività scientifica; e assicura al Servizio Sanitario Nazionale (SSN) importanti risorse e minori costi, poiché le imprese si fanno carico di tutte le spese connesse agli studi, quali ospedalizzazione, farmaci ed esami diagnostici. Secondo un'indagine ALTEMS (Università Cattolica) sul valore della sperimentazione clinica in Italia[3], l'"effetto leva" per ogni euro investito dalle imprese del farmaco genera un beneficio complessivo per il SSN pari a 2,95 euro, in termini sia di spese dirette connesse allo studio sia di spese indirette per la fornitura di farmaci e la gestione dei pazienti, che si traducono in costi evitati per il soggetto pubblico.

In base all'ultimo rapporto AIFA[4], nel 2023 il numero di sperimentazioni cliniche in Italia è stato superiore a 600, in linea con la media di lungo periodo. L'83% degli studi è costituito da sperimentazioni finanziate dall'industria farmaceutica; il 54% del totale è concentrato nelle Fasi I e II. Il 45% degli studi clinici riguarda farmaci biotech, ed il 31% farmaci per la cura delle malattie rare. Le principali aree terapeutiche dei farmaci in sviluppo sono: le neoplasie (35% del totale degli studi),

[3] *Alta Scuola di Economia e Management dei Sistemi Sanitari – ALTEMS, Università Cattolica del Sacro Cuore (2022), Laboratorio sul management delle sperimentazioni cliniche, 2021, https://www.farmindustria.it/app/uploads/2022/10/Lab-MSC-Report-2022.pdf.*

[4] *Agenzia Italiana del Farmaco (2023), 20° Rapporto nazionale sulla Sperimentazione Clinica dei medicinali in Italia, https://www.aifa.gov.it/-/20-rapporto-nazionale-sulla-sperimentazione-clinica-dei-medicinali-in-italia-2023.*

le malattie del sistema nervoso (11%), quelle del sistema immunitario (9%), del sistema cardiovascolare (6,2%) e del sistema ematico e linfatico (6,1%).

INVESTIMENTI IN R&S E CARATTERISTICHE DELLA PIPELINE A LIVELLO GLOBALE.

In base agli ultimi dati pubblicati dalla Commissione europea[5], l'industria farmaceutica è il primo settore al mondo per investimenti in R&S, con un peso sul totale pari al 13%. Inoltre, tra il 2025 e il 2030 gli investimenti globali nella R&S farmaceutica raggiungeranno i 2 mila miliardi di dollari[6].

La pipeline di R&S a livello mondiale conta oggi 23 mila prodotti in sviluppo, di cui oltre 8 mila in fase clinica[7]. Del totale dei prodotti in sviluppo, il 56% è di origine chimica mentre il 44% di origine biotecnologica – quota in crescita, infatti nei primi anni Duemila superava di poco il 20%. Relativamente alla ricerca clinica, oncologia, neurologia e malattie metaboliche sono le prime tre aree terapeutiche, rappresentando il 70% dei prodotti in sviluppo.

Secondo dati IQVIA[8], i nuovi principi attivi autorizzati nel mondo, in media, negli ultimi tre anni, sono 75 all'anno, in aumento rispetto ai 49 all'anno del quinquennio precedente e, grazie anche a un'innovazione scientifica e tecnologica in rapida evoluzione, consentono oggi percorsi terapeutici e di cura sempre più mirati e personalizzati: ad esempio, i vaccini a mRNA in studio clinico a livello mondiale sono passati da 7 nel 2017 a 65 nel 2022; il numero di Next Generation Therapeutics – che includono le terapie geniche, quelle cellulari somatiche e quelle di ingegneria tissutale – in sviluppo nel mondo è cresciuto del 20% all'anno. Oggi

[5] *European Commission (2024), The 2024 EU Industrial R&D Investment Scoreboard, https://iri.jrc.ec.europa.eu/scoreboard/2024-eu-industrial-rd-investment-scoreboard.*

[6] *Evaluate (2024), World Preview 2024: Pharma's Growth Boost, https://www.evaluate.com/thought-leadership/world-preview-2024-report/?utm_source=Eloqua&utm_medium=Email&utm_campaign=202407-EVP-World%20Preview%2024%20WBN-TL-CMP&utm_content=202407-EVP-World%20Preview%2024%20WBN-TL-EDM-04%2024hr%20reminder.*

[7] *Citeline (2024), Pharma R&D – Annual Review 2024.*

[8] *IQVIA Institute (2023), Global Trends in R&D 2023, https://www.iqvia.com/insights/the-iqvia-institute/reports-and-publications/reports/global-trends-in-r-and-d-2023..*

i farmaci personalizzati rappresentano il 40% della pipeline globale e il 70% dei prodotti oncologici.

Tra i principali fattori abilitanti la R&S, la digitalizzazione svolge un ruolo chiave. Le tecnologie informatiche e digitali disponibili, infatti, consentono di velocizzare i processi, sia nella ricerca di base – ad esempio, si calcola che l'intelligenza artificiale (IA) possa far risparmiare fino al 40% del tempo di identificazione di nuove molecole – sia nella sperimentazione clinica: nella pipeline mondiale oggi i Decentralized Clinical Trials (DCT) rappresentano una quota crescente dei prodotti in sviluppo[9]. In Italia, dati del Politecnico di Milano mostrano come l'uso dell'IA nella ricerca farmaceutica sia già abbastanza diffuso: risulta, infatti, come il 38% delle imprese farmaceutiche ha già adottato applicazioni di IA per la R&S di nuovi farmaci e vaccini, in particolare nella fase di Drug Discovery.

GLI SCENARI TECNOLOGICI

La scelta degli scenari tecnologici riportati in questo studio è stata fatta con lo scopo di proporre una selezione di innovazioni che già oggi consentono di accrescere la competitività, produttività e sostenibilità sia del settore privato, sia del settore pubblico e che per la loro strategicità richiedono rilevanti investimenti in tecnologia, processi, aggiornamento di organizzazione e competenze nei prossimi tre – cinque anni.

- Piattaforme tecnologiche per lo sviluppo di biofarmaci

I biofarmaci sono prodotti medicinali derivati, sintetizzati o estratti da organismi viventi o prodotti utilizzando sistemi biologici. I biofarmaci includono i vaccini, anticorpi monoclonali e altre terapie derivate da un sistema vivente. Tra essi verranno descritte le piattaforme tecnologiche mRNA per lo sviluppo di vaccini e di strategie terapeutiche per la medicina personalizzata, con potenziale di applicazione in una molteplicità di malattie, quali malattie metaboliche, malattie cardiovascolari, oltre a malattie infettive.

[9] *Ibidem.*

• Nuove piattaforme tecnologiche per lo sviluppo di vaccini batterici rilevanti nel contrasto alla antimicrobico resistenza

La diffusione di malattie infettive, così come il problema crescente dell'antimicrobica resistenza (AMR), rappresentano una seria minaccia per la salute pubblica e gravano pesantemente sui sistemi sanitari e sulla società. In linea con la strategia One Health per lo sviluppo di nuovi vaccini batterici diretti contro specie patogene rilevanti, si presentano tre piattaforme innovative, quali Multiple antigen-presenting system (MAPS), Generalized Membrane Module Antigen (GMMA) e Bioconiugazione.

• Farmaci per terapie avanzate

Farmaci a base di DNA, RNA, cellule o tessuti cellulari, per applicazioni nella diagnosi, la prevenzione o il trattamento di gravi malattie genetiche, croniche e tumori. Tra essi sono presentate: la terapia con cellule CAR-T che è un tipo di immunoterapia personalizzata, prodotta a partire dei linfociti prelevati dal sangue del paziente; la terapia genica nelle malattie genetiche che consente di inserire nelle cellule del paziente una copia corretta del gene difettoso o un altro gene che possa compensarne il malfunzionamento; l'editing genetico reso possibile grazie alla scoperta del complesso CRISPR-Cas9 che permette di tagliare il DNA in un punto preciso grazie alla presenza del RNA guida.

• Tecnologie innovative di Intelligenza Artificiale per la drug discovery

Piattaforma di drug discovery basata sull'Intelligenza Artificiale (IA), progettata per il computer-aided drug design (CADD), per accelerare il processo di scoperta di nuovi farmaci, supportando sia strategie di progettazione che di riposizionamento di farmaci esistenti. La piattaforma offre una rapida, previsione accurata e affidabile delle proprietà dei potenziali farmaci, tra cui affinità, selettività, farmacocinetica e tossicità, contribuendo a ridurre il rischio di insuccessi nelle fasi successive dello sviluppo.

- **Digital & Connected care: dalle tecnologie sanitarie digitali alla digital therapeutics**

Utilizzo di tecnologie digitali per la filiera della salute, a supporto della sperimentazione clinica di nuovi farmaci, del miglioramento e personalizzazione delle terapie e delle cure al paziente e del potenziamento dell'efficienza dei sistemi sanitari. Si trattano in particolare le tecnologie sanitarie digitali, la medicina digitale e gli approcci di Digital Therapeutics.

- **Nuovi sviluppi dell'imaging diagnostico: Imaging molecolare e teranostica**

L'imaging in vivo è un insieme di procedure diagnostiche che consentono di visualizzare dettagli interni dell'organismo e talvolta anche di trarre informazioni su determinate funzioni. L'imaging molecolare associa un composto in grado di concentrarsi preferibilmente in corrispondenza di uno specifico bersaglio molecolare, caratteristico di una certa patologia. Quando ad una di tali sonde viene legata anche una molecola in grado di svolgere un'azione terapeutica, si realizza un approccio teranostico.

- **Nuovi sviluppi dell'imaging diagnostico: Intelligenza Artificiale in Radiologia**

L'Intelligenza Artificiale permette applicazioni innovative nel campo della diagnostica per immagini ed in particolare della radiologia per estrarre dalle immagini radiologiche informazioni a supporto delle decisioni cliniche grazie a tecniche di Machine Learning o Deep Learning. Le applicazioni di Intelligenza Artificiale permettono di esaminare le immagini diagnostiche e migliorare l'identificazione di lesioni sia automatizzando le misurazioni anatomiche, sia velocizzando i tempi di analisi.

- **Tecnologie per la diagnostica di precisione tramite biopsia liquida**

La biopsia liquida permette di effettuare analisi su materiale di origine tumorale (cellule, DNA, RNA, vescicole extracellulari…) ottenuto da un liquido corporeo, più comunemente sangue, senza procedure chirurgiche invasive e costose, e

consente un monitoraggio costante della malattia, un approccio terapeutico più informato e, in ultima analisi, una cura più efficace del paziente. Sono illustrate due tecnologie, per la conta, l'isolamento e l'analisi molecolare delle cellule tumorali circolanti.

- Nanomedicina

La nanomedicina permette di sviluppare approcci più efficienti e affidabili quando sono necessari approcci di precisione, diagnosi altamente specifica e predittiva riguardo alla somministrazione e veicolazione di farmaci, all'efficacia terapeutica, alla personalizzazione delle terapie come nel caso di patologie rare. Aiuta inoltre a migliorare le terapie esistenti, ad esempio con la diminuzione di effetti collaterali, lo sviluppo di terapie più specifiche come nel caso di patologie del Sistema Nervoso Centrale o per patologie in cui esistono farmaci efficaci ma che necessitano di adeguato delivery e targeting come proteine terapeutiche o enzimi.

MECCATRONICA

MECCATRONICA

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

COSBERG	**Mauro Viscardi**
DIGITAL INNOVATION HUB LOMBARDIA	**Pierluigi Petrali**

ESPERTI

COMSOL	**Daniela Panfiglio**
ENEA	**Giovanni Di Girolamo, Dario Della Sala**
ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA	**Francesca Negrello**
INAIL	**Alberto Ranavolo, Tiwana Varrecchia, Giorgia Chini, Fabio Boccuni**
IUVO	**Nicola Vitiello**
IUVO	**Simona Crea**
NATIVETOWORK	**Luca Ceccarelli**
NVNOVA	**Sabino Sinesi**
PRIMA ADDITIVE	**Gaetano Patrimia**
RINA CONSULTING	**Leonardo Fransesini, Roberto Sorci**
SMILAB	**Fabio Chiesa, Piergiorgio Grassen**
STMICROELECTRONICS	**Donato Di Donato**

IL MANIFATTURIERO AVANZATO

La manifattura italiana, grazie al suo livello tecnologico e all'intraprendenza delle sue imprese – per la maggior parte PMI – ha assunto un ruolo di primo piano sia nel contesto nazionale che in quello europeo. Questo è il risultato di un bagaglio di esperienze che ha radici profonde nel passato (il tessile, la meccanica di precisione) e di un modello che si è evoluto nel corso degli anni. Tanto che oggi appare imprescindibile il connubio tra manifattura avanzata e meccatronica, espressione delle tecnologie – e delle competenze – di ogni sistema produttivo industriale.

La meccatronica, nella fattispecie, si profila come una combinazione di tecnologie tra loro complementari che stanno alla base dell'automazione intelligente di prodotti, sistemi e processi manifatturieri. In estrema sintesi, si presenta come l'integrarsi di tre macro-discipline, tra loro complementari: la meccanica, l'elettronica e l'informatica. Quest'ultima, in particolare, abbraccia per definizione molte aree di specializzazione, come il controllo di sistemi, l'analisi dei dati, i modelli di Intelligenza Artificiale (IA). Esistono poi zone di sovrapposizione tra le tre discipline, che hanno dato luogo a delle ulteriori sfumature tecnologiche: per esempio, i dispositivi elettromeccanici o i controllori logici di processo (PLC).

Di fatto la meccatronica, se volessimo usare un'espressione anche un po' metaforica e calzante, ha portato all'integrazione di diverse tecnologie per "conferire automazione, controllo e intelligenza al ferro".

La manifattura avanzata italiana si è sviluppata nel solco di innovazioni spiccatamente meccatroniche, facendo emergere uno storico di esperienze e risultati in alcuni contesti tecnologici di rilievo.

Volendo, quindi, declinare il manifatturiero italiano nelle sue traiettorie tecnologiche, oggi potremmo evidenziare le seguenti tecnologie industriali prioritarie fondate sulla meccatronica:

1) Componenti e sistemi meccatronici smart
2) Manifattura additiva
3) Robotica collaborativa
4) Simulazioni Software

5) Interfaccia uomo-macchina
6) Intelligenza Artificiale

Prima di addentrarci nella descrizione degli scenari tecnologici, si intende dare un profilo complessivo del settore della manifattura-meccatronica.

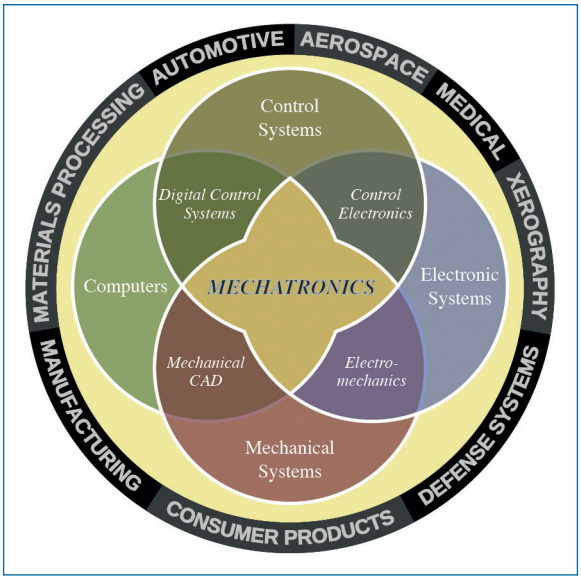


Figura 1: Rappresentazione della meccatronica come multi-disciplina

MERCATO, IMPATTI SOCIOECONOMICI E SOSTENIBILITÀ

Incidenza della manifattura-meccatronica nel contesto nazionale e internazionale

Per dare un quadro completo della manifattura italiana, è utile ricorrere all'autorevole prospettiva del Cluster Fabbrica Intelligente, nato nel 2012 con l'obiettivo di dare una visione strategica, tecnologica e innovativa al comparto produttivo industriale. Nel 2023 il Cluster ha pubblicato la sua seconda "Raodmap della Ricerca e dell'Innovazione", documento che si prende come riferimento nelle analisi a seguire.

A livello europeo, il settore manifatturiero risulta essere il più importante settore dell'economia non finanziaria della classificazione NACE EU-27 in termini di valore aggiunto e persone impiegate, mentre si attesta al secondo posto per fatturato (Figura 2). Nel 2019, il settore ha impiegato il 23% del totale della forza lavoro europea ed ha generato il 29% del valore aggiunto. Nel complesso, più di 30 milioni di persone hanno lavorato nei 2 milioni di imprese manifatturiere generando un fatturato di circa 7.800 miliardi € e un valore aggiunto di quasi 2 miliardi €.

		2019			
	Non Financial Business Economy EU27 (from 2020)	Enterprises	Turnover (M€)	Value Added (M€)	Employees
B	Mining and quarrying	16.932	86.394,3	33.055,3	392.246
C	Manufacturing	2.051.074	7.846.344,2	1.998.858,5	30.158.203
D	Electricity, gas, steam and air-conditioning supply	173.000	1.470.000,0	229.000,0	1.300.000
E	Water supply; sewerage, waste management and remediation activities	77.000	257.000,0	100.000,0	1.560.000
F	Construction	3.413.290	1.702.986,7	548.969,2	12.687.246
G	Wholesale and retail trade	5.718.891	9.028.880,1	1.281.510,7	29.428.945
H	Transportation and storage	1.251.019	1.437.385,3	510.297,6	10.448.964
I	Accommodation and food service activities	1.888.142	593.309,1	252.368,6	10.978.430
J	Information and communication	1.118.646	1.298.469,7	549.679,6	6.341.468

Fonte: Eurostat

Figura 2: Posizionamento del manifatturiero europeo nell'economia non finanziaria - 2019

Il valore aggiunto del settore manifatturiero dei primi 4 Paesi europei rappresenta il 60% del valore totale del manifatturiero europeo, mentre quello dei primi 10 rappresenta l'87%. Negli ultimi 10 anni, il valore aggiunto della industria manifatturiera dei primi 10 Paesi europei è aumentato fino a superare i 1.800 miliardi complessivi e l'Italia, comunque, a giocare un ruolo di primissimo livello nello scenario europeo posizionandosi al secondo posto, dopo la Germania, per valore aggiunto (Figura 3).

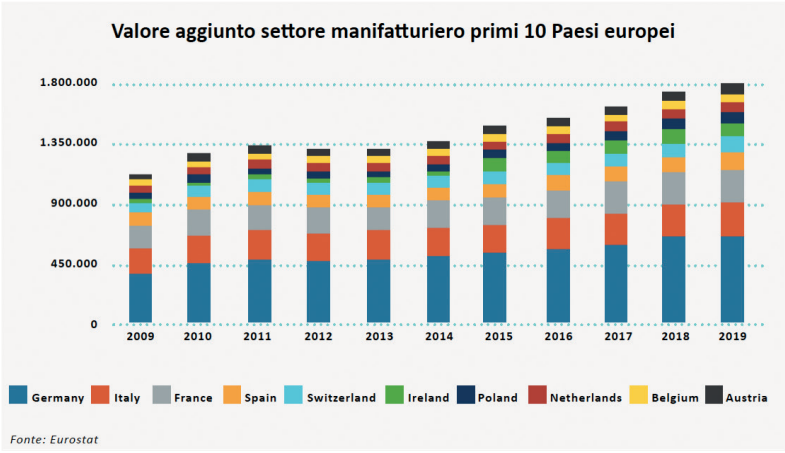


Figura 3: Valore aggiunto (M€) del manifatturiero europeo 2009-2019

Sul fronte globale, l'insorgere della pandemia ha determinato un crollo della manifattura nel primo semestre del 2020, a cui ha fatto seguito un recupero nel corso del secondo semestre. Le posizioni dei vari Paesi confrontate in termini % sulle quote di valore aggiunto manifatturiero globale, mostrano una sostanziale stabilità, con la Cina che copre il 30% e l'Italia che rimane tra i primi 7 Paesi per produzione manifatturiera con un 2,2% (Figure 4 e 5).

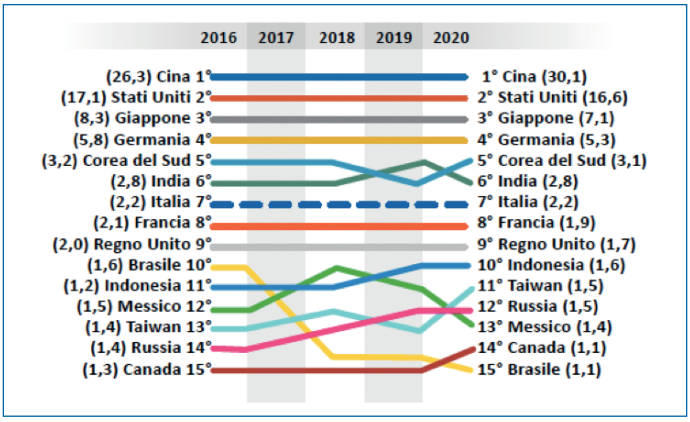


Figura 4: Classifica produttori mondiali (Valore aggiunto in $ correnti)
Fonte: CSC su dati UNIDO, Eurostat, Banca Mondiale e IHS-Market

Countries	2020 Value Added ($) at current prices
China	3.853.826.532.846
United States	2.272.000.000.000
Japan	1.033.602.190.884
Germany	697.292.449.376
Republic of Korea	406.373.281.725
India	383.714.449.103
Italy	280.398.636.543
France	247.025.036.875
Great Britain	239.677.053.149
Indonesia	210.396.303.053

Fonte: UNDATA

Figura 5: Valore aggiunto del settore manifatturiero a prezzi correnti dei primi Paesi a livello mondiale (Dati 2020)

In Italia, nell'ambito del settore manifatturiero ci sono alcuni settori che hanno avuto prestazioni particolarmente brillanti in termini di valore aggiunto e fatturato (Figura 6). In particolare, il settore della produzione delle macchine utensili, dei prodotti in metallo, dell'alimentare e dell'industria della moda rappresentano il 46% del valore aggiunto, il 42% del fatturato e il 41% delle esportazioni (vedere anche Figura 7). Tali settori rappresentano tradizionalmente, insieme all'industria del mobile e del legno, il "Made in Italy", tanto da permettere al nostro Paese di posizionarsi a livello europeo sempre tra i primi Paesi per fatturato e valore aggiunto

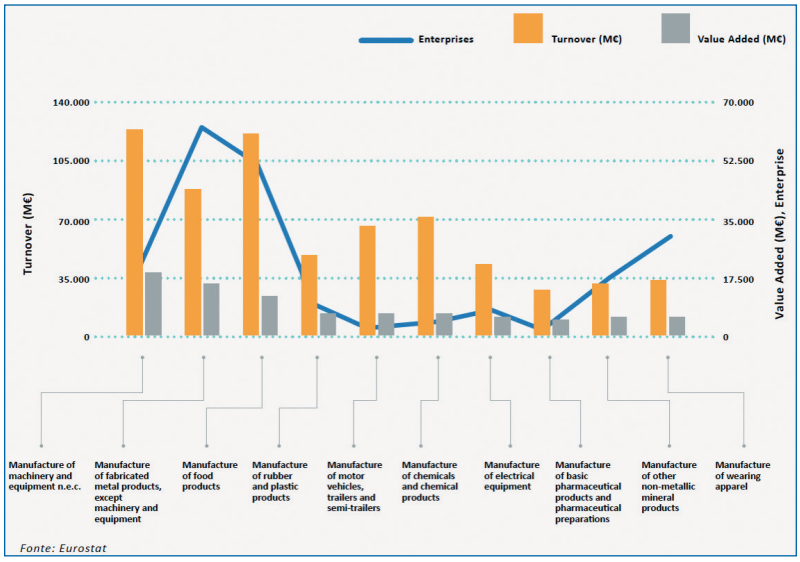


Figura 6: Settori del manifatturiero italiano per fatturato (2019)

Nel corso degli anni, le economie mature hanno perso il loro primato in termini di quote globali della produzione manifatturiera, ma ora si sta disegnando una nuova mappa dei poli manifatturieri mondiali dopo due anni di cambiamenti dovuti alla pandemia e all'impatto provocato dalla crisi ucraina.

La crescita della produzione non è più spinta solo dalla domanda estera, ma

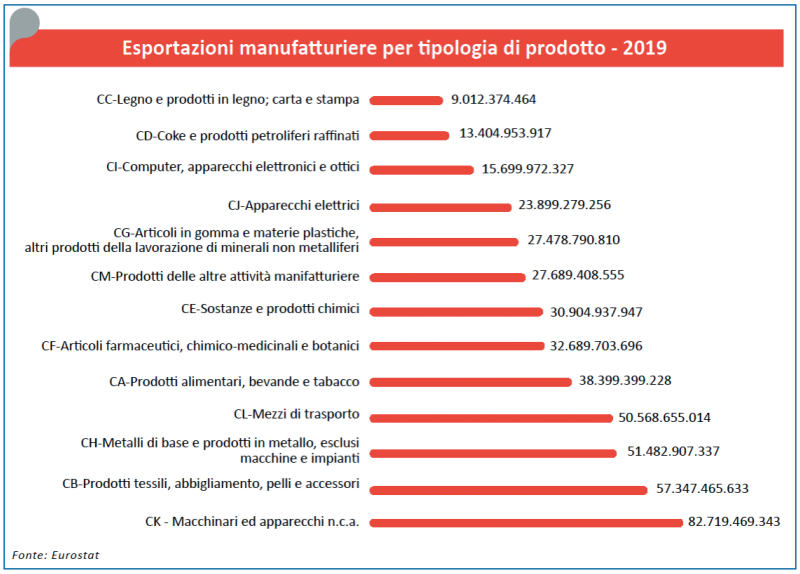


Figura 7: Esportazioni del manifatturiero italiano per fatturato/prodotto (2019)

anche dall'aumento dei consumi interni, stimolato dalle potenzialità della digitalizzazione e dal bisogno di sviluppare modelli di produzione e distribuzione in cui la distanza geografica potrebbe avere ancora un ruolo rilevante.
Un elevato livello di richiesta di nuovi prodotti ha condotto a una evoluzione e ridefinizione dei modelli di produzione, con orizzonti di pianificazione e cicli di vita del prodotto più brevi, riduzione delle dimensioni dei lotti, richiedendo, quindi, un'ottimizzazione dell'uso delle risorse in termini di snellezza, flessibilità, agilità e riconfigurabilità del processo produttivo.

L'uso intensivo delle risorse del Pianeta, le nuove produzioni nei Paesi emergenti e l'accorciamento dei cicli di vita dei prodotti hanno reso gli aspetti ambientali sempre più stringenti e la necessità di implementare l'economia circolare sta facendo emergere importanti opportunità di business a livello globale.

ANDAMENTI GENERALI DELLA MANIFATTURA-MECCATRONICA DEL FUTURO

Per spiegare le ragioni dello sviluppo di alcune specifiche tecnologie meccatroniche prioritarie nell'ambito del manifatturiero industriale, si ritiene opportuno identificare i principali trend che caratterizzeranno questo settore in relazione a diversi fattori di forte impatto strategico, quali le esigenze più distintive del mercato, l'evoluzione dei processi produttivi, il ruolo degli operatori nell'ambiente industriale e, non ultimi, i macro-temi socioeconomici e ambientali.

Per affrontare questa panoramica ad ampio spettro con una visione di prospettiva sul mondo della manifattura, ci viene in soccorso la "Roadmap per la Ricerca e l'innovazione" del Cluster Fabbrica Intelligente (2023), nel cui documento sono messe in rilievo 4 sfide determinanti:

A. La produzione personalizzata
B. La produzione efficiente e resiliente
C. La valorizzazione delle persone nelle fabbriche
D. La Sostenibilità industriale

A seguire, una sintesi delle 4 sfide, estrapolata dal documento citato.

Produzione Personalizzata

Il mercato dei consumatori finali mostra una spiccata tendenza alla forte personalizzazione dei prodotti. I beni di consumo (abbigliamento, calzature, articoli per lo sport, occhiali…), i prodotti del settore medicale (protesi personalizzate in ambito ortopedico, odontoiatrico...) e, in generale, la produzione di beni durevoli (nell'industria del design, automobilistica ed in generale nel manifatturiero) ne sono un esempio.

La personalizzazione presuppone lo sviluppo di sistemi e modelli industriali in grado di riconfigurarsi in tempi ridotti per soddisfare requisiti specifici raccolti dal singolo cliente, e che garantiscano un elevato grado di integrazione con i clienti stessi fino a farli diventare artefici principali della soluzione che desiderano. Non

a caso si fa spesso riferimento a produzioni a "lotto uno". Tali produzioni sfruttano per esempio tecnologie versatili da un punto di vista manifatturiero (quali, ad esempio, manifattura additiva, microlavorazioni, automazioni flessibili, attuazioni elettriche, processi ibridi) e da un punto di vista informatico per la gestione dei dati di progetto (quali, ad esempio, IA, IoT, Big Data).

Produzione efficiente e resiliente

L'efficienza è un indicatore della competitività di un processo produttivo, definibile come la capacità di lavorare a rendimento elevato e – non meno rilevante – in condizioni complesse e variabili. Queste condizioni danno valore, inoltre, alle caratteristiche di resilienza dello stesso processo produttivo.

Tra le principali linee di sviluppo future per delineare produzioni efficienti e resilienti si possono evidenziare:

- Zero difetti. L'efficienza è considerata in termini di riduzione delle non conformità e del loro impatto sul rendimento del sistema di produzione.
- Robustezza/flessibilità. L'efficienza è considerata in termini di capacità di operare in presenza di disturbi, come la variabilità dei materiali e dei pezzi in entrata e le caratteristiche specifiche del materiale (quali, per esempio, anisotropia o bassa rigidità), che sono aspetti particolarmente importanti per diversi tipi di applicazioni.
- Sistemi intelligenti. L'efficienza è considerata in termini di uso ottimizzato delle risorse disponibili (attrezzature, operatore umano, conoscenza).

Saranno quindi sviluppati sistemi produttivi in grado di evolvere nel tempo per adattarsi dinamicamente alle mutevoli condizioni di contesto, determinate dalla turbolenza della domanda, dalla rapidità dei cicli tecnologici, dalle dinamiche della situazione competitiva, ma anche dalle dinamiche causate da cambiamenti

improvvisi, come eventi catastrofici (pandemie). In sintesi, gli ambiti di sviluppo in prospettiva includono:

- Riconfigurabilità: progettazione e controllo di sistemi di produzione riconfigurabili e modulari.
- Componentistica: componenti, sensori e macchine intelligenti per la produzione adattativa ed evolutiva.
- Prestazioni: sistemi per la predizione delle prestazioni e la gestione operativa della produzione e della logistica.
- Ispezioni e analisi dei dati: Smart Inspection & Machine Learning.
- Collaborazione uomo-robot: Human Robot Co-working. L'IA e le tecniche ad essa connesse avranno, inoltre, una significativa influenza nello sviluppo di ciascuna priorità di ricerca.

Valorizzazione delle persone nelle fabbriche

Per i prossimi anni è prevista una crescita esponenziale dei dispositivi IoT collegati, comprese le applicazioni di consumo, industriali e sanitarie con una previsione di mercato tra i $ 4 e gli $ 11 trilioni entro il 2025, di cui circa 1600 miliardi nel settore industriale (fonte McKinsey), rendendo le macchine sempre più pervasive, intelligenti, connesse e dotate di forme di intelligenza distribuita che deve interfacciarsi con gli utilizzatori.

Inoltre, secondo un recente studio di Microsoft/IDC, ci si aspetta che circa l'85% dei lavori si trasformi nei prossimi 3 anni, il 33% dei lavoratori dovrà partecipare ad attività di Re-Skilling, il 26% avrà nuovi ruoli, il 27% dei lavori sarà dato in outsourcing o automatizzato. Anche le competenze, quindi, subiranno dei cambiamenti importanti, dal momento che nella graduatoria delle skill necessarie per usare l'IA emerge la necessità di aumentare quelle tecniche, quelle cognitive, di processo e anche sociali. Le nuove figure professionali del futuro includono, tra le altre, il Data Scientist, il Data Engineer, il Data Analyst e simili.

Nell'ambito del manifatturiero queste tendenze costituiscono un traino fondamentale a progettazione e sviluppo di nuove soluzioni che permettano di valorizzare le persone e le loro competenze, e a contribuire alla loro soddisfazione e benessere. Le fabbriche innovative dovranno essere sempre più inclusive, fortemente orientate al coinvolgimento e alla loro partecipazione delle persone (utenti, operatori, manager). Tali modelli devono avere la persona come elemento centrale che guida e controlla le tecnologie e, in generale, tutte le dimensioni attraverso cui è definita la nuova fabbrica.

Anche lo studio e la sperimentazione di nuove tecnologie per la riduzione dello sforzo fisico possono essere guidati dallo sfruttamento delle potenzialità date da dispositivi indossabili ed esoscheletri, mentre lo sforzo cognitivo potrebbe essere alleggerito fornendo informazioni semplici e intellegibili, profilate secondo i bisogni del lavoratore.

Sostenibilità industriale

Negli ultimi anni la sostenibilità è divenuta tematica centrale nel panorama politico e – per declinazione – in molti settori dell'economia e dell'industria, compreso quello del manifatturiero.

L'aspetto tecnico che ne deriva, se pensiamo al perimetro dei soli processi produttivi, converge con modalità innovative di concepire i nuovi prodotti del futuro, in una ottica di economia circolare, con l'obiettivo di ridurre sensibilmente le emissioni di carbonio e di migliorare l'efficienza energetica, di ridurre e razionalizzare i consumi idrici, di favorire e promuovere il recupero di risorse.

Alla base dell'economia circolare ci sono due tipi di flussi di materiale: biologici, capaci di reinserirsi nella biosfera, e tecnici, destinati ad essere riutilizzati senza entrare in biosfera.
In linea con questa visione, tutte le attività svolte nel sistema industriale, partendo dall'estrazione di materie prime e dalla loro conversione e produzione in prodotti

finiti, devono essere organizzate in modo tale che i rifiuti prodotti da un settore possano, dopo opportune trasformazioni, diventare risorsa o fattore produttivo per altri.
Oltre al recupero dei materiali, molto promettente è anche il recupero delle funzioni del prodotto che permette non solo di recuperare la materia prima, ma anche di non perdere il valore delle attività che sono state spese per trasformare la materia in prodotto.

Questi cambiamenti richiedono l'introduzione di nuovi processi, di nuove macchine e di nuovi sistemi (per esempio il "de-e re-remanufacturing" applicato agli stessi impianti produttivi), creando una profonda rivisitazione della base produttiva nazionale e ponendo anche le basi per l'apertura di nuovi mercati di beni strumentali che vedano il Paese in posizione di leadership.

Per favorire il cambiamento descritto risulta, quindi, necessario:

- Favorire lo sviluppo di un sistema industriale in grado di implementare soluzioni di economia circolare.
- Studiare come la sostenibilità possa cambiare il processo di pianificazione nelle imprese manifatturiere.
- Stabilire quale cambiamento è richiesto a livello di impresa, per consentire miglioramenti nelle performance di sostenibilità.
- Identificare i cambiamenti a livello di sistema necessari per aumentare la sostenibilità industriale.
- Attivare la sperimentazione a livello di impresa con nuovi modelli di business e migliorare la capacità del settore industriale di agire sistematicamente verso l'implementazione dell'economia circolare.

INDIRIZZI E TEMI STRATEGICI A MEDIO E LUNGO TERMINE

La manifattura-meccatronica – come accennato – punta a disegnare le fabbriche del futuro. Il driver alla base di questa trasformazione è la digitalizzazione intesa nella sua accezione più ampia, ovvero come percorso guidato dalle tecnologie digitali e dall'IA finalizzato ad accrescere efficienza, flessibilità ed intelligenza nei processi produttivi, nonché a migliorare le condizioni di lavoro degli operatori in fabbrica. Così intesa, l'introduzione di queste tecnologie nella manifattura ha dato impulso a una ulteriore sfumatura della transizione digitale, propria cioè del contesto manifatturiero quanto di altri ambiti sociali.
In realtà, quando si parla di hardware industriale emerge un secondo tema, ovvero l'impatto dei processi produttivi – in particolare quelli energivori – sulla sostenibilità ambientale. La manifattura meccatronica propone un progresso considerevole anche in questo ambito, perché alcune tecnologie che le sono proprie si sono evolute anche considerando in modo determinante il driver del consumo energetico. È il caso delle attuazioni elettriche a basso assorbimento elettrico che stanno prendendo piede in diversi scenari applicativi, in sostituzione della pneumatica o idraulica dell'uso di modelli di IA per ottimizzare i consumi, per predirne perdite e sprechi. La manifattura così progettata offre un contributo notevole anche alla transizione energetica e ambientale.

L'integrazione delle tecnologie abilitanti nel manifatturiero

Le tecnologie specifiche della manifattura-meccatronica hanno peraltro un collegamento forte con le tecnologie abilitanti, per come definite e utilizzate dalle politiche europee per la ricerca e innovazione (KETs – Key Enabling Technologies). Tra queste ultime – non a caso – è presente la "manifattura avanzata" che rappresenta esattamente, sotto altra denominazione, l'insieme delle tecnologie proprie del manifatturiero. Con l'aggettivo "avanzata" si vogliono, infatti, indicare le evoluzioni – rispetto alle tecnologie tradizionali – guidate dalla meccatronica e dalla digitalizzazione. Gli obiettivi dichiarati dalle KETs sono gli stessi raccolti nel presente documento: creare una nuova dimensione di manifattura, di maggiore efficienza e flessibilità e – allo stesso tempo – fortemente antropocentrica.

L'integrazione di tecnologie con i principi meccatronici può portare a sinergie significative, creando sistemi più intelligenti, autonomi ed efficienti in diversi ambiti industriali. Tra gli sviluppi tecnologici di maggiore rilievo vi sono:

L'**IA**, che può analizzare i dati provenienti dai sensori per identificare modelli, anomalie e potenziali problemi, permettendo un'ottimizzazione in tempo reale dei processi produttivi e una manutenzione predittiva. Inoltre, combinata con la sensoristica, può abilitare lo sviluppo di sistemi meccatronici autonomi in grado di operare in modo indipendente in ambienti complessi.

La **robotica collaborativa**, che integrata con sistemi meccatronici avanzati, può aumentare la produttività, la flessibilità e la qualità del lavoro in svariate attività manifatturiere. Inoltre, la combinazione di robotica collaborativa e meccatronica può favorire lo sviluppo di nuovi prodotti e processi innovativi in settori come la medicina, l'agricoltura e la logistica.

Il settore della meccatronica può abilitare la **manifattura additiva** di geometrie complesse e l'utilizzo di nuovi materiali con proprietà avanzate. La combinazione di stampa 3D e meccatronica può favorire la personalizzazione di massa di prodotti, adattandoli alle esigenze specifiche dei clienti o a specifiche progettuali.

Le applicazioni di **realtà virtuale e realtà estesa** possono fornire agli operatori istruzioni e guide in tempo reale durante l'esecuzione di compiti complessi, migliorando l'efficienza e la sicurezza. L'AR/VR può essere utilizzata per creare ambienti di simulazione realistici per la formazione e l'addestramento degli operatori, riducendo i rischi e i costi.

Il carico di lavoro cognitivo degli operatori può essere monitorato mediante appositi sensori, identificando potenziali situazioni di affaticamento o stress. L'ergonomia cognitiva, integrata con sistemi meccatronici, può favorire l'adattamento

dinamico delle interfacce utente in base alle esigenze cognitive degli operatori. La meccatronica può abilitare lo sviluppo di sistemi di supporto intelligenti che assistono gli operatori in compiti complessi o pericolosi, riducendo l'errore umano.

Le sinergie della manifattura avanzata e della meccatronica con gli altri settori industriali

I sistemi meccatronici, con la loro capacità di integrare diverse discipline, hanno un potenziale enorme per creare sinergie con altri settori, portando innovazione e miglioramenti in una vasta gamma di applicazioni. Ecco alcuni esempi di possibili sinergie in riferimento agli altri settori considerati dallo studio Airi "Le innovazioni del prossimo futuro":

1) Settore digitale:

Internet of Things (IoT): I sistemi meccatronici possono essere integrati con dispositivi IoT per creare reti di sensori e attuatori intelligenti che raccolgono e scambiano dati in tempo reale, abilitando nuove applicazioni in settori come l'industria 4.0, l'agricoltura di precisione e la smart city.

2) Settore della microelettronica:

I progressi nella microelettronica permettono di miniaturizzare i componenti meccatronici, rendendo i sistemi più compatti, leggeri e a basso consumo energetico. Sistemi meccatronici completi possono essere integrati in singoli chip, riducendone di fatto la complessità e, conseguentemente, il costo stesso.

3) Settore agroalimentare:

I componenti e i sistemi meccatronici possono monitorare parametri ambientali come temperatura, umidità e luminosità, permettendo un controllo ottimale delle condizioni di crescita delle colture. Inoltre, possono automatizzare la raccolta e lo smistamento dei prodotti agricoli, riducendo la manodopera e minimizzando i danni ai prodotti.

4) Settore sanitario:

I robot ad alta precisione possono essere utilizzati per eseguire interventi chirur

gici mininvasivi con maggiore precisione e controllo, riducendo il trauma per i pazienti. Inoltre, sensori miniaturizzati possono essere utilizzati per sviluppare strumenti diagnostici non invasivi per la diagnosi precoce di malattie.

5) Settore ambientale:

Reti di sensori possono essere impiegate per monitorare parametri ambientali come la qualità dell'aria, dell'acqua e del suolo, fornendo dati preziosi per la tutela dell'ambiente. Inoltre, possono essere utilizzati per la produzione di energia rinnovabile da fonti come l'energia solare, eolica e idroelettrica.

6) Settore costruzioni ed edilizia:

Sensori possono essere integrati negli edifici per creare sistemi intelligenti di gestione dell'energia, illuminazione, climatizzazione e sicurezza. Inoltre, possono monitorare la salute strutturale di edifici e ponti, prevenendo incidenti e garantendo la sicurezza pubblica.

Scenari tecnologici

Il comparto manifatturiero è rappresentato – per definizione – da fabbriche che producono. Gli impianti produttivi ne sono il cuore: un mix tra hardware e software, quindi di tecnologie meccatroniche.

È partendo da questo contesto che sono stati individuati gli scenari tecnologici propri della manifattura-meccatronica. Le tecnologie sono tipicamente integrate nei processi produttivi, ovvero negli impianti che materialmente li eseguono, rendono i processi e gli asset produttivi performanti, flessibili, collaborativi e intelligenti. Sulla scorta di tali criteri – e senza presunzione di essere stati esaustivi sull'argomento – sono quindi stati evidenziati i seguenti scenari tecnologici:

1. **Componenti e sistemi finiti intelligenti:** sono i mattoni – fisici – dell'automazione di un impianto. Logica di controllo (PLC), sensori, attuatori. O sistemi finiti che integrano tutte queste parti tra loro (per esempio, una pressa con processo controllato in quota e forza).
2. **Manifattura additiva:** questa tecnologia merita uno spazio proprio, perché è una modalità piuttosto recente e innovativa di fare produzione, in contrapposizione alla manifattura sottrattiva.

3. **Robotica collaborativa:** questa tecnologia traccia una evoluzione caratteristica del manifatturiero, fatta di robot (robot collaborativi, avatar, esoscheletri, etc..) profondamente integrati nei processi produttivi, a supporto dell'operatore o dell'impianto stesso.
4. **Simulazioni software:** questa tecnologia sta assumendo un ruolo determinante nel garantire efficienza e flessibilità ai processi produttivi, nonché le prestazioni desiderate nei prodotti della manifattura. È da questa tecnologia che oggi si parte per garantire preventivamente robustezza e qualità all'intero ciclo produttivo.
5. **Intelligenza Artificiale:** in ambito industriale si sposa con le simulazioni software, la robotica collaborativa e conferisce intelligenza propria ai componenti e sistemi meccatronici, quindi agli impianti produttivi. Gli algoritmi dell'IA producono auto-analisi, predicono, offrono soluzioni in linguaggio naturale. Tradotto ai minimi termini, distillano Know-How attraverso dati e conoscenze tecniche per agevolare il compito degli operatori nel manifatturiero.
6. **Interfaccia uomo-macchina:** applicazioni di realtà virtuale e realtà estesa: può apparire come una semplice tecnologica di supporto, in realtà interfacciandosi con buona parte delle precedenti ne permette il pieno sviluppo e ne garantisce la piena efficacia.

Di questa tecnologia fanno parte integrante gli sviluppi dell'ergonomia cognitiva, che si focalizza sull'interazione tra la mente dell'operatore e gli strumenti di lavoro, ottimizzando appunto i processi cognitivi coinvolti nell'esecuzione dei vari compiti.

MICROELETTRONICA E SEMICONDUTTORI

MICROELETTRONICA E SEMICONDUTTORI

PROFILI DI SETTORE

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

STMICROELECTRONICS	**Donato Di Donato**
POLITECNICO MILANO	**Alberto Corigliano**

ESPERTI

STMICROELECTRONICS	**Mario Scurati**

MICROELETTRONICA e SEMICONDUTTORI

SCENARI TECNOLOGICI

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

STMICROELECTRONICS	**Donato Di Donato**
POLITECNICO MILANO	**Alberto Corigliano**

ESPERTI

STMICROELECTRONICS	**Bruno Murari, Lisa Trollo Mirko Guarnera, Laura Castoldi, Luigi Innacolo, Nicolò Cascone, Mario Scurati, Marco Del Sarto, Amedeo Maierna**
MEMC ELECTRONIC MATERIALS	**Luca Moiraghi, Michael Raffeiner**
FONDAZIONE BRUNO KESSLER	**Lorenza Ferrario**

IL SETTORE MICROELETTRONICA E SEMICONDUTTORI

L'impatto economico dell'industria dei semiconduttori è così elevato che in molte regioni del mondo incide anche sul Prodotto Interno Lordo (PIL) nazionale, diventando di conseguenza un asset di importanza strategica per le nazioni che non solo possiedono le fabbriche in grado di produrli, ma, anche e soprattutto, per quelle che detengono il know-how necessario per progettare le nuove soluzioni in modo competitivo, sia dal lato economico che da quello prestazionale.
Questo settore, nonostante l'età, gode ancora di grande fermento ed è in una continua evoluzione tecnologica che difficilmente trova confronti in altri settori industriali. Pochi altri settori hanno un simile livello di investimenti finanziari e R&D.

Si trova una conferma nella legge di Moore, formulata circa 60 anni fa, che ipotizzava un raddoppio del numero di transistor nei microprocessori ogni due anni. Pochi anni fa molti pensavano che la legge di Moore avesse ormai raggiunto il suo limite fisico, oltre il quale non era possibile andare; ma costoro ragionavano partendo da topologie costruttive 2D, mentre oggi sappiamo che la soluzione planare può essere ulteriormente migliorata grazie alle nuove soluzioni 3D, che sfruttano la terza dimensione e che prolungheranno ancora la validità di questa legge.
Dal 1971, anno del primo microprocessore, si è vista una continua rincorsa tra maggiore miniaturizzazione e maggiore capacità di elaborazione dati, che fu prevista già nel 1965 da Gordon Moore cofondatore della Intel. Relazione empirica diventata poi famosa in tutto il modo come "legge di Moore" (Figura 1), basata sull'ipotesi di allora, poi confermata nel corso degli anni, dice che il numero di transistori nei microprocessori sarebbe raddoppiato ogni 24 mesi circa.

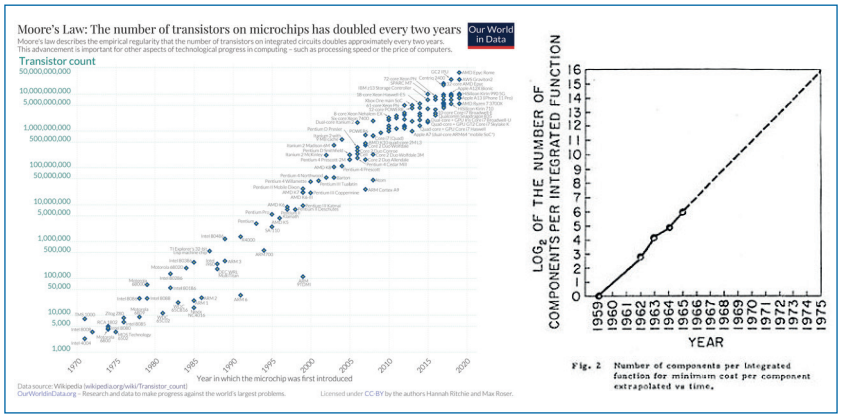


Figura 1: Legge di Moore

Oltre a Intel (USA), che detiene tutt'ora e da diversi anni il dominio assoluto nella produzione dei microprocessori (e presumibilmente continuerà a mantenerlo anche nei prossimi anni), vi sono altri competitor di rilievo in questo settore: AMD Inc. (USA), ARM Holdings plc. (UK), NVIDIA Corporation (USA), Qualcomm, Inc. (USA), e Samsung Electronics Co. Ltd. (Corea). Un altro mercato che ha beneficiato della miniaturizzazione dei processi produttivi quali la litografia è quello delle memorie. Caratterizzato da bassi costi e bassissimi margini, consente l'accesso solo a quelle aziende in grado di sfruttare l'economia di scala propria di elevati volumi produttivi, quali: Samsung (Corea), SK Hynix (Corea), Micron (USA), Elpida (Giappone), Toshiba (Giappone) e Powerchip (Taiwan).

ALCUNI TREND DI SVILUPPO DELLA MICROELETTRONICA

La competizione negli ultimi anni è incentrata sulla ricerca di nuove soluzioni tecnologiche che sfruttino la terza dimensione; quindi, un cambio topologico progettuale e radicale rispetto alle classiche soluzioni planari. Ne è un esempio il FinFET, cioè Fin (pinna) Field Effect Transistor, di Intel, nato dall'esigenza di superare le problematiche insorte con miniaturizzazioni inferiori ai 10nm. Infatti, con queste litografie si instaurano fenomeni (come l'elevata corrente di leakage gate source) tali da peggiorare le caratteristiche complessive del transistor. Grazie al FinFET la validità della legge di Moore molto probabilmente proseguirà.
L'innovazione del FinFET consiste nel trasformare il canale source-drain da planare a tridimensionale (Figura 2), creando una pinna (fin) verticale.

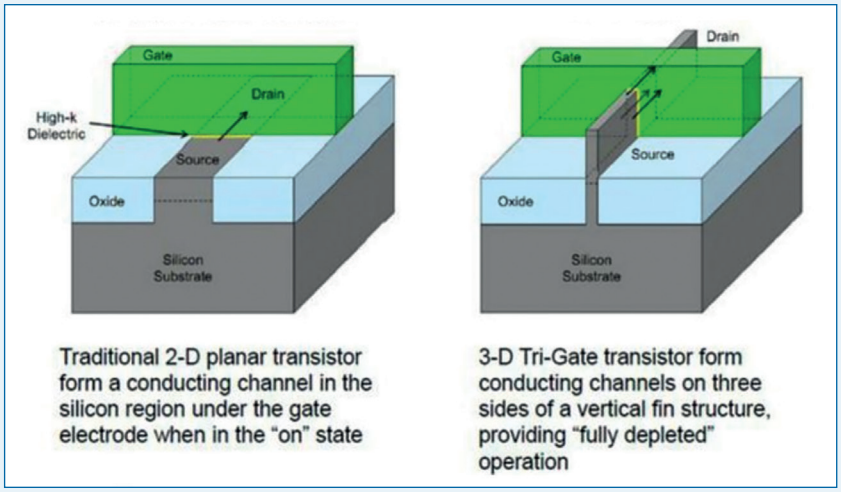


Figura 2: 2D vs 3D transistor (Fonte: Quora)

Questo cambio di topologia favorisce la miniaturizzazione; inoltre, la gate risulta avvolta attorno al canale, e ciò introduce diversi vantaggi, come il miglioramento della corrente di pilotaggio e la riduzione degli effetti di dispersione, che si possono riassumere in:

1. Trans-conduttanza maggiore (corrente in uscita per tensione in ingresso);

2. Minore capacità di ingresso apparente per lo stesso guadagno;
3. Minore area di wafer per transistor per ottenere un guadagno elevato, poiché l'altezza dell'aletta può essere aumentata per ottenere un guadagno elevato;
4. Struttura completamente depleted, che consente migliori condizioni di on/off.
Ulteriore evoluzione 3D è la GAAFET (Gate-All-Around Transistors), rappresentata in Figura 3, e suddivisa inNanosheet, Forksheet e CFET, che amplificano ulteriormente i vantaggi di cui sopra.

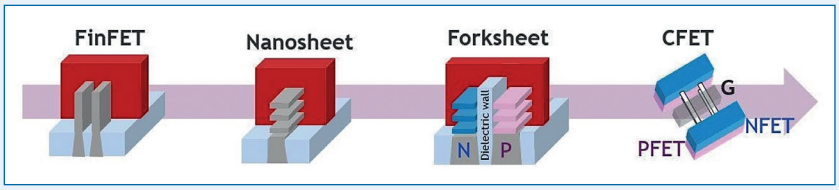


Figura 3: Dal FinFET al nanosheet, al forksheet e infine al CFET (Fonte: Imec)

Ma, il mercato dei semiconduttori non è solo composto da microprocessori e memorie, la cui evoluzione da sempre consiste nella riduzione delle litografie di produzione (More Moore), ma anche da una grande famiglia di prodotti il cui punto di forza si basa sulla diversificazione delle funzioni in grado di soddisfare, e chiamata "More than Moore" . Questi prodotti e le relative tecnologie sono progettati con l'obiettivo di interpretare i segnali provenienti da altri dispositivi, come ad esempio microprocessori e sensori esterni (di pressione, accelerazione, temperatura, etc.), e pilotare, con un adeguato livello di potenza, gli attuatori a valle. Funzioni diverse richiedono componenti tecnologicamente diversi, integrati in forma monolitica in un solo chip: ne è un esempio la tecnologia ibrida BCD.

LA TECNOLOGIA BCD

BCD è l'acronimo di Bipolare (per svolgere funzioni analogiche di precisione), **C**MOS (per operazioni logiche) e **D**MOS (per pilotare potenza in uscita). È anche chiamata **Smart Power** a sottolineare l'integrazione monolitica di "intelligenza" e "potenza" capace di svolgere funzioni analogiche ed operazioni logiche di precisione (B) usando CMOS (tecnologia utilizzata per la progettazione di circuiti integrati) pilotando potenza in uscita con DMOS (particolari tipi di transistor). In Fig. 4 sono rappresentate le possibili applicazioni ed evoluzioni.

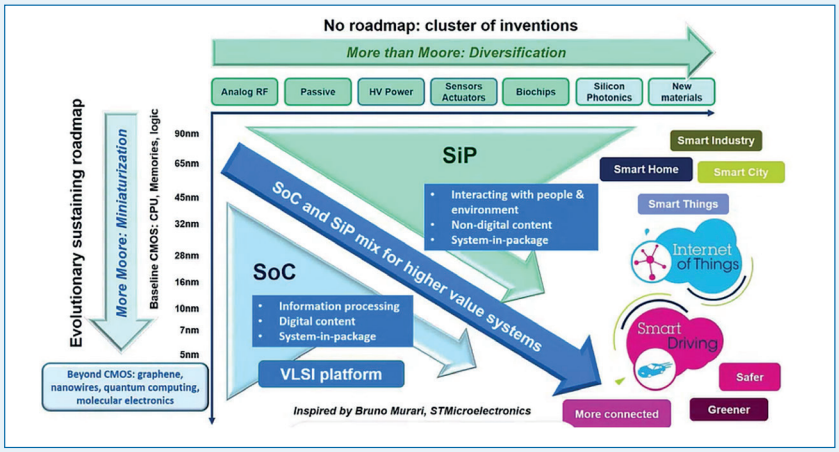


Figura 4: Legge di Moor vs More than Moore

Su queste diverse tecnologie, cioè, elevata capacità computazionale o integrazione di un certo livello di potenza, si sviluppa la scelta del progettista di sistemi elettronici tra una soluzione completamente monolitica integrata, quindi System On Chip (SoC), oppure una soluzione diversificata con più ASIC inglobati in un solo package, quindi System In Package (SiP) (Figura 5). La valutazione tra costi e benefici delle due diverse soluzioni guida la scelta tra una soluzione SoC oppure SiP.

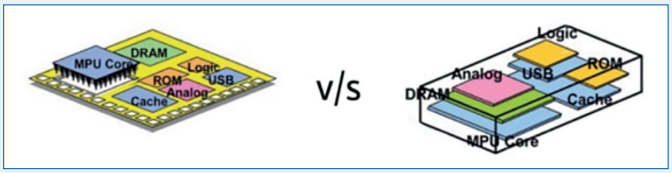


Figura 5: SoC vs SiP

Ulteriori approfondimenti sono riportati nello scenario dedicato al tema BCD.

IMPATTI SOCIOECONOMICI E SOSTENIBILITÀ

MERCATO GENERALE DEI SEMICONDUTTORI

Il mercato dei semiconduttori storicamente è sempre stato caratterizzato da una forte ciclicità, influenzata da fattori diversi fra di loro, che spaziano dalle fisiologiche oscillazioni di domanda e offerta, al surplus di materiale in stock, al boom di alcune applicazioni, a politiche macroeconomiche dei singoli paesi, pandemie, disordini geopolitici, fino ad arrivare ai conflitti regionali, che provocano inevitabilmente un fallout negativo sul mercato di tutte le tipologie di semiconduttori.

Dall'esame della Figura 6 che riporta il mercato dei semiconduttori sia in valore sia per numero di unità si possono notare alcune fasi negative:

- **1997 – 2000:** bolla speculativa delle Dot-com (definizione che deriva dalle aziende produttrici di servizi attraverso internet) associata all'andamento del NASDAQ che è cresciuto del 582% (l'indice NASDAQ è passato da 751,49 a 5.132,52 da gennaio 1995 a marzo 2000) e poi è sceso del 75% (da marzo 2000 a ottobre 2002), annullando la maggior parte dei guadagni dall'inizio della bolla.

- **2007 – 2013:** la grande recessione prodotta da una crisi economica mondiale, scoppiata negli Stati Uniti d'America in seguito alla crisi dei mutui subprime e del mercato immobiliare.

- **2019-2020:** recessione dovuta alla pandemia da COVID19 e unita ad altri fattori, tra cui l'aumento dell'inflazione e i disordini geopolitici. Questi hanno contribuito all'incertezza macroeconomica, alla diminuzione della spesa dei consumatori e alle fluttuazioni della domanda di semiconduttori (ad es. quelli associati all'elettronica di consumo, il cui consumo è diminuito al diminuire della spesa delle famiglie).

Se da una parte il mercato dei semiconduttori è per propria natura ciclico, dall'altra si nota come integrando il trend nel lungo periodo la crescita del mercato sia costante.

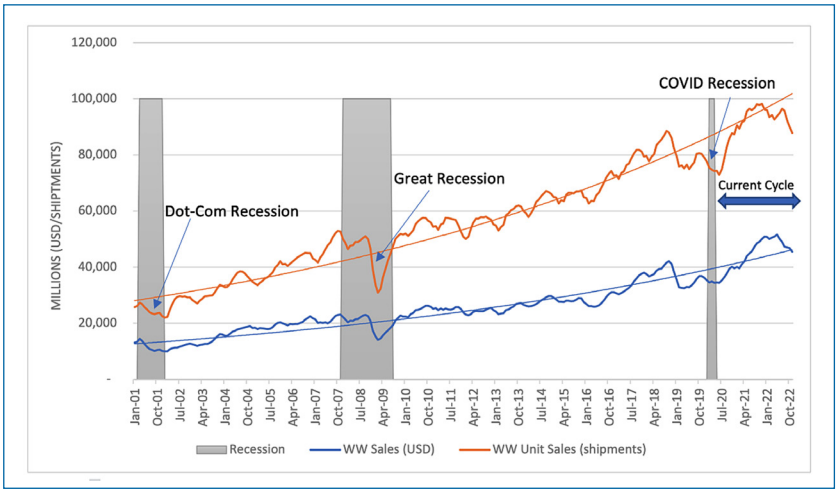


Figura 6: Cicli dei semiconduttori (Fonte: SIA - Semiconductor Industry Association)

Le vendite annuali sono passate da 139 miliardi di dollari nel 2001 a circa 574 miliardi di dollari nel 2022, con un aumento di circa il 313% e un aumento delle vendite unitarie del 290%. Inoltre, si prevede che la domanda di capacità produttiva di semiconduttori crescerà del 56% entro il 2030[1].

l World Semiconductor Trade Statistics (WSTS), ovvero la più importante organizzazione del settore che raccoglie i dati del commercio mondiale dei semiconduttori, ha aggiornato le sue previsioni economiche dopo aver osservato nel 2023 una contrazione dell'8,2% rispetto al 2022, raggiungendo un valore di mercato di circa 527 miliardi di dollari, a cui seguirà una ripresa significativa nel 2024 stimata del 17,3%.
Geograficamente, l'Europa si è distinta come l'unica regione con una crescita del 5.9% nel 2023. Al contrario, si è registrata una contrazione nelle altre aree: le

[1] *Studio del 2020 condotto da SIA e dal Boston Consulting Group*

Americhe hanno visto una riduzione del 4,8%, l'Asia-Pacifico del 12,4% e il Giappone del 2,9%. In proiezione, sulla finestra temporale '23-'26 l'Asia-Pacifico e le Americhe mostrano una controtendenza di incremento a doppia cifra (Figura 7).

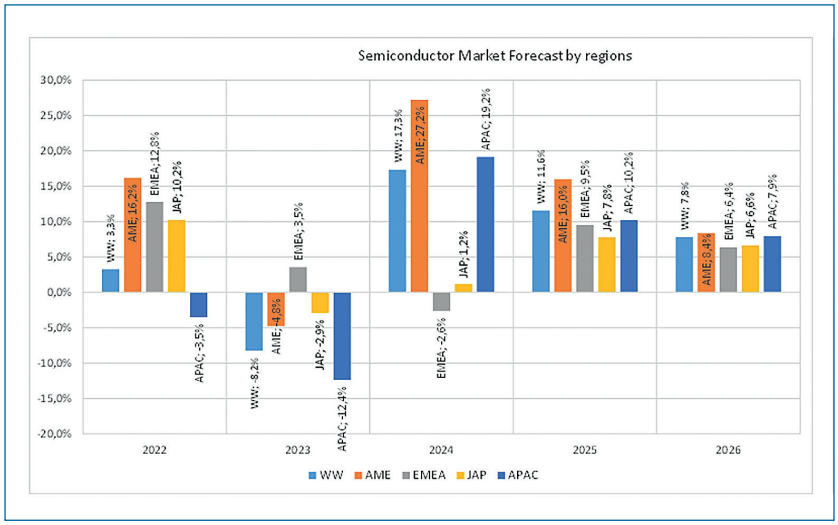


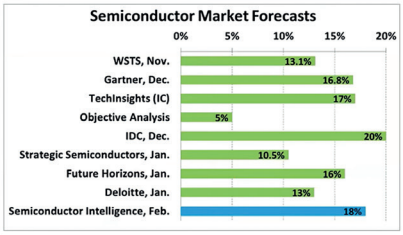
Figura 7: Previsione '23-'26 del commercio mondiale dei semiconduttori (Fonte: WSTS2023 Fall Forecast Update)

Come si può notare, tutte le previsioni dei vari analisti, evidenziate nella Figura 8.b, si collocano nell'ambito delle medesime aspettative a doppia cifra. Anche se dalla Figura 8.a si vede come le primarie aziende del mercato abbiano un orientamento distribuito non entusiasmante sui resoconti degli utili del primo trimestre, questo non dovrebbe preoccupare; in alcuni di questi cicli ci può essere una sorta di pausa, ma ciò non significa che non sarà possibile mantenere lo slancio per il resto dell'anno.

Top Semiconductor Companies' Revenue
Change versus prior quarter in local currency

	Company	US$B 4Q23	Reported 4Q23	Guidance 1Q24	Comments on 1Q 2024
1	Nvidia	20.0	10.4%	n/a	4Q23 is guidance
2	Samsung SC	16.4	31.9%	n/a	growth in PC/mobile
3	Intel	15.4	8.8%	-17.6%	excess inventory
4	Broadcom	9.3	-0.3%	n/a	4Q23 is guidance
5	SK Hynix	8.6	24.7%	n/a	growth in PC/mobile
6	Qualcomm (IC)	8.4	14.2%	-6.2%	down due to seasonality
7	AMD	6.2	6.3%	-12.5%	down except data center
8	Micron	4.7	17.9%	12.1%	DRAM & NAND growth strong
9	STMicro	4.3	-3.4%	-15.9%	industrial inventory excess
10	TI	4.1	-10.0%	-11.7%	weakness in industrial
11	MediaTek	4.0	17.7%	-3.0%	mobile down
12	Infineon	3.7	-10.2%	-2.8%	industrial inventory excess
13	NXP	3.4	-0.3%	-8.7%	seasonality & inventory
14	Analog Devices	2.5	-8.0%	n/a	4Q23 is guidance
15	Renesas	2.5	-4.6%	-4.7%	industrial inventory excess
	Total of above		11%		
	Memory Cos. (US$)		33%		Samsung, Hynix, & Micron
	Non-Memory Cos.		4%	-11%	

Source Semiconductor Intelligence



Source Semiconductor Intelligence

Figura 8 a e b: Prime aziende di semiconduttori

Quindi, rimanendo sulla curva mostrata nella Figura 9, si vede che il trend potrà raggiungere un trilione di dollari entro il 2033.

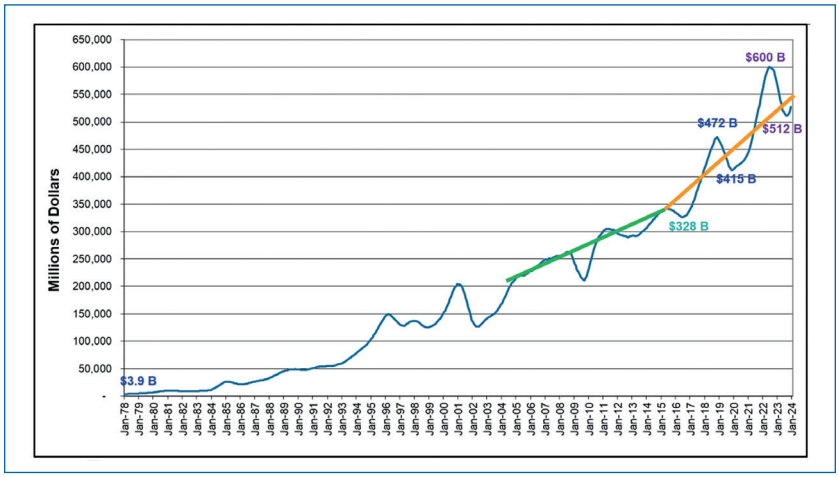


Figura 9: Trend di lungo periodo, ossia 1 trilione di dollari nel 2033

Queste tendenze confermano come i microchip rimangano il prodotto fondamentale non solo per i mercati più consolidati, come automotive e industrial consumer, ma anche e soprattutto per i nuovi, come ad esempio AI, IoT e 6G. Tale previsione richiederà che le aziende del settore investano ulteriormente in ricerca, progettazione e produzione.

L'obiettivo dell'UE è di raddoppiare la sua quota di mercato nel settore dei semiconduttori, passando quindi da un indicativo 10% di oggi al 20% entro il 2030. Obiettivi e intenti ambiziosi che richiedono una revisione dell'attuale capacità di progettazione e produzione di semiconduttori.

L'espansione della capacità produttiva attraverso la costruzione di nuovi impianti è inevitabile, e la questione principale è dove questi impianti verranno costruiti. Ad esempio, tra il 2020 e 2023 sono stati erogati diversi investimenti nella costruzione di FAB (Figura 10): 80 FABs solo negli USA, e molti altri in diverse aree geografiche.

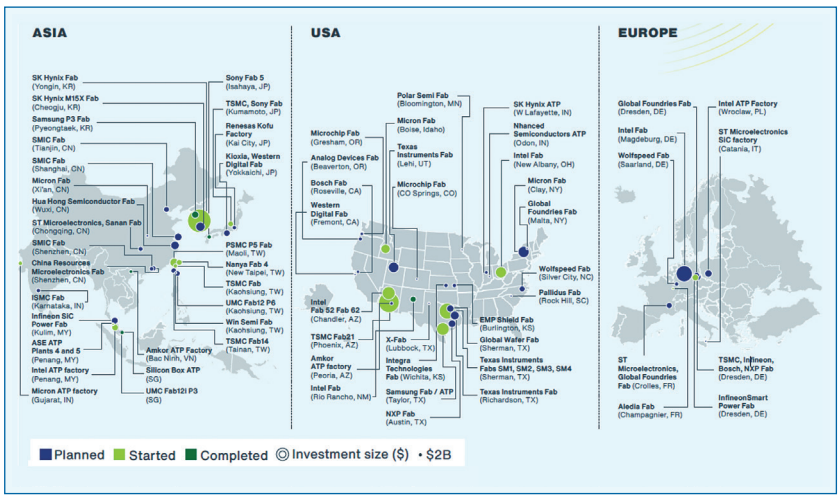


Figura 10: Principali nuovi investimenti in FAB e ATP annunciati globalmente dal 2020 (Fonte: BCG & SIA Emerging resilience in the semiconductor supply chain may 2024)

La capacità produttiva italiana è estesamente derscritta nell'articolo "L'Italia dei chip, una panoramica dell'industria italiana dei semiconduttori" in cui vengono analizzate le capacità produttive dei vari semiconduttori e le future prospettive.

FOCUS: LE INIZIATIVE ST IN ITALIA

STMicroelectronics sta costruendo un nuovo impianto a Catania, che si occuperà di tutta la filiera per la produzione in volume di substrati epitassiali in carburo di silicio SiC da 200mm. Il carburo di silicio è un materiale composto, utilizzato per fabbricare wafer che fungono da base per specifici microchip che richiedono maggiore efficienza. Con alcune operazioni iniziate nel dicembre 2023, si prevede il suo completamento nel 2026. L'investimento di 730 milioni di euro in cinque anni beneficerà di un supporto finanziario fino a 292,5 milioni di euro attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza italiano.

Una volta completato, creerà oltre 700 nuovi posti di lavoro diretti. L'impianto di produzione integrerà tutte le fasi di lavorazione del carburo di silicio, dalla creazione della polvere di SiC fino alla produzione dei wafer. Successivamente, questi wafer subiranno un trattamento epitassiale che ne migliorerà le prestazioni tecniche, trasformandoli in epiwafer in carburo di silicio. I piani di sviluppo e produzione dell'impianto mirano a garantire la priorità agli ordini dell'UE in situazioni di scarsità di semiconduttori, e a sostenere il consolidamento dell'ecosistema dei semiconduttori in Europa.

È stato annunciato che Catania ospiterà il primo impianto al mondo completamente integrato per la produzione di carburo di silicio in linea con gli obiettivi dell'UE di rafforzare la sicurezza dell'approvvigionamento e la sovranità digitale nel settore dei semiconduttori. La fabbrica da 200mm sarà specializzata nella produzione di chip in SiC per dispositivi e moduli di potenza, con attività che includeranno anche test e packaging. L'aiuto prenderà la forma di una sovvenzione diretta di circa 2 miliardi di euro a sostegno dell'investimento totale pluriennale dell'impresa pari a 5 miliardi di euro.



Figura 11: 2M€ur dell'Italia per Stm di Catania

Con il Silicon Carbide Campus di Catania (Figura 11), STMicroelectronics intende avere la completa integrazione verticale della catena manda del carburo di silicio, dalla ricerca e sviluppo alla produzione, dal substrato al modulo. Il progetto si fonda su tecnologie avanzate che sono state e continueranno ad essere sviluppate attraverso progetti di comune interesse europeo (IPCEI) nel campo della microelettronica, progetti che hanno ricevuto l'approvazione della Commissione Europea nel dicembre 2018 e nel giugno 2023. Inoltre, il 4 marzo 2024, STMicroelectronics ha inoltrato una richiesta per il riconoscimento del Catania Campus come impianto di produzione integrato conformemente alle disposizioni dell'European Chips Act, una procedura che procede autonomamente rispetto alla valutazione degli aiuti di Stato. L'obbiettivo è quello di avviare la produzione nel 2026 e il ramp-up alla piena capacità entro il 2033, con una produzione a regime fino a 15mila wafer a settimana ed un incremento occupazionale dell'ordine del migliaio di unità (2000 circa), tra profili specializzati e laureati.

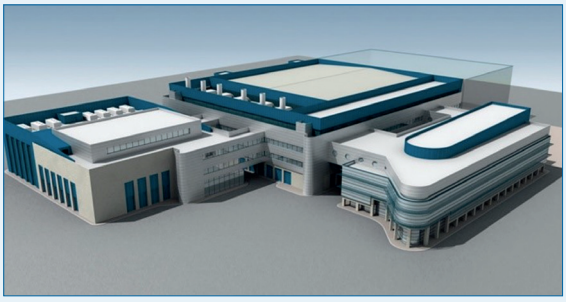


Figura 12: FAB da 300mm ad Agrate Brianza

In questo quadro sta assumendo un'importanza di rilievo europeo anche la recente costruzione della nuova linea pilota a 300mm di STMicroelectronics ad Agrate Brianza, in Italia (Figura 12), essa si aggiunge agli impianti già esistenti ad Agrate per wfs da 200mm (8") e quello di Catania per la produzione di tecnologie SiC. Questa nuova fabbrica rappresenta il più grande investimento produttivo high-tech in Italia, con un investimento di oltre 2 miliardi di euro, la ricaduta occupazionale ha avuto un impatto positivo richiedendo circa 700 nuove persone tra ingegneri di processo, ricercatori, tecnici di produzione e impianti, operatori di produzione.

Nel caso di ST vi è una forte spinta alla ricerca di competenze mediante la collaborazione con oltre 45 Università italiane e con diverse altre istituzioni scolastiche e non. Ad esempio con la Fondazione ITS Lombardia-Meccatronica che forma tecnici all'avanguardia in grado di operare sui sistemi meccatronici avanzati.
STMicroelectronics ha siglato un accordo con il Politecnico di Milano per creare un centro di ricerca congiunto (Research Center on sensor systems with advanced materials - Steam) su microsistemi e materiali avanzati ed è attivo un accordo quadro con l'Università di Catania, nel settore dell'elettronica di potenza e dei materiali innovativi. Altri esempi di collaborazione sono il laboratorio ARCES- ST, nato già nel 2001 con l'Università di Bologna, e l'accordo sulla sensoristica con la Scuola Sant'Anna di Pisa.

RICADUTE OCCUPAZIONALI

Nell'ambito occupazionale, non possiamo considerare solo le prospettive di occupazione diretta, derivanti dalle singole iniziative di investimenti nei semiconduttori, bensì anche quelle indirette derivanti da una strategia più ampia del comparto semiconduttori.
Nello scenario internazionale dal 2008 in poi, per diversi fattori geopolitici, catastrofi ambientali, carenze di materie prime, etc., si è generato un picco di domanda di semiconduttori, indotta anche dall'evoluzione dei comportamenti dei consumatori durante la pandemia COVID-19.
A questo si aggiunge la vulnerabilità legata alla concentrazione geografica, con una catena di approvvigionamento sbilanciata su specifiche aree geografiche che mette a serio rischio la catena di approvvigionamento globale dei chip.
Le aspettative di crescita a 1 trilione di dollari confermano il bisogno di capacità produttiva, ma il rischio è quello di passare da una carenza di materiali a una

carenza di talenti se non vengono prese adeguate azioni. Gli sforzi, quindi, nel ricostruire poli domestici della filiera dei semiconduttori (Figura 10) e l'impiego di investimenti pubblici e privati (Figura 19) rischiano di trasformarsi in uno spreco di risorse, se non coadiuvati da un adeguato piano di sviluppo di conoscenze STEM. La scarsità di competenze e talenti complica l'attuazione di programmi in grado di soddisfare il fabbisogno del ciclo produttivo dell'intero ecosistema dei semiconduttori: *Integrated Device Manufacturing* (IDM)[2], *IP Designers, Fabless, Foundries (TSMC) ed Equipment Manufacturers.*
Nessun singolo Paese ha la forza lavoro necessaria per supportare l'autosufficienza dei semiconduttori a livello domestico, poiché ogni Paese fa parte di una rete interconnessa di talenti altamente specializzati e contesi.

Ad esempio, le previsioni riportate nello studio "CHIPPING AWAY" – SIA del 2023 indicano che entro il 2030 l'industria dei semiconduttori statunitense, spinta anche dal Chips Act, vedrà una crescita del 33% nella forza lavoro, raggiungendo circa 460.000 posti di lavoro (Figura 13). Tuttavia, si stima che circa 67.000 (pari al 58% dei nuovi posti di lavoro previsti e all'80% di quelli tecnici) potrebbero rimanere vacanti a causa della carenza di laureati qualificati. La mancanza di personale qualificato non riguarda solo l'industria dei semiconduttori ma anche gli altri settori tecnologici cruciali. Sempre negli USA, si stima la creazione di 3,85 milioni di nuovi posti di lavoro tecnici entro il 2030, di cui 1,4 milioni a rischio di non essere coperti. Le dimensioni del fenomeno si riflettono anche sulle altre aree geografiche, inclusa l'Italia, per cui la carenza di talenti rappresenta una sfida significativa sia per l'industria dei semiconduttori che per l'economia nel suo complesso, e colmare questo gap è essenziale per il successo e l'innovazione futura sollecitata dai vari programmi di investimento.

[2] *Vedasi STMicroelectronics, Intel, Samsung, Micron Technology, Texas Instrument*

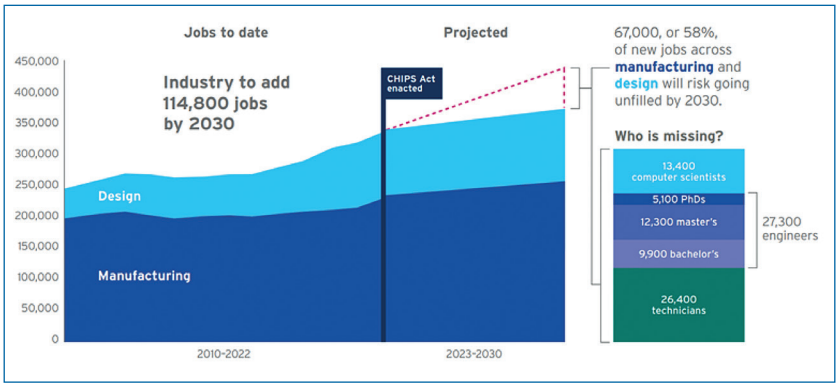


Figura 13: Forza lavoro storica e gap stimato (2023-2030) nel settore dei semiconduttori (Fonte: SIA)

Nel report The competive Etch di Accenture si individuano tre azioni possibili per recuperare talenti per l'ecosistema dei semiconduttori:

• **Automazione.** In tutta la catena del valore dei semiconduttori, le aziende hanno con l'automazione ancora del margine non del tutto sfruttato per liberare risorse da collocare su attività a maggior valore aggiunto. In un contesto di crescenti costi e competizione per l'acquisizione di talenti, l'automazione può aiutare a ridurre la pressione sulla ricerca di ingegneri qualificati nonché sostenere l'innovazione, come richiesto dalla Legge di Moore e/o da "More than Moore". In questo modo, ad esempio, si potrebbero concentrare le risorse su ruoli di data science e analytics e quindi a maggior valore aggiunto. Vedasi ad esempio nuovi FAB ad alta automazione che da un lato richiede meno risorse, ma dall'altro risorse con più alte competenze.

• **Riqualificazione.** È vista come uno strumento fondamentale per affrontare la mancanza di talenti in vari settori, tra i quali quello dei semiconduttori, che investono in formazione e sviluppo delle competenze di chi è già assunto, a colmare la difficoltà di nuove assunzioni (in ambiti quali data science, programmazione, applicazioni di IA, etc.). Ad esempio, la riqualificazione si declina attraverso la mobilità interna, oppure attraverso la formazione promossa tramite diverse piattaforme interne ed esterne, per creare opportunità di sviluppo di carriera, ma anche di contaminazione del sapere. Tuttavia, permangono fattori strutturali che

limitano questo processo: ad esempio, i profili ad alta specializzazione già presenti difficilmente possono essere riqualificati e ricollocati in altri settori con maggior bisogno; inoltre, la ricollocazione potrebbe generare anche fuga di risorse. La riqualificazione su scala richiede tempi lunghi che il settore dei semiconduttori non può avere.

• Coltivare **un bacino per attrarre e trattenere talenti**. Le aziende del settore dei semiconduttori devono personalizzare le loro strategie di acquisizione dei talenti in base alla loro posizione nella catena del valore, al tipo di talenti che cercano e alla concorrenza che devono fronteggiare (rappresentata, ad esempio, dagli hyperscaler del software, i principali cloud service providers globali, che attraggono gli stessi professionisti). L'impiego di risorse nello sviluppo software è diventato nel corso degli anni sempre più critico, in quanto il prodotto oggi non è costituito solo da silicio ma anche da software.
È bene precisare che questi talenti qualificati richiedono strategie di reclutamento differenti rispetto a quelli meno qualificati nel settore dei materiali o della produzione back-end, dove gli IDM possono reclutare lavoratori tra laureati in materie tecniche e attraverso la formazione professionale.

Le aziende dei semiconduttori investono da tempo su queste azioni poiché ritengono che le persone rappresentino un investimento strategico.

In termini di occupabilità, le opportunità sono a favore non soltanto dei laureati. Ovviamente le opportunità formative e gli sbocchi professionali sono diversi, con percorsi più professionalizzanti per i non laureati, impiegabili per esempio nel manufacturing tecnologico, e percorsi piu ampi per i laureati, impiegabili sia nella ricerca e sviluppo sia nel manufacturing.
Il successo di un'azienda di semiconduttori è legato alla capacità di identificare, attrarre, trattenere e motivare personale qualificato in un mercato del lavoro competitivo. È fondamentale anche assicurare una transizione fluida nella successione aziendale. La sfida include mantenere una cultura lavorativa diversificata

e inclusiva per essere percepiti come un datore di lavoro attraente rispetto altri brand (vedasi automotive, hyperscale, etc;). Nonostante l'impegno nel reclutamento e nella formazione, esiste tuttavia il rischio di non riuscire a mantenere o sostituire personale chiave, il che potrebbe avere degli impatti negativi sulla crescita futura dell'azienda.

FOCUS: IL CASO ST

In Italia ed Europea ST è una delle realtà significative riguardo all'occupazione nel settore dei semiconduttori. In Italia è presente con 13 siti con più di 12.500 mila dipendenti, di cui più di 3.400 ricercatori. La Società ha assunto 1.600 laureati e diplomati fra il 2022 e il 2023 ed è in continua ricerca di talenti.

La provincia di Monza-Brianza e l'Etna Valley sono parte della Silicon Europe, in quanto due dei maggiori poli dell'industria dei semiconduttori italiana (Figura 14) insieme ad Avezzano, in provincia dell'Aquila, dove opera l'importante fonderia LFoundry (il cui azionista di maggioranza è la cinese Wuxi Xichanweixin Semiconductor). Secondo un'analisi di Cassa Depositi e Prestiti (CDP), complessivamente il settore in Italia conta 1900 imprese che danno lavoro a 36mila addetti, e le 17 imprese con produzione sopra i 50 milioni di euro annui valgono oltre il 50% del mercato nazionale.

In termini occupazionali riveste un ruolo positivo l'ultimo accordo siglato dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy e Silicon Box, startup di Singapore nata 3 anni fa. All'inizio del 2024 ha annunciato un investimento di 3.2 miliardi di euro in Italia per la produzione di chiplet, ovvero una tecnologia che vede collegati tra

loro più chip per costruire un sistema più complesso, anziché realizzare un singolo chip con un singolo processo di produzione: chip realizzati con processi diversi possono combinarsi per formare un unico chiplet. Il nuovo stabilimento per la produzione di chiplet, previsto nel Nord Italia, potrà generare 1600 nuovi posti di lavoro tra la costruzione della fabbrica e a regime nel più ampio ecosistema di conduzione. L'investimento di Silicon Box risponde alla strategia del Chips Act dell'UE e nella strategia italiana per la crescita del settore della microelettronica. Silicon Box introduce una tecnologia utile e finora mancante per rafforzare la catena del valore, nello specifico nell'advanced back-end.

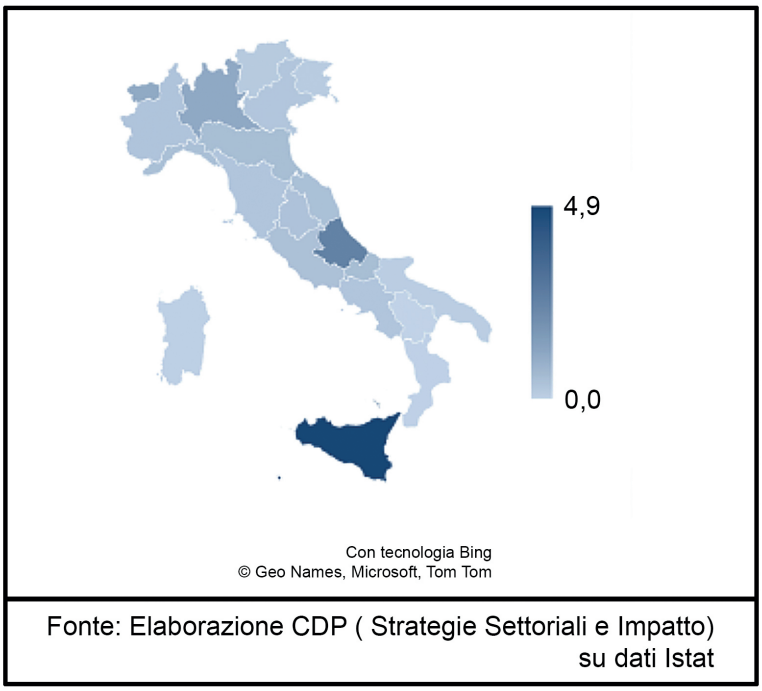


Figura 14: Specializzazione regionale nella produzione di microchip, 2019 (occupazione del settore microelettronica su totale occupati del manifatturiero per regione, %) (Fonte: CDP3)

SOSTENIBILITÀ E SFIDE SOCIALI

Un altro pilastro per lo sviluppo del settore della microelettronica, in particolare in Europa, è la protezione ambientale. La maggior parte delle grandi aziende dei semiconduttori redigono annualmente codici di condotta e sviluppano sistemi di monitoraggio ponendosi importanti obiettivi specifici e quantitativi in termini di sostenibilità ambientale e sociale.
Riportiamo di seguito l'esempio di alcuni degli obiettivi della "Carta della Sostenibilità" (Sustainability Charter) di ST, dato l'impatto sul contesto nazionale, tra cui alcuni molto ambiziosi e con scadenze in anticipo rispetto ad altre aziende del settore. Per citare alcuni dei Sustainability goals (SG) utilizzati dall'azienda[4]:

- 2027 data entro la quale raggiungere la carbon neutrality (SG9), a differenza di altre aziende del settore che si sono poste come scadenza il 2030 o anche il 2035 (su Scope 1 e 2 e parzialmente su Scope 3). La tabella di marcia comprende due obiettivi specifici: il rispetto dello scenario di 1,5°C definito alla COP21 di Parigi entro il 2025, che implica una riduzione del 50% delle emissioni dirette e indirette di gas serra rispetto al 2018 e l'approvvigionamento del 100% di energia rinnovabile entro il 2027. Il piano d'azione (Figura 15) ridurrà:

I. le emissioni dirette di gas a effetto serra (ambito 1), principalmente attraverso gli investimenti in apparecchiature per bruciare i gas che rimangono dopo la produzione;
II. il consumo energetico complessivo (ambito 2);
III. le emissioni derivanti dal trasporto dei prodotti, dai viaggi di lavoro e dal pendolarismo dei dipendenti (parte dell'ambito 3);
IV. le emissioni rimanenti attraverso l'identificazione e l'implementazione dei programmi più credibili e rilevanti per minimizzare e cattura il carbonio

[4] *Si veda per dettagli: https://sustainabilityreports.st.com/sr24/_assets/downloads/ata-ambitions-and- goals-st-sr24.pdf*

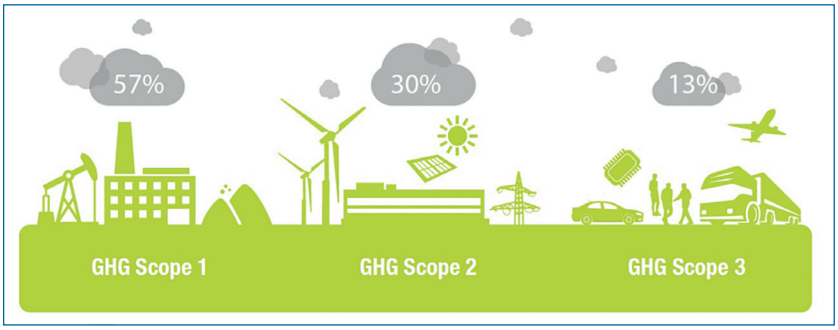


Figura 15: I 3 differenti GHG creati da un'azienda (Fonte: ST)

- 2016 – 2025 arco temporale durante il quale si vuole ridurre del 20% il consumo acqua (SG13) per wfs con riciclo al 50% (SG14).
- Generare almeno il 20% dei ricavi da nuove linee di prodotto entro il 2025 (SG1) e il 33% dei ricavi da prodotti più sostenibili entro il 2027 (SG2).

Gli ambiti di intervento riguardano:

- **Tecnologie responsabili:** Sviluppo di soluzioni per una vita più sicura, ecologica e intelligente.

- **Persone:** Priorità alla salute, sicurezza e benessere, diritti umani ed empowerment delle comunità.

- **Ambiente:** Riduzione delle emissioni e del consumo energetico, gestione delle risorse idriche e dei rifiuti.

- **Profitto:** Gestione dei rischi e incremento del valore per gli stakeholder.

L'azienda è riconosciuta in vari indici di sostenibilità, come Dow Jones Sustaina

bility Index World e Europe, FTSE4Good, Solactive Global e Europe CSR index, etc. e ha ottenuto valutazioni elevate da CDP, MSCI e da ISS ESG corporate rating. È membro della Responsible Business Alliance (RBA) e firmataria del Patto Globale delle Nazioni Unite dal 2000, contribuendo a 11 dei 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (SDG)[5].

L'obiettivo è rafforzare la trasparenza delle informazioni sociali e ambientali, con particolare attenzione ai rischi legati al cambiamento climatico ed agli altri aspetti di sostenibilità. Di seguito a titolo di esempio sono riportati i passaggi principali che ST sta intraprendendo per allinearsi alle richieste normative:

- *Revisione delle pratiche di rendicontazione*, per garantire che le informazioni sulla sostenibilità siano complete, affidabili e in linea con i nuovi standard richiesti dalla CSRD.
- *Implementazione di audit esterni*, per assicurare la veridicità e l'accuratezza dei dati riportati nel report di sostenibilità
- *Confronto con le metriche di divulgazione dei concorrenti*, per ridurre o evitare disallineamenti.

[5] *Per approfondimenti il rapporto di sostenibilità di ST è disponibile al link https://sustainabilityreports.st.com/sr24/*

RICERCA E SVILUPPO

Nel dicembre 2023 è stato pubblicato l'EU Industrial R&D Investment Scoreboard 2023, uno strumento che traccia e analizza le tendenze degli investimenti in Ricerca e Sviluppo (R&S) delle industrie europee. Questo report è particolarmente rilevante per valutare il progresso verso l'obiettivo dell'Unione Europea di investire il 3% del suo PIL in R&S, un traguardo considerato cruciale per la competitività a lungo termine dell'Unione, ma che nel 2021 ha mancato. Infatti l'UE avrebbe dovuto investire ulteriori 106 miliardi di euro per l'obbiettivo del 3% , una cifra pari al programma settennale di R&S dell'UE Horizon Europe.

Il documento fotografa anche lo stato dell'arte del settore dei semiconduttori, mostrando le tendenze strutturali della R&S nell'arco degli ultimi 10 e 20 anni e il valore strategico della R&S durante eventi critici come la crisi finanziaria mondiale e la pandemia di COVID-19.

I semiconduttori hanno mostrato la loro centralità strategica per la filiera di molti prodotti. A causa della carenza di semiconduttori durante la pandemia di COVID-19, le aziende dei semiconduttori hanno guadagnato molta attenzione politica in tutte le aree geografiche, ed in particolare negli Stati Uniti, in Europa, ed in Cina. Attualmente tutte le regioni/paesi mirano a rafforzare la loro posizione nel settore dei semiconduttori. In questo contesto il consolidamento e rafforzamento delle proprie capacità di R&S è diventato un fattore strategico ed elemento di forte competitività.

Nel 2022, secondo i dati del Quadro di valutazione (Figura 16) del settore Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (ICT), comprendente aziende che producono hardware per computer, apparecchiature elettroniche ed elettriche, semiconduttori e apparecchiature per telecomunicazioni, gli Stati Uniti sono in testa con il 62,2% degli investimenti in R&S, che ammontano a 84,1 miliardi di euro per il settore dei semiconduttori. Tra le aziende statunitensi spiccano Intel, all'8° posto mondiale con 16,4 miliardi di euro investiti in R&S, Nvidia al 26° posto con 6,9 miliardi di euro, e Advanced Micro Devices al 44° posto con 4,7 miliardi di euro.

La regione del Resto del Mondo (RoW), che include Taiwan e la Corea del Sud, copre il 25,5% delle aziende e il 19,1% degli investimenti in R&S. Le aziende di spicco in quest'area sono Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), al 42° posto mondiale con 4,9 miliardi di euro in R&S, e SK Hynix in Corea del Sud, al 54° posto con 3,3 miliardi di euro.

La Cina, nonostante abbia una maggiore percentuale di aziende (14,4%), mostra un investimento in R&S relativamente basso, con solo il 3,5% del totale, pari a 2,8 miliardi di euro. La principale azienda cinese nel quadro di valutazione è TCL Zhonghuan Renewable Energy Technology Co, che si posiziona al 508° posto mondiale con investimenti in R&S di 348 milioni di euro.

L'Unione Europea si posiziona al terzo posto per investimenti in R&S con il 12,1% e l'11% delle aziende. Le principali società europee nel settore sono ASML Holding e NXP Semiconductors, entrambe olandesi, rispettivamente al 64° posto mondiale con 3,1 miliardi di euro in R&S e al 111° posto con 2,0 miliardi di euro, seguite dalla tedesca Infineon Technologies al 113° posto con 1,9 miliardi di euro.

ST si colloca per investimenti in R&S al 32° posto in Europa e al 150° posto a livello mondiale (statistiche afferenti l'anno 2022[6], Figura 17) se confrontato nel comparto Technology Hardware & Equipment.

		Computer hardware	Electronic & electric equipment	Semiconductors	Telecommunication equipment	Total
EU	Firms	3	26	10	3	42
	Share	6.7%	9.8%	10.1%	4.8%	8.9%
	R&D	1 158	11 841	9 891	9 006	31 988
	Share	2.6%	12.4%	11.7%	14.5%	11.2%
US	Firms	12	48	37	20	117
	Share	26.7%	18.2%	37.4%	32.3%	24.9%
	R&D	34 733	13 725	50 824	21 628	120 911
	Share	79.6%	12.5%	62.6%	34.5%	42.3%
China	Firms	11	105	18	27	161
	Share	24.4%	39.8%	18.2%	43.5%	34.3%
	R&D	3 673	23 307	2 862	30 004	59 847
	Share	8.3%	23.5%	3.5%	47.9%	20.9%
Japan	Firms	0	35	10	2	47
	Share	0.0%	13.3%	10.1%	3.2%	10.0%
	R&D	0.0	18 021	2 562	258.9	20 843
	Share	0.0%	18.9%	3.7%	0.4%	7.3%
RoW	Firms	19	50	24	10	103
	Share	42.2%	18.9%	24.2%	16.1%	21.9%
	R&D	4 145	30 828	15 616	1 400	51 990
	Share	9.4%	32.6%	18.3%	2.6%	18.2%
Total	Firms	45	264	99	62	470
	Share	9.6%	56.2%	21.1%	13.2%	19%
	R&D	43 648	95 344	84 092	62 251	285 337
	Share	15.3%	33.5%	29.4%	21.8%	100%

Figura 16: Produttori di ICT nel 2022: imprese e R&S nelle diverse regioni, classificazione ICB4 - Nota: R&S espressi in milioni di € (Fonte: Tabella 14 del 2023 EU Industrial R&D Investment Scoreboard, European Commission, JRC/DG R&I)

[6] *https://iri.jrc.ec.europa.eu/data*

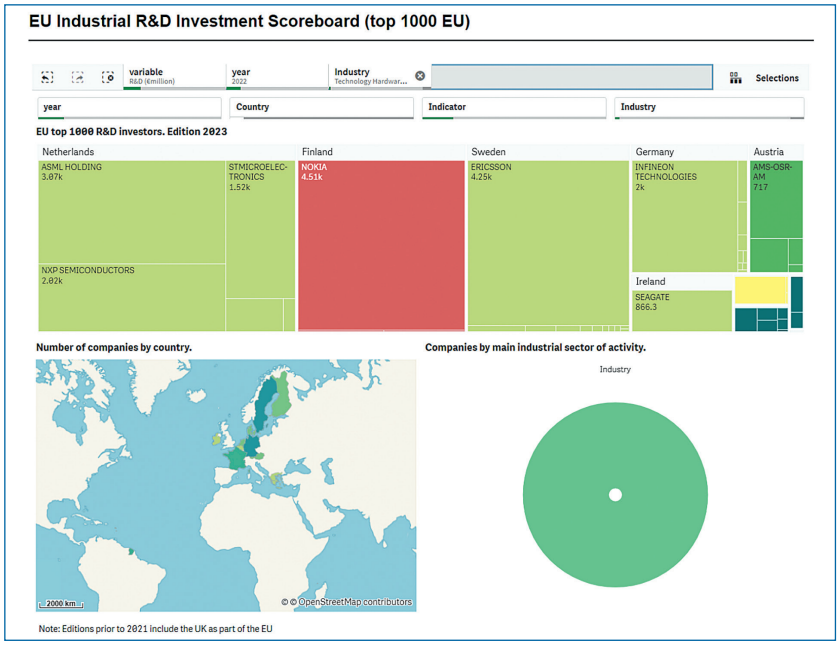


Figura 17: Segmento industriale Technology Hardware & Equipment (Fonte: https://iri.jrc.ec.europa.eu/data)

Le aziende dell'UE si distinguono sul lato sostenibilità, in particolare nello sviluppo delle tecnologie pulite e nel rispetto dei criteri ESG (Environmental, Social and Governance) collocando l'UE in una posizione di forza a tutela dell'ambiente.
L'elevata intensità di R&S e di crescita annuale delle industrie delle ICT e della salute ha cambiato le strategie dei produttori e dei servizi ITC, i cui attori principali operano negli Stati Uniti (per le ITC e salute) e in Cina (per solo ITC) rappresentando una sfida continua per l'UE a eguagliare gli Stati Uniti negli investimenti globali in R&S e tenendo al contempo il passo con i recenti progressi della Cina.
L'Europa, tuttavia, detiene una posizione di leadership nel settore dei macchinari per la fabbricazione di semiconduttori, grazie all'azienda olandese ASML che è l'unica azienda in grado di produrre macchinari per la litografia a radiazione ul

travioletta estrema (EUV), essenziali per la produzione di microchip avanzati con nodi tecnologici di 7 nm, 5 nm e 3 nm. Questa capacità rende ASML un partner strategico per l'UE e gli USA nella loro competizione con la Cina.
Gli investimenti in R&S industriali sono integrati da finanziamenti dell'UE anche se il divario con il resto delle principali aree concorrenti è dovuto principalmente a un divario negli investimenti privati.
Programmi come Horizon Europe (compreso il Consiglio europeo per l'innovazione), i Programmi Regionali e di Coesione, lo strumento di Ripresa e Resilienza, nonché ***InvestEU*** e il Fondo per l'Innovazione e a livello politico, la legge Net Zero Industry Act e il Critical ***Raw Materials Act*** mirano a mobilitare gli investimenti per ridurre le dipendenze e rafforzare la posizione dell'UE nella dinamica catene del valore globale.
Per rafforzare ulteriormente la sua posizione, l'UE si è data degli obiettivi tramite, ad esempio, l'***European Chips Act***, che stanzia oltre 43 miliardi di euro: risorse destinate al primo pilastro, ovvero alla ricerca, alla progettazione, al design di chips e alle linee pilota per favorire il trasferimento dalla R&S all'industrializzazione.

La EU Industrial Strategy, la ***New European Innovation*** Agenda (compresi i distretti dell'innovazione regionali) e la ***European Economic Security Strategy*** rafforzano la promozione dell'innovazione in collaborazione con i nostri partner internazionali.

L'industria dei semiconduttori globale deve impegnarsi nell'innovazione di materiali, architetture e metodologie produttive per preservare il tasso di miglioramento delle prestazioni e dei costi degli ultimi decenni. È necessario investire massicciamente nella ricerca di base precompetitiva e collaborativa. Ad esempio, al ridursi del nodo tecnologico, i costi aumentano (Figura 18) ponendo sfide sempre più alte al compiersi delle Legge di Moore. Per continuare a fare progressi, è necessario un approccio ingegneristico che integri l'innovazione a tutti i livelli e che superi l'attuale specializzazione verticale delle aziende di semiconduttori favorendo quindi la collaborazione nell'ecosistema di R&S per superare le sempre più crescenti complessità.

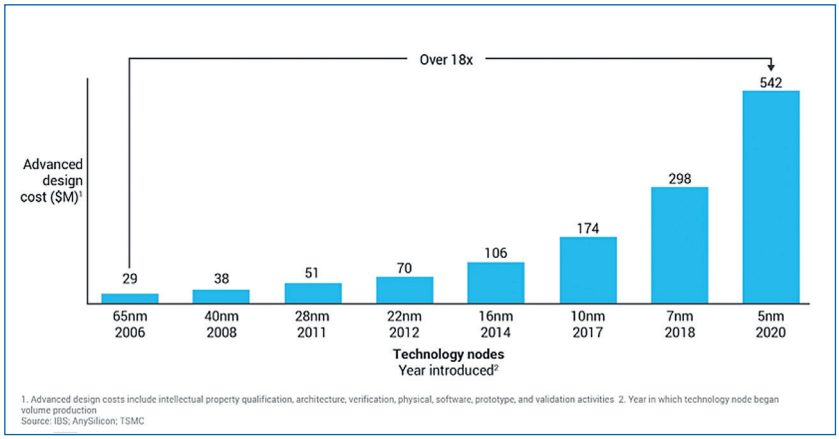


Figura 18: I costi di progettazione aumentano con ogni nuovo nodo tecnologico (Fonte: SIA)

L'Italia vanta una elevata capacità di ricerca, sviluppo tecnologico e produzione nel settore dei semiconduttori, inclusa la produzione di macchinari quali clean room e impianti di testing, grazie alla presenza di diversi importanti centri di ricerca e aziende con posizioni di mercato importanti quali ST, LFoundry, Micron Technology, MEMC, Technoprobe, Lpe, OPTOI, SPEA, Osai, Meridionali Impianti, Applied Materials Italia srl, etc.

Un punto di forza per il paese è la ricerca nel campo della microelettronica, spesso frutto della sinergia tra il mondo accademico e quello industriale. Le università italiane sono un fulcro importante per l'istruzione avanzata nel settore, grazie ai loro programmi di laurea e dottorato di elevata qualità. La specializzazione vede attenzionati settori come quello automobilistico, degli strumenti di precisione e dei prodotti elettronici per i consumatori. Nonostante ciò, l'Italia risente di una mancanza di aziende che producono semiconduttori con tecnologie di punta, e c'è un bisogno di espansione nell'area del design e ingegnerizzazione di semiconduttori. Per sfruttare appieno le opportunità offerte dalla legislazione europea

sui chip, l'Italia dovrebbe concentrarsi sull'incremento della qualità dell'istruzione e sul rafforzamento della propria catena di valore nel campo della microelettronica, valorizzando i centri di eccellenza già presenti.
Un punto debole significativo del contesto italiano, rispetto ad altri paesi europei, è la carenza di grandi centri di ricerca applicata e la mancanza di impianti capaci di produrre semiconduttori di ultima generazione. Questi limiti costituiscono barriere significative per il progresso del settore nel paese.
A tal fine sono stati approvati il Fondo Nazionale per la Microelettronica, da 3,3 miliardi di euro, e il Decreto Energia n.17 del 2022, con 4,15 miliardi di euro, che costituiscono gli strumenti principali del Chips Act (Chips Joint Undertaking) per sostenere, tra gli altri, i progetti di ricerca delle imprese o sviluppati nell'ambito di un partenariato europeo.
Con la Fondazione Chips-IT, ovvero la Fondazione per il design dei circuiti integrati a semiconduttore, introdotta dalla legge di bilancio del 2023, l'Italia mira a potenziare le proprie competenze nel campo del design dei chip, stimolando la creazione di un distretto di imprese specializzate nel design di circuiti integrati, aperto alla partecipazione di aziende internazionali. Sfruttando le significative potenzialità del Paese nella progettazione e nel design, la Fondazione favorirà la creazione di una "fabless valley" sul territorio nazionale, accrescendo l'attrattività della filiera dei semiconduttori e supportando l'ampliamento dell'offerta formativa del settore e per accrescerne le competenze.

FOCUS: IL CASO ST

Per comprendere il contesto e le esigenze in termini di R&S a livello nazionale si riportano per riferimento alcuni dati caratteristici di un grande player industriale come ST.
Nell'azienda un significativo 18% del personale è impegnato in attività di R&S, e nel 2023 l'investimento in questo settore è stato pari al 12,2% dei ricavi netti, con un importo totale di 2,1 miliardi di dollari per il 2023 e 1.9 miliardi di dollari e 1.7 miliardi di dollari rispettivamente nel 2022 e 2021.

La strategia di R&S tecnologica di ST si basa sullo sviluppo di tecnologie differenziate, che consentono un'offerta ampia in termini di nuovi prodotti e abilitano nuove applicazioni:
Il portafoglio tecnologico è composto da sistemi di fabbricazione di tecnologie chip, includenti CMOS avanzati, FD-SOI, RF-SOI, rilevamento ottico, memorie non volatili embedded, mixed- signal, analog, MEMS, Smart Power, processi SiC e GaN. Questo è ben integrato nel portafoglio di tecnologie del packaging come BGA ad alto numero di pin, packaging a livello di wafer, packaging per sensori altamente integrati e prodotti di potenza con package leadframe. La R&S tecnologica è integrata sia per la produzione di front-end che di back-end per garantire un flusso di informazioni tra organizzazioni di R&S e produzione. Collaborazioni trasversali ai gruppi di prodotti aumentano e favoriscono il processo di contaminazione delle competenze. Per CMOS con nodi tecnologici pari o inferiori ai 18 nm, ci si appoggia a fonderie esterne e non si prevede di produrre né di sviluppare internamente. L'azienda ha centri avanzati di R&S e di innovazione che offrono un vantaggio nell'introdurre rapidamente prodotti nuovi. Inoltre, ha stabilito una cultura di partnership e negli anni ha creato una rete di collaborazioni strategiche con clienti chiave, fornitori, concorrenti, università di spicco e istituti di ricerca in tutto il mondo. Partecipa anche a specifici programmi di R&D definiti dall'UE, singoli paesi e autorità locali (principalmente in Francia e Italia). Grazie alla continua R&S, ad oggi ST possiede circa 20,000 tra brevetti e procedure di ottenimento in corso; 690 nel solo 2023 di cui 37% italiani.

INDIRIZZI E TEMI STRATEGICI A MEDIO/LUNGO TERMINE

Il quadro geopolitico attuale è segnato da notevoli incertezze a causa di fattori come le tensioni commerciali tra Cina e USA, con impatti a livello mondiale, in particolare nel settore dei semiconduttori, dove prodotti ad alta tecnologia diventano obiettivi di sanzioni. Gli Stati Uniti hanno imposto limitazioni alle vendite di prodotti con know-how americano a imprese cinesi. In aggiunta, l'aggravarsi delle tensioni tra Cina e Taiwan minaccia di restringere ancora di più i commerci internazionali, specialmente per i semiconduttori.

L'invasione dell'Ucraina da parte della Russia ha avuto un impatto devastante sulla produzione di gas rari come neon, elio e NF_3, indispensabili nella produzione di semiconduttori. Prima del conflitto, l'Ucraina contribuiva circa per il 50% alla produzione mondiale di neon e la guerra ha distrutto alcune fonti di produzione e messo a rischio i piani di espansione per questi gas.

Questi fattori creano un'atmosfera di incertezza che potrebbe riflettersi negativamente sull'economia globale e sulla catena di approvvigionamento dei semiconduttori, un settore vitale per il progresso di molte tecnologie attuali. Da qui il riassetto produttivo della filiera dei semiconduttori con investimenti tesi a creare autosufficienza e resilienza nelle varie aree geografiche (Figura 19). Tra i tanti, citiamo i programmi:

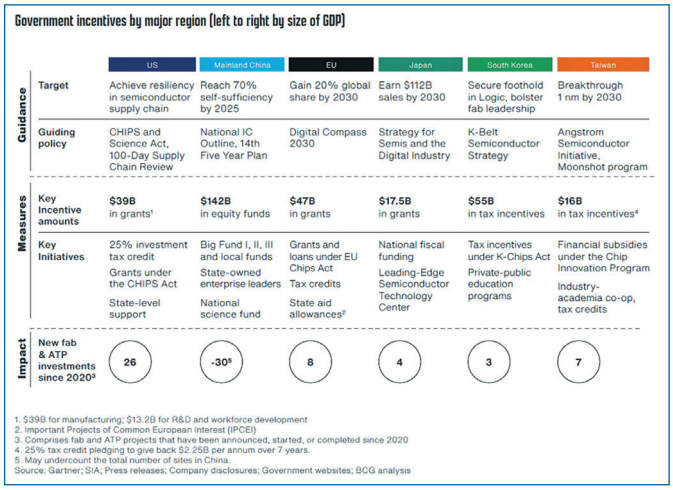
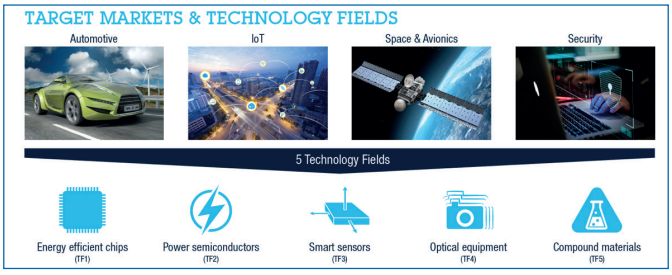


Figura 19: Sforzo per l'autosufficienza per aree geografiche (Fonte: SIA)

IPCEI (MPORTANT PROJECT OF COMMON EUROPEAN INTEREST) 1 & 2

Come precedentemente menzionato, si è assistito all'attuazione di iniziative governative volte a potenziare l'autosufficienza delle catene di approvvigionamento in diverse regioni. Tra queste, spiccano i programmi di sostegno nazionali di paesi come Italia, Francia, Germania e Inghilterra, ai quali si è poi unita l'Austria nel settore dei semiconduttori con l'iniziativa "Connecting Europe's microelectronic industry to foster digitisation in Europe", conosciuta anche come IPCEI Microelettronica del 2018 fino al 2024. I finanziamenti provengono dagli stessi paesi partecipanti, non dall'Unione europea.

IPCEI ME: Important Project of Common European Interest on Microelectronics



Ulteriori informazioni disponibili al sito https://ipcei-me.eu/

Gli aiuti autorizzati a livello comunitario nel 2018 ammontano a 1,75 miliardi di euro complessivi, a cui si aggiungono 146,5 milioni di euro autorizzati dopo l'ingresso dell'Austria (dati MIMIT).

L'IPCEI sulla microelettronica promuove la ricerca, lo sviluppo e l'innovazione in cinque ambiti tecnologici: chip a basso consumo energetico, semiconduttori di potenza, sensori intelligenti, attrezzature ottiche avanzate e materiali compositi. L'obiettivo principale è quello di sviluppare tecnologie e componenti microelettroniche all'avanguardia, pronte per essere integrate nelle industrie.

La Commissione europea l'8 giugno 2023, ha approvato il secondo IPCEI sulla microelettronica, denominato "IPCEI ME/CT" e noto anche come IPCEI Microelettronica 2, notificato da quattordici paesi europei per il lancio di progetti di comune interesse sempre nel settore della microelettronica e delle tecnologie di comunicazione.

IPCEI MICROELETTRONICA: QUALCHE DETTAGLIO IN PIÙ

Nel 2023 è stato lanciato questo nuovo progetto paneuropeo, che è stato avviato per promuovere la ricerca e l'innovazione e dare il via alla prima industrializzazione della microelettronica. Coinvolge partner italiani oltre ad altre circa 65 aziende in 16 Paesi europei. Nel complesso, gli aiuti a livello EU ammontano a 8,1 miliardi di euro complessivi, e potranno essere accordati dagli Stati membri in favore delle imprese partecipanti alla realizzazione dell'IPCEI ME/CT (Microelettronica 2) per lo svolgimento delle attività di ricerca, sviluppo e innovazione fino al 2032.

IPCEI ME/CT: Important Project of Common European Interest on Microelectronics and Communication Technologies



Ulteriori informazioni disponibili al sito https://ipcei-me-ct.eu/

Come riportato dal MIMIT, l'IPCEI ME/CT rappresenta un'integrazione e un'estensione del primo IPCEI e sostiene attività di ricerca, sviluppo e innovazione, già comprese nella prima applicazione industriale, e mira ad accelerare la trasformazione green e digitale nei seguenti modi:

1. creando soluzioni innovative di microelettronica e comunicazione e
2. sviluppando sistemi elettronici e metodi di produzione efficienti sotto il profilo energetico e a basso consumo di risorse.

Nell'ambito di questo IPCEI, le imprese, tra cui PMI e start-up, avvieranno 68 progetti di ricerca. Il programma prevede di stimolare il progresso tecnologico in settori chiave come le comunicazioni (5G e 6G), la guida autonoma, l'intelligenza artificiale e l'informatica quantistica, oltre a sostenere la transizione ecologica in ambiti legati alla produzione e all'uso dell'energia. Si stima che i primi prodotti innovativi saranno disponibili sul mercato entro il 2025, con il completamento del progetto previsto per il 2032. L'iniziativa dovrebbe generare circa 8.700 posti di lavoro diretti, oltre a numerosi impieghi indiretti.

EUROPEAN CHIPS ACT

A febbraio 2022 la Commissione ha rinforzato la posizione Europea adottando lo European Chips Act, un insieme di atti orientati a rendere l'Europa più autonoma in materia di semiconduttori e a portare la quota di mercato dell'UE dall'attuale 10% al 20% della produzione mondiale di semiconduttori entro il 2030 (Figura 20). Si tratta di una serie di misure con le quali si intendono mobilitare oltre 43 miliardi di euro di investimenti pubblici e privati. La normativa si identifica con il Regolamento UE 1781 rilasciato il 13 settembre 2023.

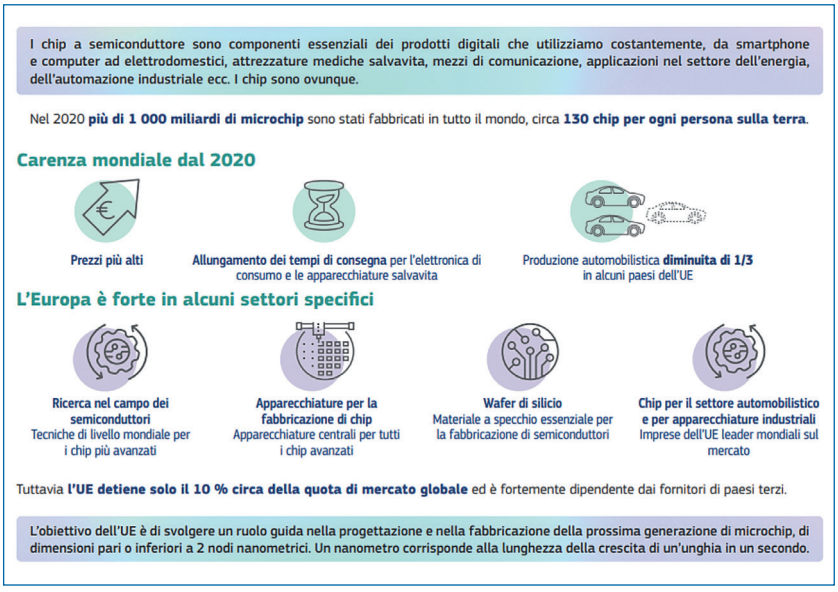


Figura 20: Panorama europeo e globale dei chip (Fonte: European Chips Act: Factsheet)

Lo European Chips Act è composto da: una Comunicazione che delinea cinque obiettivi: 1) rafforzare la ricerca sui semiconduttori; 2) definire linee guida per la

creazione di prototipi; 3) stabilire certificazioni per garantire efficienza energetica, qualità e sicurezza; 4) promuovere la creazione di competenze; 5) creare una rete di centri di competenza.
Per raggiungere gli obbietti elencati il Regolamento identifica 3 pilastri:

- **Iniziativa "Chip per l'Europa":** per mettere a fattor comune lo sviluppo di capacità tecnologiche su larga scala e l'innovazione già avviate e sostenute nell'ambito dei programmi Horizon Europe e Digital Europe oltre che dal partenariato del settore privato ovvero il "Chips Joint Undertaking (Chip JU), evoluzione del KDT JU (Key Digital Technologies Joint Undertaking).
- **Sicurezza dell'approvvigionamento e resilienza:** investimenti pubblici e privati negli impianti di fabbricazione del tipo "first-of-a-kind" che garantirà la sicurezza dell'approvvigionamento e la resilienza. Con "first-of-a-kind" si intende impianti nuovi o miglioramenti di fabbriche di semiconduttori con innovazioni non ancora presenti nell'UE. Questi possono richiedere lo status di "impianto di produzione integrato" (IPF), che si riferisce a fabbriche di semiconduttori verticalmente integrate che si occupano di vari aspetti della produzione e progettazione di semiconduttori, o di "fonderia dell'UE aperta" (OEF), ovvero impianti che riservano una parte della loro produzione basate sui design di altre aziende, in particolare fabless.
- **Monitoraggio e risposta alle crisi:** un meccanismo di coordinamento tra gli Stati membri e la Commissione per rafforzare la collaborazione in materia di monitoraggio e risposta alle crisi.

Oggi l'Europa con la nuova proposta di Regolamento mira ad ampliare l'intervento dell'UE nel settore, promuovendo non solo la ricerca e lo sviluppo (sostenuta con aiuti di Stato, IPCEI, etc.), ma anche l'espansione delle capacità produttive. In particolare, la Commissione Europea pone enfasi sulla produzione di microchip di ultima generazione, segnalando un interesse crescente nell'incrementare la produzione all'interno dell'Unione.

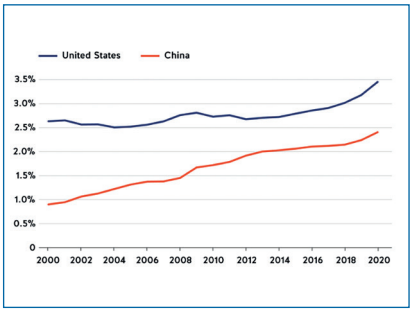


Figura 21: Spesa interna lorda per R&S in rapporto al PIL totale, 2000-2020

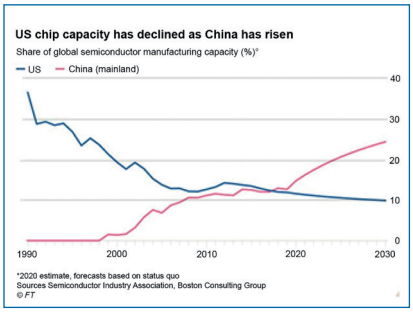


Figura 22: Evoluzione nel tempo della capacità produttiva

U.S.A. CHIP ACT

La brillante crescita del mercato a livello mondiale dei semiconduttori, dalla loro nascita ad oggi, è stata possibile sostanzialmente grazie a scelte aziendali che hanno sostenuto economicamente la ricerca e lo sviluppo, con crescenti investimenti in rapporto al PIL nazionale.

La Figura 21 mostra come la politica della Cina abbia costantemente aumentato la percentuale di spesa in R&D in rapporto al loro PIL, mentre la Figura 22 confronta l'evoluzione nel tempo delle capacità produttiva nazionale di chip di Cina e America.

Dalla Figura 22 si nota che attorno agli anni 2000 si è assistito ad un incrocio delle due curve, le cui cause possono essere diverse, ma una di queste possono essere i ridotti investimenti in R&D, che hanno causato a partire dagli anni 2000 uno spostamento della capacità produttiva di semiconduttori a favore delle regioni asiatiche e a sfavore di quelle occidentali; infatti, la capacità di produzione di semiconduttori negli Stati Uniti è scesa dal 37% nel 1990 al 12% di oggi, e preceduta da una crescita di investimenti in R&D sostanzialmente piatta.

Per ovviare a questo svantaggio, il Governo americano ha varato all'inizio del 2020, il provvedimento "CHIPS and Science Act", una legge storica volta a rafforzare la capacità manufatturiera dei semiconduttori, circuiti integrati, e soprattutto alla ricerca di innovativi processi tecnologici americana. Il Chip Act (dove CHIPS sta per Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors), consiste in un investimento nel settore dei semiconduttori di circa 280 miliardi di dollari, con importanti ricadute occupazionali sul territorio, con la creazione entro il 2030 di circa 300.000 di nuovi posti di lavoro altamente specializzati.

Made In China

Il Governo cinese nel 2014 si è imposto una strategia economica innovativa, volta a modificare il modello produttivo cercando di passare da industria di soli prodotti low cost e bassa tecnologia a industria high tech, privilegiando produzioni con materie prime estratte in Cina e ponendo come obiettivo il passaggio dal 40% al 70% di prodotti che usano materie prime estratte in Cina. Nel 2019, la Cina ha rivisto al rialzo l'obiettivo, fissandolo all'80% entro il 2030, come parte della sua strategia industriale MIC 2025 (Made in China 2025) con finanziamenti statali stimati nell'ordine delle centinaia di miliardi di dollari, prestiti a basso interesse, e agevolazioni fiscali, inclusi 2,7 miliardi di dollari per l'Advanced Manufacturing Fund e 19 miliardi di dollari per il National Integrated Circuit Fund. In paragone, il fondo dell'Unione Europea, che la Germania ha stanziato per Industrie 4.0, ammonta a soli 200 milioni di euro.

PARADIGMI FUTURI: I MEGATRENDS

L'evoluzione dei complessi mutamenti sociali, che si prevede avverranno da qui al 2050 nel mondo, è sintetizzata nell'analisi redatta da Roland Berger, giugno 2023[7] (Figura 23), società di consulenza strategica. Il report illustra quelli che saranno le principali tendenze socioeconomiche che plasmeranno il mondo, cioè i megatrend.
Nonostante gli ultimi anni abbiano portato ad avvenimenti e cambiamenti prima impensabili, modificando usi e abitudini consolidate da molto tempo, si prevede che i sistemi elettronici rimarranno sempre strumenti di uso quotidiano in grado di incidere in modo significativo e trasversale in tutti i 6 megatrend.



Figura 23: Megatrends (Fonte: Roland Berger)

Aumento della popolazione

A partire dal 1975 la popolazione mondiale cresce di un altro miliardo di persone ogni 12 anni; a fine 2022 abbiamo raggiunto gli 8 miliardi, e le ultime proiezioni delle Nazioni Unite prevedono che la popolazione mondiale dovrebbe crescere

[7] *Trend Compendium 2050: Six megatrends will shape the next decades, 2023, Roland Berger*

fino a circa 10 miliardi nel 2080, per poi stabilizzarsi su quel livello fino al 2100 (Figura 24).

Questa stabilizzazione è dovuta alla riduzione del tasso di natalità, da imputare alla diminuzione dei tassi di fertilità in tutto il mondo negli ultimi decenni; ad esempio, dal 2019 il tasso di crescita della popolazione mondiale è sceso al di sotto dell'1%. Come si vede dalla Figura 25, nel 1950 le donne partorivano in media circa 5 volte, mentre nel 2021 questa cifra è scesa a 2,3. Ciò è dovuto al percorso di emancipazione, a migliori opportunità sociali ed economiche, e a una migliore capacità di realizzare i propri obiettivi personali e professionali.

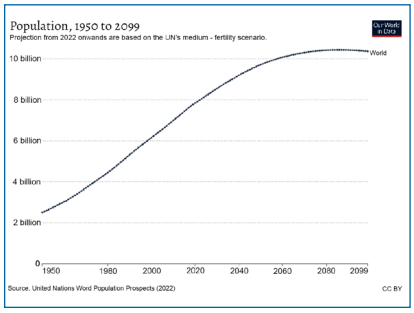


Figura 24: Aumento stimato (2022) della popolazione mondiale

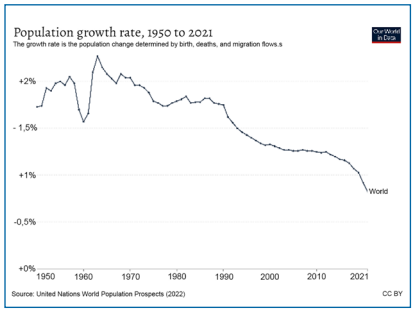


Figura 25: Tasso di crescita della popolazione

Parallelamente, si prevede che la quota della popolazione mondiale di età pari o superiore a 65 anni aumenterà dal 10% nel 2022 al 16% nel 2050, un trend in crescita soprattutto nei paesi sviluppati. E con l'invecchiamento della popolazione emergono le problematiche connesse alla salute.

I semiconduttori possono giocare un ruolo fondamentale in questo ambito; ad esempio, consentono di passare da un'assistenza locale negli ospedali a una decentralizzata (Figura 26), grazie alla creazione di nuovi sistemi diagnostici portatili sufficientemente precisi ed economici, tra i quali i più comuni sono il controllo della glicemia, ritmo cardiaco, pH, pressione arteriosa, etc., con positivi riflessi in termini di:

- diffusione capillare dei sistemi diagnostici;
- monitoraggio di 24 ore al giorno dei parametri sotto esame;
- riduzione dei costi sociali associati.

In definitiva, un miglioramento delle condizioni di vita e un'assistenza sanitaria personalizzata.

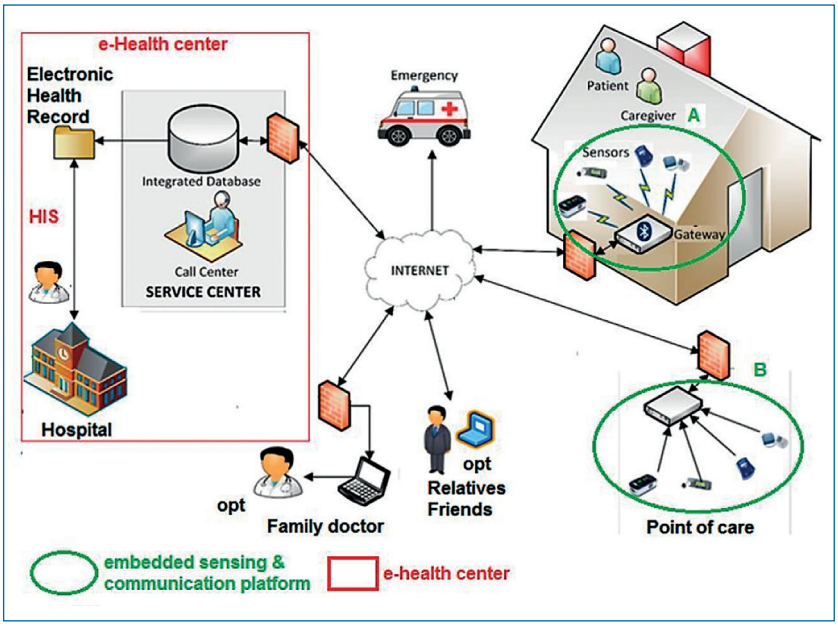


Figura 26: Decentralizzazione dell'assistenza sanitaria (Fonte: Saponara et all, Electronics 5(3), 47, 2016)

Un altro tangibile miglioramento si prevede nella diagnostica per immagini, confrontando le ecografie realizzate da strumenti 2D rispetto a quelli 3D (Figura 27) e reso possibile grazie a nuovi impulsatori ultrasound, (che usano tecnologia BCD). Non ultimo, la nascita dei visori 3D a realtà aumentata e del metaverso, cioè una rete di mondi virtuali condivisa contemporaneamente da più soggetti che si trovano in luoghi fisici distanti tra loro, trova applicazione in diversi ambiti clinici, come la formazione di medici chirurghi, la simulazione preventiva degli interven

ti, la pianificazione della migliore strategia chirurgica, e infine anche operazioni chirurgiche a distanza.

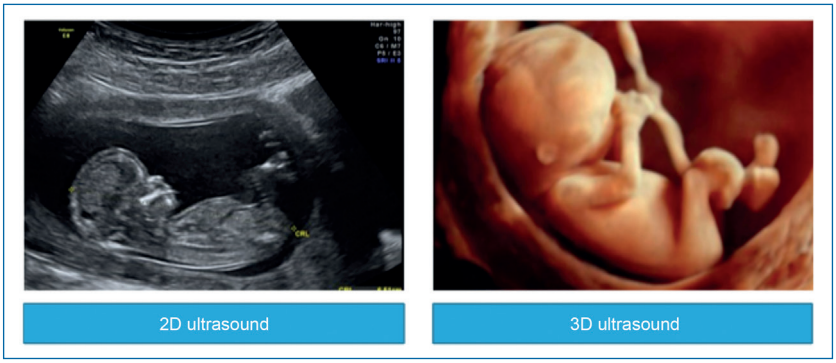


Figura 27: Immagini ultrasound 2D vs 3D

L'aumento della popolazione mondiale (grazie ai trend positivi dei paesi asiatici: india etc.) ha però come controparte un aumento generalizzato e disomogeneo dell'inquinamento; almeno sul fronte dei consumi energetici e delle relative emissioni, l'utilizzo di sistemi elettronici ad alta efficienza ne consente una riduzione. Ad esempio, per le sole applicazioni di home appliances (Figura 28) si vede come grazie a un'alta efficienza sia possibile risparmiare circa il 27% di energia da qui al 2030.

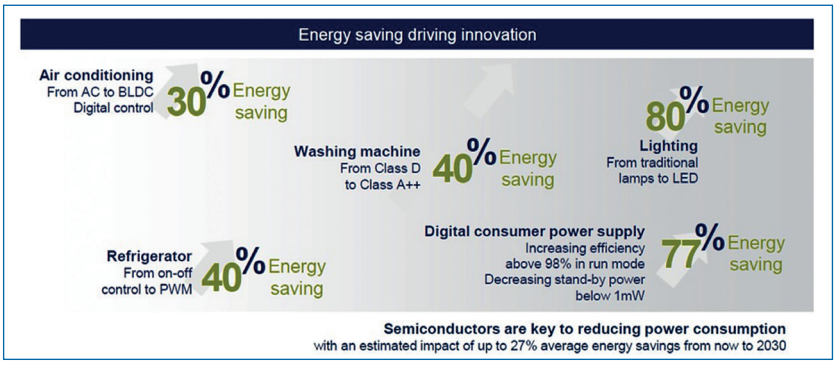


Figura 28: Risparmio energetico per le applicazioni di home appliances

Le applicazioni industriali e di consumo

La Figura 29, ripresa dal report Yole 2024 sull'industria dei semiconduttori, propone la prospettiva di contesto in cui i semiconduttori potranno fornire un apporto determinante: Lo scenario evidente dalla figura trova rispondenze con le analisi e i risultati dello studio Technology Trends Outlook 2023 di McKinsey, in cui l'IA Generativa fa il suo ingresso a fianco di altre 14 categorie tecnologiche che potranno guidare la crescita futura, ovvero: IA applicata, IA generativa, Web3, Sviluppo software di ultima-generazione, Trust architectures e identità digitale, Connettività avanzata, Tecnologie per la realtà immersiva, Cloud e edge computing, Tecnologie quantistiche, Il futuro della mobilità, Il futuro della bioingegneria, Il futuro delle tecnologie spaziali, Elettricità e fonti rinnovabili, Tecnologie per il clima oltre elettrico e rinnovabili, Industrializzazione del machine learning. in ognuna di queste i semiconduttori e la microelettronica in generale saranno essenziali e determinanti abilitanti.

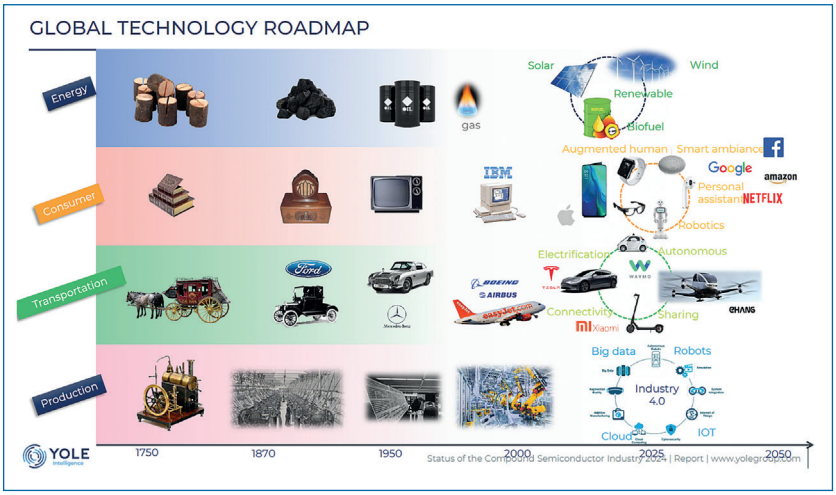


Figura 29: Global technology roadmap (Fonte: Yole 2024)

Alcune categorie già introdotte e descritte in altre sezioni vengono riprese nella Figura 30 del report in base allo stato di ogni tendenza, abbinando un punteggio per l'innovazione (basato su brevetti e ricerche) e l'interesse (basato su notizie e ricerche sul web). Inoltre, si evidenziato gli investimenti in tecnologie rilevanti e si valuta il loro livello di adozione da parte delle organizzazioni.

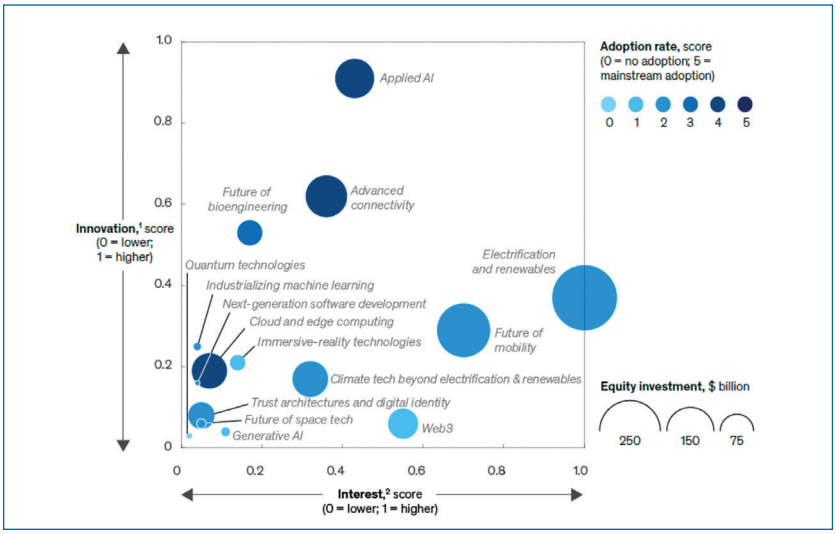


Figura 30: Innovazione, interesse, investimenti e adozione, per tendenza tecnologica, 2022 (Fonte: McKinsey)

Note: *Alla figura 30 I punteggi dell'innovazione e dell'interesse per i 15 trend sono relativi l'uno all'altro. Tutti i trend mostrano alti livelli di innovazione e interesse rispetto ad altri temi e stanno anche attirando investimenti significativi.*

1 Il punteggio dell'innovazione combina i punteggi 0-1 per i brevetti e la ricerca, che sono relativi alle tendenze studiate. Il punteggio dei brevetti si basa su una misura dei depositi di brevetti, quello della ricerca su una misura delle pubblicazioni di ricerca.

2 Il punteggio di interesse combina i punteggi 0-1 per le notizie e le ricerche, che sono relativi alle tendenze studiate. Il punteggio delle notizie si basa su una misura delle pubblicazioni di notizie, mentre il punteggio delle ricerche si basa su una misura delle query dei motori di ricerca.

Un esempio classico del ruolo della microelettronica è la sua applicazione nel settore dei trasporti ed in particolare delle auto a partire dagli anni 60. Trend simili sono in corso per tutti i mezzi di trasporto che stanno perseguendo simili traiettorie di elettrificazione, automazione e gestione ottimizzata dei sistemi ed impianti. Simili trend sono in corso anche per le altre applicazioni industriali citate nella figura 31. In tutti questi casi il numero di sensori, processori, memorie, sistemi di potenza e altri componenti microelettronici è minore per dimensione del mercato globale dell'automotive (per esempio mercato annuo automotive da milioni di vetture mentre quello navale e aeronautico è dell'ordine delle migliaia) o per prestazioni richieste (potenze da gestire da qualche centinaio di kW nelle auto che arrivano a molti MW nel caso di treni, navi ed aerei) ovvero intrinseche esigenze operative, ambientali e di sicurezza che al momento non consentono ancora una estesa introduzione di sistemi digitali in situazioni potenzialmente critiche o pericolose

FOCUS: IL CASO AUTOMOTIVE

Il settore automotive ha beneficiato dell'uso dei semiconduttori nei sistemi elettronici, migliorando non solo il comfort di guida o la connettività, ma anche in particolare la sicurezza, sia attiva che passiva, l'efficienza di combustione del motore e l'elettrificazione.

In funzione del compito da svolgere, in un'auto sono presenti prodotti semiconduttori sviluppati con diverse tecnologie; nello specifico, dove occorre potenza sono presenti i BCD, tipicamente per l'azionamento motore (ad es. cristalli, serrature) ma anche per il segnale dell'infotainment (in-car entertainment), o per il RF del 5G o 6G, mentre il carburo di silicio c'è per il Battery Management System (BMS).

Si stima che il numero di semiconduttori vari dagli attuali circa 3000 per un'auto di medio segmento a circa 8.000 per un'auto di gamma superiore (Figura 31).

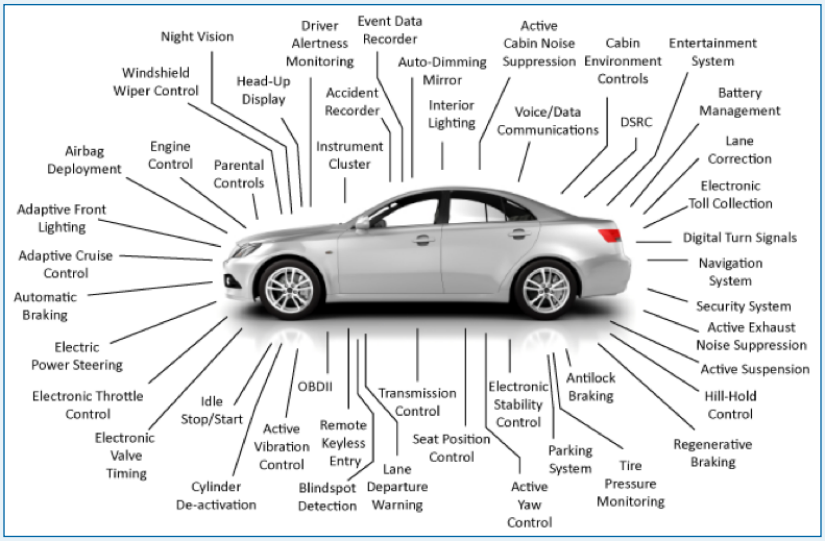


Figura 31: Sistemi elettronici in un'auto (Fonte: Clemson University Vehicular Technology Lab)

Considerando il costante aumento del numero di sistemi elettronici in un'auto e del relativo costo nel corso degli anni, si prevede che nel 2030 circa il 50% del costo di un'auto sarà dedicata ai sistemi elettronici (Figura 32).

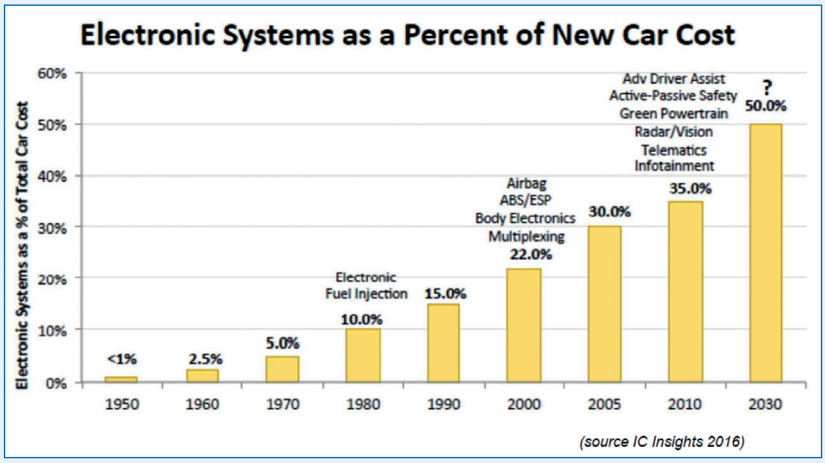


Figura 32: Impatto dei sistemi elettronici sul costo di un'auto (Fonte: IC Insight 2016)

SCENARI TECNOLOGICI

Gli scenari tecnologici per la microelettronica e semiconduttori coprono un vasto assortimento di componenti microelettronici, nonché sottosistemi e sistemi. Questo perché il percorso della microelettronica segue una traiettoria evolutiva che, oltre a proseguire lungo la direzione conosciuta come "more Moore", esplora sempre più il percorso denominato "More than Moore".
Pertanto, i prodotti a semiconduttori hanno come scopo quello di indirizzare soluzioni applicative quali ad esempio: l'audio; la connettività cablata e wireless; l'intelligenza artificiale per l'automotive – consumer – industriale; la Human machine interface (HMI, touch, gestuale, voice control); soluzioni per l'illuminazione industriale e automotive; il controllo motore industriale e automotive; il Power & Energy management industriale e automotive; soluzioni per la sicurezza automotive; la protezione industriale; la sensoristica (monitoring, elettrico, ambientale, image sensing, motion detection).
Tra i tanti scenari tecnologici che abilitano le soluzioni applicative, il presente studio si sofferma su:

Smart Power e tecnologie BCD per soluzioni più ecologiche Combinare le tecnologie di alimentazione con l'intelligenza incorporata è una sfida che prosegue da oltre venti anni, con l'obiettivo di sviluppare soluzioni di gestione dell'alimentazione e dell'energia più efficienti e compatte mediante dispositivi quali ad esempio: BCD, STi^{2}GaN, VIPower, STi^{2}Fuse

MEMS – Micro Electro-Mechanical Systems

I MEMS e MEMS ScanAR stanno diventando sempre più pervasivi, trasformando il modo in cui il mondo digitale e analogico interagiscono.

Nuovi materiali: Tecnologia GaN - Nitruro di Gallio

Il Nitruro di Gallio (GaN) offre vantaggi prestazionali tipici del Carburo di Silicio (SiC). La sua tecnologia avanzata sta emergendo sul mercato, promettendo miniaturizzazione e affidabilità per applicazioni esigenti come convertitori per data center e azionamenti industriali.

Nuovi materiali: Tecnologia SiC - Carburo di Silicio

Il Carburo di Silicio (SiC) promette elevata efficienza operativa e migliori prestazioni in applicazioni come veicoli elettrici e inverter solari. La recente disponibilità di substrati di alta qualità ha ridotto i costi, facilitando l'adozione su larga scala.

VIP Power - Vertical Intelligent Power

VIPower™ è una tecnologia che combina MOSFET verticali con sensori integrati per controllo, protezione e diagnostica in applicazioni automobilistiche, migliorando l'efficienza e sostituendo soluzioni elettromeccaniche. Ottimizza l'efficienza energetica e la gestione termica, rendendola ideale per sistemi di illuminazione, motori DC e serrature.

Sistemi di packaging dei chip: Package 3D e tecnologie di manifattura additiva e sottrattiva.

La roadmap tecnologica dei package si sviluppa insieme agli ASICs, nonché in funzione di applicazioni quali Realtà Aumentata, MEMS, SiP, SoC. Esse richiedono di considerare diversi fattori, quali le intrinseche differenze applicative o la disponibilità e integrazione di nuovi materiali.

Sistemi hardware di edge computing per l'Intelligenza Artificiale

L'Edge AI è un cambiamento di paradigma per l'IA con vantaggi rispetto all'IA nel cloud. E' importante proseguire gli investimenti in ricerca e sviluppo per implementare edge IA su microcontrollori, microprocessori e sensori intelligenti.

Pilot line "from lab to fab" per sviluppi di sensori e dispositivi

Sviluppo di clean room pubbliche in grado di realizzare dispositivi micro-nano elettronici completi, sensori, memorie e qualificare processori in Europa per prototipazione e validazione sul mercato.

Tecnologie di produzione di substrati di Silicio 300mm tipo N per l'elettronica di potenza

Processi di crescita del monocristallo per la definizione delle caratteristiche di drogaggio, resistività e contenuto di ossigeno del wafer al fine di sviluppare e produrre: substrati drogati arsenico e fosforo a bassa resistività per l'ottimizzazione delle performance di dispositivi a basso e medio voltaggio; substrati 300mm ad alta resistività cresciuti con metodologia Czochralski a basso ossigeno.

All'interno delle diverse schede viene inoltre affrontato il tema delle Tecnologie Digital e mixed-signal per nuove applicazioni Signal/Analog & RF. I progressi nelle tecnologie digitali e a mixed-signal consentono di realizzare sistemi più piccoli senza compromettere le prestazioni. Per soddisfare i requisiti di potenza e integrazione l'obiettivo è innovare le tecnologie RF, analogiche e digitali mediante: FD-SOI, PCM, RF-SOI, BiCMOS, eSTM, Space ASIC.

APPENDICE: LA STORIA DEI SEMICONDUTTORI E DI ST

Quello che oggi appare evidente e scontato non lo era affatto negli anni '50 del secolo scorso, quando i semiconduttori rappresentavano un grande punto di domanda per le nuove applicazioni e per il ritorno industriale, che questo sconosciuto mercato poteva offrire; a quei tempi, solo alcuni imprenditori ebbero la visione per coglierne la valenza ed entrare in questo nuovo settore nascente; altri furono ancora più intraprendenti, modificando radicalmente la strategia di produzione delle loro aziende, scelta che poi nel corso degli anni si è rivelata vincente.
Una storia affascinante che si può approfondire con il libro "Silicon Europe - La grande avventura della microelettronica e di un'azienda italofrancese che fa girare il mondo"[8] scritto dal giornalista e scrittore Marco Bardazzi. Questo libro esplora l'importanza dei semiconduttori e dei chip nella nostra vita quotidiana, evidenziando come questi componenti siano fondamentali per il funzionamento di una vasta gamma di dispositivi, la cui innovazione non proviene esclusivamente da fabbriche asiatiche o laboratori statunitensi. Infatti pochi sanno che in Europa, e in particolare tra Italia e Francia, esiste da decenni una vera e propria "Silicon Europe". Questa area di eccellenza industriale e tecnologica ha il suo cuore in un'azienda leader mondiale dei chip: STMicroelectronics.
Qui sotto alcuni esempi significativi:

- **Intel (Integrated Electronics Corporation)** negli anni '60 produceva solo memorie, poi quando l'italiano Federico Faggin realizzò il primo microprocessore monolitico in silicio, chiamato 4004 (Figura 33), modificò la propria strategia produttiva introducendo anche i microprocessori; ora Intel è storicamente la #1 nella top 10 dei produttori di semiconduttori.

- **Samsung** è la #2; nata in Corea nel 1938, commercializzava solo prodotti alimentari, ma poi nella seconda metà degli anni '60 cambiò radicalmente strategia rivolgendo la propria capacità produttiva al campo dell'elettronica.

[8] *Silicon Europe, Marco Bardazzi, 2022 ISBN 9788817163842*

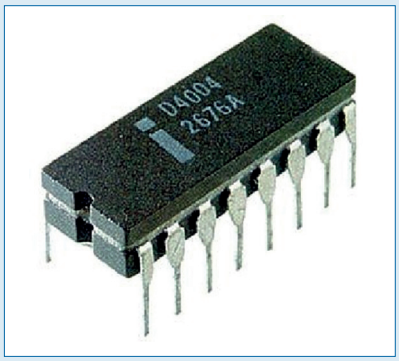


Figura 33: Microprocessore Intel 4004

• **Texas Instruments (T.I.),** nata nel 1931 come Geophysical Service Incorporated, società attiva nel settore delle ricerche petrolifere, nel 1951 si rivolse alla produzione di semiconduttori; ora T.I. si colloca tra i top 10 produttori di semiconduttori al mondo.

• **STMicroelectronics (ST)** è nata nel 1957 grazie alla visione di Adriano Olivetti e Virgilio Floriani, che insieme fondarono quella che ai tempi si chiamava SGS (Società Generale Semiconduttori) per avviare la progettazione e produzione completamente italiana di diodi e semiconduttori, staccandosi quindi completamente dalla dipendenza dalle grandi aziende americane. Quella che 67 anni fa era una industria neonata italiana, oggi è ancora presente e ben radicata in Italia, con più di 12.500 dipendenti, e a livello mondiale con circa 51.000 impiegati e un fatturato nel 2023 di oltre 17B$.

Gli investimenti nella tecnologia dei semiconduttori non sono solo importanti dal punto di vista del ritorno economico immediato, ma anche per le ricadute in termini occupazionali sul territorio locale, come si può capire dalla regola empirica del "3x3":

• sono necessari 3 mesi per progettare un sistema elettronico, 3 anni per produrre un nuovo circuito integrato ASIC (Application Specific Integrated Circuit) e 3 lustri per creare una nuova tecnologia.

La stessa regola si può analogamente applicare al tempo di vita dei dispositivi elettronici; infatti, un sistema elettronico alle volte dura per un tempo davvero breve, quanto una moda, mentre una tecnologia, una volta progettata ed entrata in produzione, rimane sul territorio ben oltre i tre lustri; ne è un esempio la piattaforma tecnologica BCD[9] (Figura 34), tutta italiana. Nata grazie al suo padre fondatore Bruno Murari negli anni '80 in SGS a Cornaredo, in provincia di Milano,

[9] *Bipolare, CMOS e DMOS. Si veda oltre per maggiori dettagli*

è oggi, dopo più di 40 anni, ancora in produzione, con un fatturato in costante crescita che le consente di mantenere lo status di asset insostituibile, non solo per ST, ma per tutta l'industria elettronica italiana ed europea.



Figura 34: Il primo BCD prodotto, L6202 (Fonte: ST)

Per avere una rappresentazione quantitativa del volume di prodotti BCD basti pensare che dalla loro nascita nel 1985 ad oggi ST ha progettato già dieci generazioni tecnologiche, e prodotto e venduto più di 40 miliardi di ASICs con tecnologia BCD, dedicati a una diversificata gamma di mercati che comprende automotive, industrial, consumer, healthcare, apparecchi diagnostici, smartphone, etc.

Come sono fatti i semiconduttori e quali sono i loro elementi costruttivi e distintivi?

La produzione di chip si può esemplificare in 3 passaggi: il design (legato all'R&S e ad alte competenze), la produzione (che include formazione wafer, processi di back-end, front-end e richiedente alti investimenti – vedasi i FAB[10]) e infine l'assemblaggio (ossia testing e packaging, ad alta intensità di manodopera e bassi margini di profitto).

La base dei semiconduttori fonda le sue radici in un elemento naturale, economico e facilmente reperibile in natura: il silicio, che è il secondo elemento più abbondante sulla crosta terrestre (27.7% in peso dopo l'ossigeno) ed è presente,

[10] *FAB" è l'abbreviazione di "fabrication plant" ovvero "impianto di produzione" o "fabbrica di semiconduttori".*

oltre che nella sabbia, in una grande varietà di sali che si trovano nel terreno e nelle rocce. La sua facile reperibilità, associata alla sua economicità, ha consentito lo sviluppo, da circa settanta anni a questa parte, di una delle più avanzate industrie tecnologiche della storia.

Il silicio è rappresentato nella tabella periodica degli elementi di Mendeleev (Figura 35) col simbolo "Si" e ha numero atomico 14, con 14 protoni ed elettroni, e gli elettroni sono distribuiti su tre orbitali, con i 4 del terzo orbitale che lasciano locazioni libere. La capacità del silicio di funzionare come conduttore o isolante dipende dal drogaggio (inserendo nelle quattro posizioni libere del 3° orbitale del silicio altrettanti elettroni provenienti da atomi di altri elementi).

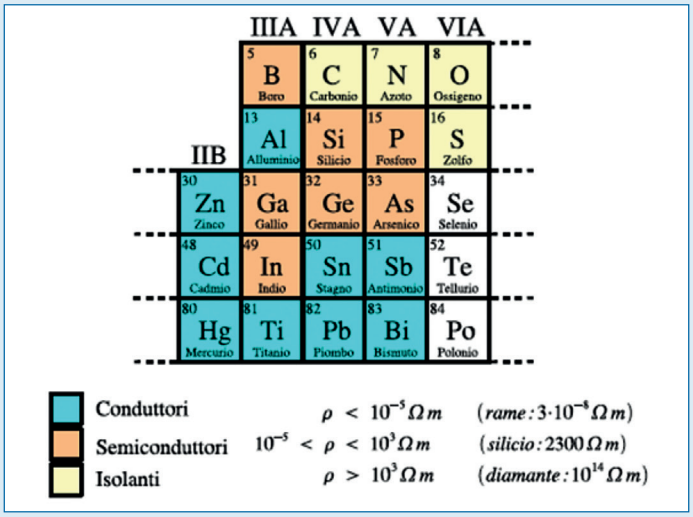


Figura 35: Estratto dalla tabella di Mendeleev

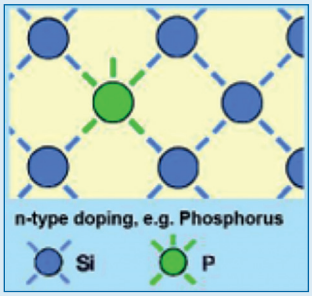


Figura 36: Silicio drogato con fosforo

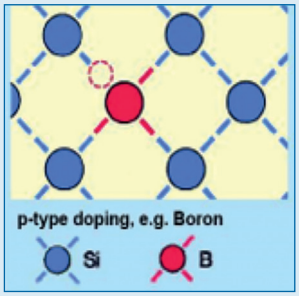


Figura 37: Silicio drogato con boro

Ad esempio, drogando il silicio con:
- fosforo (P) (Figura 36) con 5 elettroni esterni si ottiene un elettrone libero che aumenta la conducibilità del silicio.
- boro (B) (Figura 37) con 3 elettroni esterni, all'opposto, si crea una lacuna, riducendo la conducibilità del silicio.

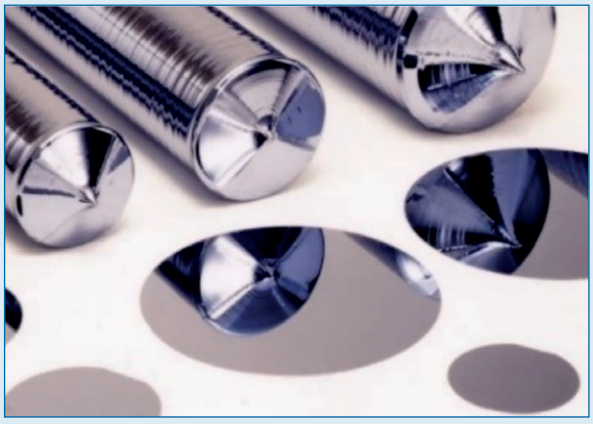


Figura 38: Wafer di puro silicio

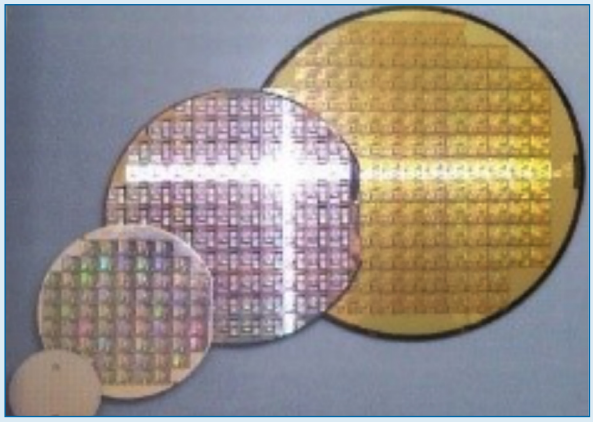


Figura 39: ASIC su diversi diametri di wafers

In sintesi, tanto maggiore sarà la quantità di P o B aggiunta, tanto maggiore o minore risulterà rispettivamente la conducibilità del silicio.
La produzione industriale dei semiconduttori inizia con la fabbricazione dei wafer di silicio puro tramite il processo di Czochralski, sviluppato negli anni '50.
Il lingotto (Figura 38) di silicio monocristallino lungo circa 2 metri e di estrema purezza viene tagliato (Figura 39) in singole fette (dette wafer) sulle quali vengono cresciuti, tramite numerose metodologie chimiche e fisiche, i singoli circuiti integrati; ne consegue che maggiore sarà il diametro del lingotto di silicio, maggiore sarà il diametro dei wafer e maggiore sarà il numero di chip integrati sulla singola fetta. Questa economia di scala nel corso degli anni è stata largamente utilizzata, passando da un diametro dei lingotti di ~50mm alle attuali produzioni con diametri di 200mm (8"), 300mm (12") e 450mm (18").

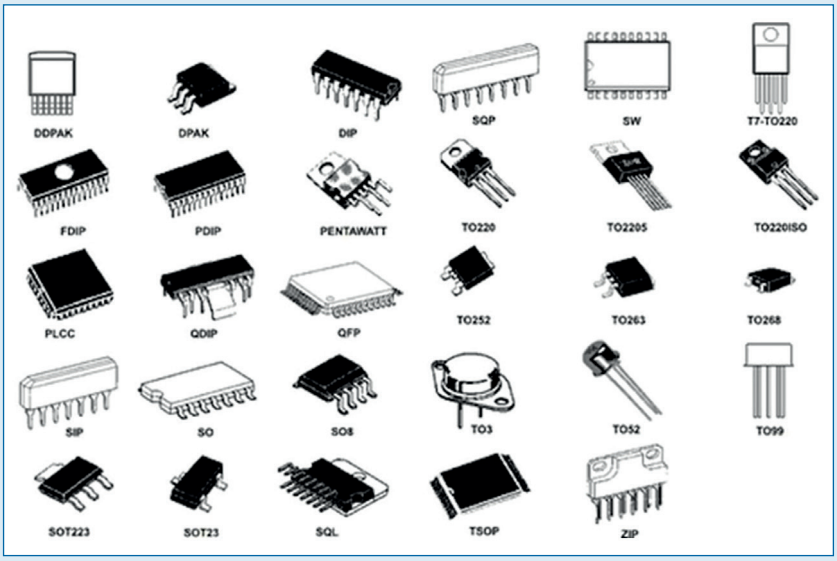


Figura 40: Diverse tipologie di package

Il passaggio da 8" (200mm) a 12" (300mm) rappresenta un x2.25 come numero di chip (a parità di area) presenti su un wafer, e una riduzione di circa il 40% del costo unitario per chip; il rovescio della medaglia consiste negli investimenti dell'ordine di miliardi di dollari necessari per la costruzione di fabbriche di produzione di massa; ciò implica che i prodotti finali debbano essere competitivi, sia per costi che per prestazioni, e quindi necessitano di accurate strategie di mercato che garantiscano il riempimento della fabbriche nel tempo e il ritorno economico dell'investimento.

Quanto sopra è necessario per "diffondere", cioè produrre il prodotto semiconduttore desiderato, che però non è ancora pronto per essere messo in vendita, poiché il chip in silicio drogato risulta molto fragile (come il vetro), quindi occorre proteggerlo in contenitori (package) di resina dal caratteristico colore nero, le cui

funzioni, oltre alla protezione, consistono nel portare all'esterno le diverse connessioni elettriche, e allo stesso tempo garantire al chip al suo interno ermeticità, buona dissipazione termica e robustezza. Come si può vedere dalla Figura 40, la forma e le dimensioni dei package sono molto diverse fra di loro dovendo rispondere alle specifiche di diverse applicazioni.

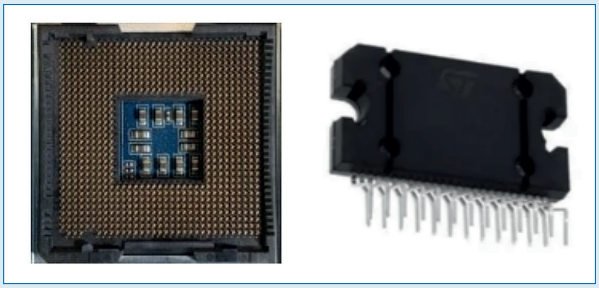


Figura 41: Package microprocessore e di potenza

A titolo esemplificativo, nella Figura 41 si confronta il package di un microprocessore con quello di un dispositivo di potenza: si nota subito la differenza in termini di numero di connessioni (pin) necessarie al microprocessore per dialogare con gli apparati a valle, rispetto alle soluzioni del package di potenza, che implementano soluzioni progettuali volte a ridurre la resistenza termica per sostenere l'elevata dissipazione del calore generato durante il funzionamento del dispositivo.
La nascita del mercato dei semiconduttori si può collocare nel 1947, grazie a tre ricercatori dei laboratori Bell Labs, Walter Brattain, John Bardeen e William Shockley, che realizzarono in forma macroscopica il primo transistor (Figura 42), chiamato così in riferimento al processo di trasferimento di cariche elettriche che si instaura nella sua struttura: il nome è composto da trans(fer) e (re)sistor. Grazie a questa realizzazione, nel 1956 i tre ricercatori furono insigniti del premio Nobel per la Fisica.

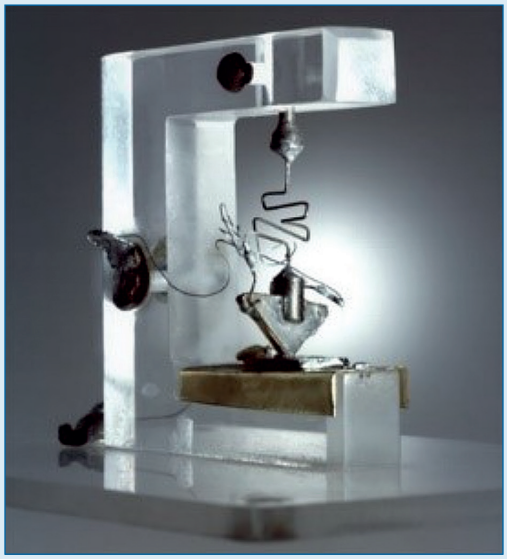


Figura 42: Copia del primo transistor

Dalla nascita del primo transistor ad oggi si è avuta una serie di scoperte e innovazioni incredibili che hanno portato non solo ad una continua miniaturizzazione dei semiconduttori, ma anche a un contemporaneo aumento delle prestazioni, portando quel primo transistor del 1947 ad arrivare alla macchina complessa racchiusa nei personal computer di oggi, strumento di uso quotidiano.

Il primo computer, chiamato ai tempi ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer), nacque per scopi bellici; non disponeva dei transistor bensì di valvole termoioniche (~17.000), occupava una superficie di 180 metri quadrati, pesava 30 tonnellate e aveva una potenza installata di 150 kilowatt. ENIAC fu poi vantaggiosamente sostituito dalla tecnologia a semiconduttori, sostituzione fondamentale per ottenere un passaggio del peso da tonnellate a kilogrammi e una crescita

iperbolica delle funzioni integrate.
Anche l'Italia è stata protagonista nel settore dei computer. Infatti, Adriano Olivetti il 12 aprile 1959 presentò alla Fiera di Milano il primo calcolatore elettronico, chiamato ELEA 9003, progettato e costruito completamente in Italia sotto la guida dell'ingegner Mario Tchou (figlio dall'ambasciatore cinese in Italia); ELEA 9003 conteneva 300.000 transistor di fabbricazione totalmente italiana provenienti dalla neonata Società Generale Semiconduttori (SGS) con base ad Agrate Brianza, poi diventata STMicroelectronics. ELEA 9003 disponeva di una potenza di calcolo di circa 10.000 istruzioni al secondo, ai tempi anche superiore a quella dei concorrenti. Purtroppo, la concomitanza di alcuni eventi sfortunati, come la prematura scomparsa sia di Mario Tchou che di Adriano Olivetti subito dopo la presentazione di ELEA 9003, determinò un cambio di strategia aziendale, favorendo la produzione di macchine da scrivere a scapito dei semiconduttori, causando la fuoriuscita dell'Italia dal mercato dei computer e perdendo così l'opportunità di rimanere attori in un mercato miliardario, che dopo 67 anni è ancora presente.

Nel frattempo, la corsa alla miniaturizzazione del singolo transistor e dei successivi ASIC non si è fermata, anzi è proseguita incessante, passando dalle dimensioni iniziali di centimetri del primo transistor a valori attuali inferiori a 5 nanometri (5·10-9 m), che corrisponde ad un rapporto di miniaturizzazione di 1:10.000.000.

Per dare una rappresentazione più tangibile di cosa questo significhi, è sufficiente rispondere alla domanda quanti transistor (Figura 43) si possono oggi integrare sulla capocchia di uno spillo? 100 milioni.

LEGGE DI MOORE IN PRATICA Numero di transistor incorporati in un chip	
1971	**2.308**
1974	**6.098**
1982	**135.773**
1986	**273.842**
1990	**1.207.901**
1994	**3.105.900**
1998	**15.261.378**
2002	**221.000.000**
2006	**583.000.000**
2010	**806.000.000**
2014	**5.700.000.000**
2018	**21.100.000.000**
2022	**80.200.000.000**
2023	**114.000.000.000**

Figura 43: Legge di Moore in pratica (fonte: OWID)

Se i transistor, nelle loro diverse forme tecnologiche costruttive, sono i mattoni della microelettronica, i microprocessori rappresentano l'unità operativa di elaborazione dati di tutti i computer, in grado di leggere informazioni provenienti da altre unità digitali esterne ed effettuare in modo autonomo operazioni aritmetiche e logiche costituenti il programma esecutivo di tutte le funzioni necessarie a pilotare il funzionamento di qualsiasi sistema applicativo.

glossario

ASIC	Application Specific Integrated Circuit
ASSP	Application-specific standard product
ATP	Assembly, Test, and Packaging
BCD	Bipolar, CMOS and DMOS process technology
BGA	Build Grid Array
Bi-CMOS	Bipolar and CMOS process technology
CAD	Computer Aided Design
CAGR	Compound Average Growth Rate
CMOS	Complementary metal-on silicon oxide semiconductor
cMUT	Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer
CO_2	Biossido di carbonio (anidride carbonica)
DMOS	Diffused metal-on silicon oxide semiconductor
DRAM	Dynamic random access memory
DRIE	Deep Reactive Ion Etching
EEPROM	Electrically erasable programmable read-only memory
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme, the voluntary European
FDM	Fused Deposition Modeling
FD-SOI	Fully depleted silicon-on-insulator
FID	First Industrial Deployment
FinFET	Field Effect Transistor a "pinna"
GaN	Gallium Nitride
GST	Germanio (Ge), Antimonio (Sb) e Tellurio (Te)
IA	Intelligenza Artifiiale
IC	Integrated Circuit
IoT	Internet of Things
IDM	Integrated Device Manufacturing
IP	Intellectual Property
IPCEI	Important Project for Common European Interest
IR	Infra-Red

glossario

ISO	International Organization for Standardization
LBS	Laser Beam Scanning
LGA	Land Grid Array
LIDAR	Light Detection and Ranging
MEMS	Micro-Electro-Mechanical System
MCU	Microcontroller Unit (MCUs have internal flash memory and are intended to operate with a minimum amount of external support ICs. They commonly are a self-contained, system-on-chip (SoC) designs.)
MOSFET	Metal-On Silicon Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MPU	Microprocessor Unit
NFC	Near Field Communication
NIR	Near Infra Red
nm	Nanometro (miliardesimo di metro)
OEM	Original Equipment Manufacturer
PCM	Phase Change Memory
PFC	Perfluorinated Compounds
pMUT	Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducer
RF	Radio Frequency
RF-SOI	Radio Frequency Silicon-On-Insulator
ROM	Read Only Memory
SGS	Società Generale Semiconduttori
SIA	Semiconductor Industry Association
SiC	Silicon Carbide
SiP	System In Package
SLA	Stereolithography
SLS	Selective Laser Sintering
SoC	System On Chip
STi²GaN	Intelligent integrated gallium nitride
STi²Fuse	Electronic harness protection

glossario

SWIR	Small Wavelenght Infra-Red
TAM	Total Available Market
T-MOS	Thermal Metal Oxide Semiconductor
ViP	Vertical Intelligent Power
VIPower	Vertically integrated power
VOC	Volatile Organic Compounds
WSTS	World Semiconductor Trade Statistics
µm	Micrometro (milionesimo di metro)

riferimenti

- Antonio Varas, et all. - "Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era", BCG SIA
- Link to: STMicroelectronics NV - 2023 Annual Report (Form 20-F)
- Aiuti di Stato: approvata una misura dell'Italia di 292,5 milioni di € nell'ambito del dispositivo per la ripresa e la resilienza per sostenere STMicroelectronics nella costruzione di uno stabilimento all'interno della catena del valore dei semiconduttori https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/ip_22_5970
- Link to: A Review of the 2023 Semiconductor Market and a Look to 2024 - Semiconductor Industry Association (semiconductors.org)
- Link to: IEEE Awards ST for its BCD Technology - EE Times Europe
- Link to: Crisi dei semiconduttori: cosa succede? Analisi e previsioni | CDP
- Link to: Semiconduttori e chip, l'industria mondiale che impatta la geopolitica | Il Sole 24 Ore
- Link to: https://www.imec-int.com/en/articles/entering-nanosheet-transistor-era-0
- ITRS 2.0 2015 Edition, Section 5: More Moore; ITRS 2.0 2015 Edition - IEEE Electronics Packaging Society
- M. Graef, "More Than Moore White Paper," 2021 IEEE International Roadmap for Devices and Systems Outbriefs, Santa Clara, CA, USA, 2021, pp. 1-47, doi: 10.1109/IRDS54852.2021.00013.
- Market Intelligence source: www.yolegroup.com
- Link to: Despite Short-Term Cyclical Downturn, Global Semiconductor Market's Long-Term Outlook is Strong - Semiconductor Industry Association (semiconductors.org)
- Link to: The Semiconductor Market Will Recover in 2024 With an Annual Growth Rate of 20%, Says IDC
- The World Semiconductor Trade Statistics (WSTS) has recently published its latest forecast for the semiconductor market, generated in November 2023. Link to: WSTS_nr-2023_11.pdf
- WSTS Forecast 03/2024 Update based on: WSTS Semiconductor Market Forecast Fall 2023
- Aiuti di Stato: approvata una misura dell'Italia di 292,5 milioni di € nell'ambito del dispositivo per la ripresa e la resilienza per sostenere STMicroelectronics nella costruzione di uno stabilimento all'interno della catena del valore dei semiconduttori, link to: Aiuti di Stato (europa.eu)
- L'INDUSTRIA GLOBALE DEI SEMICONDUTTORI E IL RUOLO DELL'ITALIA N°3 dicembre 2023, Maria Rita Pierleoni note Tematiche x pag dettaglio - MEF Dipartimento del Tesoro
- Link to: Addressing the Talent Gap | Accenture

riferimenti

- Link to: STMicroelectronics Italia certificata Top Employer Italia 2024 - ST News
- Link to: Urso annuncia un maxi investimento da 3,2 miliardi di Silicon Box in Italia (mimit.gov.it)
- Link to: STMicroelectronics Sustainability report 2024
- Link to: STMicroelectronics Sustainability report 2024 - Sustainability charter
- 2023 Statutory Annual Report including IFRS Financial Statements Link to : https://investors.st.com/static-files/205fee1b-9d01-487d-be4f-6d7efbf6d77b
- Link to: RESEARCH AND INNOVATION - The 2023 EU Industrial R&D Investment Scoreboard (europa.eu)
- EU Industrial R&D Investment Scoreboard (World 2500) – Link to: Data | IRI (europa.eu)
- Link to: IPCEI Microelettronica 1 (mimit.gov.it)
- Link to: IPCEI Microelettronica 2 (ME/CT) (mimit.gov.it)
- Link to: Regolamento sui chip - Commissione europea (europa.eu)
- Link to: Legge europea sui chip: Sicurezza dell'approvvigionamento e resilienza | Plasmare il futuro digitale dell'Europa
- Link to: Legge europea sui chip: Monitoraggio e risposta alle crisi | Plasmare il futuro digitale dell'Europa
- American-Semiconductor-Research-Report-FINAL1.pdf (semiconductors.org)
- European Chips Act: Factsheet link to: IT: Legge Europea Sui Semiconduttori (.pdf)
- Link to: News detail · Chips Ju (europa.eu)
- Fariselli, Patrizia (a cura di) (2020) La Cina nel mercato globale. Bologna: Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Dipartimento di Lingue, Letterature e Culture Moderne, p. 428. ISBN 9788854970229, DOI 10.6092/unibo/amsacta/6431 Il volume è disponibile alla seguente URL http://amsacta.unibo.it/6431/
- Trend Compendium 2050: Six megatrends will shape the next decades, Link to: Roland Berger Trend Compendium 2050 | Roland Berger
- Status of the Compound Semiconductor Industry 2024 by Yole Intelligence — JAN 2024 link to: Yole Group - Follow the latest trend news in the Semiconductor Industry
- Link to: McKinsey Technology Trends Outlook 2023 | McKinsey
- Silicon Europe, Marco Bardazzi, 2022 ISBN 9788817163842
- Link to https://www.elettronicaemercati.it/litalia-dei-chip-una-panoramica-dellindustria-italiana-dei-semiconduttori/

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**

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

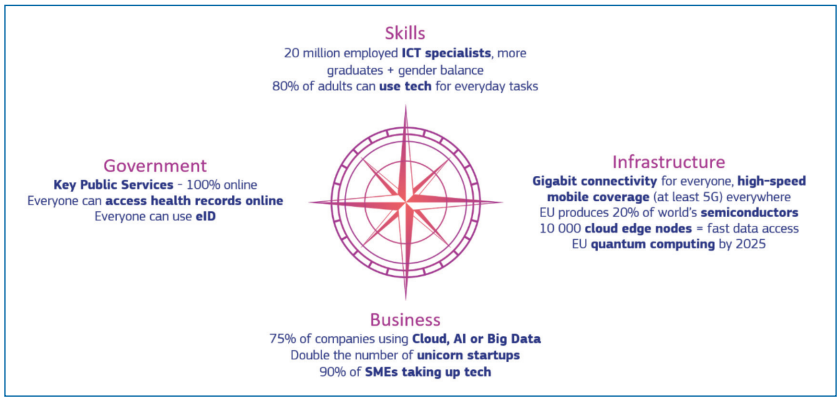


Figura1: Obiettivi e target del programma europeo "Digital Decade 2030"

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")

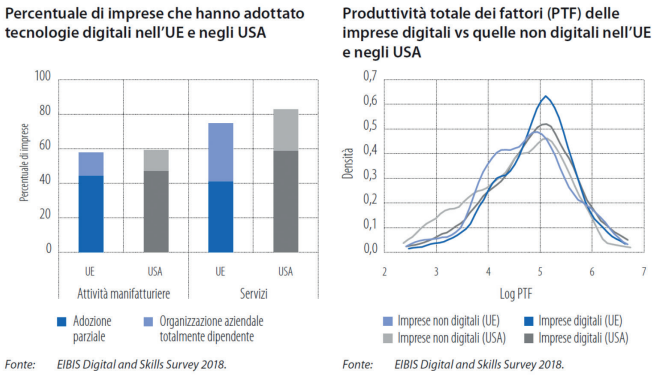


Figura 2: Digitalizzazione e performance aziendale (Fonte: BEI – Relazione sugli Investimenti 2018-2019)

[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*

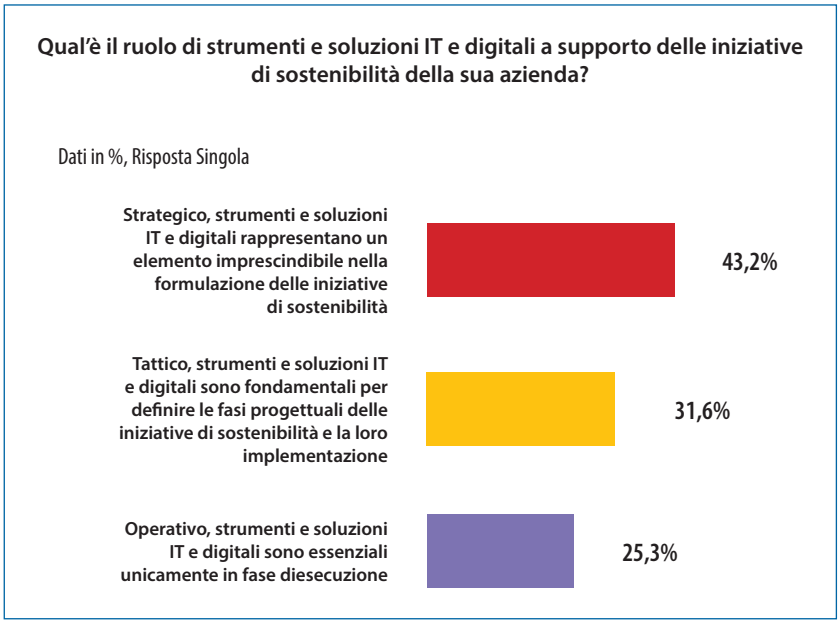


Figura 4: Ruolo del digitale per la sostenibilità aziendale (Fonte: Rapporto Anitec-Assinform 2023)

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/*

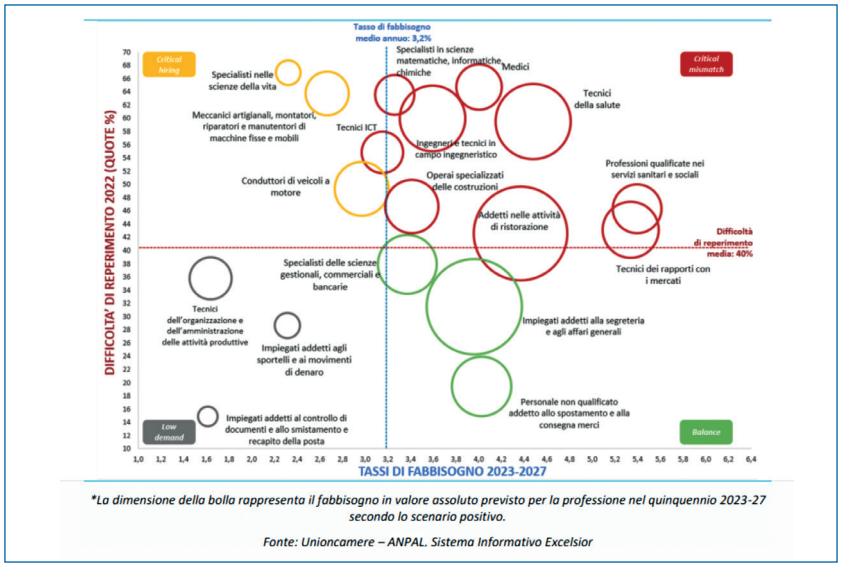


Figura 5: Fabbisogni nel prossimo quinquennio e difficoltà di reperimento delle professioni (Fonte: Rapporto Excelsior – Unioncamere 2023)

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.

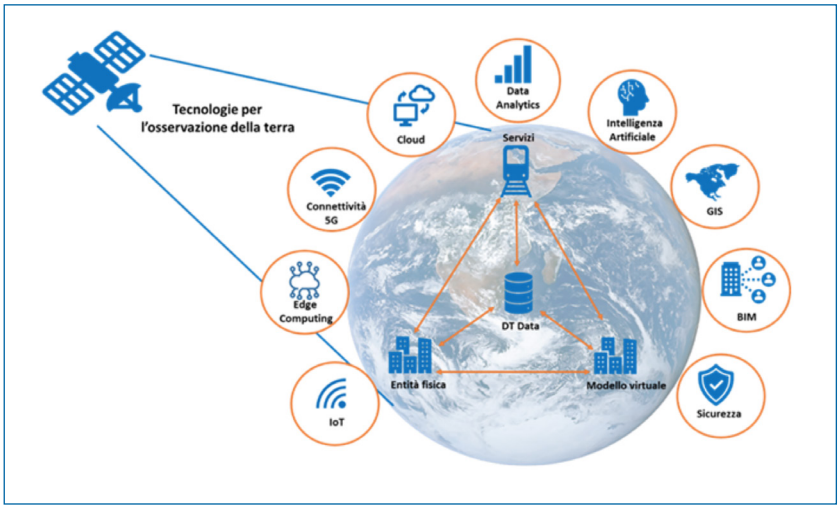


Figura 6: Principali tecnologie per la realizzazione di Digital Twin Urbani

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.

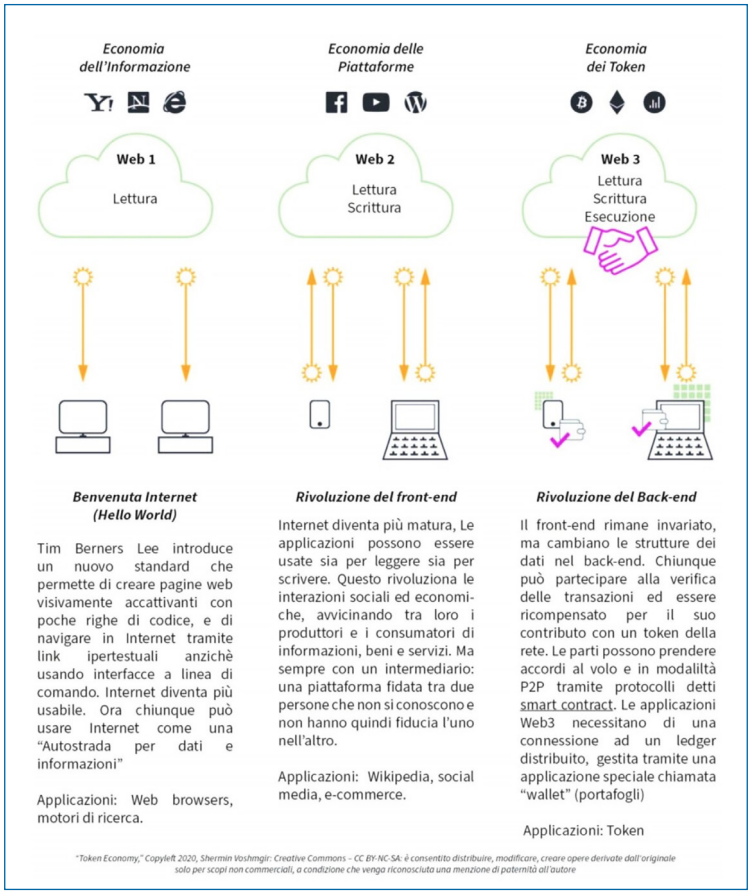


Figura 6: Dal Web 1.0 al Web 3.0 – caratteristiche principali (fonte: "Token Economy", Copylet 2020, Shermin Vashmgir: Creative Commons – CC BY-NC-Sa)

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.

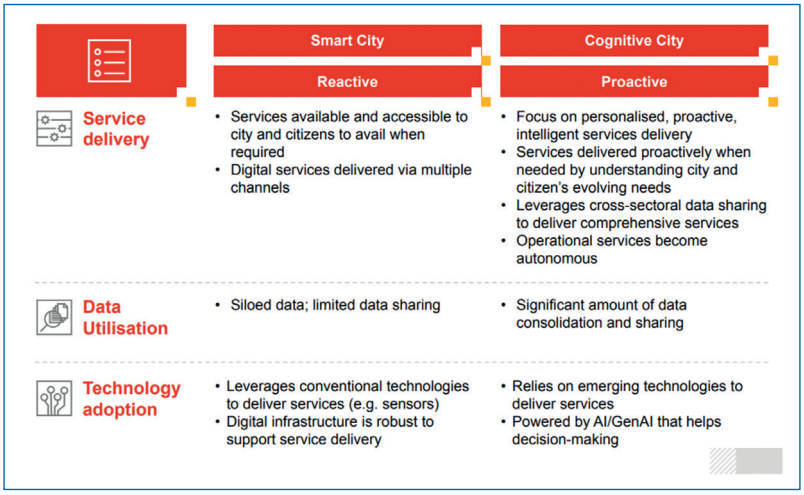


Figura 7: Città Intelligenti e Città Cognitive – comparazione (Fonte Cognitive Cities – PWC)

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 una delle caratteristiche più evidenti delle soluzioni cloud, quelle della scalabilità del-

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

le 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.

[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*

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

TRASPORTI E MOBILITÀ

TRASPORTI E MOBILITÀ

PROFILI DI SETTORE

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche	**Emilio Fortunato Campana**

ESPERTI

CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche	**Carla Mazziotti**
AIRI	**Francesco Salvato**

TRASPORTI E MOBILITÀ

SCENARI TECNOLOGICI

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche	**Emilio Fortunato Campana**

ESPERTI

CIRA	**Antonio Blandini**
CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche	**Antonino Salvatore Aricò, Vincenzo Delle Site Chiara Guido, Barbara Mavì Masini, Carla Mazziotti, Simona Silvia Merola, Bianca Vaglieco**
MARITIME TECHNOLOGY CLUSTER FVG	**Lucio Sabbadin**
POLITECNICO MILANO	**Marco Bocciolone, Laura Mazzola, Ferruccio Resta**
BIRD	**Giorgio Cappiello**
POLITECNICO BARI	**Michele Ottomanelli**
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II	**Gennaro Nicola Bifulco**
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA	**Angela Di Febbraro**
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA LA SAPIENZA	**Gaetano Fusco**
FRATELLI D'AMICO ARMATORI SpA	**Massimo de Domenico**
MOTUS-E	**Federico Naso, Matteo Gizzi**
AIRI	**Francesco Salvato, Andrea Porcari**

INTRODUZIONE

Il settore dei trasporti è uno dei pilastri dell'economia sia in Europa che in Italia. Nel seguito sarà data prevalenza al punto di vista europeo e italiano anche se la maggior parte delle considerazioni di sistema e le soluzioni tecniche e degli abilitanti è applicabile ed ha senso in ottica di una larga applicazione globale pur con peculiarità derivate da specifiche situazione demografiche, economiche o di orografia che suggeriscono soluzioni diverse da quelle elettive per il caso europeo o italiano. In quasi tutti i casi la dimensione globale è l'unica capace di sopportare gli enormi investimenti necessari a sviluppare soluzioni avanzate quali ad esempio la propulsione elettrica nel caso automotive, l'adozione dell'idrogeno come fonte di energia a basse emissioni di CO_2 o standard globali di sicurezza aerea.
Le caratteristiche principali di questo settore includono la presenza di diverse modalità di trasporto come strada, ferrovia, aereo e mare, la presenza di una vasta gamma di operatori che offrono servizi di trasporto, la necessità di infrastrutture efficienti per garantire la mobilità delle persone e delle merci. Infine, sta sempre più rendendosi evidente la necessità di una stretta interazione tra le varie modalità di trasporto sia merci sia passeggeri che richiedono soluzioni tecniche, interazioni e gestione di dati in quantità e qualità molto diversi da quanto finora affrontato.

Lo scenario di medio termine perseguito in Europa prevede una mobilità basata su un sistema di trasporto multimodale efficiente e interconnesso, sia per i passeggeri sia per le merci, supportato da un'adeguata infrastruttura alla mobilità che preveda anche la ricarica e rifornimento per veicoli a basse o zero emissioni e carburanti rinnovabili. Molti di questi miglioramenti richiedono il concorso sinergico di altri settori industriali che dovranno fornire energia, materiali, processi e tecniche avanzate. Un esempio primario viene dal settore digitale che potrà contribuire a migliorare ulteriormente i livelli di sicurezza, protezione, affidabilità e comfort, e migliorando la nostra resilienza e competitività globale attraverso catene logistiche efficienti e resilienti.

In campo europeo e nazionale viene data rilevante importanza al miglioramento dell'impatto ambientale dei trasporti che, ambiscono una riduzione del 90% delle emissioni del settore entro il 2050.

IL MERCATO

Come seconda area di spesa per le famiglie europee, il settore dei trasporti contribuisce al 5% del PIL europeo e impiega direttamente circa 10 milioni di lavoratori.

PIL: Con circa 750 B€ di PIL, il settore dei servizi di trasporto e magazzinaggio (incluse le attività postali e di corriere) ha rappresentato circa il 5,2% del PIL totale della EU-27. Va notato, tuttavia, che questa cifra include solo il PIL delle aziende la cui attività principale è la fornitura di servizi di trasporto (e correlati al trasporto) e che le operazioni di trasporto per conto proprio non sono incluse (vedi dopo, effetti indotti).

Occupazione: Nel 2022, il settore dei servizi di trasporto e magazzinaggio (incluse le attività postali e di corriere) nell'EU-27 ha impiegato circa 10,5 milioni di persone, cioè circa il 5,3% della forza lavoro totale. Circa il 52% di loro nel trasporto terrestre (strada, ferrovia e condotte), il 3% nel trasporto via acqua (mare e vie navigabili interne), il 3% nel trasporto aereo e il 27% in attività di magazzinaggio e supporto (come movimentazione merci, stoccaggio e deposito) e il restante 14% in attività postali e di corriere. Il 22% delle persone impiegate nel settore dei trasporti sono state donne.

Spesa delle famiglie: Nel 2022, le famiglie private nell'EU-27 hanno speso 1.025 B€ pari a circa il 12,5% del loro consumo totale in articoli correlati al trasporto. Circa il 26% di questa somma (circa 265 B€) è stato utilizzato per acquistare veicoli, il 59% (603 B€) è stato speso per il funzionamento di attrezzature di trasporto personali (ad esempio per acquistare carburante per l'auto) e il resto (158 B€) è stato speso per servizi di trasporto (ad esempio biglietti di autobus, treno, aereo).

Trasporto merci: Nel 2022, si stima che le attività totali di trasporto merci, cifra include il trasporto aereo e marittimo intra-EU, sono ammontate a 3.471 miliardi di tonnelate km (tkm). Di questi, il trasporto su strada ha rappresentato il 53,8% del totale intra-EU, la ferrovia l'11,9%, le vie navigabili interne il 3,5% e gli oleodotti il 2,7%. Il trasporto marittimo intra-EU è stato il secondo modo più importante

con una quota del 28%, mentre il trasporto aereo intra-EU ha rappresentato solo lo 0,1% del totale. In termini di valore le attività di trasporto merci tra l'EU e il resto del mondo hanno avuto un valore di 5066 B€ di cui il 46.7% per via mare e circa il 22% per via aerea a stradale mentre in peso sono state pari a 2182 Mton di cui ben il 73, 9% via mare, lo 8,6% via stradale lo 1% via aerea.

Trasporto passeggeri: Nel 2022, si stima che le attività totali di trasporto passeggeri nell'EU-27 con qualsiasi mezzo di trasporto motorizzato sono state di 5.617 miliardi di persone kilometro (PMK) cioè in media circa 12.545 km a persona. Questa cifra include il trasporto aereo e marittimo intra-EU, ma non le attività di trasporto tra l'EU e il resto del mondo. Le autovetture passeggeri hanno rappresentato il 73% di questo totale, i veicoli a due ruote a motore il 2%, gli autobus e i pullman il 7,2%, le ferrovie il 7,2% e i tram e la metropolitana l'1,2%. Il trasporto aereo intra-EU e il trasporto marittimo intra-EU hanno rappresentato rispettivamente il 9,1% e lo 0,3%.

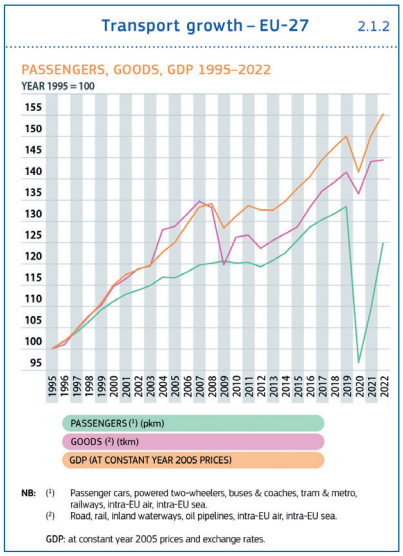


Figura 1: PKM e TKM per modalità trasporto in EU.
Da EU Transport in Figure:
Statistical Pocketbook 2024 (doi:10.2832/16593)

Sicurezza: Strada: 20.653 persone sono morte in incidenti stradali (morti entro 30 giorni) nel 2022, il 3,7% in più rispetto al 2021 (quando hanno perso la vita 19.916 persone). Rispetto al 2001, il numero di vittime della strada è stato inferiore di circa due terzi (-59,8%). Ferrovia: 20 passeggeri hanno perso la vita nel 2022; questa cifra non include le vittime tra i dipendenti delle ferrovie o altre persone investite dai treni. Aereo: nessuna vita è stata persa nel 2023.

Ambiente: L'importante impatto ambientale del settore trasporto è ben illustrato

dalla fig. 3 che mostra, al netto della diminuzione avvenuta del 2020 per via del COVID 19, come i trasporti stanno aumentando in modo significativo il loro impatto ambientale a fronte di una generale riduzione degli altri settori industriali. Al contempo la fig. 4 mostra come il trasporto aereo registra un incremento significativo nel tempo a fronte di una stabilizzazione o riduzione delle emissioni delgi altri settori.

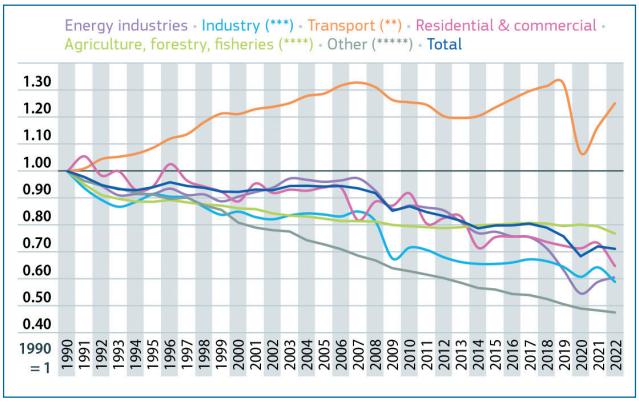


Figura 2: Emissioni di GHG (Green House Gases) dei settori industriali in EU.
Da EU Transport in Figure: Statistical Pocketbook 2024 (doi:10.2832/16593)

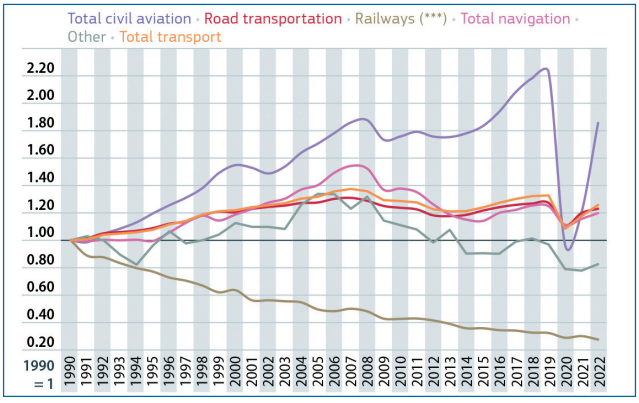


Figura 3: Emissioni GHG per modalità di trasporto.
Da EU Transport in Figure: Statistical Pocketbook 2024 (doi:10.2832/16593)

Fig 2 Note alla figura (dal Pocktbook): (*) Excluding LULUCF (land use, land-use change and forestry) emissions and international maritime, including international aviation and indirect CO_2; (**) Excluding international maritime (international traffic departing from the EU), including international aviation; (***) Emissions from manufacturing and construction, industrial processes and product use; (****) Emissions from fuel combustion and other emissions from agriculture; (*****) Emissions from fuel combustion in other (not elsewhere specified), fugitive emissions from fuels, waste, indirect CO_2 and other.

Fig 3 Nota alla figura (dal Pocketbook): (***) Excluding indirect emissions from electricity consumption;

In termini assoluti invece le emissioni del settore trasporti sono largamente causate dal trasporto stradale come evidenziato in fig. 5.
Le prospettive del settore dei trasporti per il 2024 ed anni successivi riflettono una complessa interazione di opportunità di crescita e sfide significative in diverse regioni e modalità di trasporto. Mentre alcune aree mostrano una crescita promettente guidata dalla domanda dei consumatori e dagli investimenti governativi, altre devono destreggiarsi tra eventi contrari economici e inefficienze operative. Le parti interessate dovranno adattarsi strategicamente per capitalizzare le tendenze emergenti, affrontando al contempo gli imperativi di sostenibilità.

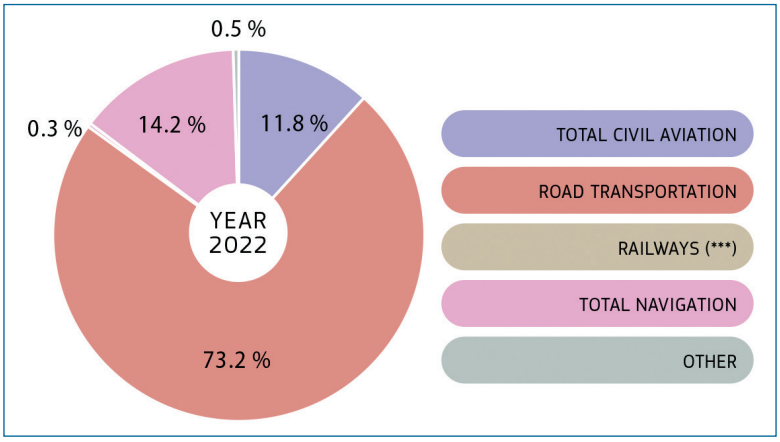


Figura 4: Emissioni GHG per modalità di trasporto.
Da EU Transport in Figure: Statistical Pocketbook 2024 (doi:10.2832/16593)

La situazione Italiana

Trasporto su strada. In Italia, il settore automotive coinvolge 15.000 imprese, il 3% della forza lavoro, corrispondente al 7% degli impiegati nell'industria manifatturiera, con ricavi pari al 7.1% del PIL. La filiera comprende tutta la catena dai fornitori di componenti e servizi agli OEM. L'esigenza di rendere più sostenibile il sistema dei trasporti giustifica norme che impongono una drastica riduzione delle emissioni, raggiungibile solo tramite l'elettrificazione, l'idrogeno e i combu-

stibili alternativi. È importante notare nel caso del trasporto su strada che dal 2035 i costruttori EU non potranno produrre più veicoli con motori termici secondo l'esistente normativa EU. Questa rivoluzione tecnica con significative conseguenze sui contenuti tecnici ed industriali associata alla contemporanea introduzione di sistemi di comunicazione e di elaborazione dati richiederà la necessità di concepire e produrre veicoli con livelli sempre più alti di autonomia, sostenibili e sicuri. La sfida dell'industria dell'auto italiana è di adattarsi a questi cambiamenti e riuscire a traguardare gli obiettivi di decarbonizzazione definiti dall'EU (Fit for 55), che prevedono la riduzione del 43% di emissioni di gas climalteranti al 2030 rispetto al livello di emissione registrato al 2005. In particolare, in Italia sono in circolazione 694 auto ogni mille abitanti, un livello che pone il nostro Paese al primo posto in Europa per tasso di motorizzazione (in EU la media è di 571 auto per mille abitanti). Rispetto al 2018, quando erano in circolazione 652 vetture per mille abitanti, il tasso di motorizzazione italiano è cresciuto del 6,4%: un incremento equivalente a 42 auto in circolazione in più ogni mille abitanti (da elaborazione dell'Osservatorio Autopromotec su dati Aci ed Eurostat -dicembre 2024).

Navale. Il settore navale italiano è al secondo posto in Europa, subito dopo la Germania, e al quinto nel mondo. È in grado di generare un fatturato complessivo di 8,3 miliardi di euro (dato 2023), pari al 3,38 ‰ del PIL nazionale. Nel 2023, il fatturato complessivo ha avuto come destinazione il mercato domestico per 2,57 miliardi di euro (pari al 30,8%) e i mercati esteri per 5,76 miliardi di euro (pari al 69,2%) (dato di Confidustria Nautica). Questo risultato, che include la produzione di barche e yacht, il refit e rimessaggio e la realizzazione di motori e accessori, supera il precedente massimo storico di 6,2 miliardi di euro registrato nel 2007, come riportato nell'analisi annuale di Confindustria Nautica. La maggior parte di esse, circa il 90%, sono PMI, ma il settore navale italiano può vantare player di importanza strategica e reputazione internazionale (Fincantieri, Azimut – Benetti, Ferretti etc) in tutti tipi di produzione di mezzi navali dalle grandi navi da trasporto e crociera alla nautica di diporto di qualunque dimensione e classe. Il settore impiega circa 14.800 addetti nel 2023 (Confindustria Nautica) numero che sale a

16.890 considerando anche gli addetti esterni. Complessivamente, considerando occupati diretti e indiretti e tutti i segmenti (costruzione, refit, accessori, motori) l'industria nautica italiana occupava 30.690 persone nel 2023, con un incremento del 7% sul 2022. Con un traffico navale nei porti Italiani di 70.8 milioni di viaggiatori e 474.4 milioni di merci nel 2023. Il settore navale investe circa il 9% del fatturato del settore in ricerca, sviluppo e innovazione, consolidando e rafforzando il ruolo di punta dell'UE nella ricerca e innovazione, nella sostenibilità del settore delle vie navigabili e nelle tecnologie digitali.

Ferroviario. In Italia, il settore ferroviario coinvolge 68.568 dipendenti di cui 28.292 addetti alla gestione infrastrutturale e 40.276 alle imprese ferroviarie con 12.549 conducenti di treni. Il fatturato complessivo (Trasporti ferroviari ed elettrificati) è di 5.339 Mln€ con una quota di esportazioni del 1.115 Mln€ (dato assifer.anie.it). Il settore ferroviario italiano comprende tutta la catena dai fornitori di componenti e servizi agli OEM di servizi infrastrutturali a quelli di manutenzione della rete. Dopo due anni di calo, il trasporto ferroviario delle merci nell'Unione Europea ha registrato una ripresa nel 2021, con un aumento del +8,7% rispetto al 2020, ritornando ai livelli del 2018 con un totale di 399 miliardi di tonnellate-km trasportate, e mantenendosi pressoché costante nel 2022 (-0,5% rispetto al 2021). Le tonnellate-km trasportate in Italia sono sostanzialmente omogenee a quelle movimentate nei principali Paesi del continente con caratteristiche simili dal punto di vista geografico, economico e sociale evidenziando nel 2023, 51,7 milioni di treni-km e 23,3 miliardi di tonnellate-km (per entrambe del -4% rispetto al 2022). Il confronto tra l'andamento delle due misure di analisi del traffico ferroviario, ossia treni-km e tonnellate-km, evidenzia inoltre un miglioramento dell'efficienza nel trasporto su ferro. Pur mostrando una coerenza sostanziale nell'andamento delle due variabili, è importante notare che, nel periodo compreso tra il 2010 e il 2023, le tonnellate-km trasportate sono cresciute del +25%, mentre i treni-km hanno registrato una crescita più contenuta, pari al +21%. Questo fenomeno è principalmente attribuibile all'avanzamento tecnologico della rete e dei mezzi, con l'introduzione di treni più lunghi e con maggiore capacità di carico, unitamente a

un miglioramento organizzativo dei flussi (Report FERMERCI Annuale 2023).

Aeronautica. Il settore aeronautico italiano è solidamente al quarto posto in Europa e al settimo nel mondo. È in grado di generare un fatturato complessivo di 13,5 miliardi di euro, pari allo 0,65% del PIL; il valore aggiunto complessivo è di circa 12 miliardi di euro. Fattore fondamentale è l'innovazione e la ricerca, per la quale il settore impiega circa il 10% del fatturato, mantenendosi nella media europea. Circa 50.000 addetti specializzati sui più di 200.000 totali nella filiera sono impiegati nelle oltre 4.000 aziende che costituiscono l'indotto. La maggior parte di esse, circa il 90%, sono PMI, ma il settore aeronautico italiano può vantare player di importanza strategica e reputazione internazionale (Leonardo, Avio Aero, Piaggio, Tecnam). Il traffico aereo Italia nell'ultimo anno consta di 219.078.618 milioni di viaggiatori e 1,25 milioni di tonnellate di merce trasportata

IMPATTO SOCIOECONOMICO

I sistemi di trasporto -internazionali, regionali e locali- sono diventati componenti fondamentali dell'attività economica con rilevanti effetti sociali. Il trasporto si sta evolvendo all'interno di un complesso insieme di relazioni tra l'offerta di trasporto, che riflette la capacità operativa della rete, la domanda di trasporto e i requisiti di mobilità legando al commercio e alla distribuzione una quota crescente della ricchezza con effetti rilevanti su stili di vita, aspettative, ambizioni sociali e culturali.

Impatti economici

Il sistema dei trasporti, che include la mobilità di persone e merci, implica una forte interazione tra infrastrutture e sistemi di gestione delle operazioni e manutenzione. I servizi offerti o richiesti di molte attività di trasporto includono anche una stretta relazione tra contributi materiali e umani. Ad esempio, una logistica efficace si basa sia su infrastrutture adeguate sia su competenze manageriali estremamente specialistiche.

Il settore dei trasporti richiede estese infrastrutture, comprese le infrastrutture di gestione dell'informazione e della comunicazione. Le infrastrutture di trasporto ad alta densità e le reti altamente connesse sono comunemente associate a livelli elevati di sviluppo. Sistemi di trasporto efficienti forniscono opportunità e benefici economici e sociali che si traducono in effetti moltiplicatori positivi, come una migliore accessibilità ai mercati, all'occupazione e agli investimenti aggiuntivi. Sistemi di trasporto carenti in termini di capacità o affidabilità, possono avere un costo economico, offrono opportunità ridotte o mancate e una qualità della vita inferiore. Ad esempio, la congestione è spesso una conseguenza indesiderata della fornitura agli utenti di infrastrutture di trasporto gratuite o a basso costo. Ma anche al contrario, la congestione indica un'economia in crescita in cui capacità e infrastrutture hanno difficoltà a tenere il passo con le crescenti richieste di mobilità.
In generale il valore aggiunto e gli effetti dei servizi di trasporto solitamente si estendono oltre quelli generati dalla sua attività. Si possono infatti riconoscere:

• **Impatti diretti.** Il trasporto fornisce occupazione, valore aggiunto, mercati più grandi, nonché miglioramenti di tempo e costi quale risultato della migliore capacità ed efficienza dei mezzi di trasporto ed infrastrutture usate.

• **Impatti indiretti**. Il valore aggiunto indiretto e i posti di lavoro nelle attività con altri settori economici (ad esempio aziende di forniture per ufficio, fornitori di attrezzature e parti, servizi di manutenzione e riparazione, compagnie assicurative, consulenza e altri servizi aziendali) direttamente dipendenti grazie ai collegamenti permessi dai sistemi di trasporto.

• **Impatti indotti.** Il risultato degli effetti creati dalla diminuzione del prezzo di materie prime, beni o servizi o aumento della loro varietà resi possibili dai trasporti. Ad esempio, l'importazione economicamente efficiente di minerali e l'esportazione di prodotti finiti; produttori, punti vendita al dettaglio e centri di distribuzione che importano merci grazie a trasporti efficienti; effetti su siti turistici e relativa economia alberghiera e ristorazione.

Il trasporto collega i fattori di produzione in una complessa rete di relazioni collegando produttori e consumatori. La crescita economica è sempre più legata allo sviluppo dei trasporti sia come infrastrutture sia per le competenze manageriali necessarie al suo funzionamento. Pertanto, sebbene il trasporto sia un'attività ad alta intensità di infrastrutture, le risorse materiali devono essere supportate da una serie di risorse immateriali, vale a dire manodopera, gestione e sistemi informativi capaci di prendere decisioni sull'utilizzo e la gestione dei sistemi di trasporto al fine di ottimizzare i vantaggi e ridurre al minimo costi e inconvenienti. Sebbene lo sviluppo economico moderno sia diventato meno dipendente dalle risorse, che pur rimangono il fondamento delle attività economiche, esso è più dipendente dalle relazioni attraverso lo spazio, cioè a livelli più elevati di flussi e mobilità di materiali, manodopera e capital in due aspetti significativi:

• **Mercato delle materie prime e componenti.** Il trasporto amplia le opportunità di acquisire e vendere una varietà di materie prime o componenti e parti necessarie per i sistemi industriali e manifatturieri attraverso miglioramenti nell'efficienza con cui le aziende hanno accesso a materie prime e parti nonché ai rispettivi clienti.

• **Mercato del lavoro.** Miglioramenti nell'accesso alla manodopera e una riduzione dei costi di accesso, principalmente tramite un miglioramento del pendolarismo (scala locale) o l'uso di manodopera a basso costo (scala globale) grazie a trasporti efficienti a corto o lungo raggio.

Un errore comune nel valutare l'importanza e l'impatto del trasporto sull'economia è quello di concentrarsi solo sui costi di trasporto, che tendono a essere relativamente bassi; nell'intervallo dal 5 al 10% del valore di un bene. Pertanto, costi di trasporto relativamente piccoli, capacità e cambiamenti di prestazioni possono avere un impatto sostanziale sulle attività economiche. Un sistema di trasporto efficiente con infrastrutture moderne favorisce i cambiamenti economici, la maggior parte dei quali positivi, sotto diversi aspetti:

• **Specializzazione geografica.** I miglioramenti nei trasporti permettono di produrre beni e servizi dove esiste la combinazione più appropriata di capitale, lavoro e materie prime.

• **Produzione.** Un sistema di trasporto efficiente che offre vantaggi in termini di costi, tempo e affidabilità consente il trasporto di beni su distanze maggiori permettendo una produzione di massa ed economie di scala accedendo a mercati più grandi.

• **Maggiore concorrenza.** Quando il trasporto è efficiente, il mercato potenziale per un dato prodotto (o servizio) aumenta, così come la concorrenza, riducendo i costi e promuovendo qualità e innovazione.

• **Variazione del valore dei terreni e immobili.** I terreni ed immobili adiacenti o serviti da buoni servizi di trasporto hanno generalmente un valore maggiore perché i consumatori possono avere accesso a una gamma più ampia di servizi e beni al dettaglio e una migliore accessibilità a occupazione, servizi e reti sociali.

Impatti sociali

I sistemi di trasporto permettono la mobilità di beni e persone, con un impatto significativo sulla gran parte delle attività umane e, di conseguenza, ad essi afferisce una quota rilevante di consumo (lavoro, capitale, tempo). La mobilità

dipende e influisce sul contesto economico e sociale di territori, sistemi economici, stati, oltre ad essere ormai diventato uno dei principali indicatori dello status sociale degli individui.

Ad un settore così pervasivo sono associati impatti complessi e diversificati, necessariamente sia positivi sia negativi. Alcune delle sfide sociali ed economiche più rilevanti, e rispetto alle quali l'innovazione tecnologica può giocare un ruolo rilevante, sono descritte nel seguito.

- **Differenze di mobilità tra aree urbane ed a minore densità di popolazione** dove è meno conveniente l'uso di forme di trasporto collettive ma al contempo la mobilità deve consentire ai residenti di accedere a occupazione, beni e servizi.
- **Mobilità e comportamento di viaggio diseguali tra gruppi sociali**, comprese le rispettive risorse di trasporto, come la proprietà di auto, l'accesso ai trasporti pubblici e la distanza media di viaggio, la frequenza e il tempo. La domanda di mobilità e trasporto dipende dallo stato socioeconomico.
- **Disuguaglianze di accessibilità** a mercati, servizi o opportunità occupazionali a scala nazionale o locale.
- **Disuguaglianze occupazionali** nel settore dei trasporti tra gruppi sociali diversi. Ad esempio, la logistica è ad alta intensità di manodopera e tradizionalmente e dominata dagli uomini.
- **Reti di trasporto utilizzate oltre le loro capacità**, in particolare nelle aree urbane. Questa situazione crea una congestione della mobilità con relativi costi, ritardi -il fattore tempo è sempre più prezioso nelle economie avanzate- spreco di energia che indicono sulla distribuzione dei beni e sui movimenti delle persone. È anche vero però che la congestione è l'effetto di un successo che supera quanto inizialmente previsto e progettato.
- **Sicurezza del trasporto e delle infrastrutture**. A causa di errori umani e guasti fisici del mezzo di trasporto o infrastrutturali si verificano incidenti con importanti impatti socioeconomici quali costi di assistenza sanitaria, assicurazione, danni alla proprietà e perdita di vite. Il livello di sicurezza dipende dalla modalità di trasporto e dalla velocità del mezzo di trasporto. Nessuna modalità è completamente sicura, ma il trasporto stradale rimane la modalità più rischiosa, rappresentando in media il 90% di tutti gli incidenti.

I sistemi di trasporto hanno una vasta gamma di conseguenze ambientali ed impatti negativi sulla salute che hanno un costo che deve essere assunto dagli utenti e dalla società. Le sfide ambientali più salienti che hanno conseguenze sociali includono:

- **Qualità dell'aria**. Circa il 50% di tutto l'inquinamento atmosferico nelle regioni urbane deriva dal traffico automobilistico.
- **Rumore**. Il rumore ha effetti diversi a seconda dell'intensità delle emissioni è può provocare disturbi psicologici funzionali e fisiologici, in particolare per le aree vicine a centri di smistamento e alle strade principali.
- **Qualità dell'acqua**. Il deflusso accidentale o lo scarico di inquinanti dovuto al funzionamento o alla manutenzione, contaminano le acque superficiali e sotterranee.
- **Impronta sul territorio**.

PARADIGMI FUTURI

Il settore dei trasporti passeggeri e merci -nella sua globalità, a livello europeo e nazionale- sarà influenzato in modo fondamentale da cambiamenti sociali e tecnici, cioè tecnologie abilitanti e nuove esigenze della società, che si svilupperanno nei prossimi anni, le quali porteranno a profondi cambiamenti nell'intero settore ed indirizzeranno la definizione delle future priorità della ricerca sui trasporti. I paradigmi sociali di riferimento sono quasi gli stessi nel trasporto passeggeri e merci nonostante le apparenti differenze dei due settori. Per quanto riguarda il trasporto passeggeri si individuano i seguenti aspetti sociali rilevanti:

- **invecchiamento della società** - invecchiamento della popolazione mondiale; aumento dell'aspettativa di vita;
- **crescita economica** - crescita della produzione economica mondiale; crescita del PIL; aumento del commercio internazionale; stili di vita in evoluzione cambiamenti demografici; cambio generazionale; lavori flessibili; telelavoro; acquisti online; aumento del consumo collaborativo; sharing economy;
- **domanda e fonti di energia** - aumento del consumo di energia, investimenti energetici, utilizzo di fonti di energia rinnovabili e combustibili alternativi, efficienza dei carburanti, mix energetico globale;
- **sfide ambientali** – cambiamenti climatici (diminuzione delle emissioni di carbonio, aumento della temperatura globale, innalzamento del livello del mare, aumento del rischio di inondazioni dovuto allo scioglimento dei ghiacciai, politiche di adattamento e mitigazione, sviluppo dei mercati del carbonio);
- **scarsità di risorse chiave** – gestione e maggiori richieste di risorse scarse; sviluppo di materiali sostitutivi; cambiamenti nell'uso degli ecosistemi;
- **spostamento del potere economico** - "sud globale" in crescita; mondo multipolare; offerta di materie prime dai paesi in via di sviluppo;
- **urbanizzazione e megalopoli** - maggiore densità di popolazione, miglioramenti nelle infrastrutture urbane, rischi ambientali e sanitari; città più sostenibili.
- **equità ed inclusione** – distribuzione dei servizi di mobilità come risorsa universale, rispettosa delle esigenze e capacità (economiche, sociali e digitali) dei cittadini.

Nel caso del futuro trasporto merci a questi si aggiunge un punto estremamente critico di cui già si vedono i primi effetti derivanti dagli scenari geopolitici in continua evoluzione:

- **problemi di sicurezza** - crescente minaccia di criminalità informatica; tassi di criminalità; vulnerabilità delle catene di fornitura globali che incidono pesantemente sul tipo, costi e modalità di trasporto di molte merci critiche.

A questi paradigmi sociali dovrà rispondere un'innovazione tecnologica che proporrà soluzioni, con alta probabilità comuni ai due tipi di trasporto, capace di offrire soluzioni per esigenze e bisogni in continua evoluzione garantendo una mobilità efficiente e sicura. La cooperazione tra tutti gli attori del settore sarà fondamentale per affrontare le sfide future e favorire la crescita economica.
L'innovazione tecnologica nel settore dei trasporti punta oggi verso due vaste aree abilitanti: la sostenibilità ambientale e la digitalizzazione dei servizi di trasporto che insieme consentono l'integrazione dei vari sistemi di mobilità, aumentano la sicurezza e la comodità dei viaggiatori, promuovono la creazione di infrastrutture di supporto dei mezzi di trasporto pubblico più efficienti, accessibili, equi.
Sul versante sostenibilità ambientale si individuano i seguenti indirizzi tecnologici generali:

- **Mobilità a basso impatto ambientale** (elettrico, idrogeno, carburanti non fossili, possibili ibridi): l'utilizzo di queste soluzioni di mobilità può ridurre le emissioni di gas serra e contribuire a una maggiore sostenibilità ambientale nel settore dei trasporti. Le conseguenze vanno bel oltre il settore trasporti influendo in maniera decisiva sui settori energia, chimica, materiali che dovranno fornire soluzioni affidabili nella richiesta quantità e qualità.
- **Mobilità condivisa:** la mobilità condivisa (auto, ma anche monopattini, ciclomotori, biciclette) permette di ridurre il numero di veicoli in circolazione e di ottimizzare l'utilizzo delle risorse, riducendo l'impatto ambientale legato al trasporto individuale. Le conseguenze non banali sulla catena del valore e sul settore industriale ed occupazionale sono già visibili

• **Trasporti pubblici efficienti:** la promozione della mobilità con l'utilizzo di mezzi pubblici contribuisce a ridurre il traffico e le emissioni nocive ma richiederà probabilmente un ripensamento profondo del sistema.

• **Infrastrutture sostenibili:** la realizzazione di autostrade verdi, con pannelli solari integrati e impianti di ricarica per veicoli elettrici lungo il percorso, può favorire la sostenibilità dei trasporti su lunghe distanze. Lo sviluppo di porti ed aeroporti a basso impatto ambientale capaci di gestire e rifornire mezzi di trasporto con fonti di energia a basso impatto ambientale.

• **Logistica sostenibile:** promuovere soluzioni di trasporto a basso impatto ambientale come il trasporto su rotaia o il trasporto marittimo contribuisce a ridurre l'impatto ambientale dei trasporti merci nonostante la crescita prevista grazie all'espansione dell'e-commerce, con una domanda crescente di servizi di magazzinaggio e corriere, mentre le abitudini dei consumatori si spostano verso lo shopping online.

La digitalizzazione che si riferisce all'adozione di tecnologie digitali e innovative per ottimizzare e migliorare l'efficienza, la sicurezza e la qualità dei servizi di trasporto propone esempi di digitalizzazione dei servizi di trasporto possibili tra cui:

- **App di trasporto pubblico** che forniscono informazioni in tempo reale sugli orari delle opzioni combinate degli autobus, treni e tram su determinate tratte.
- **Sistemi di prenotazione e pagamento online** per taxi, mezzi pubblici, servizi di car sharing anche integrati su diversi mezzi di trasporto che operano e coprono una determinata tratta.
- **Utilizzo di sensori e dispositivi IoT** per monitorare e gestire il traffico e il flusso di veicoli.
- **Lo sviluppo di infrastrutture intelligenti,** come ad esempio sistemi di gestione del traffico e di parcheggio intelligente, può contribuire a ottimizzare la mobilità urbana e a ridurre gli ingorghi stradali.
- Implementazione di **sistemi di navigazione** GPS e mappe digitali per ottimizzare i percorsi di viaggio

- Utilizzo di sistemi di **gestione della flotta** per monitorare e ottimizzare le operazioni di trasporto, manutenzione ed assistenza.
- **Tecnologie di intelligenza artificiale** e machine learning per migliorare la pianificazione delle rotte e la gestione delle risorse.
- **Miglioramento dell'efficienza** all'interno della catena di fornitura e della logistica.

Il futuro concetto di mobilità dovrà includere iniziative di ricerca che rispondono a combinazioni di più di uno degli aspetti sopra citati (ad es. MaaS e LaaS) che invece sono strettamente collegati tra loro al fine di riempire le lacune derivate da un approccio tecnico e scientifico che separava i temi relativi al mezzo di trasporto, da quelli della fonte di energia, dell'infrastruttura operativa e dai servizi al passeggero o merci passando da un'ottica monomodale ed eterogenea ad una visione integrata, intermodale e resiliente del sistema di trasporti.

GLI SCENARI TECNOLOGICI

I paradigmi tecnici e sociali prima descritti applicati a casi applicativi concreti conducono molto spesso a soluzioni comuni a tutti i mezzi di trasporto in particolare per gli aspetti legati alla digitalizzazione dei servizi di supporto sia per il trasporto passeggeri sia per quello merci. Al contrario, le soluzioni legate all'approvvigionamento energetico per i mezzi di trasporto sia in quantità sia per tipo di energia da fornire e per quanto ha a che fare con le prestazioni del mezzo di trasporto sono specifiche di ogni mezzo in quanto i requisiti tecnici, dimensioni, tratte operative, le potenze in gioco e le condizioni ambientali sono estremamente diverse.

Infine, sono spesso simili le soluzioni legate alla sicurezza ed al comfort dei passeggeri anche se esse vengono integrate in tempi e modi diversi sui vari mezzi di trasporto per questioni di costi e di accettabilità sociale delle conseguenze.

In ragione quindi di questa complessa e multiforme situazione, lo studio Airi offre un'analisi degli scenari tecnologici di sviluppo nel breve medio periodo secondo due diverse prospettive: le linee guida ed i temi tecnologici di pertinenza di ogni

mezzo di trasporto indipendentemente dal fatto se essi siano o meno già citati da altri mezzi di trasporto (descritte di seguito); gli indirizzi tecnologi relativi alle diverse modalità aggregati in aree omogenee di sviluppo comuni ai diversi settori, con una selezione delle principali tecnologie come selezionate dagli esperti Airi (descritte nella sezione scenari tecnologici). Le aree selezionate sono:

1 Mobilità a basse o zero emissioni
2 Nuove infrastrutture aeroportuali / portuali
3 Nuove configurazioni di mezzi di trasporto
4 Digitalizzazione del sistema trasporti
5 Mobilità urbana ed interurbana multimodale e automatizzata
6 Propulsione stradale innovativa
7 Trasporto terrestre delle merci

Scenari per il trasporto su strada

In Europa, il trasporto su strada è la modalità più utilizzata, seguita dal trasporto ferroviario e aereo. La EU ha posto una forte enfasi sull'intermodalità e sulla sostenibilità ambientale del trasporto in particolare su strada, promuovendo politiche per ridurre le emissioni di gas serra e migliorare l'efficienza energetica dei mezzi. Il settore europeo dei trasporti su strada deve affrontare sfide significative a causa dell'evoluzione dei mezzi di trasporto verso una propulsione a basse emissioni, la volatilità dei prezzi del carburante fossile e dei costi delle fonti energia alternative, della concorrenza di produttori non europei con costi più bassi, dalla diversa attitudine sociale all'uso o alla proprietà di un auto o all'uso di trasporti pubblici e condivisi che portano ad una significativa variazione dei ratei produttivi e del tipo, costo e prestazioni dei mezzi di trasporto. A tutto questo per la parte trasporto merci si aggiunge la necessità di una logistica integrata avanzata che tenga conto dello sviluppo dello e-commerce riducendo al contempo l'impatto ambientale che porta a significative modifiche ai sistemi di trasporto merci su strada.

Le auto e gli autobus continuano a essere i principali mezzi di trasporto per spostarsi all'interno delle città e tra le città vicine ma in prospettiva il loro ruolo dovrà

essere integrato a quello delel altre modalità di trasporto, in particolare i treni ad alta velocità sulle tratte a maggiore domanda di traffico o gli aerei per le tratte a più lunga distanza o con minori densità di traffico associate a vincoli orografici importanti, ovvero il trasporto marittimo per le merci. Infine, il traffico stradale può essere congestionato, soprattutto nelle grandi città, e quindi si dovranno perseguire soluzioni di mobilità -sia mezzi di trasporto sia servizi di gestione e controllo- che riducano tempi, costi ed emissioni.

L'evoluzione tecnologica della mobilità stradale di persone e merci richiede capacità di investimenti e relativa gestione manageriale, nuovi parametri di valutazione degli investimenti (per esempio il costo delle emissioni o del riciclo potrebbe essere un fattore rilevante a seconda delle scelte politiche di indirizzo), accorta valutazione dell'accettazione delle nuove tecnologie e coinvolge nuovi operatori extra-settore, in particolare i fornitori delle nuove fonti energetiche e relativi vettori (batterie, celle a combustibile, e-fuel, idrogeno) e delle nuove infrastrutture di servizio adatte alle nuove esigenze. L'evoluzione tecnologica dei trasporti, legata ai cambiamenti dell'organizzazione produttiva (digitalizzazione, nuovi materiali, IA, ecc.) avrà conseguenze di vasta portata sulla produttività, sull'occupazione, sulle competenze, sulla distribuzione del reddito, sulla logistica, sullo stile di vita, sull'ambiente.

Scenari per il trasporto ferroviario

Il trasporto ferroviario è molto sviluppato in Europa quale mezzo di trasporto popolare per viaggiare all'interno dei paesi e tra i paesi confinanti. Le reti ferroviarie ad alta velocità in molti paesi europei offrono un'alternativa comoda e sostenibile ai viaggi in aereo ed al trasporto stradale su distanze intorno ai 500-800 km. In una prospettiva di medio periodo il settore ferroviario sarà una componente integrante della rete industriale europea garantendo collegamenti sicuri e affidabili a ridotto impatto ambientale attraverso l'uso di tecnologie innovative. La EU nei prossimi decenni, si potrà confermare come leader del settore ferroviario per i mercati globali, soprattutto se sarà capace di proporre soluzioni di mobilità

e logistica integrata con tecnologie avanzate. In quest'ottica in ambito ricerca e sviluppo le sfide del settore ferroviario del prossimo futuro sono:

• **Smart cities.** Le ferrovie rappresentano un elemento fondamentale della pianificazione intelligente della città, grazie a sistemi per la gestione della mobilità e dei servizi di consegna. Per esempio, si dovranno realizzare stazioni energeticamente efficienti di interscambio tra tutte le modalità di trasporto.

• **Logistica.** La sfida è rispettare gli ambiziosi obiettivi EU: trasferimento da strada a ferrovia/mare di almeno il 30% entro il 2030 e oltre il 50% entro il 2050. Il trasporto merci su ferro dovrà essere affidabile, puntuale, competitivo ed integrato con altre modalità di trasporto, superando le questioni di interoperabilità con infrastrutture ottimizzate, nuovi servizi per la raccolta dati, gestione, funzionamento e coordinamento del trasporto intermodale.

• **Soluzioni Digitali** per viaggi multimodali. Il settore ferroviario deve concorrere al trasporto door to door favorendo l'interoperabilità con sistemi aperti di prenotazione, assistenza durante il viaggio, pagamento e bigliettazione, comprese le attività di roll-back importanti, qualora una singola transazione dovesse fallire.

• **Treni efficienti e sostenibili.** I passeggeri preferiranno utilizzare il trasporto ferroviario rispetto ad altre modalità se i treni saranno confortevoli, affidabili, disponibili ed accessibili. Allo stesso tempo, il treno deve soddisfare i requisiti delle imprese ferroviarie e degli operatori urbani per offrire servizi di alta qualità e convenienti in termini di costi sia di manutenzione che di acquisto.

• **Infrastruttura.** Le infrastrutture devono essere sicure, affidabili, convenienti e sostenibili per garantire i parametri precedenti. Esse devono includere i sistemi di segnalazione a bordo e di gestione del traffico e della sicurezza, i sistemi di comunicazione treno-terra compatibili ed interoperabili con tutte le altre modalità (es sistemi ERTMS/ETCS di livello II).

Scenari per il trasporto marittimo

Il trasporto navale in Europa è in costante evoluzione, con numerosi porti che operano regolarmente e facilitano il commercio internazionale. Le reti di trasporto navale data la quantità di merci sul totale trattata sono il cardine della catena di approvvigionamento alla base del sistema economico strettamente integrato della EU.

Allo stato attuale, obiettivo prioritario dell'innovazione dei trasporti navali è la ricerca di forme di trasporto ecosostenibili ed efficienti. Essa costituisce una delle grandi sfide per mantenere il primato dell'industria europea del settore nel quadro della concorrenza globale. Anche la ricerca e la diffusione di strategie intelligenti per meglio collegare le diverse forme di mobilità rappresentano elementi chiave per rendere i trasporti navali più puliti, sicuri ed efficienti.

Per il settore marittimo, il quadro complessivo evidenzia una previsione di contributi di grande rilievo dal settore nazionale in cooperazione con i suoi partner europei sulle seguenti sfide:

- **Navi sostenibili** ambientalmente ed energeticamente efficienti richiedono un approccio olistico in grado di integrare l'operato dei costruttori dei mezzi di trasporto, dei sistemi propulsivi, dei fornitori dei sistemi di bordo e dei gestori delle infrastrutture, agendo sulla riduzione degli inquinanti emessi in aria e in acqua nonché sulla corretta gestione di altre fonti d'inquinamento. Rileva a tal fine il sostegno da parte dei settori che producono nuovi combustibili a basso impatto o che si occupano della generazione e trasformazione fino all'immagazzinamento (energy storage) dell'energia che devono fornire soluzioni in qualità e quantità coerenti con le esigenze.

- **I mezzi navali** ad elevato contenuto digitale in grado di rafforzarne l'efficienza, la sicurezza e i servizi a bordo richiedono un 'elevata sensorizzazione e della connettività a bordo, ma anche una stretta interconnessione tra mezzi navali (ship-to-ship), così come tra mezzi e infrastrutture a terra (ship-to-shore). La progettazione navale dovrà quindi considerare il continuo aggiornamento dei mezzi con le più avanzate tecnologie includendo aspetti di cybersecurity e sicurezza del trasporto.

• **Avere mezzi navali autonomi di dimensioni rilevanti** in aree di manovra particolarmente trafficate è una sfida molto significativa. Elemento essenziale è rappresentato dall'integrazione tra sistemi differenti capaci di definire in ogni istante lo stato della nave rispetto all'ambiente esterno, tracciarne le attività e abilitarne la manovra in condizioni di sicurezza. Simili tecnologie dovranno analizzare in tempo reale segnali provenienti dai numerosi sensori, elaborando rapidamente uno scenario di movimento della nave in assenza di controllo umano.

• **Cantieri e siti di produzione a maggiore efficienza**, sicurezza e sostenibilità. Nei prossimi anni, il processo produttivo assumerà un approccio che includa l'intero ciclo di esistenza della nave, dal design fino alla dismissione, con una particolare attenzione per metodologie di progetto, simulazione e di fabbricazione innovative, di semplificazione dell'assemblaggio e delle prove di qualifica dalla fase di concepimento fino alla fase di smaltimento (ship recycling).

• **Nuovi mezzi marini per coprire esigenze specifiche** di estrazione delle risorse offerte dall'ambiente marino. Le nuove frontiere di sviluppo lasciano emergere sfide tecnologiche significative con riferimento alla realizzazione di mezzi in grado di essere impiegati in ambienti particolari (regioni artiche, regioni con condizioni di mare estreme, etc.) o svolgere operazioni complesse in mare aperto (deep-sea mining, etc.).

Scenari per il trasporto aereo

L'aviazione a differenza degli altri settori del trasporto è un mercato intrinsecamente globale con una catena di fornitura globale e regole globali. L'industria aeronautica europea è oggi leader mondiale ma nuovi e paesi stanno sviluppando le capacità di progettare e produrre velivoli e prodotti aeronautici competitivi con un impatto diretto (concorrenza) o indiretto (mercato chiuso) sull'industria europea.

Anche se l'impatto ambientale dell'aviazione è oggi globalmente inferiore rispetto ad altri mezzi di trasporto, l'aeronautica europea lavora per usare energie

sostenibili e persegue l'efficienza energetica per mitigare l'aumento del traffico aereo previsto nei prossimi decenni.
Data l'estrema complessità del prodotto aeronautico e del suo ambiente operativo, l'approccio tecnico richiede un equilibrio tra innovazioni rivoluzionarie e incrementali: le prime sono fondamentali per la competitività, le seconde sono ugualmente importanti per non rendere oltremodo rischioso ogni nuovo progetto. Entrambe devono rispettare gli stringenti requisiti di sicurezza di qualificazione e certificazione riducendo i tempi molto lunghi di introduzione dei miglioramenti che i clienti si aspettano rapidi come in altri settori, anche dei trasporti.

Dal punto di vista dell'**ambiente operativo** le principali linee guida saranno:

- La sicurezza delle operazioni di volo regolate da severi requisiti vanno tradotte in soluzioni efficaci per massimizzare il loro impatto operativo.
- Attività in aeroporto, di manutenzione, di smaltimento affidabili e prevedibili, a costi ottimali e con impatto ambientale minimo.
- Esperienza ottimale dei passeggeri quali elementi qualificanti del trasporto passeggeri, spina dorsale del settore dell'aviazione civile e fattore che contribuisce al suo crescente successo.
- Mobilità senza soluzione di continuità e completa integrazione del trasporto aereo nel sistema di trasporto globale.
- Digitalizzazione e gestione di Big Data che abilita il monitoraggio predittivo del veicolo, migliore connettività dei piloti e passeggeri e scambio dati tra operatori e fornitori di parti.
- Modularizzazione del trasporto merci per una transizione fluida tra mezzi di trasporto di superficie e aerei. Velivoli cargo piccoli o grandi senza equipaggio e automatizzati.

La produzione ed assemblaggio aeronautici, dovrà gestire partner distribuiti su scala globale perseguendo:

- Automazione della produzione ed assemblaggio con soluzioni specifiche adatte ai tassi di produzione e qualità aeronautica proteggendo la proprietà

intellettuale e la sicurezza del prodotto.

- Produzione di parti a basso impatto ambientale: ricambi prodotti dove necessari ma rispettando i criteri di qualità e sicurezza; processi a basso impatto; controlli di qualità e processi capaci di gestire centinaia di migliaia di parti ad alta precisione e costo unitario elevato; controllo della configurazione rispetto al progetto per massimizzare la sicurezza.

La progettazione aeronautica dovrà proporre soluzioni che spaziano dall'architettura del velivolo ai problemi in servizio con i vincoli di complessità e norme di sicurezza, costi e rischi molto elevati ed una catena del valore globale:

- Configurazioni velivolo che bilanciano innovazione e miglioramenti incrementali per mitigare rischi, costi elevati e tempi lunghi derivati dai severi requisiti di certificazione e prestazionali.
- Efficienza energetica per ridurre l'impatto ambientale e garantire la competitività nella propulsione, aerodinamica, sistemi e l'integrazione dell'intero aeromobile.
- Ala e fusoliera. La fusoliera trasportando la maggior parte del carico utile è la vera area di interesse delle compagnie aeree e dei passeggeri. L'ala è fondamentale per la propulsione, riduzione del rumore e per controlli di volo più efficaci.
- Metodi e strumenti di progettazione capaci di gestire le interfacce con i sistemi coinvolti: elevate capacità di elaborazione, gestione di enormi insiemi di data (Big Data), soluzioni AI.
- Processi di integrazione di provenienti da una catena del valore globale garantendo la sicurezza richiesta dalle norme e la compatibilità funzionale e fisica a costi accessibili.
- Tecnologie innovative che migliorano la sicurezza, l'impatto ambientale, la competitività, la funzionalità per cabina di pilotaggio e passeggeri, vano cargo, comunicazioni e gestione dell'energia, carrello di atterraggio, comfort e così via.

SPAZIO

SPAZIO

PROFILI DI SETTORE

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

THALES ALENIA SPACE ITALIA	**Antonio Gammarota**

ESPERTI

AGENZIA SPAZIALE ITALIANA	**Augusto Cramarossa, Emanuela D'Aversa**

SPAZIO

SCENARI TECNOLOGICI

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

COORDINATORI

THALES ALENIA SPACE ITALIA	**Antonio Gammarota**

ESPERTI

THALES ALENIA SPACE ITALIA	**Stefano Cesare, Andrea Merlo, Massimo Antonacci, Albino Quaranta, Marco Nebiolo, Pasquale Capece, Andrea Torre, Salvatore Corvo, Alessandro Pisano, Roberto Venturini, Ornella bombaci, Rita Roscigno, Carlo Ciancarelli, Oreste Trematerra, Davide Di Ienno, Chiara Giacanelli, Lucia Amorosi, Tiziana D'Ignazio, Niccolò Picci, Francesco Lumaca, Paolo Conforto, Martina Ottavi, Andrea Geraldi, Emanuele Cerqueti, Enrico Varriale, Vincenzo Schena**
CIRA	**Antonio Concilio, Ignazio Dimino, Francesco Battista, Marco Marini, Sara Di Benedetto, Mario Panelli**

SPAZIO

SCENARI TECNOLOGICI

MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO

LEONARDO	**Carlo Cavazzoni, Antonio Sciarappa, Guido Sangiovanni, Enrico Suetta, Sandro Panagini**
ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA	**Remo Proietti Zaccaria**
AVIO	**Attilio Cretella, Valeria Cherubini**
TELESPAZIO	**Stefano Beco, Andrea Cardellicchio, Carlo Albanese**
POLITECNICO DI MILANO	**Pierluigi Di Lizia**
UNIVERSITA' FEDERICO II Napoli	**Antonio De Maio**
D-ORBIT	**Stefano Antonetti**
GMSPAZIO	**Filippo Gemma**
PLANETEK	**Cristoforo Abbattista, Leonardo Amoruso Vito Fortunato, Luca Pascali**
ARGOTEC	**Alessandro Balossino**
SITAEL	**Giovanni Cesaretti, Stefan Gregucci**
MIPRONS	**Angelo Minotti**
T4i	**Marco Manente, Daniele Pavarin**
AEROSPAZIO TECNOLOGIE	**Francesco Marconcini, Fabrizio Scortecci**

INTRODUZIONE

Lo Spazio ha acquisito, negli ultimi anni, un'importanza crescente a livello politico, sia in Italia che in Europa, grazie alla sua sempre maggiore rilevanza strategica ed economica. Di conseguenza, è notevolmente aumentata l'attenzione nel definire e attuare una politica spaziale di eccellenza, per permettere al nostro Paese e all'Europa di giocare, su scala mondiale, un ruolo paragonabile a quello delle nazioni leader nel settore spaziale.

Due fattori fondamentali stanno ridefinendo l'equilibrio geopolitico e tecnologico nello Spazio: l'ingresso di attori privati nel settore e il deterioramento dei rapporti tra Russia e Occidente, sfociato nella guerra in Ucraina.
Negli ultimi anni, lo Spazio non è più un dominio esclusivo degli Stati, ma ha visto il crescente coinvolgimento delle aziende private, grazie alle innovazioni tecnologiche e a nuovi modelli di business. Le reti di satelliti privati (come Starlink, OneWeb, ecc.) forniscono servizi di comunicazione e internet, con impatti significativi sulla sicurezza e sull'economia globale.

Le aziende private stanno assumendo un ruolo strategico nelle missioni spaziali, spesso adottando un paradigma diverso rispetto a quello utilizzato nei programmi spaziali istituzionali tradizionali. Il mercato spaziale è unanimemente riconosciuto per la sua grande rilevanza strategica e registra una costante crescita, alla luce della vasta gamma di ricadute in termini di accesso e utilizzo dello Spazio, sviluppo della conoscenza, innovazione tecnologica, sicurezza, ritorni economici e crescita della competitività industriale.

In particolare, lo Spazio svolge un ruolo trainante (sia diretto che indiretto) nelle economie dei Paesi più industrializzati, grazie alla sua riconosciuta capacità di stimolare in modo significativo la ricerca scientifica e il progresso tecnologico. Questi, a loro volta, sono fattori fondamentali per lo sviluppo economico e industriale degli Stati più avanzati.

Il settore spaziale sta acquisendo sempre maggiore importanza a livello globale, anche grazie alla sua influenza su temi quotidianamente trattati dai media, che hanno un impatto diretto sulla vita dei cittadini. Lo Spazio è considerato uno strumento fondamentale per affrontare i cambiamenti globali, in quanto fornisce i servizi necessari a rispondere alle crescenti esigenze sia governative che dei cittadini. Tra i principali ambiti di applicazione possiamo citare, a titolo esemplificativo: i cambiamenti climatici, la gestione sostenibile delle risorse, le telecomunicazioni, la geolocalizzazione, il controllo del territorio e degli spazi aeromarittimi, la sicurezza e la difesa.

In questo contesto, il clima di instabilità geopolitica ha spinto i governi a potenziare il settore spaziale, riprendendo l'approccio di "deterrenza e superiorità" tipico degli anni della Guerra Fredda. La guerra in Ucraina ha ulteriormente accelerato la consapevolezza dell'importanza delle tecnologie dual-use, evidenziando il ruolo cruciale dello Spazio nella sicurezza globale e intensificando la corsa all'autonomia strategica.
Quanto sopra sottolinea e rafforza la necessità di disporre di una comunità scientifica e accademica e di un comparto industriale legato allo Spazio (incluse le PMI) di valore adeguato, in linea con il ruolo che il nostro Paese intende assumere. L'Italia, infatti, è tradizionalmente tra i Paesi con i maggiori interessi e contributi nel settore spaziale.

L'Italia vanta una lunga tradizione nell'esplorazione spaziale, che ha avuto inizio nel 1964, quando divenne il terzo Paese al mondo a lanciare e gestire un satellite in orbita. La nascita dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) nel 1988 segna l'inizio di un impegno strutturato e strategico nel settore spaziale, sottolineando la necessità di un coordinamento unificato delle attività di ricerca e industriali che si erano sviluppate sin dagli anni '60.
In questo contesto, **l'industria spaziale italiana** gioca un ruolo significativo in vari ambiti e applicazioni delle attività spaziali a livello europeo e mondiale, grazie al

coinvolgimento attivo di università, centri di ricerca e una vasta rete di piccole e medie imprese specializzate. Tra gli esempi rilevanti, ma non esaustivi, si possono citare la progettazione, lo sviluppo e la costruzione di:

- **Satelliti Scientifici e Applicativ**i nei domini delle Telecomunicazioni, dell'Osservazione della Terra e della Navigazione;
- **Satelliti e Strumenti Scientifici** per la conoscenza dell'Universo e l'Esplorazione del Sistema Solare;
- I**nfrastrutture Spaziali Abitate** (Moduli Pressurizzati);
- **Sistemi di Lancio e Trasporto Spaziale**;
- **Apparati, Antenne, Componenti ed Equipaggiamenti**, elettronici e meccanici, sia di bordo che di terra;
- **Sistemi per la Protezione e la Sicurezza dello Spazio**, che comprendono l'integrazione di infrastrutture e gli asset nazionali esistenti e futuri per la previsione e il monitoraggio di collisioni con detriti e oggetti spaziali, della loro frammentazione e del loro rientro incontrollato verso la Terra;
- **Sistemi Software** sicuri, ad elevato grado di affidabilità, specifici per il settore spaziale.

È fondamentale ottimizzare il **coordinamento tra tutte le componenti nazionali** per inserirsi efficacemente nel nuovo contesto mondiale ed europeo, garantendo all'Italia un ruolo competitivo nelle sfide internazionali emergenti.

Lo Spazio non è più solo un settore altamente specializzato con una forte connotazione tecnico-scientifica, ma si sta sempre più orientando verso la fornitura di applicazioni e servizi destinati principalmente al benessere dei cittadini. Infatti, i programmi spaziali, grazie ai dati satellitari disponibili e all'integrazione crescente degli sviluppi scientifici e tecnologici, sono in grado di sviluppare applicazioni e offrire servizi utili per i cittadini, le imprese e le Pubbliche Amministrazioni, rispondendo a una domanda pubblica e privata in continua crescita.

Inoltre, i programmi spaziali rappresentano un importante strumento per accrescere la visibilità internazionale dell'Italia e costituiscono un valido supporto per la politica estera nazionale, sia nei forum internazionali che nelle relazioni bilaterali con Paesi avanzati o a sostegno dei Paesi in via di sviluppo. Grazie anche all'impegno dell'Agenzia Spaziale Italiana, l'Italia ha assunto un ruolo di primo piano nel panorama tecnologico, scientifico e industriale del settore, sia attraverso specifiche iniziative nazionali che con la sua attiva partecipazione in **ESA (Agenzia Spaziale Europea)** e in programmi congiunti con la NASA e altre **Agenzie Spaziali**.

QUADRO NORMATIVO NAZIONALE

In tale contesto si inquadrano gli interventi di riorganizzazione della Governance nazionale per lo Spazio e l'Aerospazio con le leggi n.7/2018 e n. 79 del 29 giugno 2022, che forniscono disposizioni concernenti l'organizzazione e il funzionamento dell'ASI, conferendo al Presidente del Consiglio dei Ministri l'alta direzione, la responsabilità politica generale e il coordinamento delle politiche di tutti i Ministeri interessati ai programmi spaziali. Il Presidente del Consiglio dei Ministri ha inoltre poteri di indirizzo, coordinamento, programmazione e vigilanza nei confronti dell'ASI, mentre il Ministero dell'Università e della Ricerca ha poteri di indirizzo strategico limitatamente all'attività di ricerca scientifica svolta dall'ASI.

Questa rinnovata governance istituisce presso la Presidenza del Consiglio il "**Comitato interministeriale per le politiche relative allo Spazio e all'Aerospazio" (COMINT)** con il compito di elaborare le strategie governative e Industriali dei settori spaziale e aerospaziale. Il COMINT definisce gli Indirizzi del Governo in materia spaziale e aerospaziale e lavora con l'obiettivo di tutelare e rafforzare il ruolo primario che l'Italia ha saputo conquistare in virtù delle proprie capacità scientifiche, tecnologiche e industriali nazionali, ma anche per capitalizzare gli investimenti passati e futuri del Paese, senza trascurare la questione chiave relativa al controllo reale delle capacità tecnologiche e produttive esistenti sul territorio nazionale, grazie ai continui e ingenti investimenti degli ultimi decenni.
Il controllo di tali capacità è più che mai strategico, sia per consentire all'Italia di rimanere un *player* primario nel settore Spaziale, sia per potersi avvantaggiare delle **ricadute tecnologiche e industriali** che ne derivano.

Tuttavia, il quadro normativo nazionale e internazionale nel settore spaziale non è ancora del tutto strutturato. Al fine di colmare questo vuoto nell'ordinamento giuridico, il Consiglio dei Ministri ha approvato nel giugno del 2024 la **prima legge quadro italiana sullo Spazio e sulla Space Economy**, ora al vaglio del Parlamento per la sua approvazione definitiva. La legge intende supportare un miglior posizionamento competitivo dell'Italia e definisce regole per i principali

attori spaziali. La legge definisce anche le principali traiettorie di sviluppo dell'economia spaziale colmando un vuoto normativo nazionale e offrendo un quadro di riferimento, contributi di principi e regole basati sull'esperienza nazionale alla nuova legge europea per lo Spazio.

La nuova legge europea per lo Spazio, ancora in discussione, mira infatti a creare un quadro normativo unificato (basato sull'articolo 114 – Mercato unico, ma che deve rispettare gli articoli 4 e 189 del Trattato) che regolamenti le attività spaziali in tutti gli Stati Membri introducendo nuove regole per la gestione del traffico spaziale, la riduzione dei detriti e la responsabilità degli operatori e puntando a una maggiore autonomia strategica dell'UE e a un maggiore coordinamento tra ESA ed EUSPA (Agenzia dell'Unione Europea per il Programma Spaziale). La proposta è ancora in fase di discussione e potrebbe essere approvata entro il 2025. Una volta adottata, la legge europea potrebbe richiedere un coordinamento giuridico con le normative nazionali in vigore, per garantire coerenza e uniformità nell'applicazione delle regole spaziali all'interno dell'UE. Questo processo di armonizzazione è essenziale per evitare conflitti normativi e promuovere una governance spaziale efficace a livello europeo.
L'ASI è l'Agenzia pubblica nazionale preposta a proporre, coordinare e gestire programmi spaziali nazionali e la partecipazione italiana a progetti spaziali europei e internazionali, sotto la supervisione del COMINT e in conformità con gli indirizzi governativi, recentemente approvati, e dei conseguenti documenti strategici previsti dalla legge, ora in fase di preparazione. L'ASI mantiene rapporti con tutti i diversificati gruppi di interesse – Università e Centri di Ricerca spaziali, imprese (attraverso il Tavolo Permanente Imprese) e relative associazioni, cluster regionali, Ministeri a più titoli coinvolti nel settore, Enti locali e regionali – allo scopo di promuovere e coordinare la ricerca scientifica e lo sviluppo tecnologico, e favorire la crescita di infrastrutture spaziali al servizio del cittadino.

A livello nazionale italiano, una significativa novità riguarda l'elaborazione della nuova Legge Spaziale Nazionale, il cui iter approvativo è in via di finalizza-

zione: questa proposta di legge pone l'Italia all'avanguardia e apre la strada a un confronto anche in ambito internazionale, in particolare suggerendo delle possibili linee guida ai principali attori al fine di regolamentare il settore. La legge prevede di definire alcune fondamentali linee di sviluppo dell'economia spaziale: ad esempio, viene prevista la necessità di un'autorizzazione sia per gli operatori stranieri che intendono condurre attività spaziali dal territorio italiano, sia per quelli nazionali che operano da un territorio estero. L'ASI è incaricata della vigilanza sugli operatori: in caso di non rispetto delle disposizioni di legge o degli impegni presi, l'autorizzazione potrà essere revocata. L'Agenzia si occuperà anche dell'immatricolazione nel Registro nazionale degli oggetti lanciati nello spazio extra-atmosferico per i quali l'Italia è Stato di lancio. L'obbligo di registrazione/immatricolazione da parte di ASI dei satelliti lanciati in orbita (sia pubblici che privati) è stato sottoscritto a livello internazionale tramite il trattato *Convention on Registration of Objects Launched into Outer Space* (1975). Altra importante novità sarà l'obbligo per gli operatori autorizzati di stipulare contratti assicurativi.

La legge prevede, inoltre, l'istituzione di un fondo pluriennale per la promozione delle attività spaziali e norme speciali per agevolare l'accesso delle PMI e delle start-up ai contratti pubblici nel settore aerospaziale e l'elaborazione di un Piano Nazionale per l'Economia dello Spazio su base quinquennale, per valutare e quantificare i bisogni del settore e definire adeguate politiche di intervento.

IL MERCATO

Contesto globale

Le diverse stime dell'inviluppo economico della Space Economy a livello globale nel 2024 si attestano tra i 450-600B$ (stime di vari studi del settore: ESA, Bryce, Euroconsult, Space Foundation), con una crescita media di oltre il 5% annuo, rispetto al valore medio stimato per il 2019 che si attestava al di sotto dei 400B$. In particolare, secondo Euroconsult (oggi NovaSpace) la *Global Space Economy* ha confermato il trend di crescita costante e ha raggiunto nel 2024 il valore di 596B$, mentre Il World Economic Forum stima una crescita sull'orizzonte del 2035 fino a 1.790B$.

Per il 2023, secondo fonte ESA (*Report on Space Economy*, December 2024) gli **investimenti istituzionali mondiali** nel settore spaziale si sono attestati sui **106B€** (+11% rispetto al 2022), confermando che il settore pubblico, civile e militare, si afferma ancora come il maggiore "cliente" per il settore spaziale. Gli investimenti sono concentrati in **USA (64%), Cina (12%), Europa (11%), e a seguire Giappone (4%), Russia (3%) e India (2%),** laddove tuttavia i dati relativi a Cina e Russia risultano probabilmente sottostimati per mancanza di informazioni pubbliche.

Un dato particolarmente significativo riguarda il 2023, anno in cui, per la prima volta, la spesa pubblica globale per le attività spaziali a scopo di Difesa (pari al 50,2% del totale) ha eguagliato e leggermente superato quella destinata alle attività spaziali civili (49,8%).

Il ruolo dei governi si conferma cruciale, sia come fonte di finanziamento per le attività di ricerca e sviluppo, sia per l'acquisto di prodotti e servizi spaziali. È inoltre importante sottolineare che il numero di Paesi che investono nello Spazio è in costante aumento, a dimostrazione del dinamismo del settore e della crescente consapevolezza da parte dei governi dell'importanza strategica delle applicazioni e tecnologie spaziali per sostenere le politiche pubbliche e lo sviluppo scientifico e tecnologico.

Tuttavia, lo scenario economico internazionale sta cambiando con straordinaria rapidità a causa dell'ingresso nel mercato spaziale di **nuovi attori privati**. Tra questi figurano aziende statunitensi come SpaceX, Blue Origin e Virgin Galactic, ma anche numerose nuove realtà europee attive nei settori dei servizi di lancio e dei servizi in orbita. A ciò si aggiunge il coinvolgimento di grandi *player* della *New Economy*, come Google e Facebook, nonché di fondi di Venture Capital, che stanno contribuendo a ridefinire le dinamiche del settore.

Al contrario, gli investimenti privati globali nel settore spaziale hanno continuato a diminuire anche nel 2023, attestandosi a circa 6B€. Questo rappresenta un calo del 32% rispetto al 2022 e un calo del 51% rispetto al massimo storico di 12B€ che ha segnato il 2021. *Le space companies* di tutto il mondo hanno ricevuto investimenti privati attraverso 266 round di finanziamento nel 2023: una diminuzione del 9% del volume rispetto al 2022. Anche l'Europa ha registrato un calo, con investimenti privati totali di meno di 980 milioni di euro, in calo del 14% rispetto al 2022. Diversi fattori stanno determinando una diminuzione a livello globale, incluso il ridotto accesso al *Venture Capital* (VC, in calo del 18% rispetto al 2022 ma che rappresenta ancora il 73% del totale valore dei deal nel 2023), e il forte calo delle SPAC (*Special Purpose Acquisition Companies*).

Inoltre, nel 2023 si è registrata una notevole assenza di acquisizioni importanti, con solo 20 transazioni registrate (19 in meno rispetto al 2022). Il *debt financing* è aumentato inoltre del 53% dal 2022, evidenziando un notevole cambiamento nella raccolta fondi in questo settore.

Osservando i dati relativi al numero dei lanci a livello globale, si registrano nel 2023 un totale di 221 lanci, dei quali oltre il 50% da parte degli USA (e di questi l'84% da parte di SpaceX), e il 30% da parte della Cina. Osservando ancora i dati dal punto di vista del numero di satelliti a livello globale, si registrano 2.940 satelliti lanciati, ed è significativo rilevare che il 63% di essi appartengono alla classe infe-

riore ai 500kg. Inoltre, si registra un ritorno anche alla classe di satelliti più 'grandi', che invece nei precedenti 4 anni si erano ridotti drasticamente. Nonostante ciò, i satelliti della costellazione Starlink hanno costituito il 70% della massa lanciata nel 2023 a livello globale.

Ad eccezione degli USA, Russia, Giappone, Francia, Cina ed Europa, l'incidenza del *budget* spaziale sul PIL è, per la maggior parte delle nazioni, inferiore al 0,06% nel 2023 (secondo ESA, *Report on Space Economy, December 2024*). In particolare, il livello Europeo medio si attesta sullo 0,06% con le sole Lussemburgo e Italia (quasi 0.1%) al di sopra di tale valore. Si prevede che probabilmente ci sarà un'ulteriore crescita degli investimenti nazionali in attività spaziali; questo si ricollega anche alle aspettative di governi e imprenditori sugli effetti positivi che gli investimenti nel settore spaziale hanno sulla crescita economica e sugli impatti sociali che possono portare.

Secondo l'ultimo report di NovaSpace, che quantifica il valore 2024 della *Global Space Economy* a 586B$ come accennato precedentemente, il mercato Spaziale (ossia quello che viene identificato come il "core" della Space Economy, dove attori governativi e players commerciali interagiscono) si attesta a un valore di 224B$, guidato principalmente dalle applicazioni SATCOM (159B$) e applicazioni EO (21B$).

Contesto europeo

I principali attori del settore spaziale europeo sono l'ESA, l'Unione Europea e i rispettivi Stati membri.
Grazie all'azione coordinata di UE ed ESA, l'Europa occupa oggi il terzo posto a livello mondiale per entità del bilancio pubblico destinato allo spazio, preceduta solo dagli Stati Uniti e seguita da vicino dalla Cina. Le attività spaziali europee coinvolgono un ampio numero di Paesi: 27 nell'UE e 23 nell'ESA.

Dal punto di vista economico, nel 2023 gli investimenti pubblici europei nel settore spaziale (comprendenti ESA, UE, Eumetsat e singoli Stati) hanno raggiunto un totale di 11,9 miliardi di euro, registrando una crescita complessiva del 22,7% rispetto al 2018. A questi si aggiungono circa 980 milioni di euro di investimenti privati.

Il valore del mercato europeo "upstream" (cioè, relativo alla costruzione e al lancio di infrastrutture spaziali) è stato stimato nel 2023 in 5,3 miliardi di euro, pari a circa il 10% del mercato globale.
Per quanto riguarda il segmento "downstream" (applicazioni e servizi derivanti dai dati spaziali), il valore del mercato commerciale europeo è stimato in circa 82 miliardi di euro, corrispondenti al 23% del mercato mondiale. I settori trainanti sono le telecomunicazioni e la navigazione, che rappresentano insieme il 66% del totale, seguiti dall'osservazione della Terra.

L'Unione Europea, attraverso la Commissione Europea — che rappresenta l'organo esecutivo responsabile dell'attuazione delle politiche comunitarie — è diventata uno dei principali finanziatori dei programmi spaziali europei e rappresenta oggi il maggiore utilizzatore istituzionale dell'industria europea dei sistemi di lancio.
Lo Spazio è infatti uno dei settori sempre protagonisti dei round di finanziamento dei programmi quadro dell'Unione ed è stato destinatario di:

- 1,2 B€ circa nel sesto Framework Programme (FP6), relativo agli anni 2002/2006
- oltre 1,4 miliardi di euro nel FP7 (2007/2013)
- 12 B€ nel periodo 2014-2020, in particolare nei programmi faro Galileo e Copernicus e nelle attività spaziali di Horizon 2020;
- 14,6 B€ per il periodo 2021-2027, confermando i 4 grandi programmi Galileo, Copernicus, GovSatCom, Space Surveillance Awareness, e il programma di ricerca e sviluppo Horizon Europe. Nel prossimo ciclo

2028-2034, la Commissione ha già proposto di incrementare gli investimenti nel programma spaziale per garantire continuità e innovazione nei suoi programmi faro, nonché di ampliare il proprio campo di intervento includendo l'accesso allo spazio e i servizi in orbita (In *Orbit Servicing*).

Le attività spaziali in Europa generano livelli di occupazione pari a circa 230.000 posti di lavoro, la maggioranza dei quali derivanti dal settore *downstream* (ad es. servizi e applicazioni), in particolare il settore delle comunicazioni satellitari.

I dati indicano che ci sono circa 43.000 posti di lavoro diretti nei settori *upstream* e *midstream*[1]. Di questi, circa 36.000 sono generati dall'industria manifatturiera, che crea posti di lavoro altamente qualificati. In particolare, il settore delle comunicazioni satellitari è responsabile per circa due terzi di questi posti di lavoro e svolge un ruolo cruciale nel mantenere e sviluppare il know-how necessario a garantire la competitività, anche nell'ambito industriale.

Nei prossimi anni si prevede che i settori *downstream*, come l'osservazione della Terra e la navigazione satellitare, contribuiranno significativamente all'aumento dell'occupazione. La distribuzione dei posti di lavoro nel settore *upstream* tra gli Stati membri dell'ESA mostra un predominio della Francia, seguita da Germania e Italia.
I sei principali Stati membri dell'ESA (Francia, Germania, Italia, Regno Unito, Spagna e Belgio) forniscono circa il 90% dei posti di lavoro dell'industria europea dello Spazio.
Le PMI contribuiscono con una percentuale pari al 10% nel settore manifatturiero.

Contesto nazionale

L'Italia, membro fondatore dell'ESA, è il suo terzo maggiore contribuente (molto vicino al secondo) dopo Francia e Germania, e fra i primi Paesi al mondo per investimenti e capacità in tutti i più importanti settori di attività Spaziali (Osservazione

[1] *Nella space economy si parla di "upstream" riferendosi al business "verso lo spazio", ricerca, manifattura e produzione di componenti per satelliti, lanciatori e altri velivoli spaziali; per downstream ci si riferisce alle applicazioni che vengono sviluppate a terra partendo dai dati e informazioni raccolti dai dispositivi in orbita, quali elaborazione dei dati stessi, servizi space-based, telecomunicazioni, monitoraggio ambientale, ecc. (OECD (2022), OECD Handbook on Measuring the Space Economy, 2nd Edition, OECD Publishing, Paris). È stato recentemente introdotto anche il termine midstream, in relazione all'insieme delle infrastrutture funzionali alla space economy, quali piattaforme di lancio, centri di controllo, ecc.*

della Terra, Osservazione dell'Universo, Telecomunicazioni, Trasporto spaziale, Abitabilità umana nello spazio, Medicina e biotecnologie, Navigazione e localizzazione, Tecnologie e trasferimento tecnologico).

Questa forte diversificazione – seppure con impegni finanziari molto differenziati – ha reso possibile una vasta acquisizione di competenze in quasi tutti i settori. Da notare che i grandi Paesi europei non investono in tutte le aree dello Spazio.

L'industria nazionale di settore è una realtà rilevante, anche per i benefici che apporta all'intero sistema produttivo in termini di rafforzamento tecnologico, determinato dagli alti investimenti in ricerca e sviluppo. L'Industria Spaziale nazionale, infatti, registra la maggiore intensità di ricerca, sia nel confronto con l'intero sistema manifatturiero nazionale, sia con quello delle aziende high-tech. Nell'upstream spazio, il rapporto tra spese per ricerca e valore della produzione è dell'11%, mentre è del 5,1% nell'high-tech e dello 0.9% nell'intera manifattura.

L'ASI ha inoltre recentemente concluso un accordo con ISTAT per la realizzazione di un progetto di ricerca concernente la perimetrazione della Space Economy sul territorio nazionale italiano e il suo contributo all'economia nazionale, attraverso la misurazione nel tempo anche delle variazioni delle variabili socioeconomiche collegate alla stessa Economia dello Spazio.

Come detto, l'Italia ha una gamma completa di competenze, dalle Telecomunicazioni al Posizionamento (Galileo, info-mobilità per sicurezza, salute, trasporti), all'Osservazione della Terra (COSMO-SkyMed e relativi servizi per il territorio), all'Esplorazione e Trasporto Spaziale (ISS, missioni ESA/NASA, sistemi di trasporto Vega, robotica, logistica di volo, etc.). A tali competenze corrispondono sistemi produttivi integrati, dalla progettazione alla produzione di materiali speciali, alla realizzazione di prodotti e servizi, alla gestione, interpretazione e distribuzione di dati, articolati nei segmenti di terra, trasporto e orbita/volo.

L'industria spaziale italiana è composta da sistemisti e integratori di sistemi di grandi dimensioni (LSI) e una serie molto più ampia di piccole e medie imprese, collegati attraverso una complessa rete di relazioni verticali.
Le PMI spaziali italiane operano in tutta la catena del valore, dalle attività di produzione a servizi e applicazioni. Esse rappresentano una componente strategica del settore spaziale, con competenze di eccellenza in settori di nicchia lavorando in contesti internazionali (ESA, UE) e nei mercati extra-UE.
Negli ultimi anni sta crescendo anche la realtà delle start-up attive nel settore spazio, realtà alle quali sono rivolte iniziative specifiche di supporto, sia direttamente tramite ASI (ad es. il programma paneuropeo di accelerazione Spacefounders) che attraverso il supporto nazionale alle specifiche iniziative dell'ESA (ad es. gli incubatori di recente istituiti in diverse regioni italiane - BIC)
Circa i due terzi delle imprese spaziali italiane (grandi e piccole) operano nel settore manifatturiero, contribuendo alla realizzazione o alla manutenzione di infrastrutture spaziali, mentre il restante terzo fornisce servizi e applicazioni spaziali per gli utenti finali (*downstream*).

L'industria spaziale italiana è composta da più di 300 aziende, 3 Associazioni Industriali, 1 Cluster nazionale, 15 distretti aerospaziali regionali, 5 incubatori imprenditoriali dedicati esclusivamente allo Spazio e un insieme di addetti stimato approssimativamente tra i 7-8000 impiegati, con un fatturato complessivo che si stima essere intorno ai 2 miliardi di euro.
Un ristretto numero di grandi gruppi domina il settore, sia in termini di occupazione sia di fatturato. Le esportazioni del settore spaziale rappresentano il 70% del fatturato, di cui oltre la metà esportate in altri paesi dell'UE (con una quota importante di ordini ESA e la collaborazione con Germania e Francia). Una relativamente piccola ma crescente quota degli ordini proviene da Paesi al di fuori dell'Unione Europea. L'industria spaziale italiana è diffusa su tutto il territorio, con distretti spaziali e cluster che rappresentano, nel settore, uno dei fenomeni più recenti e significativi ancora in forte crescita.

della Terra, Osservazione dell'Universo, Telecomunicazioni, Trasporto spaziale, Abitabilità umana nello spazio, Medicina e biotecnologie, Navigazione e localizzazione, Tecnologie e trasferimento tecnologico).

Questa forte diversificazione – seppure con impegni finanziari molto differenziati – ha reso possibile una vasta acquisizione di competenze in quasi tutti i settori. Da notare che i grandi Paesi europei non investono in tutte le aree dello Spazio.

L'industria nazionale di settore è una realtà rilevante, anche per i benefici che apporta all'intero sistema produttivo in termini di rafforzamento tecnologico, determinato dagli alti investimenti in ricerca e sviluppo. L'Industria Spaziale nazionale, infatti, registra la maggiore intensità di ricerca, sia nel confronto con l'intero sistema manifatturiero nazionale, sia con quello delle aziende high-tech. Nell'upstream spazio, il rapporto tra spese per ricerca e valore della produzione è dell'11%, mentre è del 5,1% nell'high-tech e dello 0.9% nell'intera manifattura.

L'ASI ha inoltre recentemente concluso un accordo con ISTAT per la realizzazione di un progetto di ricerca concernente la perimetrazione della Space Economy sul territorio nazionale italiano e il suo contributo all'economia nazionale, attraverso la misurazione nel tempo anche delle variazioni delle variabili socioeconomiche collegate alla stessa Economia dello Spazio.

Come detto, l'Italia ha una gamma completa di competenze, dalle Telecomunicazioni al Posizionamento (Galileo, info-mobilità per sicurezza, salute, trasporti), all'Osservazione della Terra (COSMO-SkyMed e relativi servizi per il territorio), all'Esplorazione e Trasporto Spaziale (ISS, missioni ESA/NASA, sistemi di trasporto Vega, robotica, logistica di volo, etc.). A tali competenze corrispondono sistemi produttivi integrati, dalla progettazione alla produzione di materiali speciali, alla realizzazione di prodotti e servizi, alla gestione, interpretazione e distribuzione di dati, articolati nei segmenti di terra, trasporto e orbita/volo.

L'industria spaziale italiana è composta da sistemisti e integratori di sistemi di grandi dimensioni (LSI) e una serie molto più ampia di piccole e medie imprese, collegati attraverso una complessa rete di relazioni verticali.
Le PMI spaziali italiane operano in tutta la catena del valore, dalle attività di produzione a servizi e applicazioni. Esse rappresentano una componente strategica del settore spaziale, con competenze di eccellenza in settori di nicchia lavorando in contesti internazionali (ESA, UE) e nei mercati extra-UE.
Negli ultimi anni sta crescendo anche la realtà delle start-up attive nel settore spazio, realtà alle quali sono rivolte iniziative specifiche di supporto, sia direttamente tramite ASI (ad es. il programma paneuropeo di accelerazione Spacefounders) che attraverso il supporto nazionale alle specifiche iniziative dell'ESA (ad es. gli incubatori di recente istituiti in diverse regioni italiane - BIC)
Circa i due terzi delle imprese spaziali italiane (grandi e piccole) operano nel settore manifatturiero, contribuendo alla realizzazione o alla manutenzione di infrastrutture spaziali, mentre il restante terzo fornisce servizi e applicazioni spaziali per gli utenti finali (*downstream*).

L'industria spaziale italiana è composta da più di 300 aziende, 3 Associazioni Industriali, 1 Cluster nazionale, 15 distretti aerospaziali regionali, 5 incubatori imprenditoriali dedicati esclusivamente allo Spazio e un insieme di addetti stimato approssimativamente tra i 7-8000 impiegati, con un fatturato complessivo che si stima essere intorno ai 2 miliardi di euro.
Un ristretto numero di grandi gruppi domina il settore, sia in termini di occupazione sia di fatturato. Le esportazioni del settore spaziale rappresentano il 70% del fatturato, di cui oltre la metà esportate in altri paesi dell'UE (con una quota importante di ordini ESA e la collaborazione con Germania e Francia). Una relativamente piccola ma crescente quota degli ordini proviene da Paesi al di fuori dell'Unione Europea. L'industria spaziale italiana è diffusa su tutto il territorio, con distretti spaziali e cluster che rappresentano, nel settore, uno dei fenomeni più recenti e significativi ancora in forte crescita.

È in corso un'azione a livello nazionale che mira a integrare nei territori, possibilmente per aree specialistiche, le attività di grandi imprese, PMI e soggetti di ricerca (Università, Enti di Ricerca), valorizzando lo specifico e insostituibile ruolo di ogni *stakeholder*, con lo scopo di delineare linee di intervento pubblico, coordinato a livello nazionale e regionale, che massimizzino l'efficacia e l'efficienza della spesa, le sinergie e la sussidiarietà degli investimenti in un'ottica di strategia nazionale.

Merita una particolare menzione il ***Cluster*** Tecnologico Nazionale Aerospazio (CTNA), del quale fanno parte 15 Distretti aerospaziali, diverse imprese e associazioni Industriali, Enti di Ricerca e ASI, che ha l'obiettivo di assicurare, in una ottica "meta-distrettuale", la coerenza con le strategie nazionali e l'ottimizzazione delle risorse spese, sugli assi cruciali di sviluppo del settore spazio.

RICERCA E SVILUPPO

È ampiamente noto che la **ricerca scientifica italiana** nel settore spaziale è di altissimo livello, in continuità con quegli scienziati che furono i padri fondatori del settore spaziale italiano.
La comunità scientifica italiana ha ottenuto negli ultimi decenni successi senza precedenti nel campo dell'astrofisica e della cosmologia, contribuendo tra l'altro a ricostruire i primi istanti di vita dell'Universo, compiendo passi fondamentali verso la comprensione del fenomeno dei *gamma ray bursts* e delle misteriose sorgenti di raggi gamma.
È ampiamente riconosciuto che la **ricerca scientifica italiana** nel settore spaziale sia di altissimo livello, in continuità con il lavoro degli scienziati che sono stati i padri fondatori del settore spaziale italiano.

L'ASI ha dato contributi significativi all'esplorazione spaziale, realizzando strumenti scientifici che hanno viaggiato a bordo delle sonde NASA ed ESA, contribuendo alla scoperta dei segreti di Marte, Giove, Saturno, delle loro lune e delle comete.
Di conseguenza, in tutte le principali missioni pianificate per i prossimi anni – da Venere alle comete, fino ai confini più remoti del nostro Sistema Solare – sarà presente una componente italiana.
Secondo i dati OCSE del 20194, l'Italia si colloca al sesto posto nel mondo per numero di pubblicazioni scientifiche nel settore spaziale, preceduta da Stati Uniti, Cina, Germania, Regno Unito e Francia.

L'analisi bibliometrica, pubblicata nel 2018 dal OECD[2] delle pubblicazioni afferenti alle 9 missioni a partecipazione italiana nel settore dell'astrofica delle alte energie e delle particelle, mostra che la produzione scientifica nazionale contribuisce ad alzare la qualità della produzione scientifica internazionale in termini di citazioni, *H-index* e *M-index*, con valori quasi sempre molto al di sopra della media del settore Astrofisica e Astronomia dei *data Base Web of Science* (Thomson Reuters) e *Scopus* (Elsevier).

[2] *2018 OECD International Survey of Scientific Authors*

LA STRATEGIA NAZIONALE

Il settore spaziale è solidamente strutturato sia a livello di politiche nazionali che sovranazionali. Considerata l'elevata strategicità del comparto, le ampie ricadute delle sue soluzioni tecnologiche, l'orizzonte temporale di lungo periodo e i rilevanti costi associati, la pianificazione strategica e la definizione degli obiettivi risultano particolarmente accurate.

A livello nazionale, in linea con le tendenze europee, le priorità strategiche sono articolate in tre principali aree di intervento. Tali priorità dovrebbero trovare riscontro anche negli *Indirizzi di governo in materia spaziale e aerospaziale*, definiti dal Governo, che l'ASI sarà poi chiamata ad attuare attraverso obiettivi e programmi elaborati sulla base del Documento Strategico di Politica Spaziale Nazionale (DSPSN) approvato dal COMINT.

> L'ampliamento della conoscenza e l'aumento delle opportunità e dei benefici per la società, che si esplica in:
  - sostenere la ricerca scientifica e industriale e moltiplicare le competenze necessarie alla *Space Economy*
  - agire verso una Sostenibilità integrata nel settore spaziale, sviluppando strategie e opportunità per l'Italia
  - garantire la sicurezza dello spazio, delle infrastrutture di rilievo strategico e dei cittadini

> La crescita e la competitività dell'ecosistema industriale legato al settore spaziale, che si esplica in:
  - rafforzare la *leadership* dell'Italia nel settore spaziale, affrontando le sfide per un futuro innovativo
  - sostenere la crescita, il consolidamento e l'internazionalizzazione del tessuto industriale, con particolare attenzione alle PMI e start-up;
  - promuovere l'offerta di capitale di rischio per la crescita imprenditoriale

> La definizione di un contesto regolatorio e di *governance* chiaro e funzionale, che si esplica in:
>
> - assegnare allo Spazio centralità nelle politiche pubbliche
> - stabilire un quadro normativo e regolatorio favorevole alla competitività del settore spaziale
> - promuovere le relazioni internazionali e la cooperazione
> - elaborare i documenti discendenti

L'ASI, sulla base di questi indirizzi, predisporrà l'aggiornamento della documentazione strategica:

- un Documento strategico di politica spaziale nazionale 2025-2034 (che sarà approvato dal COMINT);
- un Documento di visione strategica per lo Spazio 2025-2034;

e poi formalizzerà le attività di breve-medio termine nel Piano Triennale delle Attività dell'ASI che definisce gli obiettivi, i programmi di ricerca e applicativi, nonché le risorse correlate.

GLI SCENARI TECNOLOGICI

I contenuti tecnici e gli scenari tecnologici che possono realizzare la strategia nazionale qui delineata sono stati selezionati dal Gruppo di Lavoro Airi sulle tecnologie spaziali che ha realizzato questo contributo .
Di seguito se ne riporta la lista:

1. Tecnologie per missioni "drag free"
2. Tecnologie per lo studio e il monitoraggio del sole
3. Strutture avanzate ultraleggere e adattive
4. Robotica e intelligenza artificiale: un binomio strategico nell'ambito dell'esplorazione spaziale
5. Tecnologie per il Rientro Atmosferico e l'Esplorazione
6. Sistemi avanzati per integrazione, rifornimento, trasporto e rimozione satelliti/detriti in orbita
7. Tecnologie e applicazioni per la sicurezza nello spazio
8. Tecnologie per antenne a bordo di satelliti
9. Tecnologie ed applicazioni innovative per mini e micro satelliti
10. Tecnologie per radar da osservazione della terra
11. Sistemi per la gestione e trasmissione dati ad altissima velocita nelle bande ka e x per le future missioni di osservazione della terra
12. Tecnologie avanzate basate su intelligenza artificiale
13. Tecnologie di cybersecurity per la protezione dei sistemi spaziali
14. Orologi atomici spaziali next generation
15. Tecnologie per la propulsione spaziale
16. Sviluppo nuovi propellenti solidi
17. Tecnologie per l'accesso allo spazio
18. Serbatoi e strutture di nuova generazione per lanciatori e veicoli spaziali
19. Additive manufacturing
20. Model Based System Engineering in supporto al Concurrent Design degli assetti spaziali
21. Comunicazioni quantistiche

22. Global Navigation Satellite System (GNSS)
23. Protocollo 5G New Radio Non Terrestrial Network (5G NR NTN) e 6G: estendere internet verso le reti nello spazio del futuro
24. Le tecnologie ottico-fotoniche: la frontiera da raggiungere e superare per un futuro migliore
25. Edge computing

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
ENEA
INAIL
POLITECNICO DI TORINO – CHILAB
SCUOLA NORMALE SUPERIORE DI PISA
UNIVERSITÀ DI PISA

INDUSTRIE E CENTRI DI RICERCA

BAIC AGRO ITALIA
BIOTECNOMED
BRACCO IMAGING
BREMBO
CAMOZZI AUTOMATION
CENTRO NAST
CENTRO RICERCHE FIAT
CEREAL DOCKS
CERTIMAC
CONSORZIO ITALBIOTEC
CRSLAGHI
CETMA
CIRA
COLOROBBIA CONSULTING
COMSOL
CSGI
DIASORIN
DOMPÉ FARMACEUTICI
ELETTRA SINCROTRONE TRIESTE
E.M.A
ENEL GREEN POWER
ERICSSON TELECOMUNICAZIONI
FAVARELLI
FINCANTIERI
FONDAZIONE CAVALIERI OTTOLENGHI
FONDAZIONE BRUNO KESSLER
FONDAZIONE PIEMONTE INNOVA
GEWISS
INNOVHUB – STAZIONI SPERIMENTALI PER L'INDUSTRIA
IVECO
LFOUNDRY

**Situazione soci aggiornata a maggio 2025*

MECCANO
MEMC ELECTRONIC MATERIALS – GLOBALWAFERS COMPANY
MENARINI SILICON BIOSYSTEMS
METTLER TOLEDO
PIRELLI TYRE
PROGEST
SAES GETTERS
SAIPEM
SMILAB
SPEA
STMICROELECTRONICS
TECNOALIMENTI SOCIETÀ CONSORTILE PER AZIONI
THALES ALENIA SPACE ITALIA
TODARO INDUSTRY
TXT E-TECH

PMI, LABORATORI, START UP INNOVATIVE

AIENG
ARCHA SRL
ASSING
BYRON'S HOLDING
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
WAVES ENERGY NANOTECH

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
ULIXE NOVA

Per scroprire e rimanere aggiornare
sulle iniziative, i progetti, gli eventi e le pubblicazioni,
i soci e le modalità associative di Airi visita
www.airi.it

Airi
ASSOCIAZIONE
ITALIANA
PER LA RICERCA
INDUSTRIALE

50
1974-2024





















Isbn 978-88-98935-65-9