



The European House
Ambrosetti

AtoS

Digital Twins for the Twin Transitions:
costruire “gemelli digitali”
della realtà per una società più competitiva
efficiente ed inclusiva



Digital Twins
for the Twin Transitions:
costruire “gemelli digitali”
della realtà per una società
più competitiva,
efficiente ed inclusiva

Febbraio 2023

INDICE

	Prefazioni	6
	Introduzione	14
	I. Gli attori della ricerca: l'Advisor e il Gruppo di Lavoro	15
	II. Perché questa ricerca	16
	III. Struttura del Rapporto Strategico	17
01	Che cos'è e a cosa serve il <i>Digital Twin</i>	20
	1.1 Da un modello digitale ad un gemello digitale	21
	1.2 Le componenti tecnologiche del <i>Digital Twin</i>	24
	1.3 Caratteristiche e benefici del <i>Digital Twin</i>	32
02	Il <i>Digital Twin</i> oggi e domani	40
	2.1 Il <i>Digital Twin</i> per le aziende	43
	2.2 Il <i>Digital Twin</i> nella letteratura scientifica	55
	2.3 Il <i>Digital Twin</i> nei <i>media</i> e sui <i>social network</i>	60
	2.4 Conclusioni	65
03	Use case e benefici derivanti dall'applicazione del <i>Digital Twin</i>	68
	3.1 Introduzione e schema di riferimento per l'analisi degli <i>use case</i>	69
	3.2 Use case consolidati: i <i>Digital Twin</i> di asset fisici	71
	3.3 Use case in sviluppo: i <i>Digital Twin</i> sociali	79
	3.4 Use case prospettici: i <i>personal Digital Twin</i>	87

04	Come accelerare la diffusione del <i>Digital Twin</i>	92
4.1	Gli impatti del <i>Digital Twin</i> sulle catene del valore e sulle filiere	93
4.2	Il ruolo del PNRR per l'accelerazione nell'adozione di <i>Digital Twin</i>	101
4.3	Regolamentazione e governance per i <i>Digital Twin</i>	107
4.4	Dal <i>Digital Twin</i> al metaverso	112



PREFAZIONI

Prefazione di Giuseppe Di Franco

CEO, Atos Italia

I *Digital Twin* sono una rappresentazione digitale di sistemi fisici reali. Da questi ricevono dati in tempo reale, registrandone ogni informazione durante l'intero ciclo di vita. Insieme a questi evolvono, replicandone ogni trasformazione.

Forniscono e analizzano informazioni relative ai sistemi di cui sono copia, consentendo di valutare il loro funzionamento e di anticiparne il comportamento. La loro applicazione rende quindi possibile identificare eventuali criticità e problematiche, minimizzare tempi e costi di produzione, ottimizzare le *performance*, simulare analisi di scenario con test in un ambiente sicuro e privo di rischi che consentano di individuare le azioni da implementare nel sistema reale e agevolare processi di decisione.

Per operare al meglio, i *Digital Twin* presuppongono l'inserimento all'interno di un sistema basato su Connettività, Digitalizzazione e Intelligenza Artificiale: la connettività consente l'acquisizione di dati in tempo reale; la digitalizzazione combina i componenti in un modello allineato in *real time* con i sistemi che riproduce; l'Intelligenza Artificiale permette alle macchine di imparare dall'esperienza, di adattarsi a nuovi input ed eseguire attività simili a quelle umane. L'integrazione di questi tre parametri consente il funzionamento ottimale del gemello digitale, il cui impiego può trovare applicazione in ogni settore: dalla manifattura al *retail*, dai trasporti alla sanità, dalle *smart cities* all'*industrial IoT*.

Nel settore automobilistico i *Digital Twin* possono creare modelli virtuali di veicoli analizzando i dati comportamentali e operativi del veicolo e migliorandone le prestazioni generali.

Nel *retail* possono pianificare al meglio le attività in-store, implementando la sicurezza o la gestione energetica dei locali, garantendo una *customer experience* ottimale.

Nella pianificazione urbanistica possono migliorare lo sviluppo economico e la gestione delle risorse, aumentare la qualità generale della vita dei cittadini.

In campo sanitario consentono di rivoluzionare i processi clinici e la gestione ospedaliera, di migliorare l'assistenza medica, la personalizzazione delle cure e la modellazione avanzata del corpo umano.

Se inizialmente l'idea del *Digital Twin* appariva teorica e di difficile applicazione pratica, gli sviluppi tecnologici sempre più accelerati hanno consentito una sperimentazione e diffusione ancora più intensa.

L'evoluzione dell'industria e della società, infatti, ha abbracciato una complessità crescente e sempre più spesso la capacità di gestione dell'incertezza e delle variabili rappresenta uno strumento strategico, oltre che una leva competitiva.

I *Digital Twin* sono destinati ad abbattere i vecchi confini che circondano l'innovazione dei prodotti, i complessi cicli di vita e la creazione di valore.

Oggi i *Digital Twin* sono una realtà concreta, già implementata anche in Italia da *leader* di mercato. Il loro supporto apre dunque a molteplici soluzioni sostenibili e innovative per le attuali esigenze del *business*, delle Istituzioni e della società.

Questo volume esplora alcuni scenari concreti, augurandosi che sia di ispirazione e di aiuto concreto per la loro implementazione per il successo del Paese.

Buona lettura.

***Nessuno di noi è in grado di fermare lo sviluppo tecnologico:
è qualcosa che cammina per conto suo, attraverso
sterminate ramificazioni che si estendono in tutto il mondo.***

Piero Angela

Accelerare la trasformazione digitale di imprese, istituzioni e territori è una delle più grandi leve strategiche per la competitività, l'innovazione e la sostenibilità. Non a caso, la Commissione Europea guidata da Ursula von der Leyen ha posto il digitale al centro degli obiettivi strategici dell'Unione Europea e del Next Generation EU, il Piano da oltre 800 miliardi di Euro per il rilancio post-pandemico dell'Europa. Il digitale è considerato infatti un abilitatore chiave non solo per una società più efficiente e produttiva, ma anche più sostenibile e inclusiva grazie, da un lato, alla sua capacità di monitorare, efficientare e automatizzare i processi e, dall'altro, di connettere individui e territori. In questo senso, permette di integrare sempre di più lo spazio fisico con quello digitale, costruendo così modelli interattivi della realtà che permettono di comprendere, monitorare ed agire in maniera sempre più efficace sulla realtà fisica.

Il digitale permette infatti la creazione di copie digitali della realtà, grazie a cui poter monitorare in tempo reale e interagire con oggetti, infrastrutture, processi e sistemi complessi: sono i ***Digital Twin***, i ***"gemelli digitali"***, ovvero delle copie interattive di oggetti o sistemi complessi, che permettono di analizzarne, simularne e predirne il comportamento. La caratteristica chiave dei *Digital Twin* è la capacità non solo di modellizzare digitalmente – e quindi prevedere e ottimizzare *performance* di oggetti e sistemi – ma anche quella di monitorare in tempo reale e, quindi, interagire tra il "gemello" digitale e quello reale. Con il *Digital Twin*, si abbattano le barriere tra mondo fisico e mondo digitale, creando oggetti, reti, infrastrutture e città in cui digitale e reale sono in costante interazione ed evoluzione reciproca.

Il *Digital Twin* è una soluzione tecnologica che deriva dall'adozione convergente delle tecnologie di *Internet of Things*, Intelligenza Artificiale, *Big Data*, *High Performance Computing* e connettività superveloce. In questo senso, il *Digital Twin* rappresenta una delle **espressioni più alte del percorso di trasformazione digitale** e, di conseguenza, una leva strategica per la competitività di aziende, ecosistemi e territori. Tuttavia, l'Italia è ancora in ritardo sulla strada della trasformazione digitale e, di conseguenza, in una

posizione non ottimale per cogliere tutti i benefici derivanti sia dall'adozione sistemica dei *Digital Twin*, sia dallo sviluppo di una *leadership* industriale in questa tecnologia strategica.

Per queste ragioni, insieme con Atos Italia, abbiamo deciso di mettere i *Digital Twin* al centro della nostra indagine, cercando di **individuare caratteristiche principali, traiettorie evolutive e, soprattutto, l'impatto** potenziale sul Sistema-Italia.

La ricerca evidenzia come l'impatto dei *Digital Twin* possa essere davvero dirompente per il futuro della competitività del nostro Paese. Prima di tutto, il *Digital Twin* è un mercato in forte crescita, il cui valore al 2030 è stimato a livello a circa 155 miliardi di Dollari e, dunque, una tecnologia strategica il cui mercato può valere per l'Italia fino a 12 miliardi di Euro: pari al valore aggiunto dell'intera filiera dell'Aeronautica e Aerospazio in Italia

Ma, soprattutto, l'impatto del *Digital Twin* sarà travolgente grazie all'adozione sistemica da parte di Aziende e Istituzioni a **livello di produttività, sostenibilità ed innovazione**. Il modello quantitativo di impatto che abbiamo sviluppato stima che i *Digital Twin* possano portare ad un aumento del valore aggiunto aggregato del Paese del 4,5%, pari a **12 miliardi di Euro**: un valore pari all'intera filiera tessile italiana. Inoltre, il *Digital Twin* avrà anche impatti importanti sulla decarbonizzazione dell'Italia, portando ad una **riduzione del 7% delle emissioni del Paese** rispetto ai valori del 2021: il valore di tutte le emissioni agricole del nostro Paese.

La realizzazione del modello si basa sulle robuste evidenze raccolte in letteratura e nelle interlocuzioni dirette che il gruppo di lavoro di The European House - Ambrosetti ha avuto con l'ecosistema di imprenditori, esperti e *manager*. Infatti, il modello non è stato solamente costruito dall'**analisi di oltre 60 casi d'uso** censiti in letteratura, ma anche dall'interlocuzione diretta con oltre 20 aziende e istituzioni mediante l'organizzazione di **due Tavoli di lavoro** in cui si è discusso, rispettivamente, del rapporto tra *Digital Twin* e sostenibilità e tra *Digital Twin* e innovazione. Infine, il lavoro è stato anche arricchito da **una survey** che ha coinvolto **oltre 200 imprese**, misurandone gli orientamenti su diffusione, potenzialità ed ostacoli di questa importante tecnologia. A tutti questi importanti *stakeholder* va il mio sentito ringraziamento.

Inoltre, l'analisi è stata arricchita anche dall'utilizzo di **strumenti di Intelligenza Artificiale** che, grazie ad algoritmi di *Natural Language Processing* (NLP), ci hanno permesso di analizzare l'intera produzione scientifica relativa ai *Digital Twin*, a cui abbiamo affiancato un'analisi tematica e quantitativa anche della copertura dei *Digital Twin* sui principali quotidiani e riviste internazionali e sui *social network*.

Prima di lasciarvi alla lettura di questo Rapporto, ci tengo a ringraziare profondamente l'*Advisor* scientifico di questa iniziativa, il Prof. **Giuliano Noci** (Full Professor of Strategy and Marketing, Prorettore per la Cina, Politecnico School of Management). Desidero anche ringraziare particolarmente **Giuseppe Di Franco** (CEO Atos Italia, Group Executive Vice President) e gli altri colleghi di Atos Italia: **Giorgio Ancona** (COO & Head of Tech Foundations, Digital and BDS), **Alice Di Prisco** (Head of Marketing and Communications), **Mauro Grimoldi** (Head of Strategic Initiatives & Business Development), **Vittorio Piccinini** (CTO) e **Giovanni Russo** (Chief of Staff to the CEO).

Infine, un sentito ringraziamento ai colleghi del Gruppo di Lavoro The European House - Ambrosetti formato, oltre che dal sottoscritto, da Corrado Panzeri, Matteo Polistina, Matteo Zaupa, Maurizio Gregori, Angelo Buscone, Paola Pedretti e Giulia Ercole.

Prefazione di Giuliano Noci

Full Professor of Strategy and Marketing,

Prettore per la Cina, Politecnico School of Management”

Ormai più di una semplice rivoluzione industriale, la trasformazione digitale sta innervando tutti gli aspetti della collettività: dal mondo produttivo alla ricerca, dalla finanza alla comunicazione e passando per i servizi pubblici. Dovunque si guardi, processi e prodotti sono sempre più plasmatis dal digitale, in una traiettoria che non può che essere di crescente dispiegamento e pervasività della tecnologia in maniera trasversale nei diversi settori economici, nelle istituzioni e nei territori.

In questo nuovo scenario, la digitalizzazione non è più una semplice leva tecnologica, ma una vera e propria direttrice strategica che, un tempo appannaggio esclusivo degli uffici dei *Chief Technology* o *Chief Information Officer*, assume oggi un ruolo centrale nelle riflessioni e nella pianificazione industriale formulate dai vertici aziendali e dai *board*.

Questo nuovo contesto tecnologico rende necessario, da un lato, il dispiegamento contestuale di tutte le principali tecnologie digitali: *Internet Of Things*, *Big Data* e *Cloud*, *Intelligenza Artificiale*, *High Performance Computing* e connettività 5G. Dall'altro lato, invece, richiede una maggiore ambizione dell'adeguamento di processi e competenze, elementi essenziali per muovere le leve tecnologiche e massimizzarne l'efficacia.

Ma, soprattutto, l'applicazione convergente di tutte queste tecnologie crea un paradigma strategico e competitivo del tutto nuovo: quello dei *Digital Twin*, i gemelli digitali, ovvero versioni interattive e interconnesse di un oggetto o sistema presente nel mondo reale. Il *Digital Twin* permette infatti di sprigionare il pieno potenziale del paradigma del digitale, monitorando e ottimizzando in tempo reale non solo le fasi produttive, ma ottimizzando tutto il ciclo di vita dei prodotti: dal *design* alla ricerca e sviluppo, passando per la vita operativa del prodotto e l'abilitazione di nuovi modelli di circolarità. Tuttavia, il contributo dei *Digital Twin* non si esaurisce al settore produttivo e, anzi, dispiega tutto il suo valore anche in relazione alla gestione di reti e asset complessi, quali per esempio le reti energetiche, di trasporto, di telecomunicazione e – in prospettiva – a sistemi complessi quali le città e gli individui.

In questo nuovo contesto, il digitale non è solo una chiave strategica imprescindibile per le imprese, ma anche per istituzioni e *policy makers*. Il digitale ha accelerato la pressione competitiva globale e, in un contesto internazionale fragile e conflittuale, impone scelte di politica industriale volte allo sviluppo di sovranità tecnologica e di *governance* dei dati più sensibili e strategici. Tra queste tecnologie, come evidenziato da questo studio, rientrano certamente i *Digital Twin*, grazie al loro importantissimo impatto a livello di competitività, sostenibilità e innovazione.

L'obiettivo di questo studio, a cui ho avuto il piacere di contribuire, è stato quello di presentare un quadro completo ed esaustivo di tutti gli ambiti di applicazione dei *Digital Twin*, stimandone in chiave quantitativa gli impatti e, di conseguenza, stimolando le riflessioni strategiche di istituzioni e imprese italiane al fine di accelerarne la diffusione.

L'Italia ha, negli anni, perso molti "treni" tecnologici: quello dei *Digital Twin* è uno su cui il Paese non può davvero permettersi di non salire.

INTRODUZIONE



Inquadra o clicca il Qr code per accedere
al contenuto multimediale riguardo metodologia,
struttura e risultati dell'iniziativa

I. Gli attori della ricerca: l'Advisor e il Gruppo di Lavoro

Questo Rapporto raccoglie e sintetizza le evidenze emerse "dall'iniziativa *"Digital Twins for the Twin Transitions: costruire gemelli digitali della realtà per una società più competitiva, efficiente ed inclusiva"*, realizzato da The European House – Ambrosetti in *partnership* con Atos Italia.

Lo studio si è avvalso del contributo, nel ruolo di *Advisor* scientifico, di Giuliano Noci, (*Full Professor of Strategy and Marketing* e Prorettore per la Cina, *Politecnico School of Management*).

Il Gruppo di lavoro di Atos Italia ha visto la partecipazione di Giuseppe Di Franco (*Amministratore Delegato*), Vittorio Piccinini (*Chief Technology Officer*), Alice Di Prisco (*Head of Marketing and Communications*), Giorgio Ancona (*Chief Operating Officer* e *Head of Tech Foundations, Digital and BDS*), Mauro Grimoldi (*Head of Strategic Initiatives & Business Development*) e Giovanni Russo (*Chief of Staff to the CEO*).

Lo studio è stato curato dal Gruppo di lavoro The European House – Ambrosetti guidato da Valerio De Molli (*Managing Partner* e *CEO*) e composto da Corrado Panzeri (*Partner & Head of Innotech Hub*), Matteo Polistina (*Project Leader*), Angelo Buscone (*Senior Consultant*), Matteo Zaupa (*Senior Consultant*), Maurizio Gregori (*Consultant*), Fabiola Gnocchi (*Responsabile Comunicazione & Social media*) e Giulia Ercole (*Project Assistant*).

Lo studio si è inoltre avvalso delle evidenze emerse da 2 Tavoli di Lavoro, che hanno coinvolto importanti *stakeholder* del settore privato e delle istituzioni, e dei risultati della *survey* proprietaria elaborata dall'*Advisory Board* e dal gruppo di lavoro, che ha visto coinvolte 229 aziende operanti in Italia. Queste attività di *stakeholder engagement* hanno consentito di tracciare un quadro rispetto allo stato dell'arte della diffusione e aspettative future della tecnologia *Digital Twin* nelle imprese. Per le preziose testimonianze condivise e la disponibilità si desidera ringraziare:

- **Daniela Aprea**, Responsabile della struttura Technology, Innovation & Digital Spoke, Italferr
- **Renzo Avesani**, CIO, Unipol
- **Patrizio Bianchi**, Professore Emerito, Università di Ferrara; Cattedra Unesco Education Growth and Equality; già Ministro dell'Istruzione
- **Tommaso Boralevi**, Innovation & Technology Director, MIND; Presidente, Federated Innovation @ Mind
- **Elena Bottinelli**, Head of digital transformation and transition, Gruppo San Donato
- **Giuliano Busetto**, Head of Operating Company Digital Industries, Siemens Italia

- **Giorgio Castelli**, Responsabile gruppo Service Innovation, Gruppo TIM
- **Eugenio Di Sciascio**, Vicesindaco con delega alla transizione digitale, Città Metropolitana di Bari
- **Massimiliano Garri**, Innovation & Market Solutions, Terna
- **Daniela Gentile**, Chief Innovation Officer, Ansaldo Energia: CEO, Ansaldo Greentech
- **Antonio Iavarone**, Head of AI Data & Digital, Iren
- **Francesco Longo**, Associate Professor Modeling & Simulation Center - Laboratory of Enterprise Solution, DIMEG, Università della Calabria
- **Franco Ongaro**, Chief Technology & Innovation Officer, Leonardo
- **Giovanni Ponti**, Responsabile della Divisione per lo Sviluppo di Sistemi per l'Informatica e l'ICT, ENEA
- **Lorenzo Romeo**, Responsabile Corporate Strategy, Italgas
- **Andrea Scala**, Responsabile Gruppo GIS Modellazione e Ricerca, AGSM AIM
- **Andrea Scognamiglio**, Head of Innovability, Global Digital Solutions, Enel
- **Sergio Semplici**, Direttore Product Area "Specialized Engineering", Fincantieri NexTech; Vice President Naval Services, Fincantieri Group
- **Maurizio Stumbo**, Responsabile Direzione Sviluppo Nuove Iniziative e CEO Office, Sogei
- **Giorgio Ventre**, Scientific Director Apple Developer Academy; Professore Ordinario, Università Federico II di Napoli
- **Ivan Vigolo**, Head of Technology and Solutions, ACEA

II. Perché questa ricerca

La Ricerca nasce con l'obiettivo di indagare il potenziale e gli impatti delle tecnologie di *Digital Twin* sul sistema-Paese nel contesto delle Transizioni Gemelle (transizione verde e transizione digitale). Grazie alla crescita esponenziale delle potenzialità delle tecnologie digitali, disponiamo infatti - per la prima volta nella storia - della capacità di creare non solo semplici "modelli" simulativi, ma vere e proprie copie digitali della realtà: sono i *Digital Twin*, o gemelli digitali, rappresentazioni dinamiche di oggetti fisici, sistemi, processi o persone basate sulla raccolta ed elaborazione di un'enorme mole di dati in *real time*.

Le piattaforme di *Digital Twin* sono abilitate dalla convergente maturità tecnologica, economica e industriale di una serie di tecnologie di raccolta, elaborazione e visualizzazione dei dati, tra cui sensoristica e *Internet of Things* (IoT), Intelligenza Artificiale, *Big Data*, *Cloud*, *High Performance Computing* e connettività 5G. Grazie a queste tecnologie, disponiamo di una mole di dati sufficiente - e della relativa capacità di calcolo - per costruire rappresentazioni della realtà basate su variabili multi-fisiche e multi-scala, in cui si riesce a rappresentare digitalmente singoli asset, ma anche l'interazione tra più oggetti, sistemi o processi.

Disporre di questa capacità è un elemento essenziale per rispondere alle sfide del nostro tempo, che non sono caratterizzate solo da dinamiche meccaniche e lineari, ma anche da **complessità sistemiche**, per la cui comprensione è necessaria una capacità di modellizzazione dinamica della realtà fino a pochi anni fa ritenuta inaccessibile, oggi invece possibile grazie ai *Digital Twin*.

In questo senso, il *Digital Twin* è quindi alla base di quell'intima relazione tra sostenibilità e digitale, catturata dall'espressione "**twin transition**", che vede come sinergici ed inscindibili i processi di transizione verso forme di sviluppo e consumo meno impattanti sul pianeta e quello di trasformazione digitale della nostra società.

III. Struttura del Rapporto Strategico

L'obiettivo del Rapporto è quello di sintetizzare le riflessioni emerse nel corso del percorso di ricerca e dal confronto con tutti gli attori coinvolti, per stimolare l'azione di tutta la *business community* e delle Istituzioni pubbliche affinché venga incentivato lo sviluppo e la diffusione dei *Digital Twin* nell'ecosistema dell'innovazione italiano ed europeo.

Il Rapporto Strategico è organizzato in 4 capitoli, di seguito descritti:

Capitolo 1

Il *Digital Twin* e le sue caratteristiche

Il primo capitolo definisce il concetto di *Digital Twin*, partendo dalla sua storia evolutiva ed esplorando le differenze sostanziali della tecnologia nei confronti dei suoi predecessori – *Digital Model* e *Digital Shadow*. Segue un'analisi sulla maturità tecnologica ed economica delle tecnologie che permettono il suo sviluppo. Infine, si approfondiscono i meccanismi di funzionamento, i diversi gradi di complessità e i benefici derivanti dalla sua adozione, così da fornire al lettore un quadro il più completo possibile del concetto di *Digital Twin*.

Capitolo 2

Il *Digital Twin* oggi e domani

Nel secondo capitolo vengono presentati i risultati di un'ampia ricerca che mira a comprendere l'attuale stadio evolutivo e la traiettoria futura dei *Digital Twin*. Questa ricerca è composta dalle evidenze emerse dalla survey alle imprese italiane e dall'analisi di Intelligenza Artificiale sulla letteratura scientifica, sui *media* e sui *social network*. In primo luogo, la survey alle aziende italiane ha permesso di analizzare l'attuale grado di conoscenza e adozione del *Digital Twin* in Italia. Invece, l'analisi con strumenti di Intelligenza Artificiale ha consentito di identificare i principali *trend* e settori economici in cui ricerca e opinione pubblica parlano di *Digital Twin*.

Capitolo 3

Use case e impatti

Per offrire una visione pragmatica delle potenzialità economiche del *Digital Twin*, il Capitolo 3 indaga le applicazioni della tecnologia sui diversi settori economici. Viene presentata una mappatura delle principali applicazioni dei *Digital Twin* attraverso una suddivisione in tre *cluster*: *Digital Twin* di asset fisici, che comprendono soluzioni già ampiamente adottate nel settore produttivo, nella gestione di reti, nel *real estate* e nel R&D (1); i *Digital Twin* sociali, che indagano i gemelli digitali di *smart cities*, clima, turismo e agricoltura, spesso già presenti sul mercato ma ancora in fase di sviluppo (2); e i *personal Digital Twin*, che comprendono modelli ad alta complessità e ancora prospettici, con applicazioni in ambito sanitario, *retail* e nel metaverso (3).

Capitolo 4

Come accelerare la diffusione del *Digital Twin*

Tutti i dati raccolti dalla mappatura degli *use case*, sono stati consolidati nel Capitolo 4 per la creazione di un modello di impatto in grado di stimare gli effetti di un'adozione diffusa del *Digital Twin* sulla produttività, la sostenibilità e l'innovazione dell'Italia. Successivamente, viene presentata un'analisi approfondita sul ruolo che il settore pubblico può avere per la diffusione dei *Digital Twin* in Italia. Da un lato, sono state identificate tutte le misure del PN-RR che possono contribuire, direttamente e indirettamente, alla diffusione di *Digital Twin*. Dall'altro, è stato analizzato il contesto regolatorio all'interno del quale il *Digital Twin* si può sviluppare, attraverso un'indagine sul GDPR e tutte le recenti regolamentazioni. Il rapporto si conclude con le considerazioni sulla relazione tra *Digital Twin* e il fenomeno tecnologico nascente del metaverso. All'interno del paradigma di metaverso definito da The European House - Ambrosetti, il *Digital Twin* si posiziona come un potente strumento per la realizzazione della virtualità aumentata e della realtà virtuale.

01

Che cos'è e a cosa serve
il *Digital Twin*

1.1 Da un modello digitale ad un gemello digitale

Il *Digital Twin* è una **copia digitale interattiva** di un oggetto o un sistema complesso, che permette di analizzarne, simularne e predirne il comportamento. È una soluzione tecnologica che deriva dall'adozione convergente delle tecnologie di *Internet of Things*, *Intelligenza Artificiale*, *Cloud* e *Big Data*, *High Performance Computing* e connettività superveloce, in cui i dati scambiati ed elaborati in tempo reale vengono resi fruibili grazie a sistemi di *User Experience Design*. In questo senso, il *Digital Twin* rappresenta una delle espressioni più alte del percorso di trasformazione digitale e, di conseguenza, una leva strategica per la competitività di aziende, ecosistemi e territori.

La caratteristica chiave del *Digital Twin* è l'interoperabilità tra il modello digitale e quello reale: in realtà ben più che gemelli, oggetti o sistemi fisici modellizzati digitalmente con il *Digital Twin* diventano un tutt'uno, abbattendo le barriere tra digitale e reale e permettendo all'oggetto digitale di agire e influenzare il mondo reale.

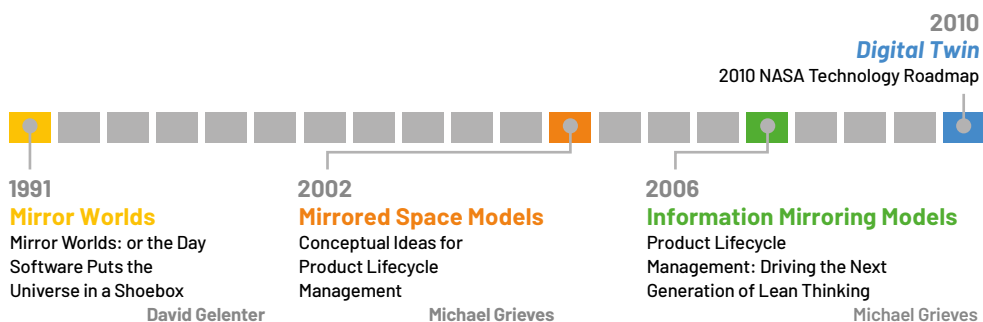
Raggiungere questo livello di interoperabilità tra il *Digital Twin* e sistemi fisici non è semplice-

mente il risultato dell'adozione di tecnologie, ma una **vera e propria direttrice strategica di sviluppo tecnologico e industriale** che coinvolge, oltre al dispiegamento di soluzioni *state of the art* a livello *hardware* e *software*, anche importanti adeguamenti a livello di processo e di capitale umano. In questo senso, il *Digital Twin* non è un risultato, ma un processo che porta alla creazione di forme di interazione e scambio tra le due copie digitali e reali sempre più sofisticate, interconnesse ed interoperabili. Vi possono infatti essere diversi gradi di maturità associati a questa tecnologia: laddove è già oggi possibile creare una copia digitale perfettamente integrata ed interattiva di un singolo oggetto (si pensi per esempio ad un componente meccanico o ad una turbina), risulta invece tecnologicamente ancora acerba la possibilità di creare *Digital Twin* di sistemi complessi.

La tecnologia dei *Digital Twin* ha acquisito una crescente maturità economica ed industriale negli ultimi anni, ma il concetto affonda le sue radici nell'evoluzione tecnologica degli ultimi decenni (**Figura 1**).

Figura 1. Storia evolutiva del concetto di Digital Twin.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023



In particolare, una prima formulazione del concetto è stata elaborata nel 1991 dall'informatico David Gelernter, che ha concettualizzato modelli *software* che imitano la realtà a partire dalle informazioni provenienti dal mondo fisico, chiamandoli "*Mirror Worlds*". Un secondo passaggio evolutivo avviene invece nel 2002, quando Michael Grieves presso l'Università del Michigan descrive un sistema che integra il dominio reale e quello digitale nel campo del *Product Life-cycle Management* (PLM), così da riuscire a creare soluzioni digitali capaci di ottimizzare il ciclo di vita dei prodotti. Il modello che viene proposto viene denominato "*Mirrored Spaces Model*" ed è costituito da tre componenti: spazio reale, spazio virtuale e meccanismo di collegamento per il flusso di informazioni tra i due. Successivamente, nel 2006, Michael Grieves sviluppa ulteriormente il modello, focalizzandosi sul fatto che il meccanismo di collegamento tra due spazi fosse **bidirezionale** e che vi fossero più spazi virtuali per un unico spazio reale in cui si potessero esplorare idee o progetti alternativi. Il nome del modello concettuale viene quindi cambiato in "*Information Mirroring Model*".

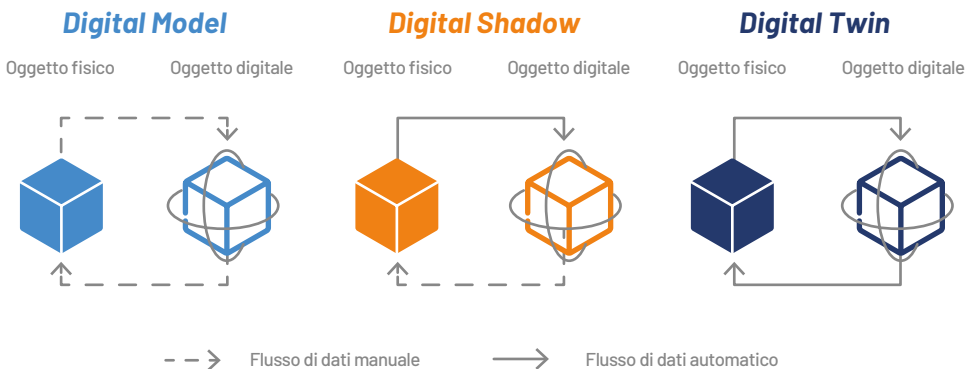
Infine, il termine *Digital Twin* compare per la prima volta nella versione in bozza della *roadmap*

tecnologica della NASA nel 2010, nell'ambito dello sviluppo di tecnologie legate all'aerospazio. Nel documento, la NASA ha proposto una prima definizione di *Digital Twin*, descritto come una simulazione integrata multi-fisica, multi-scala e probabilistica di un velivolo o di un sistema che utilizza i migliori modelli fisici disponibili, gli aggiornamenti dei sensori, la storia della flotta per rispecchiare la vita del suo gemello fisico. L'idea era quella di costruire e utilizzare il *Digital Twin* per simulare e agire in tempo reale sulle proprietà fisiche e meccaniche dell'aeromobile, in modo da prevedere eventuali sovraccarichi o indebolimenti strutturali, prolungando così la vita utile residua del velivolo e minimizzando i rischi per gli operatori umani.

La traiettoria evolutiva del concetto di *Digital Twin* mostra come non sia una semplice simulazione statica di un modello digitale, ma ne rappresenti la sua **evoluzione dinamica**: l'interattività tra la copia digitale e l'oggetto o sistema fisico reale è infatti la caratteristica distintiva di tutte le elaborazioni recenti su questa tecnologia. Per chiarire meglio il concetto è utile sviluppare e identificare le differenze tra i concetti di *Digital Model*, *Digital Shadow* e *Digital Twin*.

Figura 2. I meccanismi dei tre modelli *Digital Model*, *Digital Shadow* e *Digital Twin* a confronto.

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti, 2023



Digital Model

Un Modello Digitale (*Digital Model*) è una rappresentazione digitale più o meno completa di un oggetto fisico esistente o in fase di progettazione, che non utilizza alcuna forma di scambio automatico di dati tra l'oggetto fisico e l'oggetto digitale. Questi modelli possono includere capacità di simulazione di sistemi reali, senza però utilizzare alcuna forma di integrazione automatica dei dati tra le due copie fisiche e digitali. In

altre parole, un cambiamento di stato dell'oggetto fisico non ha alcun effetto diretto sull'oggetto digitale, e viceversa. Utilizzando questo metodo, è possibile valutare alternative di progettazione e analizzare diverse possibilità, senza la necessità di utilizzare oggetti fisici reali. Con la creazione di un modello digitale, è possibile iniziare a sviluppare modelli di simulazione che si basano su parametri statici predefiniti.

Digital Shadow

Quando inizia a stabilirsi uno scambio di dati *real-time* dal sistema reale verso il sistema digitale, si parla di *Digital Shadow*. In questo caso, un cambiamento di stato dell'oggetto fisico porta a un cambiamento nell'oggetto digitale, ma non viceversa. Lo scambio unidirezionale dal fisico al

digitale può permettere lo sviluppo di simulazioni specifiche al sistema reale e al contesto in cui i dispositivi sensoristici sono stati installati, senza dover fare affidamento a parametri statici e definiti a priori.

Digital Twin

Se i flussi di dati tra un oggetto fisico esistente e un oggetto digitale sono completamente integrati in entrambe le direzioni, si può parlare allora di *Digital Twin*. In questa combinazione, l'oggetto digitale potrebbe anche agire come istanza di controllo dell'oggetto fisico e viceversa, per cui un cambiamento di stato dell'oggetto fisico

porta direttamente a un cambiamento di stato dell'oggetto digitale e viceversa. Il funzionamento generale di un *Digital Twin* prevede, da un lato, la continua trasmissione di dati dal sistema reale al sistema digitale, dall'altro, l'eventuale trasmissione di nuovi parametri sviluppati nel gemello digitale e trasferiti al sistema fisico.

1.2 Le componenti tecnologiche del *Digital Twin*

Ad abilitare i nuovi paradigmi applicativi dei *Digital Twin* è la convergenza di cinque tecnologie chiave, che negli ultimi anni hanno raggiunto – o stanno raggiungendo – una maturità capace di fornire tutte le leve per creare una copia digitale interconnessa, in grado di analizzare la grande mole di dati trasmessi in *real-time* dai sensori installati sul sistema reale, così da gestire, predire e ottimizzare il suo funzionamento.

Il *Digital Twin* è, infatti, una soluzione tecnologica che deriva dall'adozione convergente delle tecnologie *Internet of Things*, Intelligenza Artificiale, *Cloud e Big Data* e *High Performance Computing*, in cui i dati scambiati ed elaborati grazie a connettività iper-veloce e vengono resi fruibili grazie a sistemi di *User Experience Design*.

Figura 3. Le componenti tecnologiche del *Digital Twin*.

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti, 2023



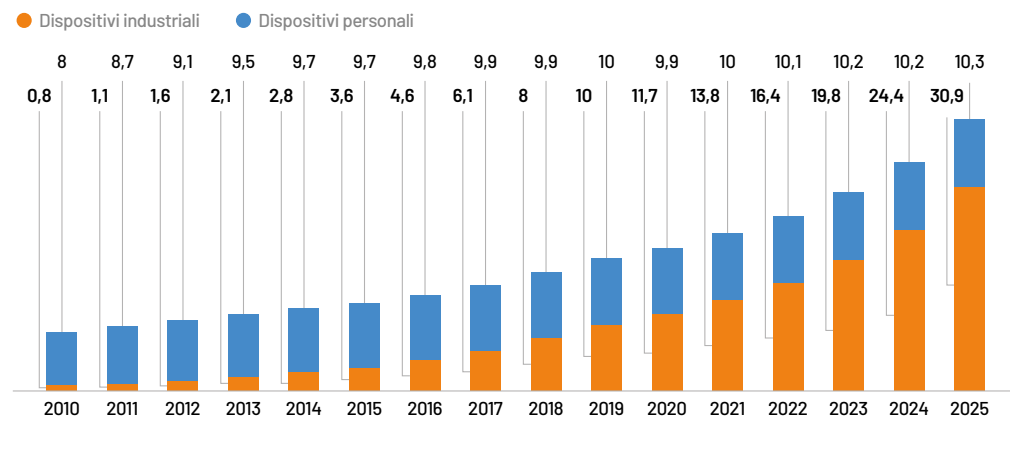
Internet of Things

L'*Internet of Things*, o IoT, si riferisce ad un portafoglio di tecnologie di sensoristica e scambio di dati grazie a cui macchine e uomini possono creare flussi di scambio di informazioni sulla cui base ottimizzare il processo produttivo con decisioni *data driven*. Grazie all'IoT, è possibile trasformare qualsiasi cosa, da un oggetto piccolo come una pillola a uno grande come un aereo,

in un dispositivo connesso in grado di dialogare e scambiare dati. Collegare tutti questi oggetti diversi e aggiungere loro dei sensori fornisce un livello di intelligenza digitale a dispositivi che altrimenti sarebbero "muti", consentendo loro di comunicare dati in tempo reale senza coinvolgere un essere umano.

Figura 4. Numero di dispositivi connessi IoT e non IoT, miliardi di unità (2010 – 2020 actual e 2021 – 2025 forecast).

Fonte: elaborazioni The European House – Ambrosetti su dati IoT Analytics, 2023



L'*Internet* delle cose sta rendendo il tessuto del mondo che ci circonda più intelligente e più reattivo, fondendo gli universi digitali e fisici. Infatti, il numero di dispositivi industriali connessi è aumentato esponenzialmente negli ultimi 10 anni, passando dagli 800 milioni del 2010 a più

di 11 miliardi nel 2020, con un'aspettativa di crescita al 2025 che supera i 30 miliardi (**Figura 4**). Il tasso di crescita dell'adozione di dispositivi IoT è molto superiore al tasso di crescita di dispositivi non-personali, ovvero tutti i *device* ad uso personale come *smartphone*, *tablet* e PC.

Intelligenza Artificiale

L'Intelligenza Artificiale (IA) si riferisce in generale all'attribuzione ad una macchina o sistema di calcolo di capacità cognitive assimilabili a quelle umane. Nella forma più elementare dell'IA, i *computer* sono programmati per "imitare" il comportamento umano ed alcune sue funzioni cognitive di base. È il caso, per esempio, del riconoscimento delle differenze tra oggetti in forma bi o tridimensionale. Nelle sue versioni più avanzate, invece, l'Intelligenza Artificiale è in grado di performare determinate attività meglio dell'intelligenza umana in termini di affidabilità, velocità e capacità di miglioramento.

I sistemi di Intelligenza Artificiale sono alimentati da algoritmi, che utilizzano tecniche di *machine*

learning dimostrano un comportamento "intelligente". Il *machine learning* è un metodo per insegnare ai *computer* a completare dei *task* attraverso un apprendimento che deriva dai dati, senza che lo sviluppatore intervenga direttamente sul processo di apprendimento, esplicitandone però a priori le regole. L'idea di base è quella di fornire alla macchina una serie di dati e lasciare che il *computer* riconosca *pattern* e schemi ricorrenti. Il modello di *machine learning* automatizza in modo efficace il processo di creazione di modelli analitici e consente alle macchine di prevedere e adattarsi a nuovi scenari in modo indipendente. L'affidabilità e la qualità di questi modelli cresce in modo proporzionale al numero di dati che vengono presentati alla macchina.

A seconda delle relative capacità cognitive, possiamo distinguere diverse tipologie di Intelligenza Artificiale:

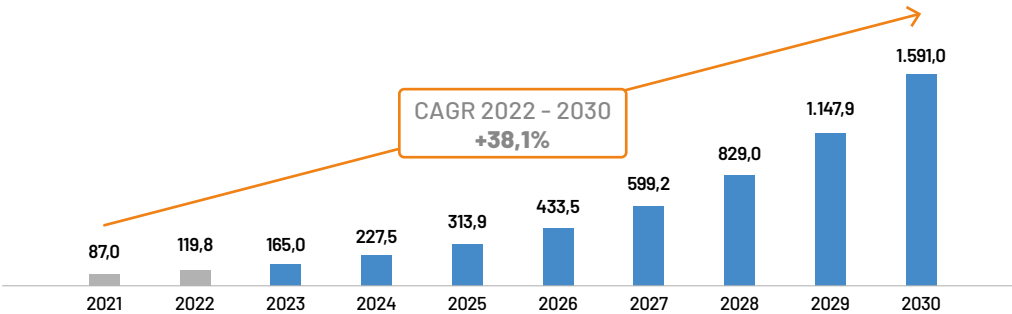
- **Artificial Narrow Intelligence (ANI):** un sistema che esegue compiti programmati definiti in modo ristretto. Questa IA ha una combinazione di reattività e memoria limitata. La maggior parte delle applicazioni IA di oggi rientra in questa categoria e permette l'esecuzione di singole task specifiche.
- **Artificial General Intelligence (AGI):** questi sistemi di IA sono in grado di comprendere ed

eseguire una vasta gamma di compiti al pari dell'intelligenza umana. Le più avanzate applicazioni di Intelligenza Artificiale rientrano, oggi, in questa categoria.

- **Artificial Super Intelligence (ASI):** è un modello che diventa autocosciente e supera le capacità dell'intelligenza e dell'abilità umana, grazie a capacità elaborative, predittive e decisionali superiori. Questa tipologia di Intelligenza Artificiale è, al momento, del tutto teorica e non ancora matura da un punto di vista tecnologico.

Figura 5. Valore del mercato dell'Intelligenza Artificiale, miliardi di Dollari, (2021-2022 actual - 2023-2030 forecast).

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti su dati Grand View Research, 2023



Le dimensioni del mercato globale dell'Intelligenza Artificiale (AI) sono stimate intorno ai 119,78 miliardi di dollari nel 2022 e si prevede

che raggiungeranno oltre 1.500 miliardi di dollari entro il 2030 con un CAGR del 38,1% dal 2022 al 2030 (Figura 5).

Cloud e Big Data

La disponibilità di dati provenienti da diverse fonti, integrati in *Data Lake* e scambiati in tempo reale, possono venire elaborati in *Cloud* o in *edge* per permettere oggi di prendere decisioni sulla

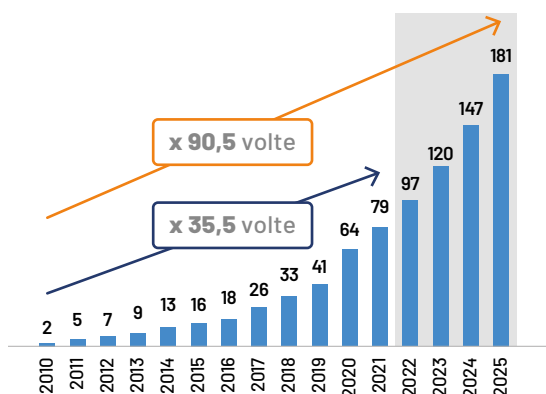
base dei dati forniti da dispositivi interconnessi. *Big Data* è il termine usato per descrivere la crescente quantità di dati che le aziende e i loro sistemi si trovano ad elaborare. A titolo di esempio,

il numero di dati prodotti negli ultimi anni a livello globale è cresciuto di 35,5 volte, passando da 2 miliardi di *Terabyte* nel 2010 a 79 miliardi nel 2021 (**Figura 6**). Considerando le previsioni di *International Data Corporation*, il volume di dati generati nel mondo crescerà ancora di più fino a raggiungere nel 2025 i 181 miliardi di *terabyte*, che corrispondono circa alla memoria di circa 1,4 trilioni di iPhone (**Figura 7**). Le 5 V dei *Big Data* – volume, valore,

velocità, varietà e veridicità – rendono la gestione e l'analisi dei dati una sfida per le *data warehouse* tradizionali. Infatti, è attraverso l'analisi dei *Big Data* prodotti dai milioni di dispositivi IoT che è possibile pensare di identificare tendenze e modelli interessanti e rilevanti, che possono essere utilizzati per la costruzione di *Digital Twin* e, dunque, informare le decisioni, ottimizzare i processi e persino guidare nuovi modelli di *business*.

Figura 6. Volume dei dati generati a livello globale, miliardi di *terabytes* – *zettabytes (2016-2021 actual – 2022-2024 forecast).**

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti su dati International Data Corporation, 2023



A tal proposito, il *Cloud* sembra essere un veicolo perfetto per ospitare i carichi di lavoro dei *Big Data*. Il *Cloud computing* è un paradigma di grande successo dell'informatica dei servizi, rivoluzionando il modo in cui l'infrastruttura informatica viene astratta e utilizzata. I tre paradigmi *Cloud* più popolari includono: Infrastruttura come servizio (*IaaS*), Piattaforma come servizio (*PaaS*) e *software* come

servizio (*SaaS*). In questo contesto, il *Cloud computing* è una soluzione valida e conveniente per supportare l'archiviazione di *Big Data* e l'esecuzione di applicazioni analitiche di dati, in quanto sembra fornire la potenza di calcolo e le capacità di aggregazione necessarie per offrire una soluzione capace di gestire i grandi volumi, l'ampia varietà e l'alta velocità con cui i *Big Data* vengono prodotti.

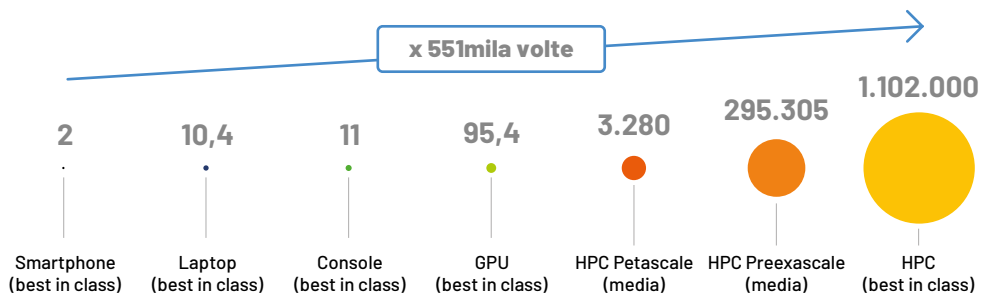
High Performance Computing

La potenza di calcolo necessaria al funzionamento di *Digital Twin* sempre più evoluti è resa disponibile da *High Performance Computer (HPC)*, ovvero dispositivi dotati di **potenza computazionale di svariati ordini di grandezza più ampia rispetto ai computer e server tradizionali**. L'*High Performance Computing* permette infatti di aggregare la potenza di calcolo di più *computer* per offrire prestazioni superiori a quelle che può fornire un computer standard. Originariamente utilizzato per risolvere problemi scientifici e ingegneristici complessi, l'HPC è oggi utilizzato da aziende di tutte le dimensioni per attività ad alta intensità di

dati. Molte università utilizzano sistemi HPC per completare i calcoli di fisica teorica, astrofisica, fisica delle particelle, cosmologia e fisica nucleare. Allo stesso tempo, le aziende che si occupano di ingegneria automobilistica, progettazione farmaceutica, esplorazione di petrolio e gas, ricerca sulle energie rinnovabili, intrattenimento e *media*, analisi finanziaria e produzione di prodotti di consumo si affidano all'HPC per il calcolo aziendale scalabile. Nel contesto dello sviluppo dei *Digital Twin*, l'utilizzo di HPC permette di eseguire simulazioni sempre più sofisticate dal punto di vista fisico, chimico e aerodinamico.

Figura 7. Potenza di calcolo (TFlop/s), 2022.

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti su dati Apple, Sony, Nvidia, HPC TOP500, 2023



I Paesi *leader* della tecnologia mondiale hanno messo in atto una vera e propria corsa per costruire HPC sempre più potenti. Attualmente, il supercomputer *Frontier* dell'*Oak Ridge National Laboratory* si è guadagnato il primo posto come il più veloce al mondo nella 59esima classifica TOP500, con delle prestazioni che superano 1,1 Exaflops¹ (Figura 8). Il sistema è il primo a raggiungere un livello di prestazioni di calcolo senza precedenti, noto come *exascale*, una soglia di un miliardo di miliardi di operazioni al secondo. Per

dare un riferimento, la sua potenza di calcolo è di 551.000 volte superiore a quella di uno *smartphone* *best-in-class* (Figura 7).

Nella classifica globale dei *supercomputer*, anche l'Italia ha un posizionamento di eccellenza grazie al nuovo *supercomputer* "*Leonardo*" inaugurato nel novembre 2022 e concepito dalla sinergia di **CINECA**, il più grande centro di computazione di Italia, con attori privati e pubblici, come **Atos Italia** e **European High Performance Computing Joint Undertaking** (EuroHPC). Il si-

¹ Nel mondo del *computing* i FLOPS (*floating point operations per second*) sono il numero di operazioni che possono essere eseguite in un secondo. 1 Exaflop corrisponde a 10^{18} flops, mentre un Teraflop indica 10^{12} flops.

stema Leonardo ha una potenza computazionale che raggiunge i 174 Peta Flops e punta a 240 peta Flops, una prestazione che lo posiziona come il quarto *supercomputer* più potente al mondo. La disponibilità di questa infrastruttura di calcolo

per le aziende italiane può diventare un importante vantaggio competitivo che potrà generare valore e opportunità di lungo termine per la ricerca, per l'innovazione e per lo sviluppo di campioni nazionali nei settori chiave del nostro Paese.

Atos e il supercomputer Leonardo



Atos ha contribuito da protagonista alla realizzazione di Leonardo, uno dei più grandi cluster HPC pre-exascale europei, basato su tecnologia BullSequana XH2000 ed equipaggiato con circa 3.500 processori Intel Xeon e 14.000 GPU di architettura Ampere di Nvidia con una *performance* di 10 ExaFLOPs in precisione ridotta, tipica delle applicazioni AI. Leonardo ha una capacità di archiviazione di oltre 100 petabyte ed una potenza computazionale che raggiunge i 174 Peta Flops e punta a 240 Peta Flops, ovvero 250 milioni di miliardi di operazioni in virgola mobile al secondo. Rispetto Marconi-100, il sistema precedentemente installato in CINECA, è prevista una potenza di calcolo 10 volte superiore.

La progettazione del sistema realizzata da CINECA ed Atos ha anche permesso di ottenere un *cluster*:

- con prestazioni ottimizzate per minimizzare gli impatti ambientali con l'obiettivo di risultare anche tra i primi cluster in TopGreen500;
- con predisposizione a 2 tipologie di calcolo: uno basato su acceleratori GPU ed uno per calcoli basati su CPU;
- 2 sistemi di archiviazione: uno per lo storage ed uno ad alte prestazioni per la memorizzazione dei dati temporanei necessari alle operazioni di elaborazione.

Connettività

Il crescente sviluppo di *Digital Twin* è fortemente legato alla sempre maggiore **connettività tra device e datacenter**, i cui progressi tecnologici permettono scambi di dati sempre più veloci, soprattutto con lo sviluppo delle reti 5G. In questo senso, la connettività superveloce è una componente necessaria per lo sviluppo dei *Digital Twin*, che hanno bisogno dell'interscambio e dell'elaborazione in tempo reale di enormi volumi di dati.

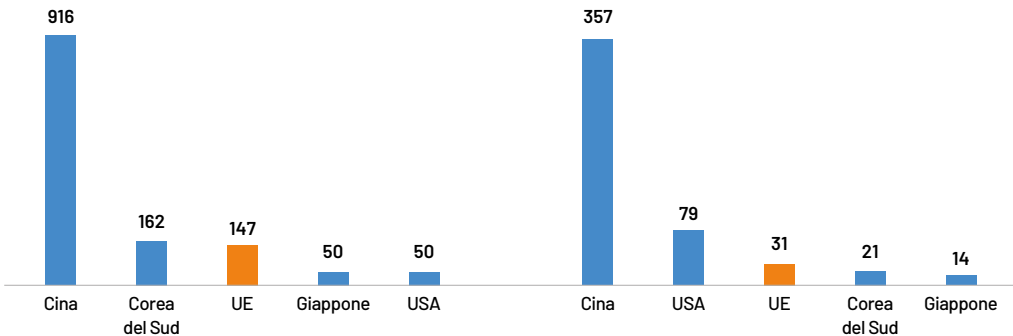
Infatti, la tecnologia 5G promette di offrire velocità di *download* notevolmente superiori alle tecnologie precedenti, arrivando fino a 10 *Gigabit* al secondo (Gbps) e permettendo di gestire un traffico di dati e un numero di dispositivi connessi – quali per esempio i dispositivi IoT – molto maggiore rispetto alle reti 4G, che offrono invece velocità di *download* di circa 100 *megabit* al se-

condo (Mbps): circa 100 volte in meno rispetto alla nuova generazione di tecnologia 5G.

Attualmente, il numero di utenti dell'Unione Europea che utilizzano la tecnologia 5G per connettersi alla rete internet è 31 milioni, inferiore ai 79 milioni negli Stati Uniti e i 357 milioni in Cina (**Figura 8**, destra). Dal punto di vista infrastrutturale, l'Unione Europea ha installato 147mila stazioni 5G contro le 50mila negli Stati Uniti e le 916mila in Cina (**Figura 8**, sinistra). Questi dati dimostrano come i Paesi Membri dell'Unione Europea stanno investendo, implementando e adottando in una tecnologia chiave per l'abilitazione di nuovi paradigmi di competitività industriale del futuro, tra cui le tecnologie di *Digital Twin*. Ciò nonostante, **l'Europa risulta in ritardo** nello sviluppo e nel dispiegamento di questa tecnologia nei confronti dei principali concorrenti globali.

Figura 8. Top 5 Paesi per numero di stazioni e di utenti 5G, in milioni (2021).

Fonte: elaborazioni The European House – Ambrosetti su dati 5G Observatory – Commissione Europea, 2023

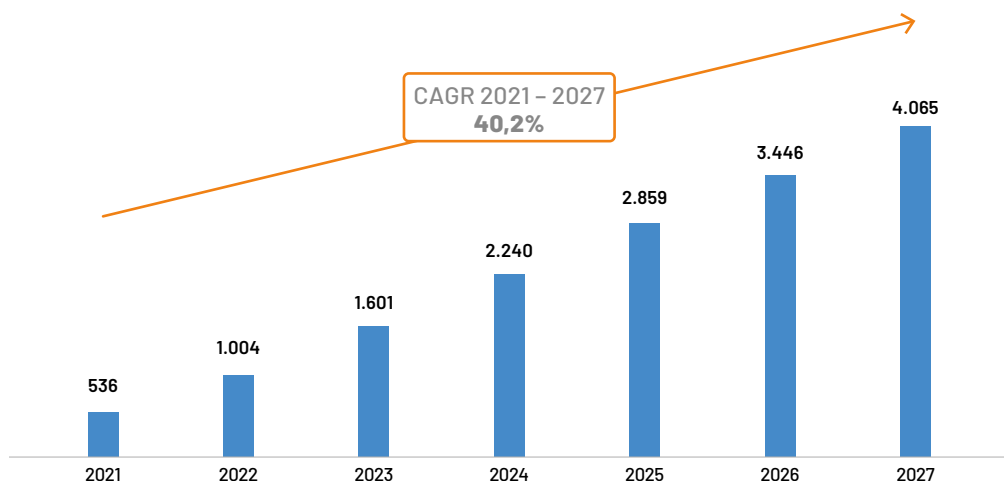


Questo ritardo è particolarmente grave dal momento che la **rivoluzione del 5G non solo è inevitabile, ma è anche imminente**. A livello globale, si stima un aumento del numero di utenti 5G dai 536 milioni del 2021 ai 4 miliardi del 2027, con un CAGR nel periodo di riferimento di +40,2%

(**Figura 9**). Una maggiore copertura e adozione delle reti 5G può consentire l'uso di sensori e dispositivi più sofisticati, che possono fornire dati sempre più precisi per la costruzione e il mantenimento di modelli di gemelli digitali.

Figura 9. Previsione degli utenti 5G, milioni di utenti (2021 actual, 2022-2027 forecast).

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti su dati Ericsson Mobility, 2023



User Experience Design

Infine, una delle componenti chiave per il successo di un *Digital Twin* è la possibilità di fruire in maniera rapida e *user friendly* dei dati e delle sue interazioni con i sistemi fisici. L'*User Experience Design* (*UX Design*) svolge un ruolo importante nella creazione di gemelli digitali, assicurando che siano di facile utilizzo per l'utente finale. Ciò può includere la progettazione dell'interfaccia utente, la determinazione del modo in cui vengono presentati i dati e la determinazione del flusso complessivo dell'interazione dell'utente con il gemello digitale. I *designer UX* per il gemello digitale devono anche considerare come sarà utilizzato e da chi, e progettarne di conseguenza l'interfaccia. Ad esempio, se il gemello digitale viene utilizzato dagli addetti alla manutenzione, l'interfaccia deve essere semplice e facile da usare, con

informazioni chiare e fruibili. Se il gemello digitale venisse utilizzato dai ricercatori, le possibilità e modalità di interazione saranno probabilmente più complesse, composte da più dati e strumenti di analisi. I *designer UX* devono anche considerare come il gemello digitale sarà integrato nel flusso di lavoro dell'utente e quali gli ambiti di utilizzo per migliorare la produttività complessiva. Ciò può comportare l'integrazione del gemello digitale nei sistemi e negli strumenti esistenti, e assicurarsi che sia facile possibile far dialogare il gemello digitale con altri strumenti e *software* aziendali, se necessario. In sintesi, il *design UX* svolge un ruolo importante nel gemello digitale, assicurando che il gemello digitale sia facile da usare, da capire e da interagire, e aiuta a rendere il gemello digitale uno strumento efficace per l'utente.

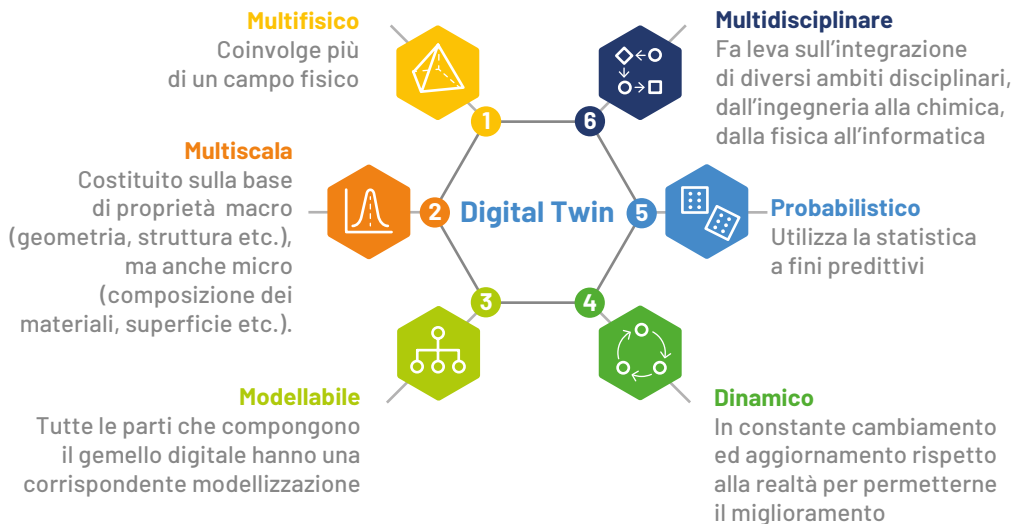
1.3 Caratteristiche e benefici del *Digital Twin*

L'unione e convergenza di queste tecnologie definiscono le caratteristiche dei *Digital Twin* che

permettono di simulare, predire e ottimizzare la *performance* di sistemi reali.

Figura 10. Le caratteristiche di un *Digital Twin*.

Fonte: elaborazioni The European House – Ambrosetti, 2023



1. Un gemello digitale è **multifisico** perché simula più sistemi o fenomeni fisici, includendo al suo interno sistemi meccanici, elettrici, termici, fluidodinamici e di altro tipo. Questo deriva dalla necessità di integrare le interazioni fisiche di sistemi e prodotti del mondo reale: per esempio, un gemello digitale di un motore di un aereo deve simulare il movimento meccanico delle parti, i sistemi elettrici che lo alimentano e le dinamiche termiche del processo di combustione.
2. Un gemello digitale è **multiscala** perché simula un sistema a più scale o livelli di dettaglio.

Ciò può includere la simulazione di un sistema nella macroscale, come il comportamento complessivo di un'intera fabbrica, e nella microscale, come il comportamento dei singoli componenti all'interno della fabbrica. Infatti, molti sistemi e prodotti del mondo reale hanno un comportamento che non può essere compreso appieno osservando solo una scala o un livello di dettaglio. Ad esempio, un gemello digitale di un edificio dovrebbe simulare il consumo energetico complessivo e la distribuzione della temperatura nell'edificio, oltre al

comportamento dei singoli componenti, come i sistemi di riscaldamento, l'illuminazione e i modelli di occupazione.

3. Un gemello digitale è **modellabile** perché è composto da un insieme di componenti che possono essere facilmente aggiunti, rimossi o sostituiti. Ciò consente una flessibilità nella progettazione e nello sviluppo del gemello digitale, oltre che nel suo utilizzo e nella sua manutenzione. La modularità consente di sviluppare, aggiornare e testare parti diverse di un gemello digitale in modo indipendente, il che può accelerare il processo di sviluppo e facilitare la manutenzione del gemello digitale. Inoltre, consente di adattare il gemello digitale a diversi casi d'uso, aggiungendo o rimuovendo moduli secondo le necessità.
4. Un gemello digitale è **multidisciplinare** perché prevede l'integrazione di più campi di studio nella sua progettazione, sviluppo e utilizzo. Questo può includere campi come l'ingegneria, l'informatica, la fisica, la chimica e la matematica.

5. Un gemello digitale è **probabilistico** perché implica l'uso della probabilità e della statistica nella sua progettazione, sviluppo e utilizzo. Ciò può includere l'uso di modelli probabilistici, metodi statistici e algoritmi di *machine learning* per simulare il comportamento del sistema reale. Infatti, i gemelli digitali tengono conto dell'incertezza e della variabilità presenti nei sistemi del mondo reale e incorporano probabilità e statistiche basati sui dati real-time raccolti attraverso sensoristica per simulare il comportamento del sistema. Così facendo, modelli di *Digital Twin* possono prevedere con maggiore precisione il comportamento e le prestazioni di un sistema in diverse condizioni.
6. Infine, il *Digital Twin* è un sistema **dinamico**, in quanto l'interazione bidirezionale con il sistema reale conferisce alla copia digitale la possibilità di rimanere in costante aggiornamento rispetto alla realtà per permetterne il miglioramento.

Figura 11. Applicazioni industriali del *Digital Twin* nelle diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto.

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti, 2023



Grazie a queste caratteristiche, un *Digital Twin* è in grado di **rivoluzionare tutto il ciclo di vita di un prodotto**: dalle fasi di *design*, ricerca e sviluppo fino alla gestione del fine vita e dello smaltimento. Nelle fasi di **progettazione** di un prodotto, *designer* e progettisti possono utilizzare il gemello digitale nei seguenti modi:

- Per prototipare nuove idee e stimolare una serie di scenari “*what-if*” utilizzando test virtuali che possono includere interazioni di sistema, test di prodotto ed esperienza del cliente;
- Condurre test virtuali per rilevare le interferenze tra i vari componenti del sistema, valutare l’ergonomia e prevedere il comportamento dell’apparecchiatura in una varietà di ambienti e situazioni;
- Ridurre i costi di sviluppo e migliorare l’affidabilità del prodotto finale.

Nelle **fasi produttive**, invece, il gemello digitale può aiutare per:

- Facilitare la collaborazione tra i diversi *team* di produzione;
- Utilizzare le soluzioni di gemellaggio digitale per chiarire le specifiche del sistema con i vari fornitori di componenti, in modo che il progetto finale possa essere ottimizzato per la produzione;
- Testare e ottimizzare la linea di produzione per quanto riguarda il *layout*, i flussi di materiali e i processi, prima che possa essere installata nello stabilimento di produzione;
- Utilizzare la tecnologia per l’assicurazione della qualità, convalidando l’utilizzo della corretta iterazione del progetto nella linea di produzione, confrontando il prodotto finito con il suo modello gemello digitale.

Il gemello digitale può supportare le fasi di **funzionamento e vita operativa** di un sistema perché:

- Dopo la consegna del prodotto alla sede del cliente, la tecnologia può essere utilizzata per impostare l’apparecchiatura da remoto, ridu-

cendo i costi di assistenza per i clienti.

- Dopo l’installazione, la tecnologia può essere utilizzata dal produttore per accumulare i dati relativi alle sue prestazioni e alle condizioni operative. I dati acquisiti possono essere utilizzati per generare approfondimenti relativi alle tendenze di utilizzo.
- La tecnologia può anche essere utilizzata per trasferire vari aggiornamenti *over-the-air* per le apparecchiature, al fine di ottimizzare le prestazioni in base alle tendenze di utilizzo. I produttori possono anche introdurre nuovi modelli di *business*, in cui i dati ottenuti attraverso il gemello digitale possono essere forniti agli utenti finali delle apparecchiature per un utilizzo efficace.

Importanti sono inoltre gli effetti dei *Digital Twin* sull’ottimizzazione delle attività di **manutenzione**. Infatti, questa tecnologia permette di:

- Tracciare le informazioni relative al funzionamento del prodotto, consentendo così al produttore di prevedere un eventuale guasto dei componenti e di programmare un controllo di manutenzione prima del guasto.
- Effettuare regolazioni preventive a distanza senza recarsi sul campo per riparare fisicamente il sistema; questo può aiutare i tecnici a diagnosticare le condizioni dell’apparecchiatura e a trovare la causa principale del guasto attraverso il *Digital Twin*.
- Eseguire una pre-diagnosi delle condizioni del prodotto o sistema attraverso il gemello digitale, che consente ai tecnici di ordinare i pezzi di ricambio, prima di recarsi sul posto per eseguire le riparazioni.

Inoltre, il *Digital Twin* permette di efficientare anche il processo di smaltimento e **fine del ciclo di vita** del prodotto, grazie a cui:

- i produttori possono utilizzare il gemello digitale per decidere quale componente può essere riutilizzato, ricondizionato, riciclato o rottamato.

- L'utilizzo del *Digital Twin* nel ciclo di vita dei prodotti non si esaurisce, però, con il fine vita degli stessi. Ma, anzi, grazie alla continua raccolta ed elaborazione dei dati, è possibile uti-

lizzare un *Digital Twin* per migliorare la progettazione stessa di nuovi prodotti, consentendo un'ingegnerizzazione sempre più efficiente e la creazione di un circolo virtuoso di innovazione.

Figura 12. Le principali fasi che compongono il funzionamento di un *Digital Twin*.

Fonte: elaborazioni The European House – Ambrosetti, 2023



Infine, i *Digital Twin* possono avere un impatto non solo sul ciclo di vita dei prodotti, ma anche sull'ottimizzazione e funzionamento di processi e funzioni aziendali. Il *Digital Twin* non è infatti solo una leva tecnologica, ma anche una preziosa leva strategica in grado di incidere e plasmare il funzionamento delle organizzazioni, creando gemelli digitali non solo di oggetti o linee produttive, ma anche di processi e flussi di scambio di informazioni interni. In questo senso un *Digital Twin*, reso fruibile e accessibile anche nella sua componente di user experience, può diventare anche un potente acceleratore della cultura digitale all'interno di un'impresa, abilitando modelli di collaborazione e scambio delle informazioni sempre più efficienti.

L'innovazione dei modelli di *Digital Twin* deriva dalla capacità di interazione bidirezionale tra il sistema fisico e la copia digitale. Questo meccanismo avviene grazie ad un processo iterativo di **continuo scambio e raccolta dati tra i due ge-**

melli, definizione dei parametri su cui effettuare le simulazioni, trasmissione ed analisi dei dati. Semplificando, è possibile immaginarsi un processo composto da 7 fasi:

- **Raccolta dati:** attraverso l'installazione e utilizzo di apparecchi di sensoristica sui vari componenti degli oggetti fisici, vengono raccolti dati dei principali processi di funzionamento
- **Analisi e trasmissione:** i dati immagazzinati vengono analizzati, con l'obiettivo di individuare, monitorare, valutare e prevedere lo stato e funzionamento del sistema fisico nelle condizioni attuali
- **Variazione parametri:** l'analisi passa dalla fase prettamente di monitoraggio ad una fase di variazione dei parametri, in modo tale da creare possibili scenari e configurazioni alternative allo *status quo* del sistema fisico
- **Simulazione nuovi parametri:** attraverso la configurazione dei nuovi parametri e lo stori-

co di dati e di pattern raccolti nel sistema attuale, è possibile eseguire simulazioni con le configurazioni ri-parametrizzate.

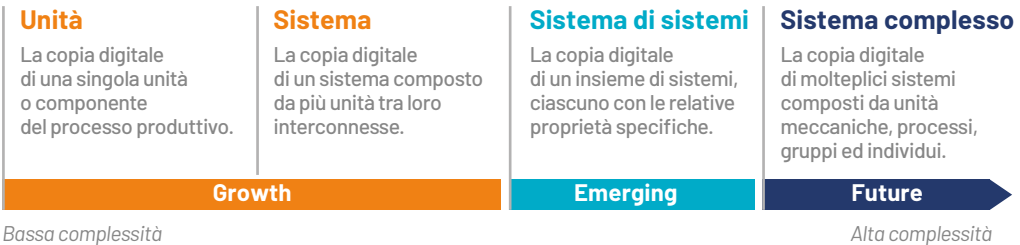
- **Valutazione simulazioni:** lo studio dei risultati derivanti dall'esecuzione delle simulazioni permette di valutare potenziali configurazioni migliori che allungano la vita del sistema fisico o che migliorano l'efficienza produttiva ed energetica
- **Configurazione del nuovo sistema:** se viene identificata una configurazione che, attraverso simulazione, risulta migliore di quella attuale, il sistema digitale comunica e cambia i parametri del sistema fisico in modo automatico (o anche manuale)
- **Status quo del sistema:** questo meccanismo non porta ad uno stato finale, ma ad un nuovo stato iniziale su cui continuerà l'implementazione degli step di analisi, parametrizzazione

e simulazione, così da creare un *feedback* continuo e virtuoso.

Bisogna tuttavia sottolineare come i *Digital Twin* mostrino gradi diversi di interazione reciproca tra modello fisico e modello digitale, in cui il livello di sofisticazione sia della modellizzazione digitale, sia della sua capacità di retroazione sul mondo reale possono variare in modo considerevole. Questa variazione può essere funzione del settore industriale, della complessità intrinseca dell'oggetto che si va a modellizzare o delle diverse scelte di investimento tecnologico operate dalle Aziende. Ne consegue come il *Digital Twin* non sia una tecnologia "binaria", che semplicemente è utilizzata o non è utilizzata, ma è il frutto di un **percorso strategico di investimento tecnologico**, adeguamento dei processi e del capitale umano di medio-lungo periodo.

Figura 13. Tipologie di Digital Twin sulla base del grado di complessità.

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti, 2023



Ovviamente, più è semplice l'oggetto o sistema fisico da modellizzare digitalmente, più il *Digital Twin* potrà essere accurato. In questo senso, **a seconda del grado di complessità del sistema reale** si possono individuare **diverse tipologie** di *Digital Twin*. Infatti, la modellizzazione di un *Digital Twin* può variare da singoli componenti fisici fino ad arrivare a sistemi sociali complessi, a cui sono associati diversi livelli di *readiness* tecnologica. A titolo di esempio, è possibile costruire il *Digital Twin*

di un singolo componente meccanico di un motore termico, quale per esempio un pistone (*Digital Twin* unitario), di un motore (*Digital Twin* sistemico), di un'intera automobile (sistema di sistemi) e, in prospettiva, di un'intera rete autostradale (sistema complesso). Attualmente, si riscontra un discreto grado di maturità tecnologica associato allo sviluppo di *Digital Twin* di oggetti fisici o sistemi dalla bassa complessità intrinseca; la modellizzazione di "sistemi di sistemi" è invece l'attuale frontiera

tecnologica; mentre la modellizzazione di sistemi complessi (quali per esempio città, reti multimoda-

li, individui etc.) rappresenta il futuro dello sviluppo di questa tecnologia.

Unità

Il *Digital Twin* a più basso livello di complessità, già ampiamente adottato in tante aziende, è il gemello digitale di singoli componenti fisici. La modellizzazione di *Digital Twin* di sistemi fisici semplici prevede l'identificazione dei principali parametri in grado di monitorare il funzionamento del sistema fisico. Per esempio, la modellizzazione e digitalizzazione di un singolo compo-

nente meccanico del motore di un'automobile è una soluzione digitale che viene già ampiamente adottata da molte case automobilistiche sia in fase di progettazione che sui veicoli commercializzati. Questi sistemi di monitoraggio sono in grado di analizzare e prevedere il funzionamento del componente e ottimizzarne la *performance*.

Sistema

Il grado di complessità di un *Digital Twin* aumenta quando si intende modellizzare un sistema composto da più unità tra loro interconnesse. Può essere utilizzato per simulare le operazioni dell'intero sistema e prevedere le prestazioni dell'intero sistema. La differenza principale è il livello di generalità e la portata della rappresentazione: se *Digital Twin* di un componente è più specifico in termini di rappresentazione, il *Digital Twin* di un sistema si concentra sulle interconnessioni e le interazioni dell'intero sistema.

In questo caso, la parametrizzazione non solo del funzionamento di singoli componenti, ma anche della loro interazione, richiede uno sforzo ingegneristico e computazionale maggiore. Un esempio di *Digital Twin* di sistema nel settore *automotive* è il motore. Infatti, la modellizzazione di un motore di un veicolo presume la modellizzazione e installazione di sensoristica su diversi componenti del motore, e inoltre la capacità di individuare e mettere in relazione il grande volume di dati proveniente da ciascuno di essi.

Sistema di sistemi

Quando vengono integrati all'interno dello stesso *Digital Twin* più sistemi, ciascuno con le relative proprietà specifiche, il grado di complessità e la necessità di risorse tecnologiche

avanzate aumentano. Nonostante esistano già esempi di implementazione di sistemi di sistemi, il livello di affidabilità e maturità di questi gemelli digitali è ancora da migliorare.

Sistema complesso

La creazione di sistemi complessi si può considerare come il massimo sviluppo dei *Digital Twin*, in quanto è il consolidamento di sistemi composti da unità meccaniche, processi, gruppi e individui. La componente individuale e sociale dei sistemi complessi rende la modellizzazione e implementazione molto difficile, soprattutto a livello di precisione e affidabilità. Il gemello

digitale di un ospedale è un sistema complesso, che necessita l'analisi di un enorme volume di informazioni di pazienti, del personale, delle infrastrutture e delle attrezzature. Può essere utilizzato per simulare le attività dell'ospedale e prevedere potenziali colli di bottiglia nel flusso dei pazienti, nell'uso delle attrezzature e nelle esigenze del personale.

02



Il Digital Twin
oggi e domani

La tecnologia *Digital Twin* è in rapida evoluzione, con livelli di adozione e di sviluppo tecnologico sempre crescenti. Al fine di delineare le traiettorie future della tecnologia diventa importante, in un contesto di rapida crescita tecnologica e industriale, non solo comprendere quali sono i livelli di adozione della tecnologia nelle imprese, ma anche quali sono le principali direttrici della ricerca scientifica di base e applicata, la cui analisi può permettere di definire gli ambiti che stanno subendo maggiore impulso. Infine, laddove si analizzino tecnologie di impatto sistemico, risulta di interesse anche approfondire il percepito da parte dell'opinione pubblica, dal momento che può stimolarne l'adozione da parte delle istituzioni ed influenzarne le traiettorie di regolamentazione.

Di conseguenza, per riuscire a comprendere l'attuale livello di conoscenza e adozione dei

Digital Twin e prevedere lo sviluppo futuro dello stesso, è stato seguito un approccio metodologico tripartito che mira ad esaminare, secondo un quadro analitico coerente, **diffusione e percezione dei Digital Twin nelle aziende, nella letteratura scientifica e nell'opinione pubblica**, indagando quindi il percepito e la diffusione su *media* e *social network* (Figura 1).

A livello metodologico, il percepito delle aziende è stato analizzato mediante la somministrazione di una survey ad un *pool* di 229 imprese; il *Digital Twin* nella letteratura accademica, sui *social media* e sui *media* è stato analizzato mediante l'applicazione di algoritmi di Intelligenza Artificiale – in particolare di *Natural Language Processing* (NLP) – su tutte le circa 12mila pubblicazioni scientifiche, 41mila articoli di giornale e 74mila tweet in lingua inglese che contengono il termine *Digital Twin*.

Figura 1. Dati e metodologia dell'analisi sullo stato attuale di adozione e conoscenza dei Digital Twin.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023



Per dare maggiore profondità alla ricerca, può essere utile situarla all'interno di un quadro teorico in grado di spiegare le traiettorie di sviluppo delle nuove tecnologie. A tal fine, è stato preso in considerazione il modello del *Product Life Cycle*, introdotto nel 1960 da Theodore Levitt, che descrive le quattro fasi che un prodotto attraversa dalla sua ideazione al suo superamento. In particolare, secondo tale modello, le tecnologie seguono una traiettoria di sviluppo ripartita in quattro fasi (Figura 2):

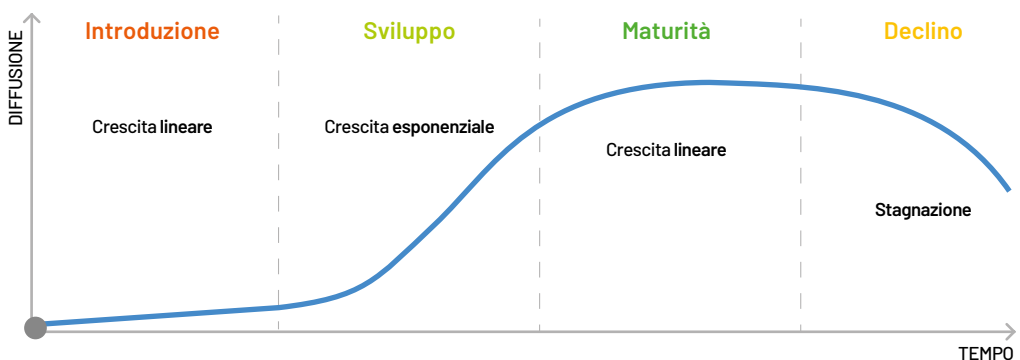
- **Introduzione:** è la fase in cui il prodotto viene sviluppato e introdotto per la prima volta sul mercato. In questa fase, il prodotto ha ancora grandi margini di miglioramento, il numero di *adopter* è ancora basso e i tassi di crescita sul mercato sono lineari;
- **Sviluppo:** le numeriche iniziano a crescere in modo esponenziale con un numero di *adopter* sempre maggiore;

- **Maturità:** quando il prodotto si afferma sul mercato, la crescita delle vendite inizia a rallentare ma i livelli di adozione di diventano pervasivi;
- **Declino:** l'adozione estesa della tecnologia porta ad una saturazione commerciale che diminuisce le numeriche e la sua crescita. L'eventuale introduzione di nuove soluzioni comporta il suo declino.

In quale di queste fasi si trova la tecnologia del Digital Twin? Quali i trend più rilevanti per il presente e quali invece le traiettorie già delineate per il suo sviluppo futuro? Nel presente capitolo cercheremo di dare una risposta a questi interrogativi grazie ai risultati della survey alle imprese, all'analisi della letteratura scientifica relativa ai *Digital Twin* ed alla relativa copertura su *media* e *social network*.

Figura 2. La curva di sviluppo delle tecnologie secondo il modello del Product Life Cycle.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023



2.1 Il Digital Twin per le aziende

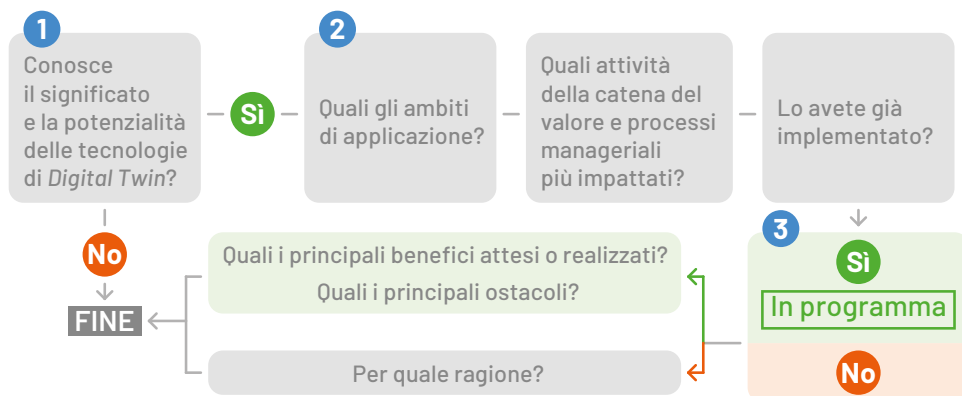
Per misurare lo stato attuale di adozione delle tecnologie di *Digital Twin* nelle imprese italiane, si è proceduto con il somministrare una **survey ai vertici di oltre 200 imprese** parte del network The European House – Ambrosetti. Le evidenze del sondaggio hanno permesso di indagare i livelli di diffusione delle tecnologie *Digital Twin* in Italia, raccogliendo elementi quantitativi e qualitativi sugli approcci e sulle esperienze delle imprese italiane in merito all'implementazione e all'utilizzo di queste tecnologie. L'indagine si è posta l'obiettivo quantificare l'attuale conoscenza dei *Digital Twin*, fornendo indicazioni sulle barriere e sui fattori abilitanti della tecnologia, così da comprenderne le potenzialità e le sfide d'implementazione e velocizzarne la diffusione futura.

Il percorso di compilazione della survey è stato **differenziato sulla base dei diversi livelli di conoscenza e implementazione della tecnologia dei Digital Twin**. In particolare, dopo una prima sezione dedicata a definire il profilo "anagrafico" delle

aziende rispondenti, con dettagli circa il dimensionamento, la geografia di riferimento, la carica dei rispondenti e i livelli di tecnologia già implementati, con la survey si è voluto in primo luogo analizzare la conoscenza della tecnologia dei *Digital Twin*. In questo modo, a chi si è dichiarato familiare con il concetto di *Digital Twin*, è stato richiesto l'eventuale livello di implementazione, distinguendo tra i soggetti che lo hanno già implementato, chi lo ha in programma e chi non ne prevede un utilizzo nel futuro immediato. A chi lo ha implementato, o ne ha programmato il dispiegamento, abbiamo così sondato benefici ottenuti – nel primo caso – o attesi – nel secondo. Al contrario, a chi non ne prevede una implementazione ne abbiamo chiesto i razionali di questa scelta di non investimento. Infine, volgendo uno sguardo al futuro della tecnologia, si è proceduto con l'indagare gli ambiti di applicazione a maggiore potenziale di crescita della tecnologia, insieme con le attività della catena del valore che verranno maggiormente impattati (**Figura 3**).

Figura 3. Il percorso di compilazione della survey.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023

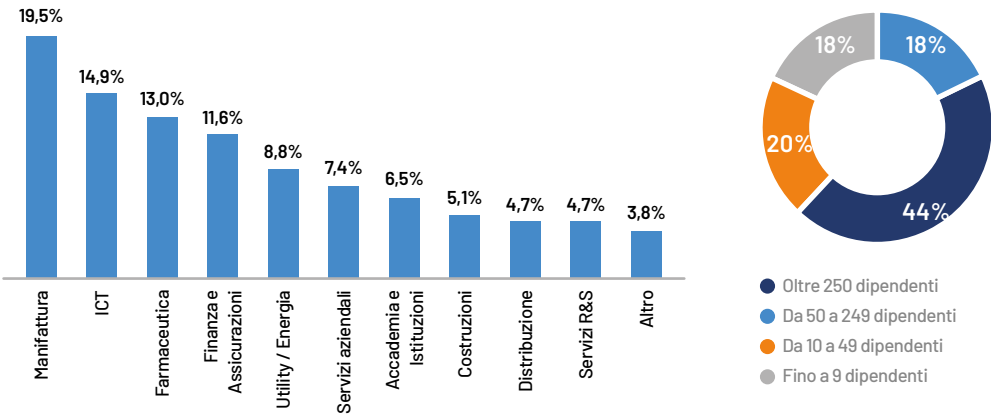


Su un totale di 229 compilazioni, a **livello settoriale** il 19,5% dei rispondenti è rappresentato da aziende manifatturiere, seguito da aziende ICT (14,9%), imprese nel settore farmaceutico (13,0%), finanza e assicurazioni (11,6%), *utility* ed ener-

gia (8,8%), servizi aziendali (7,4%) e distribuzione (6,5%). Dal punto di vista dimensionale, il 44% delle imprese rispondenti sono di grandi dimensioni, il 18% sono imprese medie, il 20% piccole e il restante 18% sono microimprese con meno di 10 dipendenti.

Figura 4. Rispondenti alla survey per settore e per dimensioni (% sul totale).

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

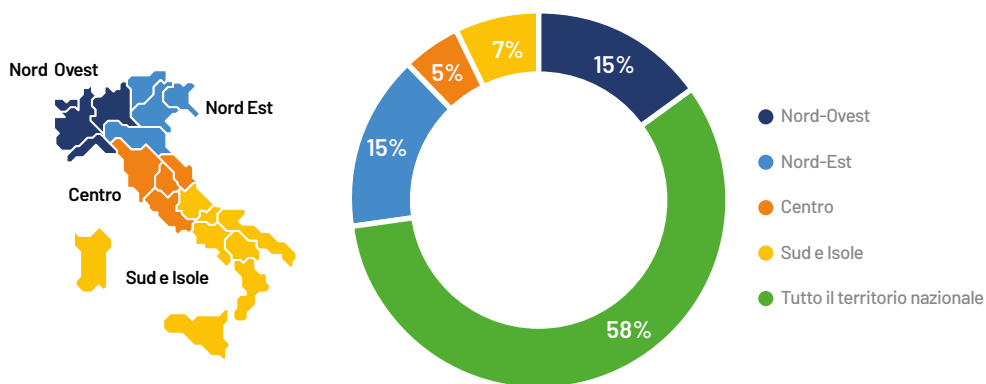


Da un punto di vista geografico, invece, più della metà dei rispondenti operano con la propria

azienda su tutto il territorio italiano (58%) o nel Nord del paese (30%).

Figura 5. Rispondenti alla survey per territorio (% sul totale).

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

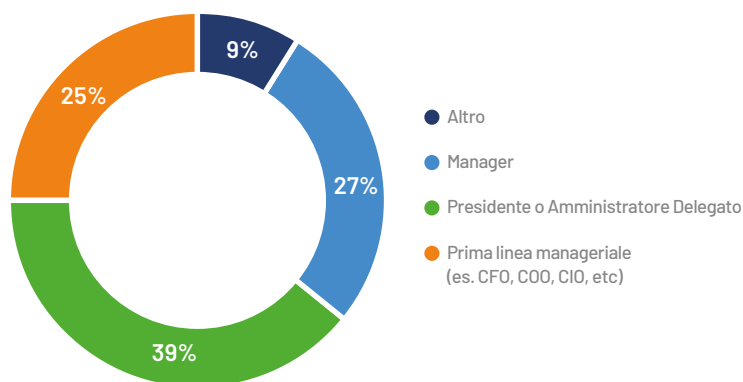


Infine, a livello di carica aziendale, il **39% dei rispondenti è composto da Presidenti o Amministratori Delegati** delle aziende, al 25% dalla prima

linea manageriale (come CFO, COO, CIO) e al 27% da *manager* di secondo livello.

Figura 6. Rispondenti alla survey per carica aziendale (% sul totale).

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

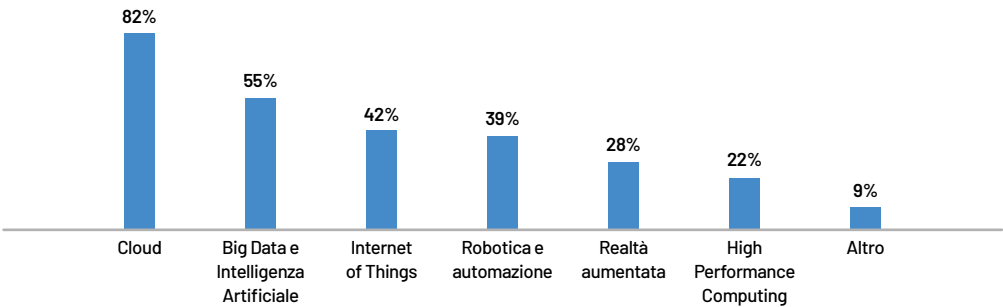


Da un punto di vista tecnologico, la maggioranza delle imprese sondate è già in una fase avanzata del percorso di trasformazione digitale, avendo già implementato soluzioni di *Cloud computing*, *Big Data* e Intelligenza Artificiale. In particolare, è emersa un'adozione altamente diffusa

del *Cloud & Big Data* nelle imprese (82%), seguita da tecnologie di Intelligenza Artificiale (55%) e *Internet of Things* (42%). L'*High Performance Computing* è ad oggi la tecnologia meno utilizzata, con solo un'azienda su cinque che l'ha inserita nei propri processi aziendali.

Figura 7. Risposte al quesito “Quali tecnologie digitali utilizzate nella vostra azienda?” (scelta multipla).

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

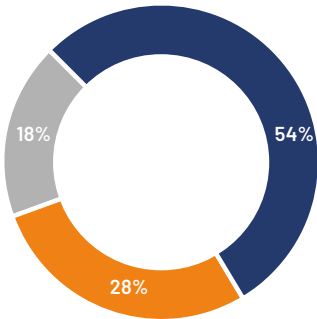


Una volta definita l'anagrafica dei rispondenti, il primo quesito dell'indagine ha voluto sondare il livello di conoscenza delle imprese relativamente ai *Digital Twin*. Gli esiti dimostrano che **la maggior parte dei rispondenti conosce la tecnologia e gli ambiti di utilizzo (54%)**, a cui si aggiunge un 28% composto da persone che conoscono la tecnologia, ma non ne sono familiari. Infine, il restante 18% non conosce significato e potenzialità dei *Digital Twin*.

Figura 8. Risposte al quesito “Conosce il significato e la potenzialità delle tecnologie di Digital Twin (gemelli digitali)”.

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

- Sì, conosco la tecnologia e i suoi utilizzi
- Sì, ne ho sentito parlare ma non ho ben chiaro gli ambiti di utilizzo
- No, non ne ho mai sentito parlare



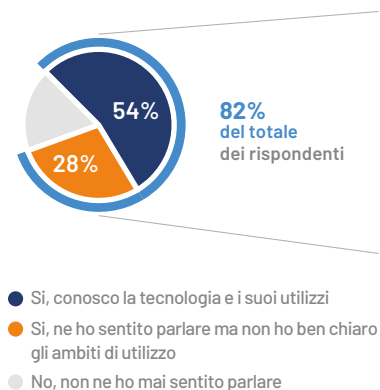
I rispondenti che conoscono il significato di *Digital Twin*, in modo approfondito o superficiale (corrispondente al 82% dei rispondenti), sono stati interrogati sui principali settori in cui il *Digital Twin* ha spazi di applicazione. Il 57% di questa sotto-popolazione ritiene che il *Digital Twin* avrà un impatto sul settore delle **infrastrutture e mobilità** (57%) e nel campo della **manifattura e altri processi produttivi** (57%). Questi risultati dimostrano come il principale ambito applicativo riguarda la creazione di *Digital Twin* di sistemi fisici come strade, veicoli e macchinari produttivi. Ciò nonostante, si può osservare come ci siano grandi aspettative verso l'implementazione della

tecnologia nel settore sanitario, con la creazione di *Digital Twin* che, attraverso le proprie simulazioni, possono migliorare la ricerca, la prevenzione e l'efficacia delle terapie. Seguono altri settori che sono caratterizzati da una forte componente sociale, come le *smart cities* (47%), la sostenibilità e transizione verde (39%) e il metaverso (32%). Si osserva, inoltre, che quasi una persona su tre si aspetta l'arrivo di *personal Digital Twin*, capaci di simulare il comportamento individuale nelle sue varie sfere sociali (28%). Nel complesso, i risultati dimostrano una forte aspettativa di **una tecnologia trasversale**, capace di essere implementata in diversi ambiti e per molteplici finalità.

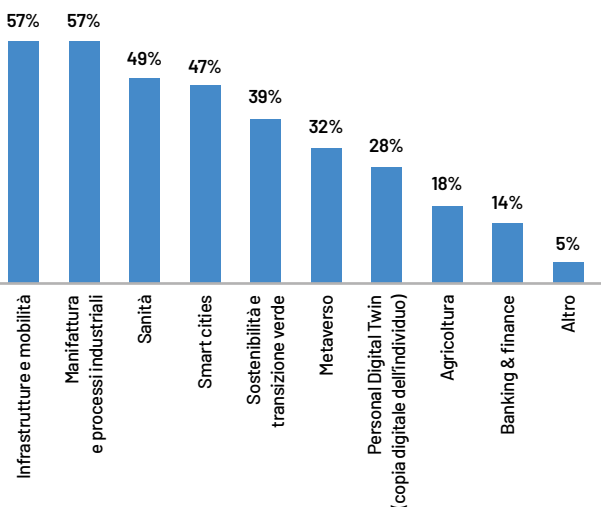
Figura 9. Risposte al quesito "Quali sono gli ambiti in cui il *Digital Twin* potrà trovare nuovi spazi di applicazione?" (scelta multipla).

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

«Conosce il significato e la potenzialità delle tecnologie di *Digital Twin*?»



Quali sono gli ambiti in cui il *Digital Twin* potrà trovare nuovi spazi di applicazione? (scelta multipla)



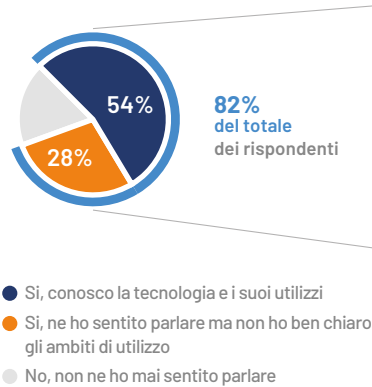
Alla stessa popolazione – corrispondente all'82% dei rispondenti che si è dichiarato familiare con la tecnologia dei *Digital Twin* – è stato domandato quali siano le principali attività all'interno dell'azienda in cui il *Digital Twin* può manifestare la propria utilità. Spicca con il 71% dei

rispondenti il potenziale della tecnologia sullo **sviluppo tecnologico e l'innovazione**. Questi risultati suggeriscono la rilevanza delle capacità simulate e predittive dei *Digital Twin* nelle operazioni di ricerca e sviluppo dei prodotti delle imprese italiane.

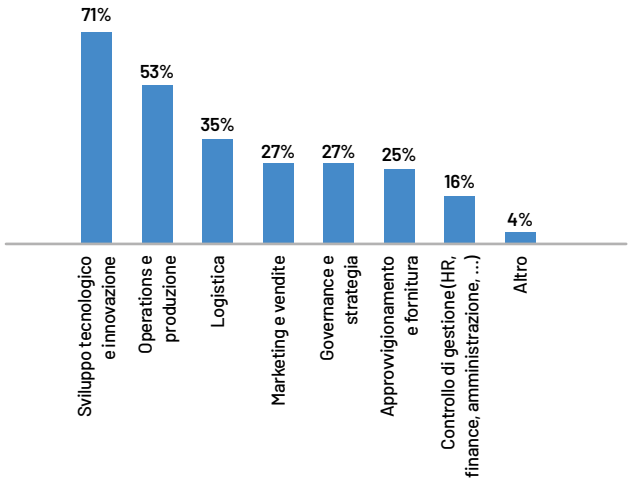
Figura 10. Risposte al quesito "In quali attività della catena del valore e processi manageriali e decisionali manifesta la propria utilità il *Digital Twin*?" (scelta multipla).

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

«Conosce il significato e la potenzialità delle tecnologie di *Digital Twin*?»



In quali attività della catena del valore e processi manageriali e decisionali manifesta la propria utilità il *Digital Twin*?" (scelta multipla)



Infine, la survey ha voluto indagare i livelli di adozione del *Digital Twin* all'interno delle aziende italiane. Nonostante la tecnologia sia già conosciuta ampiamente, il numero di aziende che hanno implementato *Digital Twin* è ancora basso. Infatti, il 52% dei rispondenti non ha ancora

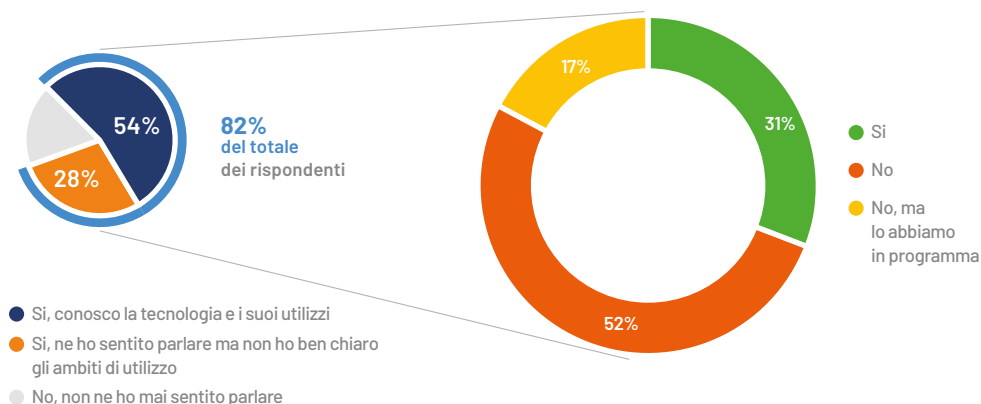
implementato e non ha in programma di implementare soluzioni di *Digital Twin*. Tra le persone che conoscono il significato del *Digital Twin*, 3 aziende su 10 hanno implementato tecnologie di *Digital Twin* nei loro processi (31%), mentre il 17% ha in programma di farlo.

Figura 11. Risposte al quesito "Avete già implementato tecnologie di *Digital Twin* nei vostri processi?".

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

«Conosce il significato e la potenzialità delle tecnologie di *Digital Twin*?»

Avete già implementato tecnologie di *Digital Twin* nei vostri processi?



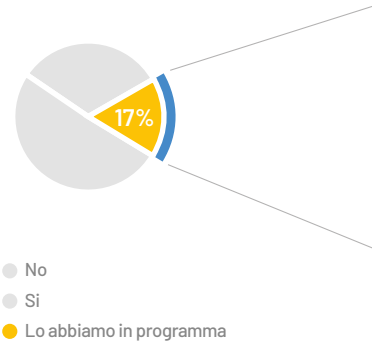
Successivamente, è stata condotta un'ulteriore analisi per comprendere meglio quali siano le aspettative di coloro che hanno in programma di implementare tecnologie di *Digital Twin*. Nella figura 12, si può osservare come i **benefici atte-**

si riguardano principalmente le attività di *risk management* (62%), l'aumento dell'efficienza nei processi produttivi (59%) e tutte le operazioni di manutenzione predittiva e di aumento di vita degli asset (55%).

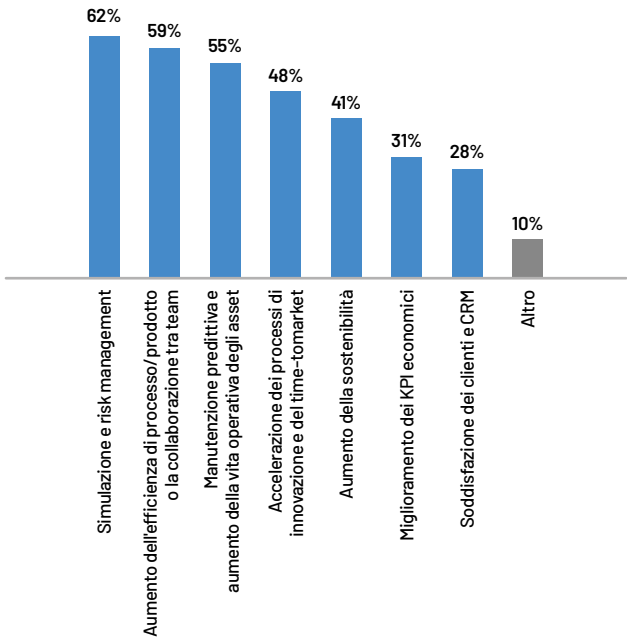
Figura 12. Risposte al quesito “Quali sono gli ambiti in cui il *Digital Twin* potrà trovare nuovi spazi di applicazione?” (scelta multipla).

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

«Avete già implementato tecnologie di *Digital Twin* nei vostri processi?»



Quali sono gli ambiti in cui il *Digital Twin* potrà trovare nuovi spazi di applicazione? (scelta multipla)



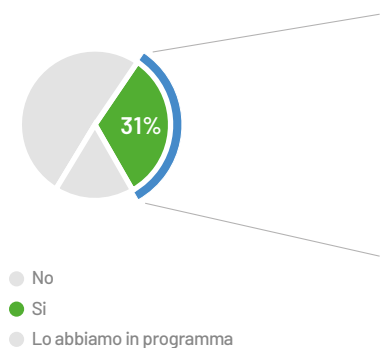
In modo analogo, è stata condotta un'indagine sui **benefici ottenuti dalle imprese che hanno già implementato soluzioni di Digital Twin**, che non ha rilevato grandi discrepanze, anzi, confermando e rafforzando le aspettative espresse dai rispondenti della domanda precedente. Infatti, l'80% dei rispondenti valuta l'aumento dell'efficienza produttiva come un beneficio conseguito attraverso l'implementazione di Digital Twin,

seguito dalla simulazione e il risk management (75%) e l'allungamento della vita di un prodotto tramite *predictive maintenance* (70%). Si rileva in maniera ridotta il miglioramento della sostenibilità e l'efficientamento energetico (42%).

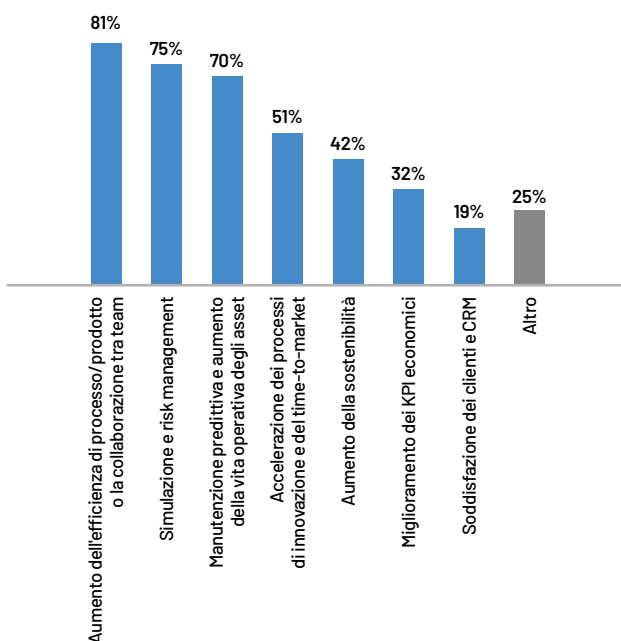
Figura 13. Risposte al quesito "Quali sono i principali benefici che il Digital Twin ha portato nella sua azienda?" (scelta multipla).

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

«Avete già implementato tecnologie di Digital Twin nei vostri processi?»



Quali sono i principali benefici che il Digital Twin ha portato nella sua azienda? (scelta multipla)



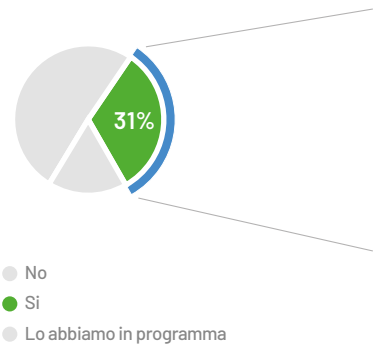
Nella fase finale della survey sono stati indagati i principali ostacoli rilevati dai rispondenti che hanno implementato soluzioni di *Digital Twin*. La **mancanza di competenze** capaci di gestire la complessità dei gemelli digitali è considerato il principale ostacolo (62%), seguito dai costi e incertezza

sui ritorni dell'investimento (53%) e dalla mancanza di *business case* che possano determinare in modo più chiaro il potenziale della tecnologia (34%). Tra le altre risposte, si evidenzia la mancanza di standard di *dati*, *tool* e *processi* per permettere l'interoperabilità tra diverse fonti di dati.

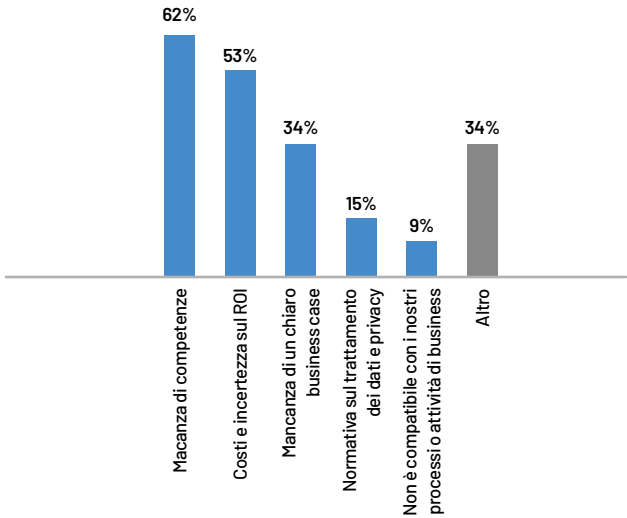
Figura 14. Risposte al quesito "Quali sono i principali ostacoli all'adozione dei *Digital Twin*?" (scelta multipla).

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

«Avete già implementato tecnologie di *Digital Twin* nei vostri processi?»



Quali sono i principali ostacoli all'adozione dei *Digital Twin*? (scelta multipla)



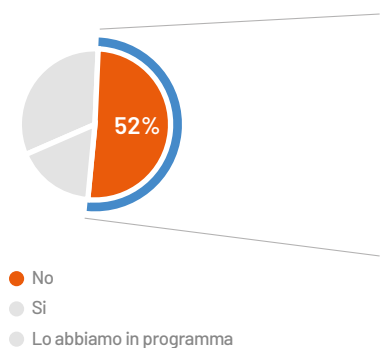
Infine, sono state indagate le motivazioni per cui il 42,6% delle aziende sondate non ha implementato tecnologie di *Digital Twin* nelle loro attività aziendali. L'incompatibilità con i processi dell'azienda non risulta essere la principale ragione per la mancata implementazione di *Digital*

Twin (18%). Anche in questo caso, la mancanza di competenze risulta il principale ostacolo per l'implementazione della tecnologia (39%), seguito dalla mancanza di *business case* che permettono una maggiore comprensione delle potenzialità del *Digital Twin*.

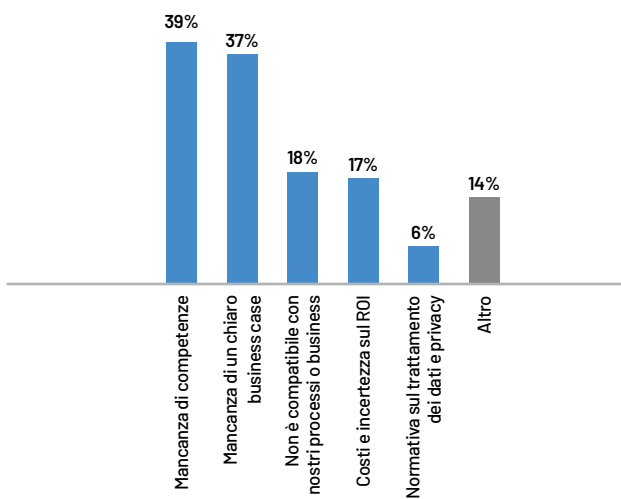
Figura 15. Risposte al quesito "Per quale ragione non ritiene utile l'adozione di tecnologie di *Digital Twin*?" (scelta multipla).

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati proprietari, 2023

«Avete già implementato tecnologie di *Digital Twin* nei vostri processi?»



Per quale ragione non ritiene utile l'adozione di tecnologie di *Digital Twin*? (scelta multipla)



In conclusione, quali le principali evidenze della survey e quali le implicazioni di Sistema? In primo luogo, è opportuno sottolineare come la grande maggioranza delle imprese sondate mostri un buon livello di dimestichezza con la tecnologia: sono infatti l'82% delle imprese a conoscere tecnologia e relativi benefici. Inoltre, il *Digital Twin* risulta essere una **formidabile leva strategica e competitiva** per le aziende: la quasi totalità di coloro che l'hanno implementato ha visto significativi miglioramenti nell'efficienza di processo (81%). Inoltre, la survey evidenzia come l'adozione di questa tecnologia possa essere trasversale a diversi settori e *industry*: dalla manifattura alle *smart city*, sanità e agricoltura.

Per quanto riguarda il futuro, inoltre, le imprese si aspettano che il *Digital Twin* possa giocare un ruolo importante nel **miglioramento dei processi di ricerca & sviluppo** che, negli attuali assetti di mercato, risulta uno dei fattori critici di successo per la competitività di lungo periodo. Nonostante la presenza di queste enormi potenzialità tecnologiche e competitive, ci sono alcuni fattori sistemici che precludono la scalabilità dell'adozione di questa tecnologia nel nostro Paese: è, in particolare, **l'assenza delle competenze digitali adeguate**, di base e specifiche, il principale ostacolo lamentato dalle imprese. Una sfida, quella delle competenze digitali, su cui imprese, istituzioni e territori sono chiamati a rispondere con strategie unitarie e coerenti nel lungo periodo.

2.2 Il Digital Twin nella letteratura scientifica

Per identificare l'attuale stato della ricerca accademica sui *Digital Twin* abbiamo eseguito un'analisi su tutta la letteratura accademica rilevante. In particolare, abbiamo eseguito un'analisi quantitativa e qualitativa, usando anche algoritmi di Intelligenza Artificiale *state of the art* su tutte le **12.073 pubblicazioni scientifiche che contengono il termine Digital Twin**.

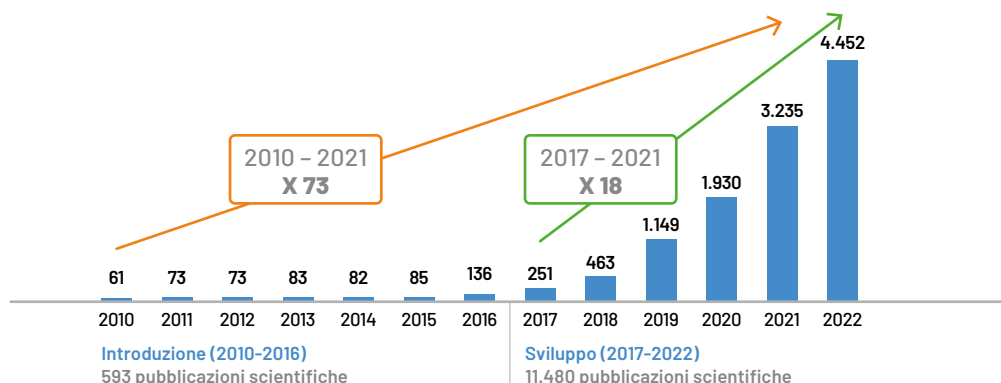
In primo luogo, è utile analizzare l'evoluzione in termini quantitativi di tutta la produzione accademica relativa ai *Digital Twin*. Come evidenziato dalla **Figura 16**, nell'ultimo decennio la produzione scientifica dei *Digital Twin* è cresciuta in maniera esponenziale, passando da 61 pubblicazioni accademiche che contengono il termine *Digital Twin* nel 2010 a ben 4.452 nel 2022: un incremento di ben 73 volte. Inoltre, l'analisi mostra chiaramente la presenza di due fasi diverse nella ricerca dei *Digital Twin*: una prima fase fino al 2016, caratterizzata da numeriche e tassi di crescita bassi, ed una seconda fase a partire dal 2017 caratterizzata invece da una crescita esponen-

ziale. In particolare, tra il 2010 e il 2016 il numero di articoli accademici è stato di 593, con un tasso di crescita annuale composto (CAGR – *Compound Annual Growth Rate*) del +14,3%; mentre nel periodo tra 2017 e 2022 si rilevano in totale 11.480 pubblicazioni contenenti il termine *Digital Twin*, con un CAGR del +61,5% (**Figura 16**).

La grande differenza tra i tassi di crescita annuali composti nelle due fasi, indica stadi differenti di sviluppo tecnologico. Interpolando l'analisi fin qui svolta con il modello di sviluppo delle tecnologie proposto in apertura di capitolo, si può evidenziare come le numeriche basse e la crescita modesta tra 2010 e 2016 suggeriscano che la tecnologia dei *Digital Twin* si trovava ancora in una **fase di introduzione**, in cui i primi modelli e risultati venivano divulgati nella ricerca e il mercato iniziava a muovere i primi passi verso una possibile commercializzazione. Al contrario, a **partire dal 2017** si può parlare di una **fase di sviluppo della tecnologia**, caratterizzata appunto da una crescita quantitativa e qualitativa della ricerca.

Figura 16. Pubblicazioni scientifiche relative ai Digital Twin per anno, numero di pubblicazioni (2010 – 2022).

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Scopus, 2023

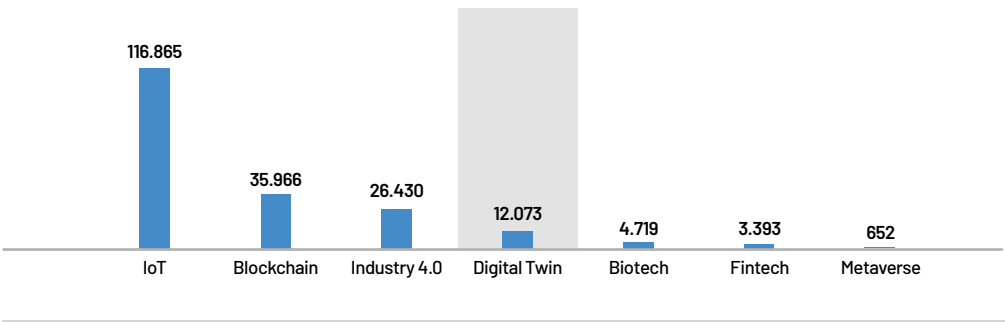


In termini relativi rispetto ad altre tecnologie, il volume di ricerca scientifica relativo ai *Digital Twin* è tutt'altro che trascurabile. Infatti, l'attuale numero totale di pubblicazioni sui *Digital Twin* (12.073) è ancora inferiore rispetto alle grandi

tendenze tecnologiche, come *Internet of Things* (115.865) e *blockchain* (35.996), ma superiore ad altre tecnologie, come *biotech* (4.719), *fintech* (3.393) e *metaverso* (652) (Figura 17).

Figura 17. Pubblicazioni scientifiche relative ad alcune delle principali tecnologie, valori assoluti (2010 - 2022).

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Scopus, 2023

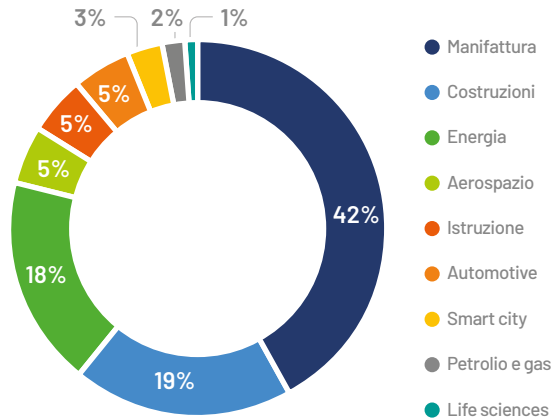


A queste considerazioni di carattere puramente quantitativo, è possibile analizzare anche l'evoluzione in termini di contenuto mediante l'utilizzo di algoritmi di Intelligenza Artificiale che, capaci di comprendere ed elaborare il linguaggio, hanno permesso di effettuare clusterizzazioni

tematiche di tutta la produzione scientifica (oltre 12,000 articoli accademici). I risultati dell'analisi mostrano come la ricerca scientifica sui *Digital Twin* risulti molto polarizzata nei settori manifatturiero (42%), edile (19%) ed energetico (18%), con gli altri ambiti invece più in ritardo (Figura 18).

Figura 18. Pubblicazioni scientifiche relative ai *Digital Twin* per settore, valori percentuali (2010 - 2022).

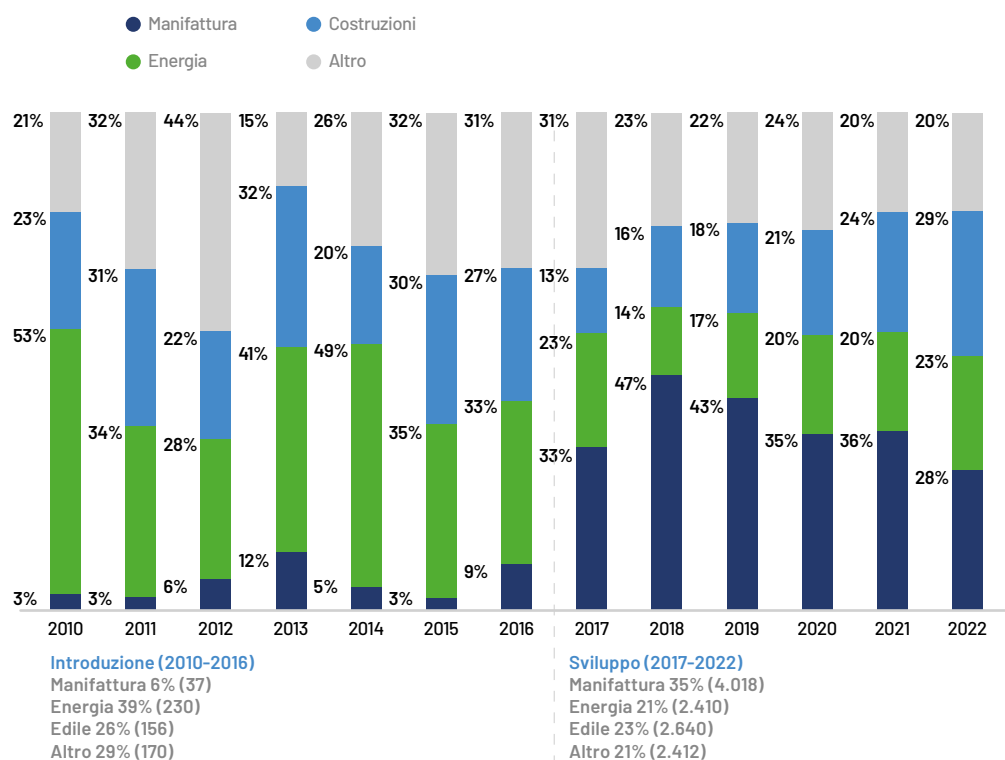
Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Scopus, 2023.



Risulta, inoltre, di interesse esaminare in chiave temporale l'evoluzione della stessa distribuzione per *cluster* tematici (**Figura 19**). Di nuovo, è ben visibile una differenziazione marcata tra una fase di **introduzione** ed una di **sviluppo**. Infatti, nel periodo tra 2010 e 2016, quando le numeriche erano ancora contenute, la produzione scientifica risultava molto meno polarizzata nel settore manifatturiero, che registrava percentuali sul totale annuale non superiori al 9% (**Figura 19**). Al contrario, il settore energetico risultava essere il principale ambito di interesse nel primo periodo 2010-2016, con un'incidenza sul totale tra il 28% e il 55%. Dal 2017, si inizia a rilevare una crescente rilevanza delle applicazioni manifatturiere con la diffusione e la rapida crescita del concetto dei *Digital Twin*.

Figura 19. Pubblicazioni scientifiche relative ai Digital Twin per anno e per settore di riferimento, valori percentuali (2010 – 2022).

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Scopus, 2023

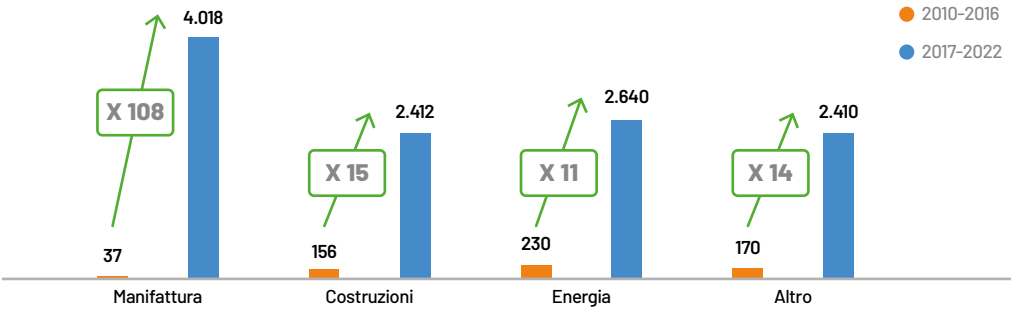


A contribuire alla crescita dell'ultimo quinquennio è stata soprattutto la ricerca in ambito manifatturiero, con un **volume di pubblicazioni centuplicato** rispetto all'ultimo periodo di riferimento (**Figura 20**). I risultati dell'analisi mostra-

no anche un progressivo concentramento degli ambiti applicativi della tecnologia verso sistemi fisici, come suggerito dal *trend* decrescente delle categorie non comprese nel comparto di manifattura, energia o edile.

Figura 20. Pubblicazioni scientifiche relative ai Digital Twin per anno e per settore di riferimento, valori assoluti (2010 – 2016 vs 2017 – 2022).

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Scopus, 2023



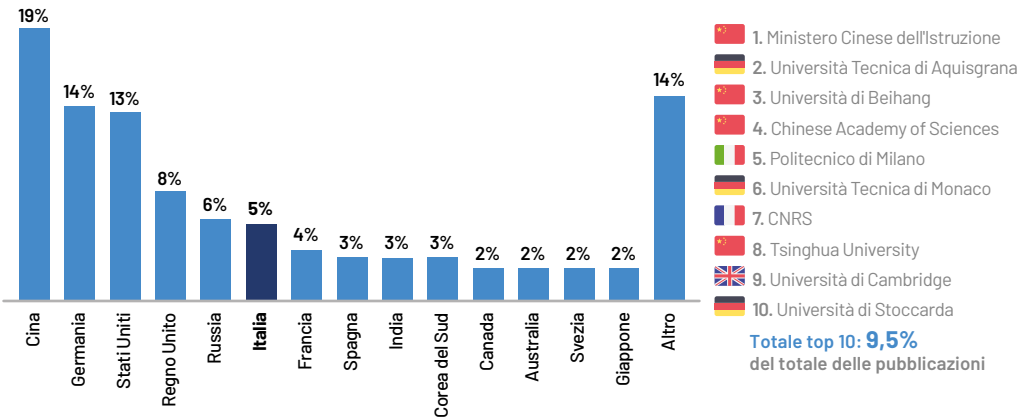
Le statistiche di pubblicazione per Paese dimostrano come l'Italia abbia un posizionamento di primo piano nella ricerca sui Digital Twin. Infatti, l'Italia è il 6° Paese per numero di articoli accademici scritti sui Digital Twin, con il 5% delle pubblicazioni sul totale. Si posiziona dietro la Cina – che registra il numero maggiore di pubblicazioni

sul tema con il 19% – Germania (14%), Stati Uniti (13%), Regno Unito (8%) e Russia (6%) (Figura 21, sinistra). Inoltre, il Politecnico di Milano risulta il principale polo italiano e quinto al mondo per la ricerca sui Digital Twin, preceduto da tre università cinesi e una tedesca (Figura 21, destra)

Figura 21. A sinistra, pubblicazioni scientifiche relative ai Digital Twin per Paese di pubblicazione, valori percentuali (2010 – 2022).

A destra, classifica delle principali Istituzioni per pubblicazioni sui Digital Twin (2010 – 2022).

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Scopus, 2023



In conclusione, l'analisi quantitativa e qualitativa della letteratura scientifica permette l'individuazione di **due fasi**, una di **sviluppo iniziale** (2010-2016) e una di **crescita** (2017-2022). Dal punto di vista **quantitativo**, si osserva un forte aumento dell'interesse accademico dal 2017 in poi. Dal punto di vista **qualitativo**, si osserva che la prima fase di sviluppo è maggiormente concentrata sul settore **energetico** ed **edile**. Nella

fase di crescita dal 2017 al 2022, si osserva l'aumento d'interesse sull'utilizzo di *Digital Twin* nel settore **manifatturiero**. Ad oggi, la maggior parte delle pubblicazioni scientifiche sono focalizzate su **sistemi fisici**. Al contempo, si osserva una crescita in termini assoluti delle pubblicazioni su **sistemi complessi**, che includono la digitalizzazione di **processi sociali** come *smart cities* e *life sciences*.

2.3 Il Digital Twin nei media e sui social network

Media

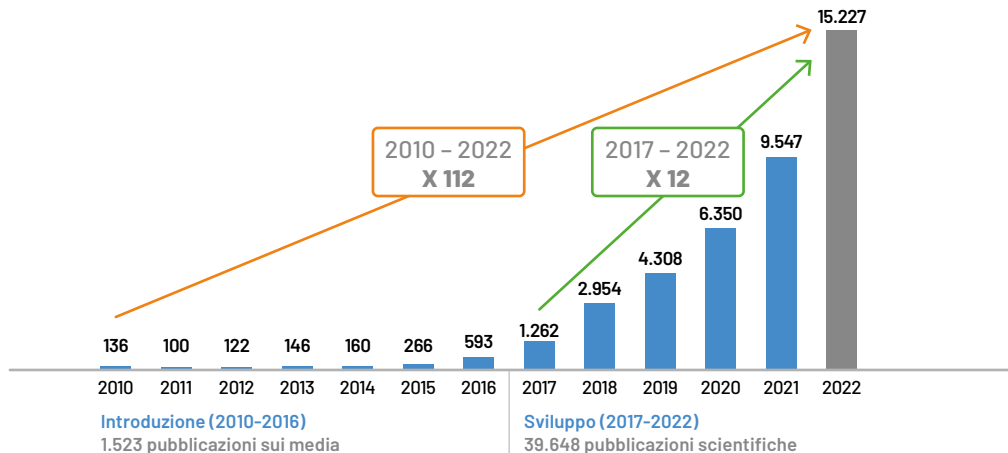
Per cogliere la percezione generale e i principali ambiti di discussione dell'opinione pubblica verso la tecnologia dei *Digital Twin*, è stata eseguita un'analisi delle principali testate di quotidiani, riviste specializzate e periodici in lingua inglese per un totale di **41,171 pubblicazioni** relative ai *Digital Twin*. Anche in questo caso, abbiamo riproposto lo schema metodologico utilizzato per l'analisi dei *Digital Twin* in ambito accademico, dove ne abbiamo analizzato l'evoluzione in termini quantitativi di contenuto.

Sotto il profilo quantitativo, si osserva in modo del tutto analogo alla letteratura accademica

un forte incremento nel numero di articoli pubblicati a partire dal 2017. Infatti, il periodo 2010-2016 ha registrato 1.523 pubblicazioni, un numero basso se messo in relazione alla diffusione sui *media* del termine nel periodo successivo, dove sono stati pubblicati ben 39.648 articoli sul tema (**Figura 22**). In questo contesto, il 2017 si presenta ancora come l'anno spartiacque tra la fase di introduzione e la fase di sviluppo dei *Digital Twin*. A partire dal 2017, si osserva infatti una traiettoria di crescita esponenziale, che ha portato nel 2022 a stabilire il picco annuale di 15.227 articoli pubblicati (37% del totale nel periodo 2010-2022).

Figura 22. Numero di articoli di giornale contenenti la parola "Digital Twin", valore assoluto (2010-2022).

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati LexisNexis, 2023

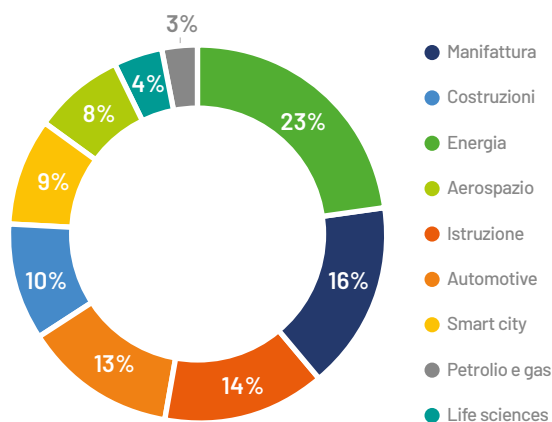


Se da una prospettiva quantitativa il trend degli articoli *media* è molto simile a quello accademico, un'analisi dei contenuti fa emergere ambiti di interesse differenti. Infatti, l'attenzione degli articoli di giornale non è concentrata solamente sul potenziale della tecnologia nel mondo manifatturiero, ma è distribuita in modo più omogeneo sui vari ambiti applicativi. Ciò nonostante, il settore manifatturiero, energetico e edile rimangono

i principali ambiti trattati all'interno degli articoli sui *media* analizzati. Il settore energetico risulta essere il principale tema trattato dai *media* con quasi un quarto degli articoli (23%) (Figura 23). Inoltre, i *media* mettono al centro dell'attenzione legata ai Digital Twin anche applicazioni che risultano ancora di frontiera, come le smart cities (9%) e istruzione (14%).

Figura 23. Pubblicazioni sui media relativi ai Digital Twin per settore, valori percentuali, 2010 – 2022.

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati LexisNexis, 2023



Infine, sugli articoli presenti sui *media* è stata eseguita una *sentiment analysis*, ovvero un algoritmo capace di analizzare e quantificare, attraverso l'utilizzo di modelli Intelligenza Artificiale, gli orientamenti soggettivi circa una determinata *issue*. Il modello utilizzato quantifica il *sentiment* con un valore associato nel range da -1

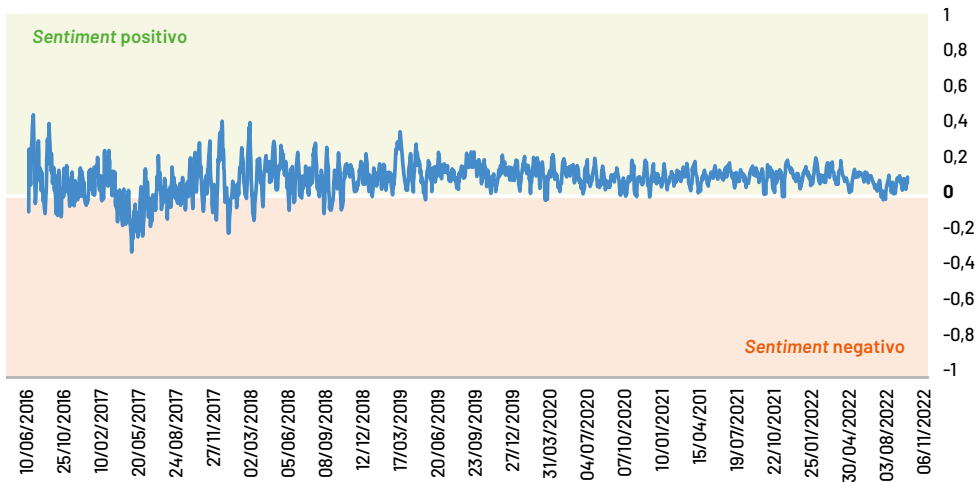
a +1 (da fortemente negativo a fortemente positivo). Come presentato in Figura 24, i risultati della *sentiment analysis* sugli articoli di giornale che trattano i Digital Twin sono sempre positivi, ad esclusione di una prima fase dove il dibattito era maggiormente polarizzato. Una positività diffusa circa la tecnologia dei Digital Twin dimostra l'as-

senza di forti resistenze da parte dei *mass media*, elemento che permette un contesto ottimale per lo sviluppo della tecnologia. Questa situazione è anche dovuta all'attuale stadio di sviluppo della

tecnologia, caratterizzato da un'implementazione ancora limitata che pone l'attenzione principalmente sulle potenzialità della tecnologia rispetto ai potenziali rischi da mitigare.

Figura 24. Media mobile a 10 giorni del sentiment sui Digital Twin sui media, valore tra -1 e 1 (2010 - 2022).

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati LexisNexis, 2023



Da sottolineare come il modello di Intelligenza Artificiale utilizzato è in grado di cogliere il *sentiment* di ogni articolo in cui compare la parola *Digital Twin*, ma senza la capacità di contestualizzare se il *sentiment* negativo sia legato direttamente alla tecnologia. Infatti, un'analisi a campione dei tweet categorizzati come negativi dimostra come la negatività non derivi dalla tecnologia in sé, ma da incidenti e problemi in cui il **Digital Twin viene presentato come soluzione**. Alcuni di questi concetti sono relativi alla sostenibilità, alle calamità naturali e disastri causati dall'uomo, alla *cybersecurity*, ai ritardi nelle *supply chain* e alla vita operativa degli *asset*.

Questa analisi conferma la progressiva crescita e sviluppo dei *Digital Twin* negli ultimi anni,

con numeri e interesse sempre maggiore verso la tecnologia da parte dell'opinione pubblica. Dal punto di vista quantitativo, dal 2017 si osserva una rapida diffusione del concetto sui *media* che coincide con la crescita avvenuta nello stesso periodo nella letteratura scientifica. Nonostante sia difficile comprendere i meccanismi di trasmissione tra settore accademico e mediatico, è evidente che la forte crescita parallela in entrambi gli ambiti sia il risultato di un'influenza reciproca che si è autoalimentata. Dal punto di vista qualitativo, c'è una maggiore attenzione delle testate giornalistiche verso gli ambiti di applicazione sociali del *Digital Twin*, come istruzione e *smart city*, la cui complessità è ancora il principale ostacolo rispetto la loro implementazione.

Social network

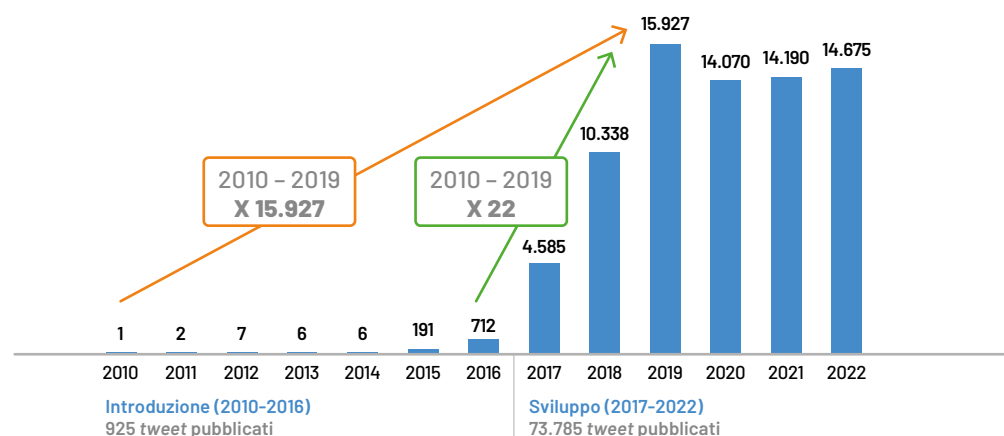
Per dare profondità all'analisi sul percepito dell'opinione pubblica, abbiamo eseguito sui *social network* un'operazione analoga a quella svolta sui *media*, con l'intenzione di cogliere le opinioni e interessi di una fascia della popolazione più ampia, non circoscritta ai ricercatori accademici e giornalisti specializzati e non. Per condurre questa analisi, abbiamo utilizzato la piattaforma *social Twitter*, da cui sono stati estratti tutti i *tweet* che contengono il termine «*Digital Twin*» dal 2010 ad oggi, per un **totale di 74.710 tweet**.

Anche per quanto riguarda i *tweet* emerge lo stesso *pattern* di crescita pronunciata a partire

dagli anni 2016 e 2017 (**Figura 25**). Infatti, è solo dal 2016 che il *Digital Twin* trova una copertura quasi giornaliera su post degli utenti di Twitter. In precedenza, invece, era molto più raro e con frequenza non giornaliera. Di nuovo, emerge dal punto di vista quantitativo, un aumento esponenziale dei *tweet* contenenti le parole *Digital Twin* dal 2017 seppur, in questo caso, con un picco nel 2019. La stagnazione registrata negli ultimi anni non deve essere valutata come un disinteressamento al tema dei *Digital Twin*, ma è da considerare all'interno del livello di popolarità e di utilizzo di Twitter nel corso degli ultimi anni.

Figura 25. Numero di tweet contenenti la parola "Digital Twin", valore assoluto (2010-2022).

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Twitter, 2023

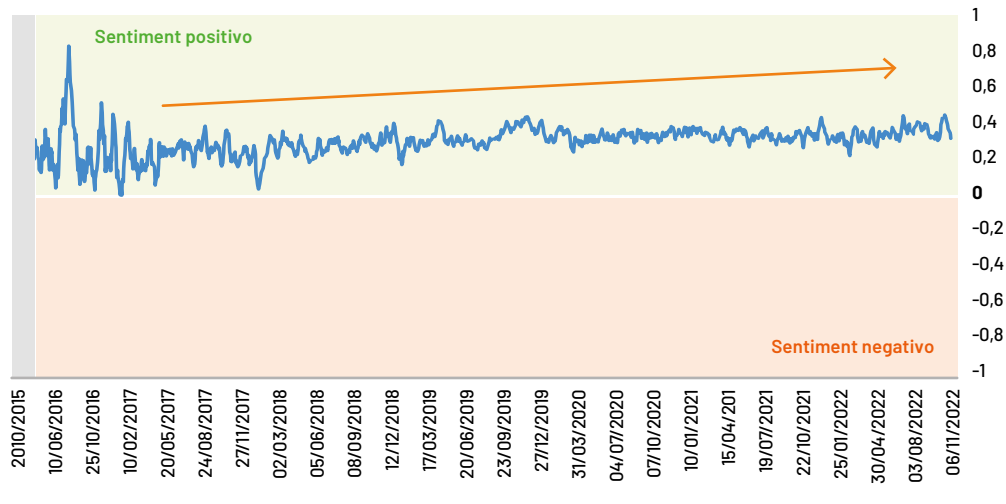


Sui *social network*, il *Digital Twin* mostra un *sentiment* crescente nel tempo, meno polarizzato e sempre esclusivamente positivo (**Figura 26**). In modo analogo agli articoli *media*, gli utenti Twitter che parlano di *Digital Twin* non sembrano percepire potenziali problemi o rischi prove-

nienti dal suo utilizzo. La grande crescita attuale e l'ottimismo diffuso verso la tecnologia sono un segnale molto positivo per lo sviluppo futuro del *Digital Twin*, perché l'accettazione della tecnologia è un elemento fondamentale per permetterne la sua diffusione.

Figura 26. Media mobile a 10 giorni del sentiment sui *Digital Twin* su Twitter, valore tra -1 e 1 (2010 - 2022).

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Twitter, 2023

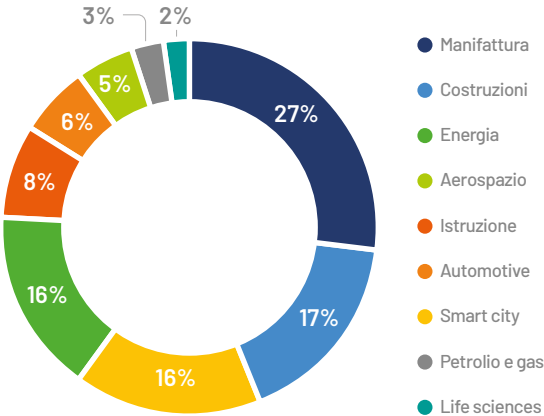


Quando si analizzano gli ambiti di applicazione dei tweet, torna una forte associazione tra *Digital Twin* e settore manifatturiero, seguito da costruzioni ed energia. Rispetto alla letteratura accademica e i *media*, gli utenti dei *social network* pongono maggiore attenzione sul tema dei *Digital Twin* connessi alla *smart city* (16%) (Figura 27). La rilevanza del tema delle *smart*

city anche tra gli utenti dei *social network* è un indizio sulle aspettative evolutive dell'opinione pubblica sui *Digital Twin*. In altre parole, negli anni sembra rafforzarsi l'idea di poter migliorare l'efficienza e la qualità della vita all'interno di una città attraverso l'utilizzo di *Digital Twin*, nonostante le applicazioni di *Digital Twin* in ambito *smart city* siano ancora poche.

Figura 27. Classificazione dei Tweet relativi ai *Digital Twin* per settore, valori percentuali (2010 - 2022).

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Twitter, 2023



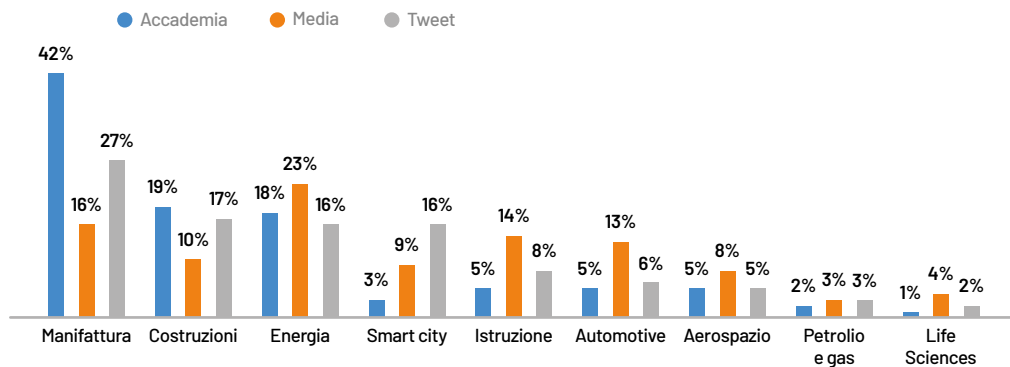
2.4 Conclusioni

Un confronto tra i risultati ottenuti dall'analisi della letteratura scientifica, *media* e *social network* mostra un diverso grado di focalizzazione settoriale circa i *Digital Twin*. Nonostante manifattura, costruzioni ed energia siano costantemente i *cluster* più citati, si possono identificare e interpretare *trend* diversi nei tre domini di analisi (Figura 28). Da un lato, la ricerca scientifica dedica il 79% delle proprie pubblicazioni alle potenzialità e sviluppo di *Digital Twin* di sistemi fisici, corrispondenti ai settori manifatturiero,

costruzioni ed energetico. Dall'altro, i contenuti su *media* e *social network* coprono in maniera più sostanziosa tutte quelle applicazioni che rientrano nel concetto di *Digital Twin* sociale. In particolare, l'applicazione del *Digital Twin* per le **smart city** trova molto più eco sui *social network* che non nei *media* e, soprattutto, nella letteratura scientifica. Risulta ancora **minoritario**, invece, il volume di pubblicazioni e notizie circa l'utilizzo del ***Digital Twin* in ambito sanitario e di scienze della vita**.

Figura 28. Raffronto sulla distribuzione settoriale di pubblicazioni accademiche, *media* e *social* relative ai *Digital Twin*, valori percentuali (2010 – 2022).

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Twitter, 2023



Sulla base delle analisi fino a qui svolte, possiamo inoltre rispondere alla domanda di ricerca di questo capitolo: qual è il livello di sviluppo della tecnologia dei *Digital Twin*? In questo contesto, l'analisi mostra come i *Digital Twin* abbiano vissuto **tra il 2010 ed il 2016 una prima fase di introduzione della tecnologia**, caratterizzata in maniera convergente sui diversi ambiti considerati – letteratura accademica, *media* e *social network* – da

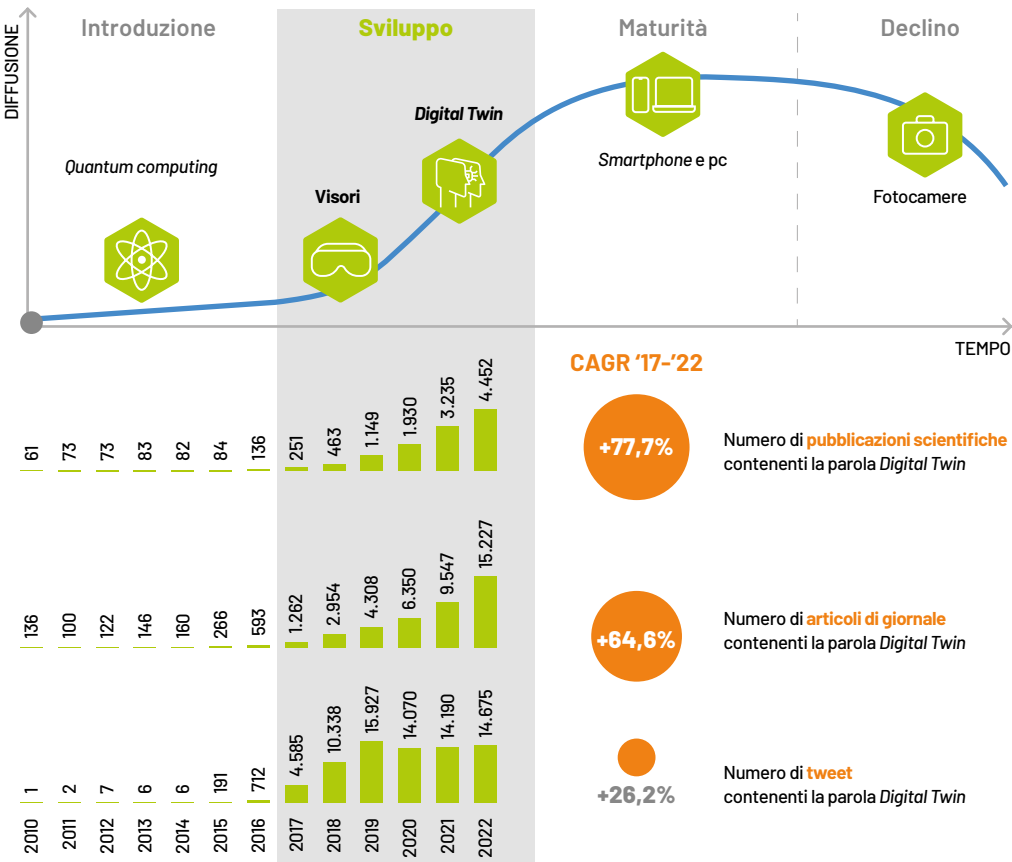
numeriche basse ed una progressione di crescita lineare. Oggi, invece, il *Digital Twin* sembra stia attraversando la prima **fase di sviluppo** del suo ciclo, caratterizzato da crescita esponenziale e numeriche sempre più consistenti. Per permettere una maggiore comprensione dell'attuale stadio di sviluppo dei *Digital Twin*, nella curva del *product life-cycle* sono state posizionate alcune tecnologie in base all'attuale livello di adozione

(Figura 29). Nella fase introduttiva è stata posizionata la tecnologia del quantum computing , poichè il numero di computer quantici è ancora limitato e, dunque, pochissimi attori hanno avuto la possibilità di utilizzare ad oggi questa tecnologia. Strettamente collegate all'economia nascente del metaverso, i visori di realtà virtuale possono essere considerati in una fase di sviluppo, in quanto è già diffuso sul mercato, seppur in modo

limitato. In una fase di maturità si possono collocare i dispositivi personali utilizzati quotidianamente dal gran parte della popolazione mondiale, come cellulari e computer. Infine, tecnologie come le macchine fotografiche sono considerate nella loro fase di declino, poichè con numeriche sempre minori, anche a causa dell'avvento degli *smartphone* dotati di lenti fotografiche di alta qualità.

Figura 29. Il posizionamento del Digital Twin nella curva di sviluppo delle nuove tecnologie.

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su fonti varie, 2023



Ad oggi, tuttavia, risulta ancora difficile prevedere fino a quando il *trend* di sviluppo perdurerà e quando, invece, si passerà ad una fase di maturità della tecnologia. Il tempo necessario

per passare alla fase di maturità sarà determinato dalla velocità di diffusione di *use case*, che saranno analizzati in maniera estensiva nel Capitolo 3 del presente Rapporto.

03

**Use case e benefici
derivanti dall'applicazione
del *Digital Twin***

3.1 Introduzione e schema di riferimento per l'analisi degli use case

L'adozione di tecnologie *Digital Twin* – come illustrato nei capitoli precedenti – è ancora oggi in una fase iniziale, così come lo stato di sviluppo del mercato associato a tali soluzioni. Di conseguenza, anche la concettualizzazione e definizione dei benefici derivanti dall'implementazione di *Digital Twin* all'interno di realtà industriali concrete, o legati all'ecosistema dei servizi e dell'innovazione, è ancora agli albori. In molti casi, l'implementazione di *Digital Twin* coincide infatti con una fase prototipale e di co-creazione tra attori dell'innovazione e partner utilizzatori.

Nonostante ciò, è già oggi possibile **prevedere i principali ambiti di impatto e identificare i contesti a maggior potenziale applicativo di soluzioni *Digital Twin*** a seconda dei diversi settori, del grado di sviluppo tecnologico e di innovatività dei diversi attori e degli obiettivi che ciascuna organizzazione si pone. In questo senso, considerati gli obiettivi e la natura pragmatica del presente studio e alla luce della letteratura esistente, si è ritenuto che il metodo migliore per procedere alla qualificazione e quantificazione di benefici e impatti concreti delle soluzioni *Digital Twin* fosse quello di **analizzare use case applicativi di tali tecnologie**.

L'analisi di casi studio reali ha inoltre il beneficio di **fornire agli stakeholder e agli investitori interessati a queste tecnologie una sorta di "bus-sola"** in grado di orientarne le scelte e di offrire un'idea di massima dei benefici e dei *business case* connessi ai *Digital Twin*. Come evidenziato dalla survey presentata nel capitolo precedente, infatti, tra gli elementi che ancora oggi frenano l'adozione di tecnologie *Digital Twin* – e di conseguenza non permettono di godere appieno dei benefici ad essi associati, soprattutto tra le PMI e le aziende che scontano maggiori difficoltà o minore capacità di investimento nella ricerca e sviluppo e nell'innovazione tecnologica – i potenziali utilizzatori se-

gnalano l'assenza di chiari use case applicativi che illustrino benefici e ritorni sugli investimenti.

Al fine di assicurare il massimo rigore metodologico e offrire una panoramica esaustiva dei benefici e dei contesti applicativi di tecnologie *Digital Twin*, con un'estensione e pervasività tali da rendere efficace, distintiva e "di riferimento" l'analisi condotta, si è ritenuto di:

- Considerare un numero esaustivo di use case quali-quantitativi, a livello internazionale e cross-industry, per un totale di **oltre 60 use case censiti**. I casi d'uso sono stati individuati sia mediante un'analisi di letteratura, sia facendo leva sulle *capabilities* di Atos e relativa presenza sul mercato;
- Procedere ad una **classificazione degli use case concreti secondo cluster** legati allo stadio di maturità dell'adozione di queste soluzioni.

Abbiamo quindi definito un *framework* dei possibili ambiti e settori applicativi, all'interno del quale abbiamo identificato **3 cluster in base al livello di maturità tecnologica (consolidato, in sviluppo e prospettico)** e selezionato casi concreti in grado di qualificare e quantificare ritorni attesi, impatti sulla *performance* e benefici specifici per ciascun settore/ambito:

- Al primo ambito, riferito agli **"use case consolidati"** appartengono i casi applicativi riferiti ai settori e agli ambiti applicativi ormai **consolidati**, principalmente riferiti a *Digital Twin* di asset fisici (turbine, piattaforme, edifici, ...). Questo cluster include casi dai seguenti settori/ambiti: settore manifatturiero, produttivo e funzioni aziendali, *real estate*, reti (quali *utility*, infrastrutture e telecomunicazioni) e attività di ricerca e sviluppo.
- Al secondo ambito, riferito agli **"use case in**

sviluppo” appartengono i c.d. **Digital Twin sociali**. Questo *cluster* include casi dai seguenti settori/ambiti: *smart cities*, Clima e biosfera, Ecosistema turistico e culturale, Agricoltura e Reti di reti in diversi ambiti quali multimodalità e comunità energetiche, ...

- Al terzo ambito, riferito agli **“use case prospettici”** appartengono i c.d. **personal Digital Twin**. Questo *cluster* include casi dai seguenti settori/ambiti: sanità e altri servizi al cittadino, servizi *consumer & retail* e ambiti applicativi legati al metaverso.

Figura 1. Modello illustrativo di riferimento degli use case analizzati.

Fonte: elaborazioni The European House – Ambrosetti, 2023



Nota: l'illustrazione riporta tutti gli ambiti di applicazioni e gli use case citati nei 3 diversi cluster di use case consolidati, in sviluppo e prospettici

Use case consolidati:
Digital Twin di asset fisici

- Settore manifatturiero
- Real estate
- Reti
- Ricerca e Sviluppo

Use case in sviluppo:
i Digital Twin sociali

- Smart cities
- Clima e biosfera
- Ecosistema turistico e culturale
- Agricoltura
- Reti di reti (multimodalità, comunità energetiche, etc.)

Use case prospettici:
i personal Digital Twin

- Salute
- Servizi al cittadino
- Consumer e retail

In conclusione, si precisa che gli use case presentati nelle pagine successive verranno illustrati secondo una logica di aggregazione, evidenziando gli elementi e i benefici ricorrenti attraverso quantificazioni che riflettono valori me-

di e **anonimizzando i player di riferimento** (non saranno citati nomi di aziende o di prodotti), ma consentendo al tempo stesso di comprendere i tratti salienti e gli impatti associati all'adozione concreta di tecnologie *Digital Twin*.

3.2 Use case consolidati: i Digital Twin di asset fisici

3.2.1 Settore Manifatturiero



Al primo cluster appartengono i casi studio maggiormente diffusi, maturi e consolidati. Questi primi - e ormai più numerosi - ambiti applicativi delle tecnologie *Digital Twin* hanno riguardato la **digitalizzazione e modellizzazione di asset fisici**, con la creazione di gemelli digitali in grado di replicarne il comportamento per costruire simulazioni, modelli di monitoraggio e analisi prototipali. In questi casi i *Digital Twin* possono essere utilizzati per **valutare la condizione dell'asset, prevederne il comportamento e ottimizzarne il funzionamento**.

In questo senso, il settore che ha sin qui maggiormente beneficiato della implementazione di soluzioni *Digital Twin* è sicuramente quello manifatturiero e produttivo. Tra i comparti del settore manifatturiero più all'avanguardia nell'adozione di *Digital Twin* vi sono quelli che traggono i maggiori benefici da un'ottimizzazione dei propri processi in chiave *Industry 4.0* e che già hanno investito in questo senso, quelli che legano le proprie dinamiche produttive allo sviluppo di vere e proprie piattaforme (es.: *automotive, aerospace,*

...) e/o che vedono la fase di prototipazione giocare un ruolo centrale in termini di complessità e rischiosità.

Con riferimento al settore manifatturiero, l'implementazione di soluzioni *Digital Twin* è strettamente connessa al paradigma dell'*Industry 4.0*. Questo è abilitato da macchinari e altre entità produttive connesse, in grado di generare dati, poi processati ed elaborati da modelli di analisi capaci di migliorare ed efficientare i processi, con diversi gradi di possibile automazione grazie all'uso, sempre più frequente, di Intelligenza Artificiale. Ecco allora che i *Digital Twin* di asset fisici all'interno delle filiere produttive possono aumentare il grado di precisione delle simulazioni, massimizzare l'efficienza produttiva (anche sotto il profilo dei consumi energetici) e la qualità, ridurre i rischi di rotture e i costi associati alla manutenzione grazie a modelli predittivi, e rappresentando, così, il massimo grado applicativo dell'*Industria 4.0*.

Nel concreto, uno dei primi settori a vede-

re l'applicazione di gemelli digitali nei propri processi produttivi è stato quello aerospaziale, proprio alla luce dell'elevato grado di intensità tecnologica, degli elevati livelli di innovazione e degli investimenti associati e degli elevati costi e tempi collegati alla curva dell'R&D del settore. Si consideri inoltre che le attività aerospaziali sono **altamente complesse** e spesso prevedono investimenti e *partnership* pubblico privato che riguardano componenti o intere piattaforme con caratteristiche *dual-use*¹, aumentando la delicatezza e complessità di ciascuna fase progettuale e gli *standard* di qualità richiesti. Non solo, a causa del periodo estremamente lungo del ciclo di vita dei prodotti aerospaziali (più di 40 anni), l'intero settore aerospaziale è impegnato a migliorare la gestione del ciclo di vita del prodotto. Dalla progettazione e dall'ingegnerizzazione fino all'assemblaggio e alla manutenzione, i gemelli digitali **migliorano il processo decisionale** consentendo ai *team* di visualizzare e interagire con i modelli di progettazione assistita da computer e altri set di dati in 3D in tempo reale. Casi concreti hanno mostrato una **riduzione dei tempi di progettazione per piattaforme altamente complesse fino al 40%**.

In questo settore la tecnologia *Digital Twin* è stata implementata con successo nella fase di produzione, attraverso la costruzione di *Digital Twin* delle fabbriche degli OEMs (*Original Equipment Manufacturers*) e degli integratori di filiera. Non solo, l'uso di *Digital Twin* è arrivato a replicare interamente velivoli e prodotti. I grandi costruttori del settore ricreano *Digital Twin* di piattaforme e velivoli, anche attraverso la scansione 3D di ogni singola parte, per scoprire difetti o danni strutturali, oppure *ex-ante*, ricostruendo modelli interamente digitali, per velocizzarne la progettazione o accorciare fasi critiche come la certificazione e il *training* dei piloti massimizzando il valore degli *asset*.

In fase di progettazione, far volare un velivolo che non è ancora nato permette di simulare e

prevedere l'efficacia di nuovi assetti e materiali del velivolo. Il *Digital Twin* permette anche il *training* dei piloti, garantendo maggiore sicurezza attraverso simulazioni di volo, anche in condizioni critiche sia per velivoli esistenti che in fase di progettazione. Inoltre, ciò permetterebbe addirittura la certificazione dei velivoli da parte di enti regolatori ancora prima della loro produzione. Migliorare la fase progettuale, di *testing*, i modelli di carico e uso e di manutenzione predittiva ha permesso, in casi applicativi concreti, di **estendere la vita operativa dei velivoli fino al +200%**.

Un altro settore manifatturiero ad aver adottato, tra i primi, tecnologie di *Digital Twin* è quello dell'*automotive*, che presenta diverse similitudini con quello aerospaziale. In questo settore, l'applicazione di soluzioni *Digital Twin* ai processi produttivi permette di ridurre gli scarti lungo tutta la filiera di fornitura e migliorare, in generale, l'efficienza di processo. Lo studio di casi concreti ha mostrato una riduzione degli scarti di produzione media del 20% e un miglioramento dell'efficienza delle linee produttive medio del 6%. Nei casi analizzati, il miglioramento del processo di produzione delle automobili **ha aumentato i margini di profitto, con picchi fino al 50%**.

In questo settore la realizzazione di *Digital Twin* riguarda - oltre a componenti a diversi livelli della catena di fornitura e di veri e propri veicoli nella fase di progettazione, prototipazione e produzione - la **creazione di gemelli digitali di macchinari, linee produttive e interi impianti**. Gli algoritmi di apprendimento automatico aiutano a gestire i *robot* che, nella versione simulata, possono eseguire varie operazioni complesse per snellire i processi produttivi, riducendo gli sforzi richiesti per eseguire test che richiederebbero molto tempo per la loro esecuzione. Questo ha permesso di:

- ridurre i costi legati a modifiche tardive dovute a errori di progettazione e pianificazione dei processi (fino al 30%);
- ridurre tempo necessario per pianificare le

¹ Con uso sia civile che militare.

operazioni della fabbrica (fino al 25% in meno di tempo necessario);

- migliorare l'efficienza (ad esempio grazie alla condivisione semplificata di best practices) fino al 10%-20% e migliorare l'efficienza energetica degli impianti e dei processi;
- ridurre i costi legati ai viaggi di personale da un *plant* all'altro.

Le tecnologie *Digital Twin* coinvolgono anche la fase di **marketing, vendita, post vendita e assistenza cliente**, in chiave predittiva e favorendo l'esperienza di acquisto, ad esempio consentendo ai clienti di provare il veicolo prima di salire su un'auto e incrementando i ricavi.

Oltre a questi due settori, che comunque esemplificano in modo esaustivo gli *use case* di *Digital Twin* in ambito manifatturiero, tali tecnologie trovano applicazioni in molte altre *industry*. **Nell'ambito oil&gas** sono già state utilizzate con successo soluzioni di *Digital Twin* per la progettazione e gestione di *asset* fisici, dal singolo elemento a interi impianti (impianti di perforazione petrolifera, pompe sottomarine, ...). L'obiettivo è l'ottimizzazione delle caratteristiche per migliorare la loro efficienza e, nel complesso, l'efficienza dei processi e delle tecnologie. Anche nel **settore della cantieristica navale** i *Digital Twin* già oggi offrono ai *player* di settore la possibilità di simulare le attività quotidiane e fornire informazioni critiche sul funzionamento dei processi

in esecuzione e tenere sotto controllo lo svolgimento di tutte le attività produttive, la loro sincronizzazione ed il loro stato di avanzamento.

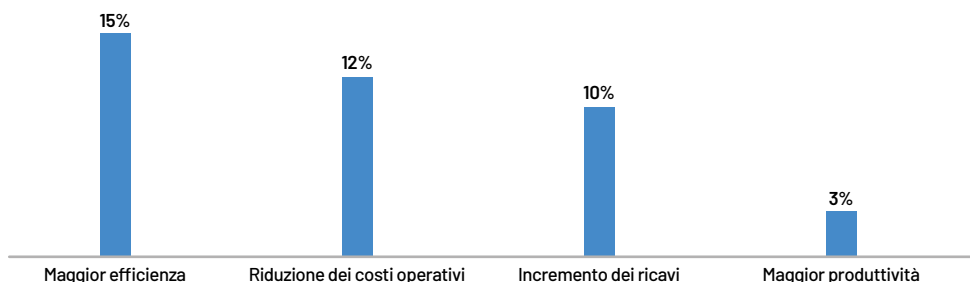
Con riferimento alla **logistica**, l'applicazione dei gemelli digitali permette di ottimizzare i processi nel magazzino, ridurre i costi operativi, limitare al massimo gli errori e favorire una pianificazione logistica efficiente.

Le tecnologie *Digital Twin* non hanno beneficiato soltanto grandi OEMs o grandi *player* di settore. Sono molte le PMI italiane in ambito manifatturiero che già oggi, grazie alla *partnership* con *player* tecnologici, hanno implementato soluzioni *Digital Twin*, spesso attraverso la co-creazione di soluzioni *tailor made*, che hanno permesso significativi ritorni sull'investimento e concreti vantaggi di efficienza operativa in chiave 4.0. Tra gli altri, PMI manifatturiere hanno ottenuto, grazie a queste tecnologie, un aumento della capacità produttiva (fino al 45%), una miglior gestione dei clienti e degli ordini (una riduzione di circa il 90% nei tempi di accettazione) e un dimezzamento dei tempi di risoluzione dei problemi.

In media, nel settore manifatturiero a livello globale, all'implementazione di soluzioni *Digital Twin* sono associati **incrementi di produttività del 3%**, una **miglior efficienza del 15%** con ricadute anche sotto il profilo di minori consumi energetici e ridotti impatti ambientali, un **incremento dei ricavi medi del 10%** e una **riduzione dei costi operativi del 12%**.

Figura 2. Sintesi degli impatti medi derivanti dall'applicazione di tecnologie *Digital Twin* nel settore manifatturiero.

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti, 2023



3.2.2 Settore Real Estate



Un secondo settore in cui l'uso e l'applicazione di soluzioni *Digital Twin* è particolarmente sviluppato e permette - già oggi - grandi potenziali di impatto, è quello del **real estate**, anche in questo caso collegato al paradigma dei c.d. "smart building". Si tratta di edifici, insiemi di edifici o infrastrutture (anche critiche) che, sin dalle fasi di progettazione e costruzione, fanno ampio uso di sensoristica e soluzioni digitali per **aumentare l'efficienza, ridurre i costi, supportare le attività di progettazione, gestionali, di vendita e amministrative, abilitare la manutenzione predittiva e migliorare qualità della vita e fruizione degli spazi**.

Basti considerare che le spese di manutenzione e utenze pesano per quasi il 30% sulle spese operative di un operatore *real estate*. Soluzioni *Digital Twin* possono efficientare queste spese e fornire soluzioni anche nel senso di una miglior qualità della vita, maggior attrattività commerciale (per vendita e locazione) degli edifici e un contributo rilevante alla sostenibilità ambientale.

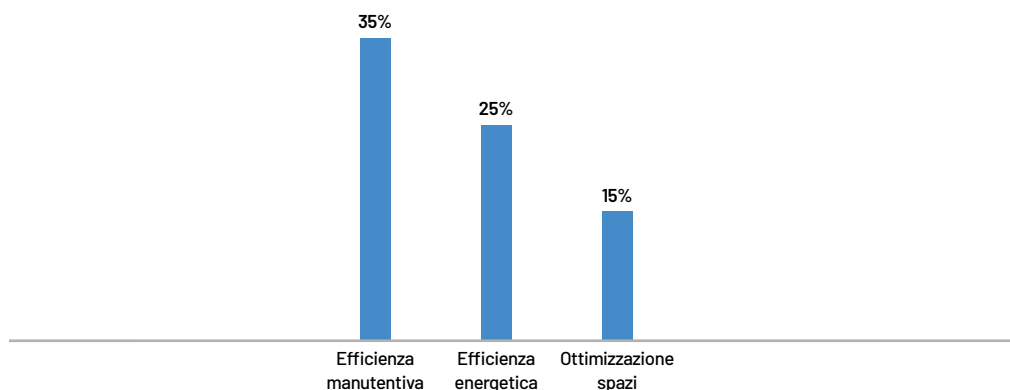
Nel dettaglio, lo studio di casi d'uso concre-

ti mostra come soluzioni *Digital Twin* nel settore *real estate*, applicate a grandi edifici (residenziali e commerciali, a centri commerciali, ospedali o strutture) abbia permesso di registrare una maggior efficienza energetica e una riduzione di consumi (associati a una riduzione delle emissioni) del 25% in media. A ciò si associa una minor produzione di rifiuti, una loro gestione più sostenibile ed efficiente, e un minor consumo di risorse idriche. Al tempo stesso, soluzioni *Digital Twin* abilitano un maggiore e più efficiente uso di fonti rinnovabili da parte degli edifici e una loro miglior ottimizzazione e integrazione.

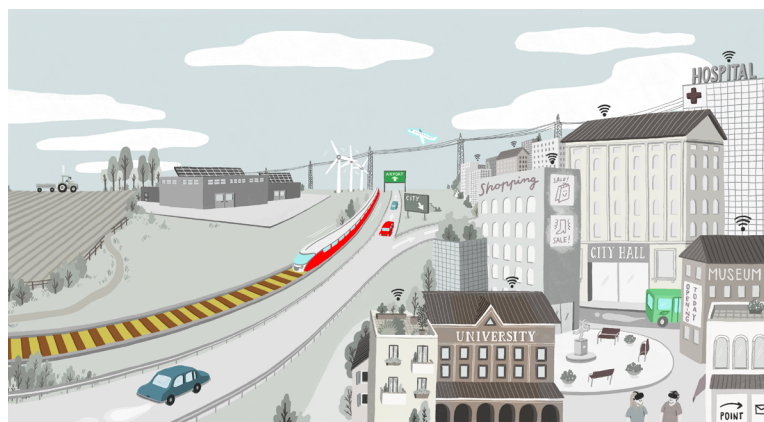
Molti sono poi i benefici per sviluppatori e gestori di spazi: **l'efficienza manutentiva** è aumentata, in media, del 35% e **l'ottimizzazione degli spazi** del 15%. Tecnologie di *Digital Twin* permettono inoltre di responsabilizzare locatari, utenti e visitatori nei propri comportamenti, migliorare la sicurezza degli spazi e fornire **servizi a valore aggiunto** a inquilini, retailer e più in generale a comunità e operatori di *business*.

Figura 3. Sintesi degli impatti medi derivanti dall'applicazione di Digital Twin nel settore real estate.

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti, 2023



3.2.3 Reti



Inquadra o clicca
il Qr code
per accedere
al contenuto
multimediale

Un terzo ambito, in cui l'adozione di tecnologie Digital Twin è ormai consolidata, riguarda la **gestione di reti** in diversi settori (*utility*, trasporti, telecomunicazioni, ...). Per quanto riguarda il settore energetico e *utility*, l'applicazione di Digital Twin è già oggi consolidata a livello di singolo

asset fisico. La creazione di gemelli digitali di apparecchiature quali turbine eoliche, tramite l'integrazione di *hardware* e *software* per la raccolta dati e l'utilizzo di sistemi di Intelligenza Artificiale, ha permesso di **aumentarne notevolmente efficienza operativa e i ricavi nel ciclo di**

vita, con incrementi di efficienza nella produzione energetica nei casi analizzati pari al 20% e una riduzione del 40% del numero di interventi di manutenzione.

È inoltre possibile sviluppare e applicare soluzioni *Digital Twin* nell'ambito di intere reti, anche molto complesse. Ciò, nel settore energetico, permette di fornire maggior visibilità circa flussi e stato della rete, consentendo un preciso monitoraggio da remoto, integrato con una diagnostica che supporta i clienti e i fornitori permettendo di utilizzare più efficacemente le risorse disponibili per gestire la produzione di energia, garantendo, a tutti i livelli della generazione e distribuzione, i livelli ottimali e la massima efficienza, riducendo i guasti e permettendo manutenzioni rapide o addirittura in chiave predittiva, di abilitare comportamenti virtuosi da parte dei consumatori e favorirne il passaggio da semplici consumatori a *prosumer* (produttori e consumatori di energia rinnovabile a seconda delle condizioni più vantaggiose all'interno di reti *smart*).

Diverse *utility* italiane hanno avviato la **pie-na digitalizzazione della propria rete** grazie a un *software Digital Twin* che consente di controllare e gestire da remoto le reti, creandone una precisa copia digitale e permettendo una visione d'insieme in tempo reale del sistema distributivo, una puntuale verifica del funzionamento di tutte le componenti e la loro diretta gestione da remoto, e interventi di manutenzione predittiva. Tale soluzione è inoltre la **precondizione tecnica che consente di accogliere e gestire fonti rinnovabili nella rete**.

Le tecnologie *Digital Twin* giocano infatti un ruolo particolarmente cruciale nell'integrazione di fonti rinnovabili all'interno delle reti. Progetti attualmente in sviluppo attraverso *partnership* pubblico-private a livello europeo hanno come obiettivo quello di contribuire alla **transizione dalle reti di distribuzione passive di oggi alle reti di distribuzione attive e intelligenti**, attraverso

la creazione di *toolbox* che integrano soluzioni di monitoraggio in tempo reale e tecnologie *Digital Twin* per massimizzare l'integrazione delle rinnovabili (l'obiettivo è raggiungere l'80% della generazione energetica da rinnovabili) e massimizzare l'efficienza dei sistemi (fino al 10% in più rispetto allo scenario attuale).

All'interno delle organizzazioni, grazie allo sviluppo di tecnologie AI integrate con Gemelli Digitali e applicate a processi *cost-to-serve* di *player* nel settore *utility*, è possibile automatizzare processi ripetitivi, massimizzando i volumi lavorati e gestendo al tempo stesso case complessi attraverso l'efficace integrazione tra operatore umano e virtuale. Ciò permette di massimizzare i risparmi e la profittabilità, riducendo volumi e/o minutaggio degli operatori, applicando a ciascun processo la soluzione più efficace ed efficiente con un elevato grado di affidabilità tecnica (pari al 98%).

Con riferimento **alle reti stradali e di trasporto più in generale**, i gemelli digitali possono abilitare, semplificare e rendere più pervasiva e completa la transizione verso le c.d. *smart roads*².

I gemelli digitali delle reti di trasporto permettono di monitorare in tempo reale lo stato funzionale e fisico dell'infrastruttura, utilizzando le informazioni che ne derivano per migliorarne la gestione, la manutenzione e il funzionamento. Tali tecnologie consentono inoltre una complessiva razionalizzazione dei flussi e dei carichi, riducendo i picchi e le interruzioni o le limitazioni di servizio legate alla manutenzione, efficientando la rete esistente e quindi diminuendo la necessità di realizzare nuove infrastrutture o interventi di potenziamento, finanche adattando le tratte in funzione dei cambiamenti di comportamento in tempo reale e favorendo la multimodalità. Al di là di progettualità pilota più o meno estese, i *player* di settore (dai gestori di rete ai costruttori di infrastrutture) stanno già utilizzando soluzioni *Digital Twin* per aumentare la **sicurezza** di specifiche

² Definite dal Decreto c.d. "Smart Roads" come infrastrutture stradali per le quali è compiuto un processo di trasformazione digitale orientato a produrre piattaforme di osservazione e monitoraggio del traffico, modelli di elaborazione dei dati e informazioni, servizi avanzati ai gestori delle infrastrutture, alla pubblica amministrazione e agli utenti della strada".

infrastrutture (strade, viadotti e rete ferroviaria), **efficientarne le fasi progettuali e costruttive, e favorire la manutenzione in chiave predittiva.**

Le stesse logiche possono poi essere applicate alle **reti di telecomunicazione**. In questo ambito, *Digital Twin* evoluti supportano gli operatori Telco in tutte le fasi di manutenzione e gestione operativa degli *asset* fisici e immateriali che costituiscono la rete di telecomunicazioni fissa e mobile. A titolo di esempio, un gestore di rete ha sviluppato, insieme a *partner* tecnologici, un accurato gemello digitale della rete telefonica su scala nazionale, modellizzando la copertura,

le interferenze e il comportamento del traffico di rete, compresi i passaggi degli utenti attraverso le diverse frequenze. Ciò ha permesso di **ridurre la potenza di trasmissione (-20%) e migliorando al tempo stesso le performance** per gli utenti finali (+5% velocità di *download* e +30% di *upload*) e favorendo il dispiegamento delle **reti 5G**. Allo stesso modo, l'uso delle tecnologie *Digital Twin* permette di ridurre le anomalie attraverso la previsione del comportamento della rete, basandosi sull'elaborazione da parte di un motore di Intelligenza Artificiale e *machine learning* dei dati storici costituiti da allarmi e dispositivi di rete a banda larga.

3.2.4 Ricerca e Sviluppo



Inquadra o clicca
il Qr code
per accedere
al contenuto
multimediale

Un ambito di attività in cui le tecnologie *Digital Twin* risultano altamente trasformative è quello della **ricerca e sviluppo (R&D)**, in tutte le sue fasi e, principalmente, in quelle a maggior rischio e incertezza (corrispondenti ai primi *technology readiness level*, TRLs).

Questo si applica a diversi settori, sia industriali/manifatturieri, che con riferimento alla ricerca di base, in ambito universitario, clinico, etc. Le tecnologie dei *Digital Twin* sono state ad esempio applicate con successo a **trial clinici**, nella ricerca contro l'Alzheimer, per velocizzarli e con-

sentire di realizzare studi più piccoli ed efficienti che mantengono significatività e affidabilità.

La realizzazione di copie digitali e modelli predittivi permette infatti di simulare e testare iterazioni differenti, molteplici combinazioni e scenari prototipali pressoché illimitati. Tutto questo può avvenire in tempi e con costi particolarmente ridotti rispetto ad uno scenario tradizionale, in cui i test vengono condotti realmente, in laboratorio.

I *Digital Twin* permettono quindi di determinare a priori il risultato migliore delle attività di

ricerca e di diminuire – fino ad azzerarlo – i rischi connessi alla fase prototipale e di sviluppo tecnologico. **Nel complesso, l'intero processo di R&D, attraverso la realizzazione di gemelli digitali, può essere affinato, velocizzando le procedure, riducendo l'incertezza, minimizzando i costi ed eliminando errori**, arrivando così alla definizione del miglior prodotto/risultato possibile a partire da un'idea, attraverso la costruzione di modelli accurati, che replichino le condizioni reali e/o di laboratorio con la massima precisione.

Riducendo rischi e incertezze, soprattutto nelle fasi più delicate della ricerca di base, del *proof of concept*, della validazione e prototipazione, le tecnologie *Digital Twin* permettono anche

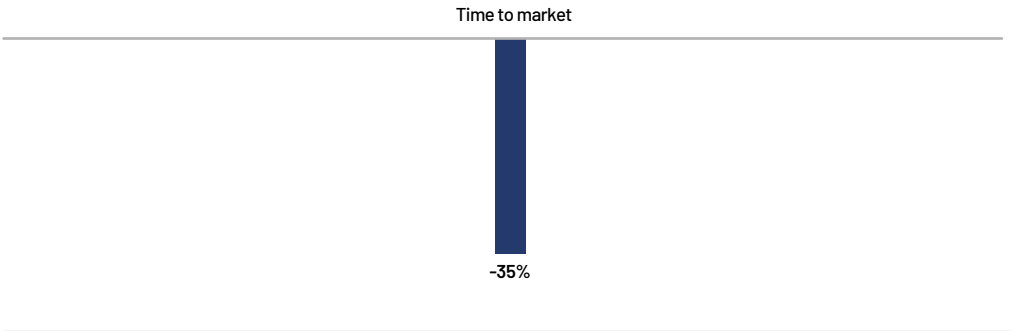
una più facile e meno onerosa capacità di reperire risorse sul **mercato dei capitali**.

Il *Digital Twin*, attraverso prodotti connessi, permette inoltre di **affinare lo sviluppo di prodotti e servizi**, raccogliendo dati dagli utenti, che consentono di apportare miglioramenti. L'utilizzatore, in cambio, ha la certezza che il suo prodotto sia monitorato e – se necessario – permetterà un intervento in fase di manutenzione, che diventa così un servizio integrato nel prodotto stesso.

In media, nei casi studio osservati, si riscontrano, tra i principali benefici, una riduzione dei tempi di prototipazione e sviluppo di prodotti innovativi del 35% rispetto a uno scenario che non prevede l'applicazione di soluzioni *Digital Twin*.

Figura 4. Sintesi degli impatti medi derivanti dall'applicazione di tecnologie *Digital Twin* all'R&D.

Fonte: elaborazioni The European House – Ambrosetti, 2023



3.3 Use case in sviluppo: i Digital Twin sociali

3.3.1 Smart cities



Tra gli ambiti per cui il *Digital Twin* rappresenta una tecnologia in via di sviluppo, troviamo innanzitutto quello delle **smart cities**. Una città intelligente **integra, infatti, tecnologie digitali nelle proprie reti, servizi e infrastrutture per diventare più efficiente e vivibile a beneficio degli abitanti e delle imprese**. Tra queste tecnologie un ruolo abilitante è assunto da tutti quei sensori, sistemi e *software* di analisi in grado di generare e trarre valore dai dati urbani (delle infrastrutture, meteorologici, dei flussi quali traffico, pedoni e dei *city-users*, ...). In questo senso e alla luce di quanto sin qui illustrato è facile comprendere come i *Digital Twin* possano assumere grande importanza.

In ambito *smart city*, infatti, un gemello digitale raccoglie continuamente informazioni e **dati geospaziali** dall'ambiente urbano (attraverso sensori e altre tecnologie, da infrastrutture, veicoli *city users*, ...) per presentare un quadro aggiornato in tempo reale e in grado di supportare modelli di simulazione avanzati, che possono essere modificati al variare di variabili di interesse. Già oggi,

diverse città sperimentano l'uso di gemelli digitali in ambito urbano per supportare la progettazione delle città o dei servizi, identificare e anticipare criticità, intervenire per studiare e implementare interventi in grado di migliorare la *performance*, l'efficienza, la sostenibilità, la sicurezza e, più in generale, la qualità della vita dei cittadini.

Un'attenta e corretta gestione dei dati poi, permette all'autorità pubblica di integrare dati provenienti da fonti pubbliche e private, generare informazioni e servizi utili attraverso "cabine di regia" o "*control room*" e veicolare servizi integrati (es.: nel campo della mobilità, dei servizi energetici e idrici, dei servizi di TLC e nella gestione degli spazi e delle attività retail, ...) abilitando forme innovative di **partenariati pubblico-privati** a beneficio sia dei cittadini che del *business*.

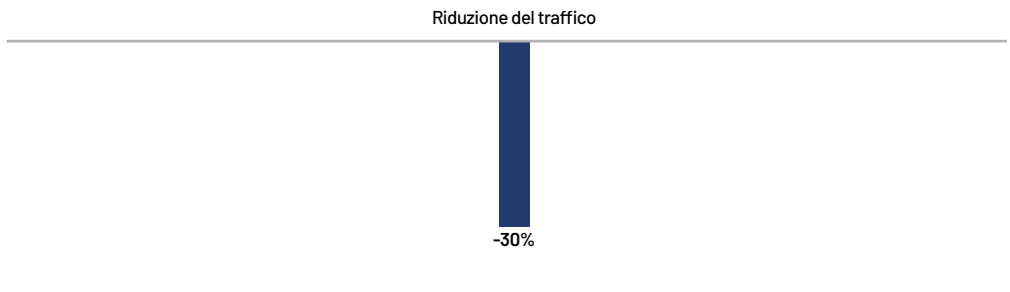
Casi concreti mostrano come l'uso di tecnologia *Digital Twin* in ambito *smart city* sia già stato utilizzato dalle autorità pubbliche e dagli amministratori cittadini nella **gestione di emergenze ambientali o sanitarie** (come quella connessa

alla pandemia da Covid-19), nella pianificazione di importanti interventi di rigenerazione urbana, nel miglioramento di servizi di raccolta differenziata e gestione dei rifiuti, nell'ottimizzazione dei flus-

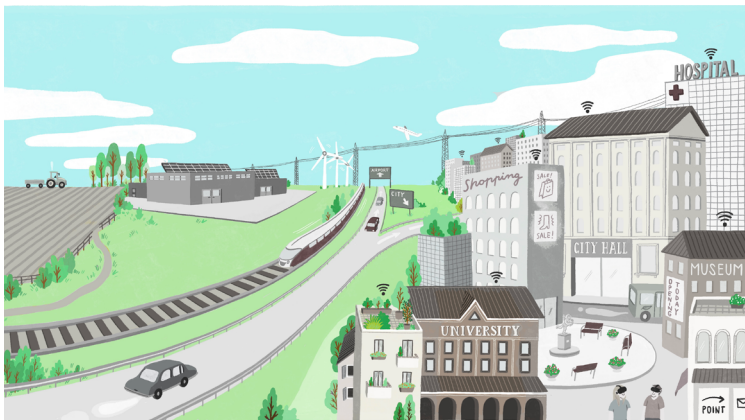
si di trasporto di merci e persone con impatti in termini di sostenibilità e qualità dell'ambiente e incentivazione di soluzioni multimodali incentrate sul trasporto pubblico locale.

Figura 5. Impatto derivante dall'applicazione di tecnologie *Digital Twin* nelle *smart cities*.

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti, 2023



3.3.2 Clima e biosfera



Inquadra o clicca
il Qr code
per accedere
al contenuto
multimediale

In modo simile a quanto avviene per le *smart cities*, i *Digital Twin* possono essere applicati all'osservazione terrestre e utilizzati per sviluppare servizi a valore aggiunto e, finanche, replicare modelli complessi come quelli **meteorologici**, in modo da simulare **comportamenti climatici**

e fenomeni atmosferici.

Già oggi soluzioni di **osservazione terrestre**, che uniscono dati satellitari e locali analizzandoli con soluzioni di AI e *Digital Twin*, utenti privati/*business* e decisori pubblici possono sviluppare, tra gli altri: servizi di gestione del verde e ri-

vegetazione, di gestione e pianificazione delle fonti rinnovabili, di gestione efficiente di spazi ed edifici, soluzioni connesse all'agricoltura di precisione, alla gestione della qualità dell'aria, al monitoraggio delle risorse idriche, alla gestione e pianificazione urbana, alla gestione di infrastrutture critiche e grandi eventi.

Inoltre, soluzioni di Intelligenza Artificiale e Digital Twin possono essere applicati alla biosfera e ai modelli climatici e meteorologici, per analizzare le attività umane e naturali, consentendosi simulazioni in grado di prevedere i futuri fenomeni e il loro impatto. Tali soluzioni possono aiutare la comunità scientifica, i decisori pubblici e anche gli attori privati per elaborare strategie e progettualità più efficaci. Queste soluzioni sono sempre più importanti proprio alla luce del cambiamento climatico e della crescente necessità di prevederne i fenomeni collegati e prevenirne gli impatti, oltre che di identificare le soluzioni migliori di adattamento al *climate change* e di pianificare gli interventi di mitigazione più efficaci.

Una serie di valutazioni del Gruppo Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite ha evidenziato come l'aumento delle emissioni stia peggiorando i disastri climatici, l'insicurezza alimentare e idrica e le estinzioni, rendendo ancora più significativi i tentativi di modellare e prevedere gli impatti climatici futuri.

Tra le iniziative più ambiziose in questo senso, l'Unione Europea ha lanciato il progetto "**Destination Earth**", per utilizzare dati ambientali, socioeconomici e satellitari per sviluppare gemelli digitali altamente accurati del pianeta Terra (fino ad una scala di 1km, molto più accurata

rispetto ai modelli esistenti e fondamentale per realizzare previsioni affidabili) con l'obiettivo di aiutare i decisori politici, i ricercatori e i privati a comprendere meglio il cambiamento climatico e rispondervi in modo più efficace. Combinando i diversi gemelli digitali, "**Destination Earth**" vuole arrivare a creare una **replica completa dei sistemi terrestri nel prossimo decennio**.

Annunciata a marzo 2022, l'iniziativa della Commissione Europea e di altre organizzazioni partner³ per contribuire alla lotta contro il cambiamento climatico, è sostenuta con un finanziamento iniziale di **150 milioni di Euro** (fino alla metà del 2024). *Destination Earth* porterà due innovazioni principali nel modo in cui guardare alle questioni climatiche: nella **qualità dei dati a disposizione** della comunità scientifica e, più in generale, nella possibilità di **interagire con quantità di dati e modelli che non hanno precedenti**.

Nel dettaglio i Digital Twin realizzati nell'ambito di "*Destination Earth*" vogliono aiutare a **monitorare, modellare e prevedere le attività naturali e umane**, dai vortici oceanici - importanti trasportatori di calore e di carbonio - al rischio di siccità, dalla vulnerabilità delle infrastrutture ai fenomeni migratori. Ciò supporterà lo sviluppo di scenari e progettualità per uno sviluppo più sostenibile e per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità che l'UE si è data. Informazioni di alta qualità, servizi digitali, modelli, scenari, previsioni e visualizzazioni sviluppate nell'ambito di "*Destination Earth*" saranno forniti prima agli utenti del settore pubblico e poi gradualmente alle comunità scientifiche, al settore privato e al pubblico in generale.

3 L'Agenzia Spaziale Europea (ESA), il Centro Europeo per le Previsioni Meteorologiche a Medio Termine (ECMWF) e l'Organizzazione Europea per lo Sfruttamento dei Satelliti Meteorologici (EUMETSAT).

3.3.3 Ecosistema turistico e culturale



La creazione di gemelli digitali inizia ad essere sperimentata e applicata con sempre maggior successo anche nel settore turistico – culturale, dove favorisce una migliore gestione delle *venues* (es. musei, siti archeologici, ...), del patrimonio artistico-culturale, delle risorse e dei progetti; potenzia accessibilità e coinvolgimento anche con riferimento al settore *education*; apre nuovi modi per custodire, approfondire e condividere esperienze ed informazioni.

Molti musei iniziano oggi a sperimentare in questo senso e a creare progettualità che prevedono la realizzazione di **gemelli digitali di opere, percorsi museali o interi musei** per sfruttare appieno il loro potenziale, migliorare l'offerta e l'attrattività, e potenziare la sicurezza. Si pensi, ad esempio, ai benefici che copie digitali di musei o del patrimonio artistico culturale possono offrire sotto il profilo dell'accessibilità, ad esempio in contesti di difficile o limitato accesso (per esempio a causa delle limitazioni imposte a causa della pandemia da Covid-19, o in luoghi particolarmente remoti), o sotto il profilo della **sicurezza e conservazione** (ad esempio per *location* o patrimoni esposti al rischio di conflitti geopolitici o minacciate dai cambiamenti climatici).

Con riferimento all'accessibilità, la creazione di un gemello digitale può permettere una **fruizio-**

ne da remoto, garantendo al tempo stesso un'esperienza realistica e immersiva grazie all'integrazione e all'utilizzo della realtà aumentata (attraverso visori o altri dispositivi in realtà aumentata...). Questo ha valore particolare se si pensano alle sinergie e alle ricadute rispetto al **settore dell'istruzione**. Studenti in tutte le parti del mondo, con costi minimi, potranno accedere ad esperienze culturali di altissimo livello, aumentando al tempo stesso la platea potenziale per un museo e la competitività per attrarre visitatori.

Non solo, sono possibili anche **sinergie tra reale e virtuale**. Ad esempio, è possibile creare prodotti e offerte integrate, ad esempio coinvolgendo il visitatore anche dopo la visita, **offrendo servizi e prodotti** culturali digitali e permettendo l'accesso ad esperienze virtuali (QR code, abbonamenti digitali, ...) che creano un *link* permanente con i visitatori fisici e virtuali. Sempre con riferimento alla fusione tra componente fisica e digitale, tecnologie *Digital Twin* permettono di realizzare **prodotti culturali potenziati**, che integrano l'esperienza e la componente fisica con soluzioni di realtà virtuale (abilitata da tecnologie *Digital Twin*), permettendo ad esempio di "far vivere" le opere, coinvolgendo il visitatore *"on-site"* con **esperienze interattive e potenziando lo storytelling**. Alcuni musei, ad esempio, stanno

iniziando a utilizzare *avatar* che ricostruiscono in 3D personaggi storici a grandezza naturale, dotati di Intelligenza Artificiale che permette loro di sostenere un dialogo con gli umani su argomenti relativi alle opere museali.

Tra gli altri, si pensi che il **PNRR** (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) stanziava nella Missione 1, Componente 3 circa 7 miliardi di euro con l'obiettivo di sostenere il "patrimonio culturale per la prossima generazione" e prevede investimenti per creare un patrimonio digitale dei beni culturali. L'obiettivo della misura è digitalizzare il patrimonio culturale italiano favorendo: la fruizione di siti, musei e luoghi della cultura e lo sviluppo di servizi da parte del settore culturale/creativo. Si vuole così garantire un accesso universale alle opere d'arte e dall'altro si abilitano iniziative di approfondimento e di divulgazione innovative.

Sono sempre di più i musei che utilizzano tecnologie *Digital Twin* per migliorare anche la gestione dell'infrastruttura museale. Repliche digitali dei musei o delle *location* permettono di migliorare la *performance*, la sicurezza, la gestione dei flussi e la sostenibilità ambientale, oltre che di quei parametri, altamente complessi, ottimali per la corretta conservazione del patrimonio artistico/culturale. Gli stessi concetti si possono applicare a siti archeologici, musei diffusi, piazze e interi borghi e città di interesse turistico-culturale.

I *Digital Twin* possono inoltre supportare il **settore turistico e la promozione territoriale**. Tra gli altri, la *High Performance Computing Center* di Stoccarda ha sviluppato un modello di *Digital Twin* della città tedesca di Herrenberg per offrire a chiunque scorci delle bellezze e delle opere locali, attraverso la realtà virtuale, in fase di scelta di prossima destinazione turistica. Sotto il profilo prettamente turistico sono molteplici anche le esperienze che possono essere digitalizzate interamente (in chiave promozionale) o integrate/potenziare con elementi digitali e virtuali grazie all'uso di tecnologie *Digital Twin*, in modo da **migliorare la fruizione e aumentare "immersività" e coinvolgimento**.

Infine, la creazione di repliche digitali può fornire un supporto al settore e ai professionisti, contribuendo al restauro e al ripristino di opere (ad esempio fornendo un catalogo digitale accurato, che replica le condizioni iniziali dell'opera o che permette di visionare e confrontare molteplici opere da diversi luoghi nel mondo). I *Digital Twin* di opere d'arte e culturali supportano e facilitano inoltre lo studio e la ricerca di esperti e studenti. Infine, migliorano i flussi di lavoro: ad esempio la simulazione del sito di scavo permette di lavorare simultaneamente ad archeologi e a tecnici, anche da luoghi diversi

3.3.4 Agricoltura



Inquadra o clicca
il Qr code
per accedere
al contenuto
multimediale

Un altro settore in cui l'uso di *Digital Twin* è in una fase di sviluppo accelerato è quello agricolo. Tecnologie di *Digital Twin* sono già oggi utilizzate per il **monitoraggio del bestiame**, anche a distanza e per tenere sotto controllo aspetti relativi alla salute e al benessere animale dei capi, così da intervenire, anche in **tempo reale o in chiave predittiva**, per aumentarne la produttività, migliorare la qualità dei prodotti e limitare o evitare criticità come malattie o epidemie negli allevamenti.

Al tempo stesso, l'applicazione di gemelli digitali al settore **agritech** permette di analizzare e prevedere - anche in chiave integrata con modelli climatici e atmosferici - lo stato dei campi e delle colture, identificando situazioni critiche, di stress, di sottoproduzione o scarsa resa, in modo da poter prendere in anticipo o in tempo reale le decisioni gestionali e produttive più opportune (piani di rotazione, interventi sul suolo, ...).

Ancor più efficace è l'applicazione di tali tecnologie a **serre o ambienti di coltivazione controllabili**: in questo caso è possibile creare un gemello digitale dell'ambiente in modo da poter monitorare molteplici parametri e intervenire su di essi, effettuando simulazioni o prevenendo criticità. Un progetto triennale attualmente in sviluppo, vuole costruire un modello di simulazione

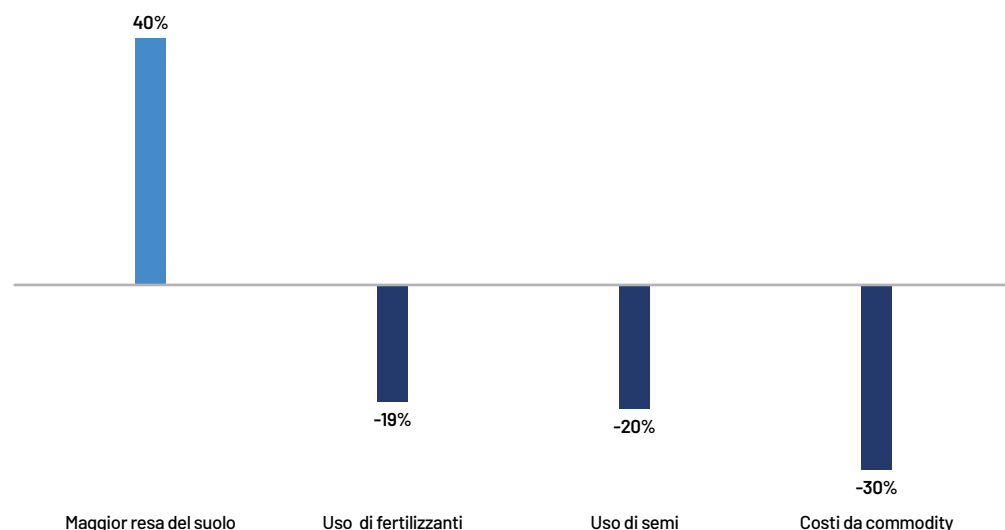
che preveda la crescita di piante di pomodoro in 3D e continuamente aggiornato con i dati della coltura reale. Questo consentirà, ad esempio, di prevedere le risposte delle colture (crescita, sviluppo e produzione) alle condizioni di serra e di intervenire per massimizzare l'efficienza produttiva, l'intensità e la qualità della luce, il dosaggio di CO₂, la disponibilità di nutrienti e la potatura delle foglie.

L'uso di *Digital Twin* in questo settore porta anche a miglioramenti nel campo della sostenibilità, sotto il profilo: di una più efficiente gestione idrica; di una maggior attenzione al benessere animale sviluppando soluzioni e possibilità di intervento sin qui non realizzabili; di una riduzione delle emissioni e di un minor uso di pesticidi ed inquinanti. I gemelli digitali permettono anche di potenziare la tracciabilità lungo la filiera e la trasparenza verso i consumatori.

In concreto, casi applicativi hanno mostrato una **riduzione nell'uso di semi attorno al 20%** e una **complessiva riduzione nel costo derivante dall'uso di commodity fino al 30%**, una **riduzione nell'uso dei fertilizzanti del 19%** e un **aumento nella resa del raccolto fino al 40%**. Sono anche state registrate una **maggior efficienza idrica (fino all'80%)** ed **energetica (fino al 50%)**.

Figura 5. Sintesi degli impatti medi derivanti dall'applicazione di tecnologie *Digital Twin* nel settore agritech.

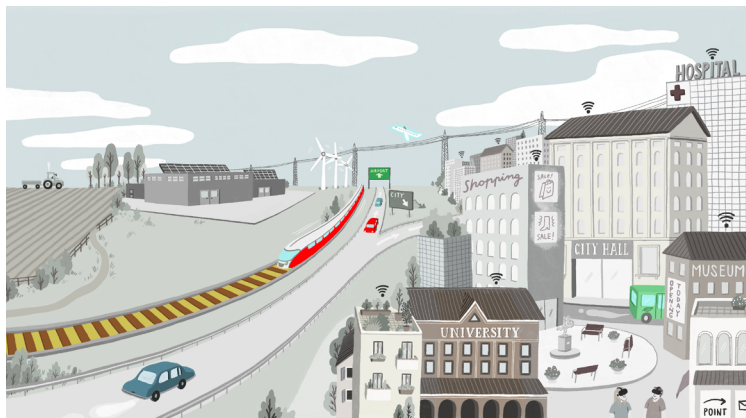
Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti, 2023



Produttori di **macchinari agricoli** integrano tecnologie *Digital Twin* che, oltre a ridurre i tempi di sviluppo, permettono di agire sulla manutenzione e di migliorare le *performance*. Avere un gemello digitale di un macchinario agricolo (es. trattore, ...) rende più semplice - la **manutenzione predittiva e prescrittiva**, che consente di individuare con precisione quando e dove intervenire, anticipando il problema. Abbinare un gemello

virtuale che vive le stesse condizioni operative dell'*asset* fisico in campo permette di definire finestre di intervento più precise e personalizzate, andando a ridurre i costi operativi. Inoltre, in caso di malfunzionamenti, è possibile agire virtualmente sul gemello virtuale per individuare la causa del problema. o testare operazioni correttive da applicare poi sull'*asset* fisico **riducendo i costi**, anche legati al fermo macchina.

3.3.5 Reti di reti



Ambito trasversale a settori e temi già trattati nei precedenti *use case* (come quelli afferenti a *smart cities*, trasporti, reti energetiche, ...) e che porta ad un ulteriore livello di sviluppo, complessità e pervasività degli impatti derivanti dall'applicazione di tecnologie *Digital Twin*, riguarda le c.d. **"reti di reti", che presuppongono l'aggregazione e la messa a sistema di più gemelli digitali diversi**, che interagiscono tra loro creando sistemi ancora più complessi.

In questo senso, il gemello digitale permette di generare simulazioni ancor più sofisticate e di generare servizi integrati e benefici che superano quelli per il singolo operatore e settore. È questo il caso di **servizi di mobilità integrata** (che mettono insieme simulazioni derivanti da diverse reti come quella autostradale, ferroviaria, ...) e delle c.d. **comunità energetiche**.

In questo ambito, un esempio è fornito dal progetto europeo *TwinERGY*, che riunisce un

consorzio con 18 diversi *player* e che mira ad introdurre un nuovo *Digital Twin* per il mercato dell'energia. Il progetto introduce un *Demand Response Framework*, una soluzione unica nel suo genere che incorpora l'intelligenza digitale in modo che i cittadini possano adattare attivamente i loro consumi alle fluttuazioni del mercato grazie all'aiuto dei dati e dell'automazione.

Esso permetterà di ottimizzare la risposta alla domanda a livello locale senza compromettere i risultati per i consumatori e senza inficiare sulle operazioni e i consumi quotidiani. Il progetto aggrega tre diversi *Digital Twin*: **Building Digital Twin**, per la gestione ottimizzata dell'energia domestica con l'obiettivo di preservare il comfort e minimizzare al tempo stesso l'uso dell'energia; il **Consumer Digital Twin**, che prevede i modelli di consumo e le preferenze degli utenti e, infine, il **Community Digital Twin**, creato per analizzare l'impatto sulla rete dei singoli membri della comunità.

3.4 Use case prospettici: i personal Digital Twin

Un ultimo *cluster*, ancora in fase di sviluppo prospettico, ma con primi ambiti applicativi che ne mostrano il grande potenziale, riguarda i c.d. *personal Digital Twin*, che permetteranno di **creare gemelli digitali di individui nelle loro diverse vesti di cittadini, pazienti, consumatori**, ... attraverso la raccolta e il monitoraggio di dati individuali e la loro elaborazione, in modo da creare *Digital Twin* che migliorino i servizi alla persona e le esperienze di vita, fruizione e consumo. Un *personal Digital Twin* è quindi una rappresentazione digitale di un individuo tramite l'integrazione di dati sulle caratteristiche fisiche, i modelli

di comportamento, le preferenze e altre informazioni che possono essere utilizzate per creare un modello dettagliato e accurato della persona, così da essere utilizzato in diversi campi (sanità, servizi pubblici, retail, ...) migliorando il benessere di un individuo e lo sviluppo di nuovi modelli per le imprese. In ultima istanza il potenziale dei *personal Digital Twin* potrà essere associato a quello del **metaverso** (si veda il capitolo 4 per un approfondimento) per massimizzare le potenzialità di questa tecnologia in ambito sociale, ma anche industriale e produttivo (metaverso industriale).

3.4.1 Salute



L'esempio sicuramente oggi maggiormente concettualizzato e più sviluppato in prime applicazioni riguarda l'utilizzo di gemelli digitali nel settore medico-sanitario. In questo ambito i gemelli digitali **aggregano dati sanitari** (tra questi: dati sanitari elettronici come risultati di esami, prescrizioni, da-

ti anamnestici, cartelle cliniche; dati sul genoma; dati anatomici e fisiologici anche raccolti da *device* indossabili; abitudini e stili di vita; dati su viaggi in zone o luoghi a rischio; ...) **per migliorare lo sviluppo e l'erogazione di servizi al paziente, la ricerca e, più in generale, il settore medico-sanitario.**

In questo ambito il *personal Digital Twin* dei pazienti può fornire, tra gli altri, analisi ed elementi utili per la diagnosi ai medici, migliorare l'aderenza terapeutica, prevedere la risposta a determinati trattamenti e supportare la ricerca clinica, consentire l'ulteriore sviluppo della medicina di precisione e della telemedicina e, più in generale, trasformare il settore sanitario, rendendo più sostenibili ed efficaci i servizi sanitari.

In particolare, lo sviluppo prospettico di *personal Digital Twin* in ambito sanitario migliorerà l'efficacia e la sostenibilità di terapie e prestazioni (ad esempio migliorando l'aderenza terapeutica; misurando l'efficacia di un determinato protocollo di cura; anticipando la necessità di visite e trattamenti; ...). I *Digital Twin* abiliteranno anche abilitando la medicina di precisione e approcci *taylor made*, consentendo la sperimentazione di precisione di migliaia di trattamenti sul gemello digitale, portando a decisioni più informate che possono massimizzare i risultati per i pazienti e ridurre al minimo i potenziali danni e effetti collaterali. I gemelli digitali potranno anche incidere su qualità e aspettativa di vita, finanche incentivando comportamenti e stili di vita più sani nella popolazione.

Al tempo stesso, i gemelli digitali supporteranno la **ricerca**, abilitando nuovi campi di studio e velocizzando e semplificando i *trial* clinici. Se messi in rete, infine, con una logica di "reti di reti", i gemelli digitali potranno permettere alle istituzioni sanitarie a monitorare la salute generale di una popolazione, ad esempio prevenendo o gestendo epidemie. La creazione di gemelli digitali aiuterà i ricercatori ad arrivare ad una conoscenza avanzata del corpo umano: gemelli digitali di organi, di un genoma o di una singola cellula permetteranno ai ricercatori di avanzare la ricerca medica, di sperimentare opzioni terapeutiche e

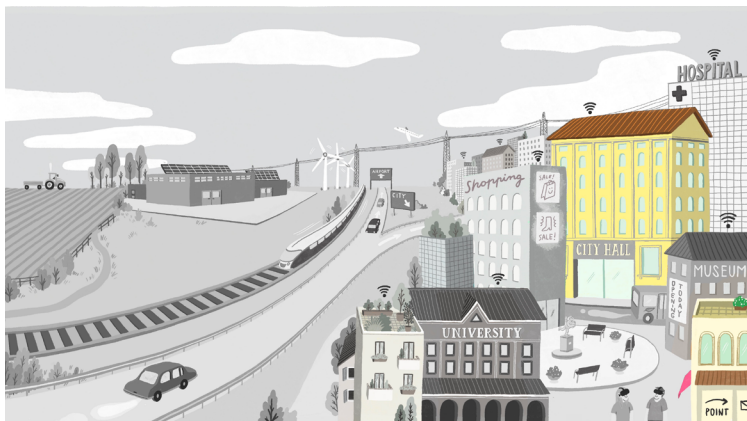
chirurgiche innovative.

Più in generale, integrando gemelli digitali personali dei pazienti messi in rete secondo il concetto di "rete di rete" e gemelli digitali di strutture ospedaliere (e interi sistemi sanitari), permetteranno di replicare i sistemi di gestione del personale, la pianificazione delle capacità, i flussi di lavoro e i modelli di erogazione delle cure per migliorare l'efficienza, ottimizzare i costi e anticipare le esigenze future **migliorando allocazione e gestione delle risorse e assicurando un maggior sostenibilità del sistema con una riduzione della pressione sul servizio sanitario** (messo in crisi, ad esempio, dallo scoppio della pandemia da Covid-19).

Sotto il profilo della disponibilità di posti letto, macchinari e dispositivi medici (monitoraggio e di *imaging*, respiratori, tavoli chirurgici e costosi robot anche in ottica di *sharing*), i gemelli digitali abiliteranno una migliore analisi predittiva basata sulla combinazione di dati interni ed esterni, tracciando il flusso di pazienti e prevedendo potenziali picchi utilizzando dati demografici e di morbidità della popolazione, così come la prevalenza e la trasmissione delle malattie nella comunità. Gli stessi obiettivi di sostenibilità e flessibilità del sistema contribuirà l'uso di gemelli digitali per supportare lo sviluppo della **telemedicina**.

I *personal Digital Twin* possono essere applicati anche in ambito wellness, per tracciare l'attività fisica di un individuo, monitorare i progressi e fornire raccomandazioni personalizzate per l'allenamento e l'alimentazione. I *personal Digital Twin* potranno anche essere utilizzati per comprendere i modelli di comportamento, le preferenze e gli obiettivi di un individuo, così da formulare raccomandazioni personalizzate per il suo miglioramento personale e/o professionale.

3.4.2 Altri servizi al cittadino



Gli *use case* concreti e gli impatti abilitati dal paradigma dei *personal Digital Twin* e applicati a pazienti e al settore sanitario, potranno essere declinati per altri servizi al cittadino. Una **compagnia assicurativa**, ad esempio, potrà sviluppare un gemello digitale dell'assicurato o di determinate classi di rischio, incorporando diverse proprietà o beni assicurati, registrando i problemi e i pagamenti e migliorando la valutazione del rischio. Questo permetterà di intraprendere azioni, agire in chiave predittiva e, in concreto, consentirà di sviluppare offerte *taylor made*, in grado di rispondere realmente alle esigenze del cliente, minimizzando costi e rischi per entrambe le parti.

Anche le municipalità potranno creare gemelli digitali del cittadino e offrire servizi *taylor made*. Le **Pubbliche Amministrazioni** in gene-

rale, grazie a *Digital Twin* che elaborino dati dei cittadini provenienti da molteplici fonti, potranno migliorare la gestione della macchina pubblica semplificando e riducendo la burocrazia, operando in ottica proattiva, riducendo gli illeciti e gli abusi e massimizzando la trasparenza. Casi d'uso di gemelli digitali personali possono già oggi essere concepiti in ambito catastale o fiscale, e nel rilascio di permessi. Tutti questi *Digital Twin* potranno poi essere integrati secondo il concetto di "rete di reti", e creare un vero e proprio gemello digitale del cittadino come servizio *stand-alone*. Il nodo più grande da risolvere sarà quello relativo alla raccolta e al trattamento di dati, come si vedrà nel paragrafo dedicato alla *governance*, nel quarto capitolo del presente rapporto.

3.4.3 Consumer e retail



Una ulteriore tipologia di *personal Digital Twin* è alimentata dai dati individuali dei consumatori generati da molteplici canali (strumenti di pagamento, store fisici, canali digitali, *social media*, ...). Il proliferare di questo tipo di dati, insieme all'applicazione di *Digital Twin* oggi ancora prospettica (anche se non mancano alcuni casi applicativi), abilita una profilazione utenti con un livello di profondità senza precedenti.

Ciò - come per i gemelli digitali analizzati in altri settori - apre a logiche predittive e *taylor made* che hanno impatti in molteplici dimensioni del settore *consumer* e *retail*. Ciò permette infatti, tra gli altri, di migliorare e rendere più efficaci i **servizi ai clienti, ma anche la gestione e la pianificazione degli spazi retail e degli stock** (anche in questo caso, sia fisici che digitali), con livelli di integrazione del *customer journey* senza precedenti.

Considerando i servizi al cliente, i *personal Digital Twin* permettono di migliorare la soddisfazione e la *retention* dei clienti, di costruire offerte personalizzate, di rafforzare le strategie di *marketing* e intervenire in tempo reale per modificare gli approcci che si rivelano poco efficaci.

Simulare e prevedere la gamma di comportamenti di un cliente attraverso la creazione di un gemello digitale del consumatore può anche

aiutare a semplificare i processi e migliorarli (ad esempio riducendo le code, semplificando le procedure di pagamento, migliorando la gestione di magazzino e il *customer journey*, efficientando i turni e la rotazione del personale, ...). Tutto ciò permette anche di ridurre i costi fissi. In settori come quello dei *Fast Moving Consumer Goods* costruire gemelli digitali può anche incidere su elementi critici come la riduzione dei costi fissi, la qualità e la freschezza dei prodotti, e la massimizzazione della *shelf life*.

I *Digital Twin* in ambito *retail* permetterebbero anche di trasformare lo **sviluppo prodotto e, finanche, le logiche produttive**, riducendo i costi fissi e aumentando la flessibilità, al punto da **accorciare le distanze tra produttore e consumatore e rendere le due categorie maggiormente permeabili**. Le caratteristiche della catena di approvvigionamento potrebbero ad esempio cambiare, passando da piani di produzione focalizzati sul medio-lungo termine a piani di produzione a breve-medio termine, basati sull'analisi quasi in tempo reale della domanda dei consumatori. Ciò rende maggiormente dettagliata la segmentazione, aumentando ancor di più la centralità del *marketing*, con un livello di precisione che potrebbe arrivare a recepire le preferenze del singolo cliente.

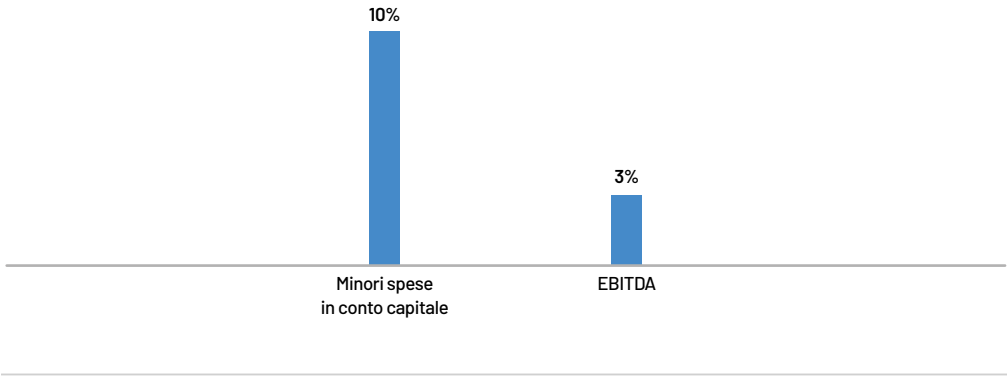
Tutto ciò presenta benefici per le aziende che vanno di pari passo con gli **obblighi** nella gestione dei dati dei consumatori.

Sempre in ambito *retail*, è già oggi possibile costruire *Digital Twin* “tradizionali”, consolidati, fisici degli spazi retail (eventualmente integrabili

con *personal Digital Twin* dei clienti e altri sistemi in “reti di reti”) che ottimizzano le *performance* economiche e ambientali, e di effettuare simulazioni che massimizzino la soddisfazione dei clienti, i ritorni economici e la sostenibilità.

Figura 6. Sintesi degli impatti medi derivanti dall'applicazione di tecnologie Digital Twin nel settore retail.

Fonte: elaborazioni The European House - Ambrosetti, 2023



04

Come accelerare
la diffusione
del *Digital Twin*

4.1. Gli impatti del *Digital Twin* sulle catene del valore e sulle filiere

Il *Digital Twin* è una tecnologia strategica per la competitività industriale, per la sostenibilità e per l'innovazione, e rappresenta una delle espressioni più alte del percorso di trasformazione digitale delle imprese. L'analisi degli *use case* ha evidenziato come le sue applicazioni siano trasversali a diversi settori di *business* e come siano rilevanti sia per gli attori pubblici, sia per il settore privato. Ma quale, nel concreto, il potenziale impatto sull'Italia derivante da un'adozione sistematica dei *Digital Twin*?

Per rispondere a questa domanda, abbiamo in primo luogo sviluppato un modello di impatto, in grado di quantificare gli effetti sul sistema-Italia derivanti dall'adozione massiva dei *Digital Twin*. Il Modello è stato costruito su tre dimensioni diver-

se che – come evidenziato dalle attività di ingaggio degli *stakeholder*, dalla *survey* e dall'analisi degli *use case* – sono i principali ambiti di impatto dei *Digital Twin*: produttività, sostenibilità ed innovazione.

Tuttavia, gli effetti del *Digital Twin* non si esauriscono alla sua adozione ma, essendo la tecnologia stessa un mercato strategico ed in forte crescita, i *Digital Twin* pongono anche un'opportunità per il Sistema-Paese di sviluppare fin da subito una *expertise* tecnologica/industriale in grado di cogliere tutte le opportunità derivanti dallo sviluppo di una filiera che sarà sempre più strategica a livello internazionale. In questo senso, abbiamo inoltre quantificato quanto potrebbe valere per l'Italia lo sviluppo di una filiera *leader* globale *Digital Twin*.

4.1.1 Impatti su produttività, sostenibilità e innovazione

L'analisi della tecnologia *Digital Twin* e lo studio attuale e prospettico dei casi d'uso, nonché delle quantificazioni ad essi associate, mostra come a livello globale lo sviluppo dei gemelli digitali, in diversi ambiti e settori dell'economia e della società, possa avere impatti significativi su diverse dimensioni strategiche.

In questo paragrafo verranno stimati e quantificati gli impatti associati alla pervasiva adozione di tecnologie *Digital Twin* in Italia, in termini di potenziale per lo sviluppo industriale del Sistema-Paese, della crescita economica, della competitività, della capacità di innovazione e della sostenibilità ambientale.

In particolare, The European House – Ambrosetti ha sviluppato un modello per la quantificazione degli impatti dell'adozione dei gemelli digitali in **3 dimensioni: produttività, sostenibilità e innovazione**. L'obiettivo del modello è stato

quello di **quantificare il potenziale “impatto di Sistema”** derivante dall'adozione allargata delle tecnologie di *Digital Twin* in Italia in ciascuna di queste dimensioni.

Il modello è costruito sulla base dell'analisi di **oltre 60 use case consolidati di applicazione di Digital Twin**, adottati a livello nazionale e internazionale e illustrati, sinteticamente, nel capitolo 3 del presente rapporto in chiave aggregata e anonimizzata. Alla costruzione del modello hanno contribuito anche le discussioni e i risultati emersi durante i due Tavoli di Lavoro realizzati nell'ambito del percorso di ricerca per la redazione del presente Rapporto.

Un'ulteriore premessa risulta necessaria: il modello di impatto è stato costruito in logica conservativa, con l'obiettivo di stimare il potenziale impatto delle tecnologie oggi disponibili, escludendo dal perimetro dell'analisi *use case*

maggiormente di frontiera, appartenenti al terzo cluster identificato dei casi studio c.d. "prospettici". L'adozione dei gemelli digitali in questi settori è ancora in una fase embrionale, anche se i primi risultati di applicazione concreta, ad essi associati e oggi disponibili, mostrano benefici potenziali in ambiti eterogenei, dalla sanità e dai benefici per la salute agli impatti sul settore consumer e sulle vendite. Ciò fa presupporre impatti ancora più elevati di quelli quantificati dal modello.

Nonostante la sua vocazione conservativa, il modello di impatto mostra come i *Digital Twin*

possano avere un effetto sistemico importante e come siano, di conseguenza, una tecnologia strategica su cui aziende e istituzioni debbano lavorare insieme, per favorirne la diffusione. In particolare, come evidenziato dalla **Figura 1**, l'adozione sistemica dei *Digital Twin* può portare ad un aumento aggregato del valore aggiunto manifatturiero nazionale del 4,5% (pari a circa 12 miliardi di Euro), ad una riduzione delle emissioni del 7,3% e ad una forte accelerazione dei processi di innovazione, con una riduzione media del *time to market* del 35% (**Figura 1**).

Figura 1. I risultati del modello di impatto.

Fonte: Elaborazione The European House – Ambrosetti, 2023

I risultati del modello (scenario mediano)

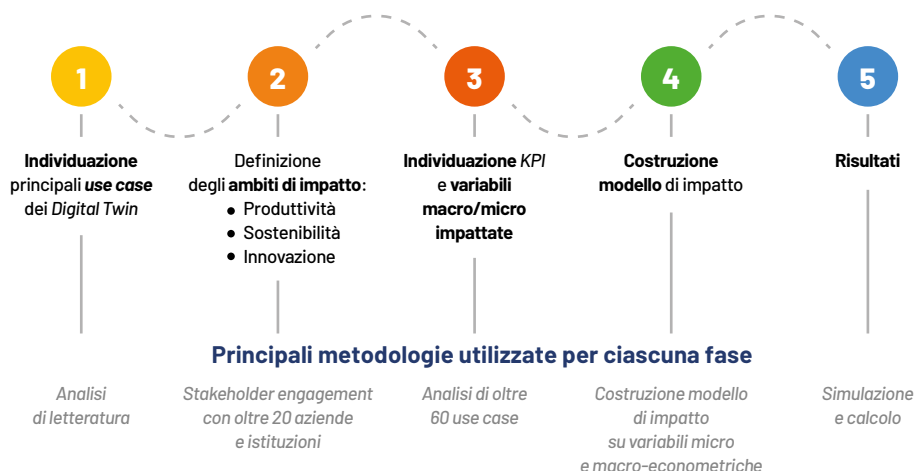


Il percorso per la costruzione del modello di impatto (**Figura 2**), è partito dall'analisi della letteratura per l'individuazione dei principali casi studio di applicazione di tecnologie *Digital Twin*, sia in termini di coerenza che di consistenza rispetto a dinamiche di settore allargate. Si è poi provveduto alla selezione delle dimensioni di impatto, sulla base degli elementi quantificabili

a partire dagli *use case* selezionati e dei risultati emersi dal **percorso di stakeholders' engagement con oltre 20 aziende e istituzioni**. Sempre a partire dai casi studio sono stati individuati i *KPI* e le variabili (macro e microeconomiche) impattate che hanno alimentato la costruzione del modello, per un **totale di oltre 4,1 milioni i data point utilizzati**.

Figura 2. Il percorso per la costruzione del modello di impatto (illustrativo).

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti, 2023



Più in dettaglio, la metodologia per la costruzione del modello ha previsto innanzitutto l'analisi di *use case* concreti che abbiano generato un impatto quantificabile sulla *performance* economica delle aziende (maggior fatturato, maggior produttività, riduzione dei costi operativi, ...). Successivamente, a partire dai *KPI* quantitativi censiti grazie all'analisi degli *use case*, è stato possibile identificare l'aumento della *performance* di diverse metriche economiche in ambito manifatturiero ed economico-gestionale legato all'adozione di tecnologie *Digital Twin*, derivando l'impatto in termini di maggior produttività su scala microeconomica.

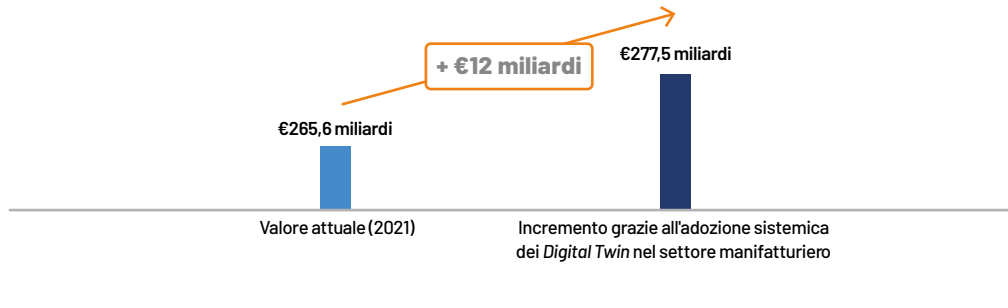
Da qui è stato possibile ricostruire ed aggregare in chiave macro l'impatto in termini di maggior Valore Aggiunto (e quindi di PIL) connesso all'adozione di gemelli digitali generato dal settore manifatturiero italiano. Infine, la riconciliazione - a livello di sistema - con la *performance* del tessuto

industriale e produttivo italiano è stata effettuata attraverso l'analisi di bilancio di oltre 130 mila imprese, che ha permesso di stimare l'impatto dell'adozione di tecnologie *Digital Twin* nel settore manifatturiero nazionale in termini di incremento del Valore Aggiunto e contributo al PIL.

In concreto, i risultati hanno evidenziato come un'adozione sistemica dei *Digital Twin* nel settore manifatturiero genererebbe **un incremento nella produttività del +4,5%** rispetto allo scenario attuale (baseline), con un **contributo al PIL italiano pari a circa 12 miliardi di Euro**, che corrisponde ad un **incremento strutturale pari allo 0,7% del PIL nazionale (Figura 3)**. A titolo di esempio si tratta di un valore aggiunto superiore a quello della filiera farmaceutica (€10,5 miliardi nel 2021), vicino ai fondi PNRR destinati a Transizione 4.0 (€13,4 miliardi) e a metà del Valore Aggiunto della filiera del mobile italiana (€24,2 miliardi nel 2021).

Figura 3. Valore aggiunto generato dal settore manifatturiero in Italia (milioni di Euro), 2021, e stima legata all'adozione di *Digital Twin*.

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su modelli proprietari e dati AIDA e ISTAT, 2023



Il secondo ambito di impatto ha invece riguardato la sostenibilità ambientale. Il modello ha considerato 3 diverse componenti:

- la **riduzione dei consumi termici** industriali, residenziali e dei servizi;
- la **riduzione dei consumi elettrici** industriali, residenziali, dei servizi e dell'illuminazione pubblica;
- la **maggior efficienza** nella produzione di elettricità da fonti fossili, rinnovabili e la maggiore efficienza nella trasmissione e negli assetti di rete.

Per ciascuna di queste componenti, The European House – Ambrosetti ha misurato un valore medio dei *KPI* relativi all'efficienza energetica individuati in letteratura – sempre partendo dagli oltre 60 *use case* analizzati – e ha parametrato il relativo abbattimento di consumi termici ed elettrici (dati 2021) o l'aumento dell'efficienza, convertendoli poi in un differenziale di emissioni di CO₂ (attraverso i relativi fattori di emissione medi italiani). I livelli di adozione ipotizzati di tecnologie *Digital Twin* per la sostenibilità sono stati dell'80% in ambito industriale e del 50% in ambito domestico.

Più nel dettaglio e con riferimento a ciascuna componente, la stima associata alla riduzione dei

consumi termici è partita dall'individuazione di *use case* e *KPI*, differenziando tra l'abbattimento dei consumi energetici industriali, di quelli residenziali e dei servizi. A ciascuno di queste tre categorie è stato associato un parametro di abbattimento di consumi termici individuati dagli *use case* rispetto ai consumi termici industriali, residenziali e dei servizi italiani (dati 2021), convertendo in una riduzione delle emissioni di CO₂ i consumi di gas attraverso i fattori di emissione ufficiali¹.

Per quanto riguarda la riduzione dei consumi elettrici, di nuovo si è proceduto nell'identificare parametri di riduzione differenziati per imprese industriali, servizi e famiglie sulla base dell'analisi degli *use case* censiti in letteratura. Si è quindi proceduto con il calcolarne il potenziale di abbattimento in Gwh rispetto ai consumi dalle tre categorie registrati nel 2021, convertendone il risparmio in termini di emissioni di CO₂ calcolato sulla base dei fattori di emissioni medi per l'Italia. Attraverso la stessa procedura, è stato possibile misurare l'aumento dell'efficienza della maggior produzione di energia elettrica, in questo caso distinguendo tra gli impatti dei *Digital Twin* a livello di maggiore efficienza nella generazione elettrica da impianti termici, da fonti rinnovabili e dalla maggiore efficienza nella gestione della rete elettrica.

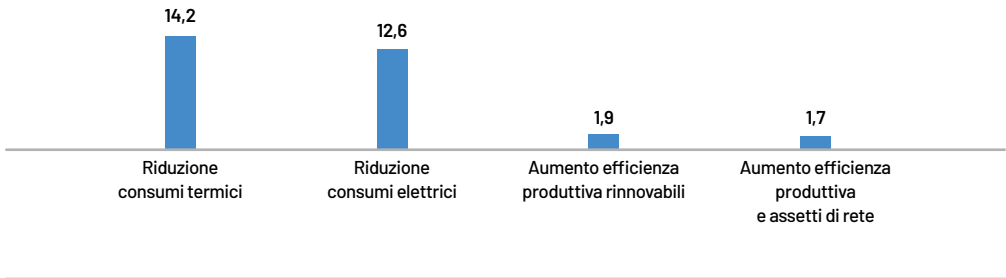
¹ Fonte: ISPRAmbiente, 2023.

I risultati così ottenuti mostrano che l'adozione sistemica di tecnologie *Digital Twin* permetterebbe di **evitare l'emissione in atmosfera di 30,4 milioni di tonnellate di CO₂**, pari ad una **riduzione del 7,3% di emissioni CO₂** in Italia rispetto ai valori 2021 e al **23% del totale delle emissioni che l'Italia si è impegnata ad abbattere entro il 2030**

nell'ambito della strategia UE (Figura 4). A titolo di esempio, si tratta di un valore pari alle sole emissioni agricole italiane (32,6 milioni di tonnellate di CO₂) e a quelle da processi industriali (produzione cemento, chimica ed altre trasformazioni di stato, pari a 31,4 mln di tonnellate di CO₂), oltre che a circa la metà delle emissioni della Lombardia.

Figura 4. Impatto potenziale dei *Digital Twin* in termini di riduzione di CO₂ in Italia (milioni di tonnellate di CO₂) valori rispetto al 2021.

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti, 2023

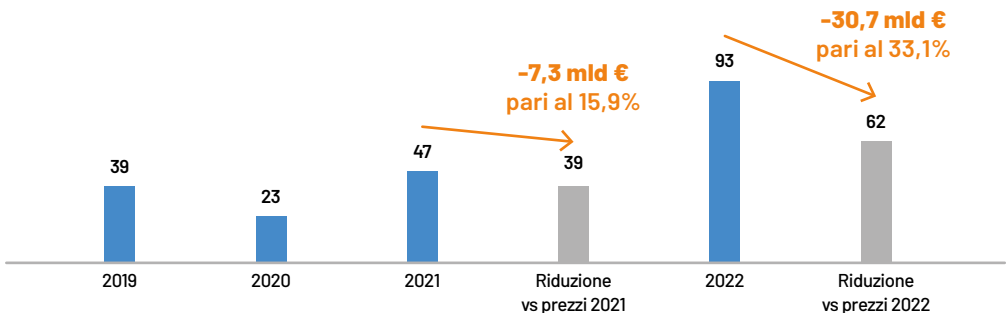


A titolo di esempio, nel contesto attuale, tali dinamiche comporterebbero un **taglio dei costi della bolletta energetica nazionale compreso tra il 15,9% ed il 33,1%**, a seconda dei costi dell'ener-

gia di riferimento utilizzati, pari rispettivamente ad un risparmio tra i 7,3 ed i 30,7 miliardi di Euro (**Figura 5**).²

Figura 5. Stima fattura energetica nazionale e riduzione derivante da adozione del *Digital Twin* (miliardi di Euro) 2019 – 2022.

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti, 2023



2 L'impatto sulla bolletta energetica nazionale è stato calcolato sia su valori pre-inflattivi (prezzi gennaio 2021), che sui valori stimati per il 2022 (prezzi dicembre 2022).

Infine, un terzo ambito di impatto considerato è risultato nello studio di *use case* legati all'innovazione, ed in particolare associato all'accelerazione delle attività di R&D impressa dall'adozione di gemelli digitali, quantificabile in termini di riduzione del *time to market*. In questo caso la valutazione di impatto è stata maggiormente qualitativa, data la forte eterogeneità che caratterizza tutti i processi di innovazione e la relativa difficoltà a ridurre il tutto ad un KPI di sintesi, anche se è stato comunque possibile arrivare a definire delle metriche di massima. In questo caso, la valutazione di impatto è partita dall'analisi di 16 casi (tra gli oltre 60 complessivamente analizzati) concreti di applicazione di tecnologie *Digital Twin* ai settori della ricerca e dell'innovazione a livello globale, considerando in modo trasversale diversi settori (manifatturiero, ricerca accademica, ...) e identificando le invarianti qualitative e quantitative impattate (*time to mar-*

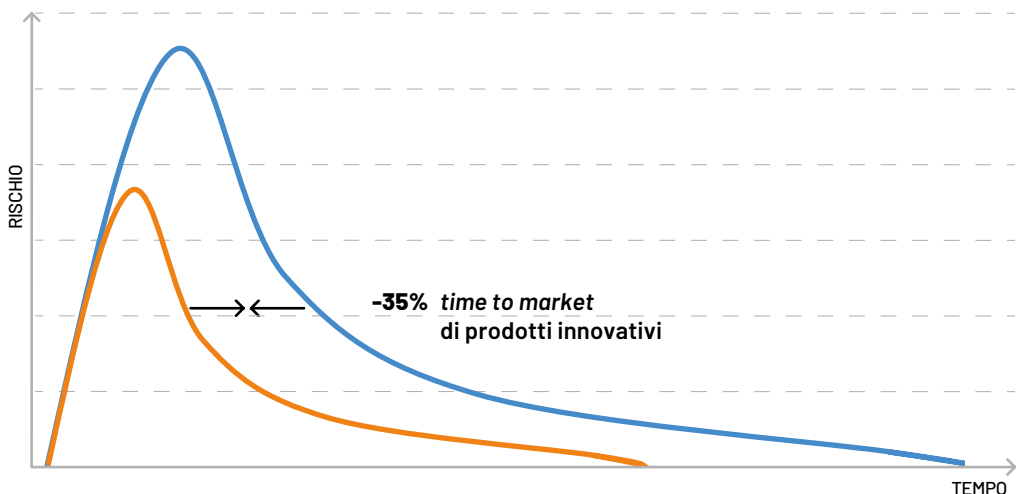
ket, costi, riduzione del rischio e dell'efficienza).

Successivamente, si è provveduto all'identificazione dell'impatto quantitativo in termini di minor *time to market* percentuale rispetto alla situazione *ex-ante*, equi-ponderata a seconda dei diversi livelli di *technology readiness level* (TRLs).

I casi hanno quindi mostrato come l'applicazione di tecnologie *Digital Twin* consenta migliori *performance* in tutte le fasi dello sviluppo tecnologico e R&D, in particolare in tutte le fasi di *technology readiness level* (TRLs). Nel dettaglio, **il *time to market* si è ridotto, in media, del 35% (Figura 6)**. A livello maggiormente qualitativo, nelle fasi di ricerca e prototipazione è stato ridotto il rischio di fallimento e migliorata l'efficacia progettuale complessiva, da cui consegue anche una maggior facilità di finanziamento e raccolta di capitali sul mercato per quelle attività solitamente associate ad elevati rischi ed elevata durata.

Figura 6. Curva della Ricerca e Sviluppo (R&D) nel settore manifatturiero (illustrativo).

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti, 2023



4.1.2 Impatti in termini di sviluppo di filiera e sovranità tecnologica

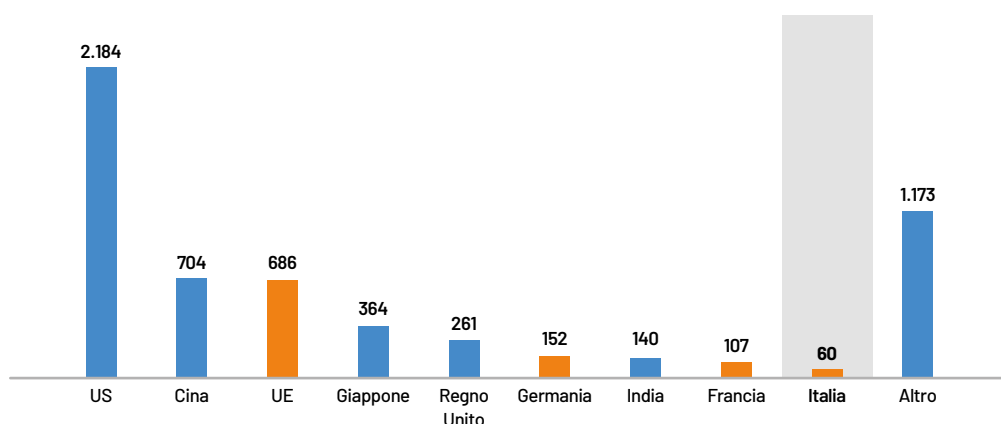
Una seconda macro-dimensione in cui il *Digital Twin* può avere un impatto importante per l'Italia riguarda l'opportunità di conquistare quote rilevanti nel mercato dei *Digital Twin* (il cui valore è previsto raggiungere i circa 155 miliardi di dollari nel 2030) impatti sulla sovranità tecnologica del Paese e del continente.

Per ragionare su questi temi, occorre innanz-

itutto partire da una considerazione sullo stato attuale e sul posizionamento del nostro Paese nel contesto globale dell'*ICT*. Oggi la **filiera italiana vale appena l'1,03% del totale globale**, con un valore di 60 miliardi di Euro di fatturato aggregato. Per fornire un confronto, la... filiera UE pesa invece per l'11,78% di quella mondiale con un valore di 686 miliardi di Euro su 5.820 miliardi di Euro (dati 2021).

Figura 7. Paesi per dimensione del valore aggiunto del settore ICT (miliardi di Euro), 2019.

Fonte: elaborazione The European House – Ambrosetti su dati Statista e Eurostat, 2023



In entrambi i casi, e soprattutto con riferimento alla filiera nazionale, si tratta di un posizionamento ancora troppo poco competitivo su scala globale, soprattutto se si considera che proprio in ambito *ICT* si gioca, e sempre più si giocherà, la competizione strategica globale. Questo è vero anche in termini di sicurezza e autonomia, sia per i Paesi che per le loro imprese: ai *player* del settore *ICT* sono sempre più demandati dati sensibili su cui si basa il vantaggio competitivo, servizi critici e lo sviluppo di infrastrutture (*hard* e *soft*) strategiche. L'Italia ha quindi bisogno di trovare tecnologie in cui costruire un posiziona-

mento di *leadership* per colmare questo ritardo, ed i *Digital Twin* possono essere un'occasione di sviluppo industriale del Paese.

Si consideri infatti che, analizzando le dinamiche di mercato, il mercato dei *Digital Twin* crescerà fino a raggiungere i circa **155 miliardi di Euro a livello globale al 2030** rispetto ai 7,5 di oggi: un mercato in cui l'Italia può guadagnare una *leadership* tecnologica in grado di generare benefici per anche sotto il profilo economico/competitivo e industriale.

Ma quanto può valere per l'Italia questo mercato in forte crescita? Alcune stime sviluppate

nell'ambito dell'iniziativa mostrano come al 2030 (con una quota di mercato pari all'attuale peso del comparto *ICT* italiano su quello globale) il mercato dei *Digital Twin* per l'Italia varrebbe 1,6 miliardi di euro (pari al valore aggiunto della filiera del tabacco in Italia).

Se l'Italia crescesse invece più che proporzionalmente nel mercato dei *Digital Twin*, guadagnando una quota di mercato pari a quella della Germania nella filiera *ICT*, il mercato potenziale per l'Italia al 2030 dei *Digital Twin* sarebbe di 3,1 miliardi (pari al valore aggiunto della filiera dei motocicli). Se l'Italia ottenesse *leadership* industriale in questo settore (con una quota di mercato pari a quella che il Paese ha per esempio nella meccanica industriale, pari all'8,25% globale), il

valore sarebbe di 12,2 miliardi di Euro, pari al valore aggiunto della filiera dell'aeronautica e aerospazio (**Figura 6**).

In conclusione, si può affermare come il *Digital Twin* sia una tecnologia strategica per il Sistema-Italia, su cui puntare e nel cui ambito è necessario sviluppare strategie specifiche per la sua diffusione. Bisogna inoltre sottolineare come la valenza strategica per il *Digital Twin* sia di duplice natura: da un lato, risulta essere una **chiave strategica per le aziende** per aumentare la competitività ed accelerare l'innovazione. Dall'altro lato, i *Digital Twin* hanno una **valenza strategica di sistema**, con particolare riferimento alla sovranità tecnologica ed alla *governance* del dato: un tema che verrà trattato specificamente nel prosieguo di questo Capitolo.

4.2 Il ruolo del PNRR per l'accelerazione nell'adozione di *Digital Twin*

L'analisi della traiettoria futura dei *Digital Twin* deve prendere in considerazione anche il ruolo che il settore pubblico, nelle sue diverse forme e attività, svolge per la diffusione lo e sviluppo di nuove tecnologie. Da un lato, gli enti pubblici hanno l'opportunità di promuovere e guidare l'innovazione di nuove soluzioni tecnologiche attraverso lo stanziamento di fondi e incentivi. Dall'altro, il settore pubblico definisce il contesto regolatorio all'interno del quale le nuove soluzioni tecnologiche si sviluppano. Le istituzioni hanno, dunque, il compito determinante di trovare il giusto equilibrio tra l'incentivazione di nuove tecnologie emergenti, che hanno il potenziale di portare grandi benefici alla società, e la mitigazione di tutti quei rischi di sicurezza ed etici, che derivano dall'utilizzo e abuso delle stesse. Il seguente capitolo esamina questo contesto nel dettaglio, esplorando come gli incentivi pubblici in ambito digitale impattano direttamente e indirettamente la tecnologia dei *Digital Twin* in Italia.

Il **Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)** è il piano per la ripresa economica e

l'accelerazione della transizione sostenibile e digitale, elaborato dal Governo italiano per utilizzare i fondi europei del *Next Generation EU* – il programma europeo creato in risposta alla crisi economica e sociale provocata dalla pandemia. Il pacchetto di riforme e investimenti in Italia è supportato da 191,5 miliardi di Euro, fondi che sono stati suddivisi nelle 6 principali direttrici individuate dalla Commissione Europea: Digitalizzazione, innovazione, competitività e cultura (1), Rivoluzione verde e transizione ecologica (2), Infrastrutture per una mobilità sostenibile (3), Istruzione e ricerca (4), Inclusione e coesione (5) e Salute (6).

La portata di questo programma per l'Italia genera grandi opportunità e aspettative per l'intero Sistema-Paese italiano. In tale contesto, si è ritenuto opportuno indagare come il PNRR impatti, direttamente e indirettamente, lo sviluppo dei *Digital Twin*, una tecnologia che può essere considerata la massima espressione della digitalizzazione e che può contribuire in modo importante sulla transizione ecologica del Paese.

Gli impatti diretti del PNRR sul *Digital Twin*

Nonostante il PNRR non contenga un esplicito riferimento alla parola *Digital Twin*, 5 interventi del Piano finanziano progetti che riguardano direttamente questa soluzione tecnologica.

In primo luogo, all'interno delle misure riguardanti lo sviluppo delle tecnologie satellitari e spaziali, viene citato *CyberItaly*, il progetto con cui si vuole **costruire una copia digitale del nostro Paese** con l'obiettivo di migliorare il mo-

onitoraggio di terra, mare e atmosfera. Nel luglio 2022, la *European Space Agency* (ESA) ha comunicato il proprio ruolo di gestore del progetto, fornendo l'assistenza tecnica necessaria per la realizzazione del progetto *CyberItaly*. L'ESA, in effetti, definisce l'iniziativa come un *Digital Twin* dell'Italia, capace di comprendere una combinazione di servizi alle pubbliche amministrazione e attività commerciali, tra cui il monitoraggio

marittimo e delle coste, dell'aria, dell'utilizzo del suolo³.

In secondo luogo, nel PNRR sono contenute una serie di misure che prevedono l'implementazione di soluzioni tecnologiche in ambito infrastrutturale ed edile che si toccano da vicino il concetto di *Digital Twin*. Sono investimenti e riforme che prevedono la diffusione di progetti di *Building Information Modeling* (BIM), ovvero rappresentazioni digitali delle caratteristiche fisiche e funzionali di edifici e infrastrutture, che vengono utilizzati per gestire i dati e facilitare la collaborazione tra i diversi *stakeholder* coinvolti nel ciclo di vita delle infrastrutture. Per queste soluzioni sono stati stanziati 500 milioni di Euro del Piano Complementare al PNRR volte alla realizzazione di un sistema di controllo a distanza dinamico sulle strutture delle autostrade, dei ponti, viadotti e gallerie. Si preve la realizzazione di un modello BIM per più di 200 opere e l'applicazione di sensoristica a ulteriori 6.500 opere infrastrutturali.

Uscendo dal contesto PNRR, si sottolinea come nell'agosto 2021 l'apparato statale si sia strutturato per adottare in modo più sistematico le soluzioni BIM nella gestione degli appalti pubblici con il nuovo *Decreto BIM*. Il decreto punta a: individuare regole e specifiche tecniche per l'uso di modelli BIM; stabilire criteri premiali per l'uso di soluzioni BIM e assicurare la piena operatività del sistema per l'uso di metodi e strumenti elettronici. Ciò nonostante, è opportuno evidenziare che il *Digital Twin* e le soluzioni BIM non possono essere considerati sinonimi dello stesso concetto: il BIM è limitato all'industria della costruzione e si concentra su informazioni relative all'edificio, mentre il *Digital Twin* può essere applicato a qualsiasi asset fisico e comprende una gamma più ampia di dati.

In terzo luogo, nel PNRR si parla di *network* intelligenti nell'ambito delle reti di distribuzio-

ne dell'acqua con l'obiettivo di digitalizzare e monitorare in modo più completo le **infrastrutture idriche** che, in un contesto di accelerato cambiamento climatico, diventano sempre più strategiche per l'industria e per il benessere dei cittadini. Con più di 900 milioni di Euro stanziati, il progetto in ambito PNRR punta alla *digital transformation* di 25 reti di acqua potabile attraverso l'installazione di sensori e l'implementazione di un sistema di controllo avanzato che consentirà un miglior monitoraggio di portata, pressione e parametri della qualità dell'acqua. Come affermato dal Ministero delle Infrastrutture, i progetti finanziati puntano ad attrezzare 27mila chilometri di condotte ad uso potabile con strumentazioni di controllo innovativi entro la fine del 2024⁴. Nonostante non siano espressamente categorizzati dal PNRR come *Digital Twin*, le caratteristiche tecniche di questi progetti di investimento sono, di fatto, indirizzati verso lo sviluppo di un *Digital Twin* della rete idrica italiana.

Un quarto punto riguarda gli interventi previsti dal PNRR per digitalizzazione del patrimonio culturale italiano che, attraverso la connessione tra fisico e digitale, fornisce una maggiore protezione e valorizzazione del patrimonio artistico del Paese. A tal proposito, sono state stanziare risorse del PNRR verso lo sviluppo di copie digitali, capaci di supportare le attività di conservazione e di ricerca e la fruizione da remoto di opere, palazzi e installazioni. Regione Lombardia riprende la misura del PNRR e parla esplicitamente del concetto di *Digital Twin* legato al patrimonio culturale, identificando la possibilità di condurre simulazioni per siti di scavo e permettere una maggiore collaborazione tra archeologici e tecnici. Viene prese in considerazione lo sviluppo di *Digital Twin* in grado di prevedere i parametri ambientali in tempo reale e, dunque, facilitare le strategie di conservazione dei siti storico-culturali.

3 "European Space Agency, "Call For Proposals - Eo-Pnrr-Iride-Project Iride - Application/Toolbox And Marketplace" Disponibile su: <https://esastar-publication-ext.sso.esa.int/ESATenderActions/details/45734>.

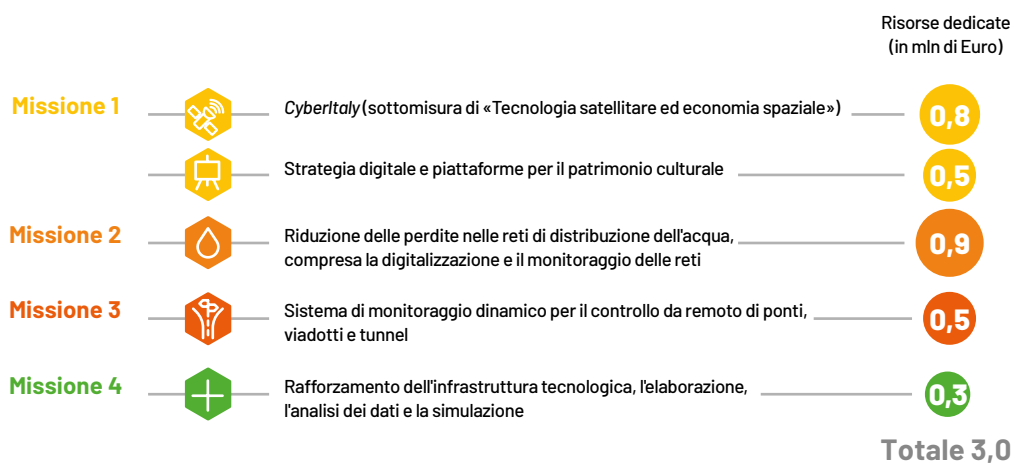
4 Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti, "Pnrr: Mims assegna 607 mln per ridurre le perdite di acqua potabile, a ottobre saranno assegnati ulteriori 293 mln". Disponibile su: <https://www.mit.gov.it/comunicazione/news/pnrr-mims-assegna-607-mln-per-ridurre-le-perdite-di-acqua-potabile-ottobre>.

Infine, si può individuare come ci siano importanti investimenti in ambito sanitario previsti dal PNRR, che incentivano lo sviluppo del concetto di *personal Digital Twin*. Infatti, con il PNRR è in programma la realizzazione di un robusto modello di previsione all'interno del Servizio Sanitario Nazionale per elaborare fenomeni complessi e scenari predittivi, così da incrementare la capacità di organizzare i servizi sanitari e identificare malattie emergenti. Tutto questo sarà permesso attraverso un'integrazione sempre maggiore di tutti i fascicoli sanitari elettronici, ma anche il rafforzamento del Nuovo Sistema Informativo Sanitario. Tuttavia, è previsto il raggiungimento di questa misura entro giugno 2023, evidenziando il basso grado di priorità nella costruzione di questi sistemi.

Questa mappatura permette di comprendere come il PNRR, nonostante non menzioni direttamente il concetto di *Digital Twin*, abbia già definito traiettorie di sviluppo digitale e tecnologiche che comprendono soluzioni di monitoraggio, previsione e, in alcuni casi, ottimizzazione attraverso continui scambi di dati in *real time*. **In termini economici, le misure ed investimenti del PNRR in cui sono presenti - in modo complessivo o parziale - iniziative riferite al *Digital Twin* ammontano a 3 miliardi di Euro (Figura 7).** La visione pubblica dimostra ancora una volta la forte trasversalità di queste soluzioni, che attraverso la convergenza delle principali tecnologie digitali a disposizione è in grado di efficientare il funzionamento di asset e sistemi molto differenti tra loro.

Figura 8. Gli impatti diretti del PNRR sui *Digital Twin*.

Fonte: rielaborazione The European House - Ambrosetti su dati Italia Domani, 2023



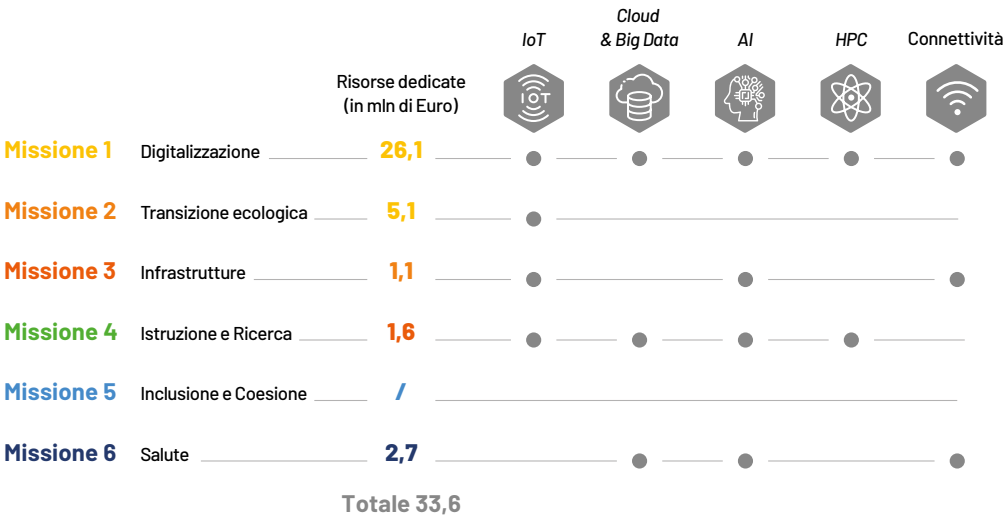
Gli impatti indiretti del PNRR sul *Digital Twin*

Se le misure che impattano in modo diretto il *Digital Twin* hanno una rilevanza minoritaria all'interno dell'impianto del PNRR, gli investimenti che incentivano la diffusione delle tecnologie che permettono lo sviluppo dei *Digital Twin* hanno un ruolo invece di primaria importanza. Infatti, un'analisi

dei fondi PNRR evidenzia come ben 18 misure (divise in 5 delle 6 missioni), per un totale combinato di **33,6 miliardi di Euro**, mirano al sostegno delle componenti tecnologiche dei *Digital Twin* individuate in questo lavoro: *IoT*, Intelligenza Artificiale, *HPC*, *Big Data* e Connettività⁵ (**Figura 9**).

Figura 9. Gli impatti indiretti del PNRR sulle tecnologie dei *Digital Twin*.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti su dati Italia Domani, 2023



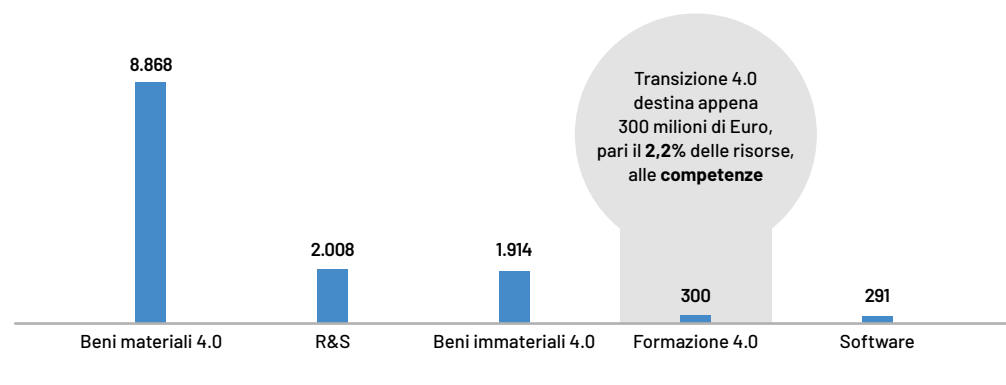
La maggior parte di questi fondi proviene dalla Missione 1, dedicata proprio alla Digitalizzazione, con più di 26 miliardi di Euro che sostengono tutte le tecnologie strettamente connesse al *Digital Twin*. Le principali misure della componente riguardano *Transizione 4.0* con 13,4 miliardi a disposizione per il supporto alla digitalizzazione delle imprese, incentivando gli investimenti privati in beni e attività strettamente collegati a soluzioni digitali attraverso il riconoscimento di

crediti d'imposta. Nonostante si stimi che questa misura avrà effetti importanti sull'*upgrade* tecnologico delle aziende, si sottolinea come la misura riservi solamente 300 milioni di Euro, pari al 2,2% delle risorse dell'investimento, allo sviluppo di competenze digitali (**Figura 10**): un elemento di debolezza se consideriamo che, per le imprese sondata dalla survey illustrata nei precedenti capitoli, l'assenza di adeguate digitali sia il principale limite allo sviluppo dei *Digital Twin*.

5 Capitolo 1 per maggiori dettagli sulle tecnologie del *Digital Twin*.

Figura 10. Risorse stanziare dal PNRR per Transizione 4.0 per tipologia, in milioni di Euro (2021 – 2026).

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti su dati Governo Italiano, 2023

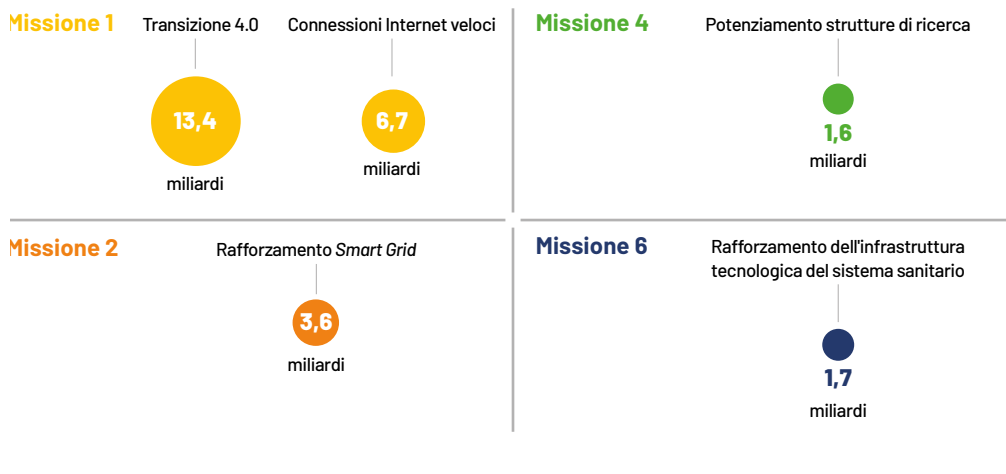


Oltre al piano *Transizione 4.0*, tra le 18 misure a sostegno del *Digital Twin* mappate in ambito PNRR,

5 risultano sovraordinate per ambizione di obiettivi e stanziamento di fondi rispetto alle altre. (Figura 11).

Figura 11. Le principali misure del PNRR a sostegno delle tecnologie che compongono il *Digital Twin*.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti su dati Italia Domani, 2023



All'interno della Missione 1 relativa alla digitalizzazione, si evidenzia anche la misura *Connessioni internet veloci* che, con una **capacità monetaria di 6,7 miliardi di Euro**, si pone l'obiettivo di garantire una connettività di 1 *Gigabit* al secondo per circa 8,5 milioni di famiglie e la copertura del

5G su tutto il territorio entro il 2026 (Figura 11). Infatti, la diffusione di una connettività veloce e senza latenza su tutto il territorio è un elemento fondamentale per permettere lo scambio di dati *real time* di cui necessita il *Digital Twin*.

La Missione 2, focalizzata sul tema della tran-

sizione ecologica, ha stanziato **investimenti per 5,1 miliardi di Euro per il rafforzamento dei sistemi di Internet of Things** a supporto di *smart grid* e smaltimento rifiuti. **Con più di 3,6 miliardi di Euro, la misura Rafforzamento smart grid punta a sostenere il miglioramento dell'affidabilità, sicurezza e flessibilità del sistema energetico**, grazie alla diffusione di reti elettriche dotate di sensori intelligenti che ottimizzano la distribuzione di energia in tempo reale. In tal modo, si intende abilitare nuovi modelli di consumo e produzione dell'energia, grazie ai *prosumer* (consumatori e, al contempo, produttori di energia). Da sottolineare anche la misura *Progetti "faro" di economia circolare*, in cui circa 600 milioni di Euro verranno utilizzati per lo sviluppo di sistemi per il trattamento e gestione dei rifiuti attraverso l'analisi di dati provenienti da satelliti, droni e sensori.

Nella Missione 3, relativa alle infrastrutture, si evidenziano progetti che puntano allo sviluppo di strumenti che riescano a digitalizzare la gestione della logistica nazionale e del traffico aereo, attraverso l'utilizzo di *IoT* e Intelligenza Artificiale.

Nel settore dell'Istruzione e della Ricerca, corrispondente alla Missione 4, vengono potenziate le strutture di ricerca per lo sviluppo di campioni nazionali su tutte le tecnologie che compongono i *Digital Twin*, esclusa la connettività, la cui natura strategica comporta dinamiche diverse. Tra gli **1,6 miliardi di Euro stanziati per la misura**, si sottolinea l'utilizzo di 320 milioni di Euro per lo sviluppo del Centro Nazionale per simu-

lazioni, calcolo e analisi dei dati ad alte prestazioni, che si focalizza proprio sul "mantenimento e il potenziamento dell'infrastruttura *HPC* e *Big Data* italiana e sullo sviluppo di metodi e applicazioni numeriche avanzati per integrare il calcolo, la simulazione, la raccolta e l'analisi di dati di interesse per il Sistema-Paese" (**Figura 10**).

Infine, si evidenzia il forte investimento che viene fatto nel settore sanitario (Missione 6), con oltre 1 miliardo di Euro destinato allo sviluppo di soluzioni di telemedicina per garantire una migliore esperienza di cura ed efficientare i sistemi regionali tramite protocolli di monitoraggio da remoto. **Inoltre, sono stati stanziati ulteriori 1,4 miliardi di Euro per rafforzare l'infrastruttura tecnologica e degli strumenti per la raccolta, l'elaborazione, l'analisi dei dati e la simulazione (Figura 10)**. Questi sistemi pongono le basi per lo sviluppo futuro di *personal Digital Twin* in ambito sanitario, capaci di migliorare l'efficienza nella gestione del paziente, dell'ospedale e dell'intero sistema sanitario nazionale.

A seguito di questa analisi, si può affermare che il PNRR stia fornendo una grande opportunità per la costruzione di un sistema capace di supportare lo sviluppo dei *Digital Twin*, con interventi che vanno ad impattare tutte le sue tecnologie componenti. Ciò nonostante, **si evidenzia come né il PNRR né le principali politiche di innovazione destinano sufficienti risorse allo sviluppo del talento e delle competenze nel digitale**: un elemento chiave per sprigionare il potenziale della trasformazione digitale.

4.3 Regolamentazione e governance per i *Digital Twin*

Per comprendere gli sviluppi futuri del *Digital Twin*, non è sufficiente analizzare gli strumenti con cui si incentivano le nuove tecnologie, ma è anche necessario esaminare il *framework* regolatorio che impatta sulla tecnologia. A tal proposito, non esiste ancora una regolamentazione specifica per il *Digital Twin*, nonostante la Commissione Europea stia iniziando ad interessarsi alla materia. L'analisi, dunque, si riferisce principalmente alla regolamentazione UE verso le tecnologie che compongono il *Digital Twin*, con par-

ticolare attenzione in materia di *data protection*.

Come già suggerito nell'introduzione del capitolo, l'azione regolatoria dello Stato ha spesso una funzione di mitigazione di tutti quei rischi di sicurezza ed etici, che derivano dall'utilizzo e abuso delle tecnologie e dei fenomeni digitali emergenti. **La traiettoria di sviluppo dei *Digital Twin* fa emergere rischi che sono già stati identificati e, spesso, affrontati attraverso normative già in vigore (Figura 12).**

Figura 12. I principali rischi connessi al *Digital Twin*.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023



Siccome i *Digital Twin* raccolgono una grande quantità di dati in tempo reale, alcuni dei quali possono essere dati personali o informazioni sensibili, diventa di estrema rilevanza il tema della **privacy e della riservatezza**. Ciò rende necessario che costruttori e utenti dei gemelli digitali debbano, dunque, mettere in campo solide procedure di *governance* dei dati. Un altro fenomeno, che si sta già iniziando a presentare con la diffusione delle applicazioni di Intelligenza Artificiale e che si inasprirà con l'adozione dei *Digital Twin*, riguarda le logiche dietro le **decisioni data-driven**, ovvero, tutte quelle scelte

automatizzate dagli algoritmi basate sull'analisi di dati. Inoltre, in una società sempre più digitalizzata diventa sempre più pressante il tema della **cybersecurity** anche nella costruzione di *Digital Twin*. Infatti, i *Digital Twin* immagazzinano grandi quantità di dati, che sono dunque vulnerabili a violazioni di sicurezza. Per un'adozione diffusa dei *Digital Twin*, diventa quindi necessario che le aziende si strutturino per attuare adeguate misure di salvaguardia e sistemi di sicurezza. Infine, emerge la questione della **proprietà del dato**, la cui definizione diventa sempre più importante con lo sviluppo di sistemi complessi, in cui ge-

melli digitali si connettono e interagiscono con altri gemelli digitali.

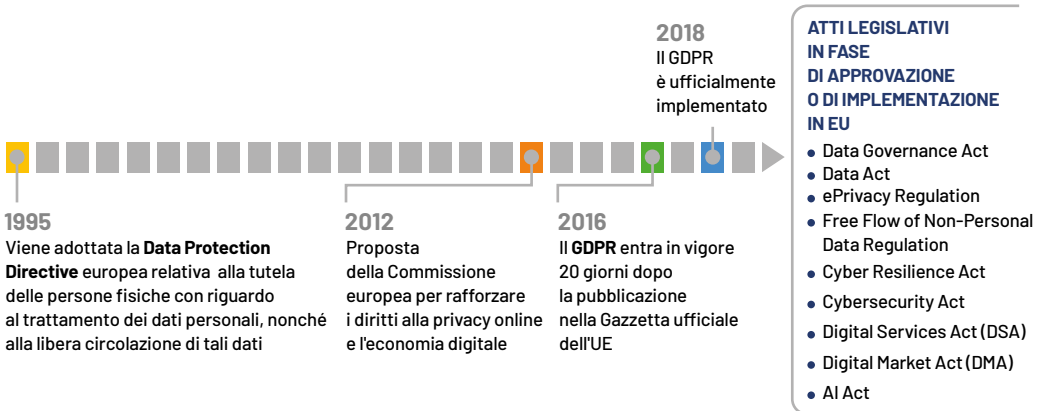
Per esaminare il contesto regolatorio su questi temi di assoluto rilievo per lo sviluppo dei Digital Twin, si è preso in considerazione il quadro normativo dell'Unione Europea sviluppato negli ultimi decenni relativamente al trattamento e alla governance del dato.

Fin dagli anni Novanta, l'Unione Europea si è mossa per tutelare i cittadini europei sul trattamento e circolazione dei dati personali. Adottata nel 1995, la *Data Protection Directive* è stata la prima normativa europea sulla tutela delle persone fisiche che riguarda il trattamento dei dati personali e la libera circolazione di tali dati. Attraverso questa direttiva l'UE inizia a stabilire lo *standard* globale in materia di protezione dei dati, definendo per la prima volta la nozione di dato personale e del trattamento di dati, e i principi di trasparenza sulla protezione ad esso

associati. Tuttavia, la *Data Protection Directive* manteneva alcune criticità associate alla fase implementativa, in quanto ogni Stato Membro doveva approvare una propria legge nazionale e istituire la propria autorità di vigilanza, lasciando spazio a diverse interpretazioni e declinazioni nazionali. Per questo motivo, nel 2012 è stata elaborata una proposta dalla Commissione europea per rafforzare i diritti alla *privacy online* e, più in generale, l'economia digitale. Il risultato di questa proposta è la *General Data Protection Regulation* (GDPR), che entra in vigore il 25 maggio 2018, sostituendo la *Data Protection Directive*, con un atto legislativo che estende la portata della misura precedente e diventa direttamente applicabile in ciascuno degli Stati membri. Tra i cambiamenti importanti introdotti con il GDPR, c'è l'estensione alle aziende che non sono basate in Europa ma hanno attività sul territorio europeo (**Figura 13**).

Figura 13. La *timeline* delle regolamentazione dell'Unione Europea in ambito tecnologico e digitale.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023

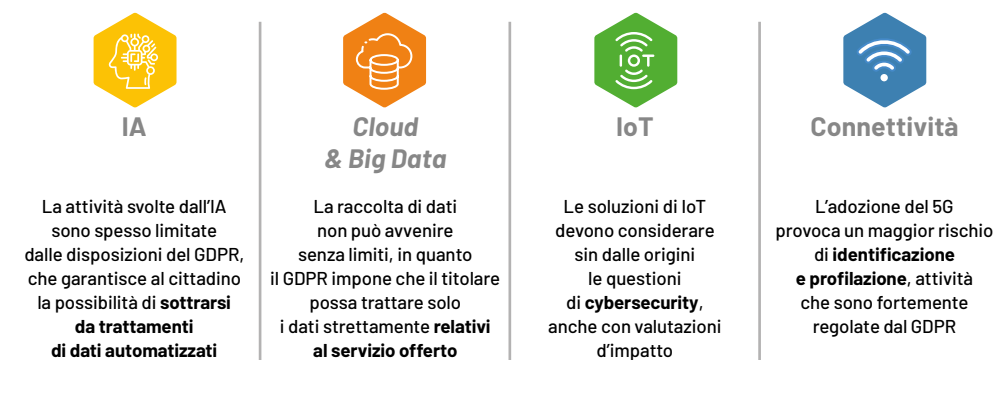


Con il GDPR, la protezione dei dati personali diventa essenziale sin dalla fase di progettazione **grazie all'introduzione del concetto di *privacy by design***, con cui si fa obbligo alle organizzazioni di prioritizzare la *privacy* sin dallo sviluppo iniziale di processi e prodotti, e di *privacy by default*, con cui si definisce che le impostazioni predefinite sulla

quantità di dati personali condivisi debbano essere quelle più rispettose della *privacy*. Un'analisi più approfondita del GDPR dimostra come l'atto legislativo impatti in modo diretto tutte le tecnologie principali che costituiscono i *Digital Twin* (Figura 14).

Figura 14. L'impatto del GDPR sulle tecnologie che compongono il *Digital Twin*.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023



Nonostante il GDPR non contenga il termine "Intelligenza Artificiale", né alcun termine collegato a concetti quali sistemi intelligenti, *machine learning* o persino *Big Data*, **molte disposizioni ivi contenute si rivolgono e limitano l'utilizzo dell'IA**. Infatti, il GDPR garantisce al cittadino la possibilità di sottrarsi da trattamenti di dati automatizzati, come l'identificazione e la profilazione. Con un riferimento implicito agli algoritmi di Intelligenza Artificiale, l'articolo 13 del GDPR impone l'obbligo di *explainability*, ovvero far comprendere al cittadino le logiche sottostanti il trattamento dei dati, nonché il significato e le conseguenze previste di tale trattamento, spesso altamente complesse.

Inoltre, il GDPR limita le possibilità di raccogliere il maggior volume di dati possibili attraverso disposizioni che **impediscono la raccolta**

di dati senza mostrare scopi ben definiti. Infatti, I dati personali devono essere raccolti per una finalità "specificata, esplicita e legittima" e non possono essere ulteriormente "trattati" in modo "incompatibile" con tali finalità originarie. Questi principi sono in netto contrasto con il concetto di *Big Data*, in cui dispositivi e software mirano a raccogliere il maggior numero di dati possibile per analizzarli e prendere decisioni in base ad essi.

Anche i servizi e soluzioni di *IoT* sono impattati dal GDPR, in quanto **devono garantire la sicurezza e seguire le norme di compliance per riuscire a riconoscere e poter profilare ogni dispositivo IoT presente nella rete**. Tra i principali soggetti che devono condurre "valutazione d'impatto sulla protezione dei dati" ci sono proprio gli sviluppatori di soluzioni *IoT*, sia sul fronte *hardware* che *software*.

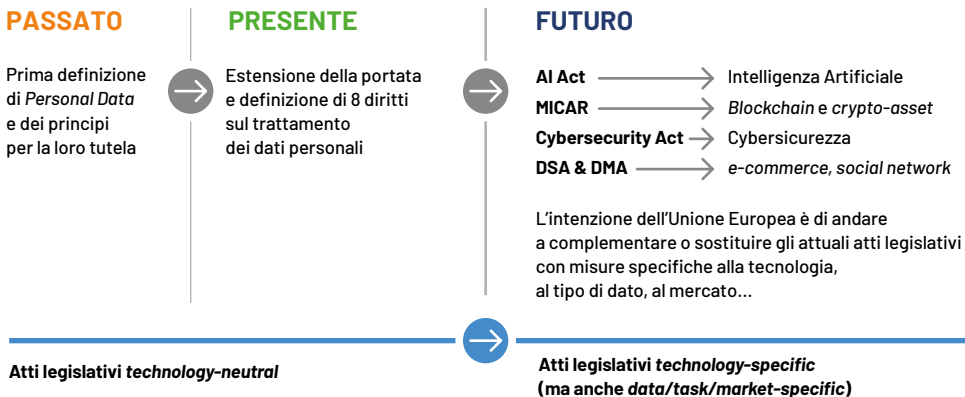
Infine, è necessario considerare una serie di rischi di profilazione derivanti dall'utilizzo delle reti 5G, in quanto la maggior parte delle comunicazioni mobili 5G è ancora basata su indirizzi IP, che sono classificati come dati personali e l'identificazione e profilazione attraverso gli indirizzi IP potrebbe comportare problemi di *privacy*.

Se ad oggi la principale regolamentazione dell'UE in vigore è il GDPR, sono tuttavia in fase di approvazione o implementazione nuovi atti legislativi che affrontano le questioni di cybersecurity di alcune tecnologie specifiche, come l'Intelligenza Artificiale. A tal proposito, si può osservare come la traiettoria della regolamentazione dell'Unione Europea stia andando sempre di più da un approccio regolatorio *technolo-*

gy-neutral, in cui non gli atti legislativi non hanno un riferimento particolare a nessuna tecnologia, verso un approccio *technology-specific*, in cui l'Unione Europea intende complementare o sostituire gli attuali atti legislativi con misure specifiche alle singole (come l'*AI Act*, relativo all'Intelligenza Artificiale, e il *MiCar*, relativo ai *crypto-asset* e la *blockchain*). Oltre alla specificità tecnologica, si può notare come altre regolamentazioni stiano diventando sempre più puntuali rispetto al tipo di dato (come il *Free Flow of Non-Personal Data Regulation* relativo ai dati non-personali) o al tipo di mercato (come il *Digital Services Act* e il *Digital Market Act*, relativi a servizi e mercati come gli *e-commerce*)(Figura 15).

Figura 15. La traiettoria di sviluppo della regulation dell'Unione Europea.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023



L'approccio, presente e futuro, dell'Unione Europea in ambito di dati, mercato e tecnologie digitali è tra i più completi e sofisticati al mondo, garantendo un livello di sicurezza al cittadino senza precedenti. In questo senso, l'analisi fino a qui condotta mostra un **duplice effetto** della regolamentazione europea **sullo sviluppo dei Digital twin**.

Da un lato, **la regolamentazione dell'UE impat-**

ta in modo positivo lo sviluppo dei Digital Twin, in quanto la sicurezza e l'integrità dei dati dell'UE sono fattori che promuovono lo sviluppo di *Digital Twin* sempre più complessi e affidabili. Inoltre, gli sforzi nella costruzione di regolamentazioni e piattaforme (come il *Data Governance Act* e la piattaforma Gaia-X) che permettono la condivisione di dati in totale sicurezza tra attori privati e pubblici degli Stati membri, hanno il potenziale di contribu-

ire e velocizzare la creazione e adozione di *Digital Twin* all'interno dell'Unione Europea.

D'altro canto, **l'alta densità di regolamenti in ambito digitale può però anche avere impatti ostativi allo sviluppo della tecnologia**. Infatti, le normative pongono vincoli rilevanti che possono ostacolare lo sviluppo nei *Digital Twin*, condizionando investimenti e *player* europei in un mercato globale competitivo che ancora non adotta tali *standard*. Inoltre, l'approccio regolatorio europeo

più rallentare lo sviluppo di *Digital Twin*, in quanto le aziende devono investire tempo ed energie in attività di *compliance* delle nuove disposizioni. In questo contesto, è necessario che l'Unione Europea e i Paesi Membri riescano a costruire un *framework* di regolamentazione capace di massimizzare gli effetti positivi e minimizzare quelli negativi della normativa UE, così da favorire gli investimenti, lo sviluppo e la massima adozione dei *Digital Twin* in Italia (**Figura 16**).

Figura 16. Gli impatti della *regulation* dell'Unione Europea sullo sviluppo del *Digital Twin*.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023

Effetto stimolo



Interoperabilità

L'UE sta sviluppando misure per favorire **condivisione e interoperabilità di dati** tra attori privati e pubblici degli Stati membri, promuovendo lo sviluppo di *Digital Twin* sempre più complessi e sicuri

Effetto freno



Mitigazione del rischio

Le normative UE, come l'AI Act, pongono vincoli rilevanti che possono **ostacolare lo sviluppo e gli investimenti nei *Digital Twin***

4.4 Dal *Digital Twin* al metaverso

Metaverso è il termine usato per descrivere uno spazio virtuale, interattivo e condiviso in cui le persone possono interagire e sperimentare un mondo digitale in modo simile al mondo fisico. Il concetto di metaverso è stato coniato dallo scrittore di fantascienza Neal Stephenson nel 1992 nel libro *Snow Crash*, ma è nell'ultimo biennio che ha guadagnato una notevole attenzione e *hype* mediatico, grazie in particolare alla strategia di *re-branding* di Facebook in "Meta".

Il metaverso rappresenta un **cambio di paradigma del web all'insegna dell'immersività dell'esperienza digitale**. Si può considerare, all'interno del processo evolutivo del mondo digitale, il Wor-

ld Wide Web (WWW) come primo stadio di interazione digitale, che negli anni Novanta ha consentito l'accesso a contenuti digitali statici e di sola visualizzazione. Ha seguito il *Web 2.0*, considerato come il primo spazio digitale in cui è stato reso possibile la diffusione di contenuti interattivi prodotti dall'utente stesso, di cui l'espressione massima coincide con i *social media*. In questo contesto, il metaverso può essere considerato come lo stadio successivo, in cui l'esperienza digitale diventa sempre più immersiva e la realtà viene sempre più virtualizzata in uno spazio tridimensionale digitale (**Figura 17**).

Figura 17. La storia evolutiva del Web.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023



La creazione di un mondo virtuale totalmente immersivo alternativo a quello reale è solamente l'ultimo step futuribile per lo sviluppo del metaverso. Gli ambiti invece già maturi riguardano soprattutto la **mixed reality**: ovvero tecnologie di realtà aumentata e virtualità aumentata, punti intermedi nel *continuum* tra realtà fisica e realtà virtuale (**Figura 18**). Con il concetto di **realtà aumentata** si intende la sovrapposizione di

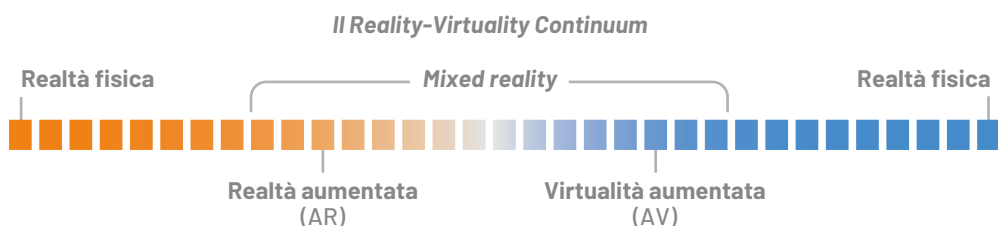
elementi ed oggetti digitali al mondo reale: è il caso, per esempio, della tecnologia che sfrutta *display* e *monitor* per consentire l'inserimento di elementi e informazioni in formato digitale nel mondo reale. Alcune applicazioni si possono trovare nel *gaming*, come nel caso virale di *PokemonGO*; nell'istruzione, grazie a soluzioni capaci di migliorare le attività di *training* con dispositivi quali per esempio i visori e nell'*automotive*, in cui

iniziano a diffondersi parabrezza in realtà aumentata che forniscono informazioni e avvertimenti in *real-time* al guidatore. Con il termine **virtualità aumentata**, invece, si parla di quelle tecnologie in cui al mondo digitale vengono aggiunti elementi proveniente dal mondo fisico. Al contrario della

realtà aumentata, dove i dispositivi aggiungono elementi digitali al mondo umano, grazie alla virtualità aumentata si possono rappresentare oggetti reali in ambienti digitali, anche in chiave *real time* interattiva: è proprio in questo contesto in cui opera il *Digital Twin*.

Figura 18. Il reality-virtuality continuum.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023

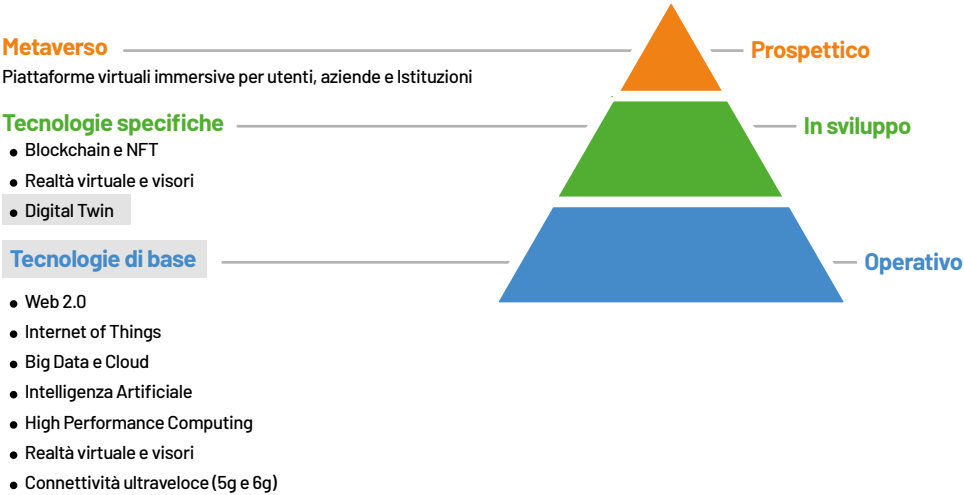


Il *Digital Twin* è un componente chiave per lo sviluppo del metaverso. Infatti, la tecnologia ha una doppia relazione con questo mondo digitale immersivo: da un lato ne condivide le tecnologie abilitanti di base, dall'altro ne costituisce un pi-

lastro tecnologico. Infatti, la maggior parte delle tecnologie alla base dello sviluppo del metaverso coincidono con quelle dei *Digital Twin* nel corso della ricerca (**Figura 19**).

Figura 19. La piramide tecnologica del metaverso.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023

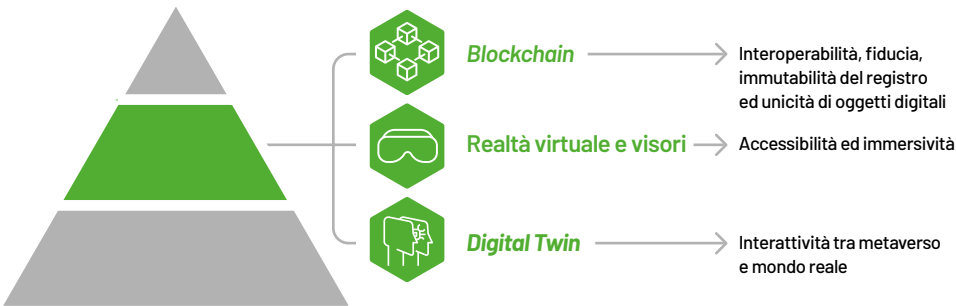


Dall'altro lato, nella piramide tecnologica del metaverso, il Digital Twin si caratterizza per l'essere una tecnologia specifica e funzionale allo sviluppo di un mondo digitale. In questo quadro, il *Digital Twin* è affiancato da altre due famiglie tecnologiche: da un lato, i dispositivi di *Virtual*

Reality, che consentono al metaverso di essere vissuto e fruito in chiave immersiva; dall'altro, la tecnologia *blockchain*, che permette di garantire la sicurezza di transazioni e di proprietà di asset digitali in un ambiente virtuale (**Figura 20**).

Figura 20. Le tecnologie specifiche del metaverso.

Fonte: rielaborazione The European House – Ambrosetti, 2023



In questo contesto, il *Digital Twin* può essere considerato la chiave di volta tecnologica che permette una vera e propria interattività tra mondo reale e metaverso. Come evidenziato dal presente rapporto, la chiave del *Digital Twin* è l'interattività tra il gemello reale ed il gemello digitale e, in questo senso, può rappresentare il dispositivo tecnologico in grado di rendere il metaverso non un semplice spazio virtuale separato dal mondo reale, ma una dimensione interattiva in grado di influenzare anche processi e infrastrutture nel mondo reale. In altri termini, senza il *Digital Twin*, il metaverso sarebbe uno spazio digitale a sé stante e separato dal mondo fisico.

Ma, soprattutto, l'interazione tra *Digital Twin* e metaverso sarà molto pronunciata in alcune *industry* e settori economici, dove i due concetti

tenderanno a sbiadire e sovrapporsi reciprocamente. Per esempio, nella produttività e comunicazione emergerà con sempre più rilevanza la possibilità di interagire con *Digital Twin* di persone fisiche, i cui movimenti verranno raccolti, analizzati e proiettati nell'ambiente virtuale di riferimento attraverso l'utilizzo di sensori. Con un po' più di immaginazione e visione prospettiva, si può prevedere la futura integrazione dei *Digital Twin* delle città con gli spazi virtuali accessibili del metaverso, così da visualizzare e interagire nel mondo virtuale con i fenomeni che avvengono nel mondo reale.

Una visione futuristica, ma – anche grazie allo sviluppo accelerato dei *Digital Twin* – non così lontana.

Italia

MILANO

The European House - Ambrosetti

Via F. Albani, 21
20149 Milano
Tel. +39 02 46753 1
Fax +39 02 46753 333
ambrosetti@ambrosetti.eu

ROMA

The European House - Ambrosetti

Via Po, 22
00198 Roma
Tel. +39 06 8550951
Fax +39 06 8554858

BOLOGNA

The European House - Ambrosetti

Via Persicetana Vecchia, 26
40132 Bologna
Tel. +39 051 268078
Fax +39 051 268392

Europa

GERMANIA

GLC Glücksburg Consulting AG

Bülowsstraße 9
22763 Hamburg
Tel. +49 40 8540 060
Fax +49 40 8540 0638
amburgo@ambrosetti.eu

GLC Glücksburg Consulting AG

Albrechtstraße 14 b
10117 Berlin
Tel. +49 30 8803 320
Fax +49 30 8803 3299
berlino@ambrosetti.eu

REGNO UNITO

Ambrosetti Group Ltd.

1 Fore Street, Ground Flr
London EC2Y 5EJ
Tel. +44 (0)7588199988
london@ambrosetti.eu

SPAGNA

Ambrosetti Consultores

Castelló nº 19 Madrid, 28001
Tel. +34 91 575 1954
Fax +34 91 575 1950
madrid@ambrosetti.eu

TURCHIA

Consulta

Kore Şehitleri Caddesi Üsteğmen
Mehmet Gönenç Sorak No. 3 34394
Zincirlikuyu-Şişli-Istanbul
Tel. +90 212 3473400
Fax +90 212 3479270
istanbul@ambrosetti.eu

Mondo

ASEAN COUNTRIES - SINGAPORE

The European House - Ambrosetti

(Singapore) Consulting Pte. Ltd.
1 Kay Siang Road #12-02
Singapore 248922
Tel. +65 90998391
Fax +65 6372 0091
singapore@ambrosetti.eu

ASEAN COUNTRIES - TAILANDIA

Mahanakorn Partners Group Co., Ltd.

Kian Gwan House III, 9th Floor,
152 Wireless Rd., Lumpini,
Pathumwan, Bangkok, 10330, Thailand
Tel. +66 (0) 2651 5107
Fax +66 (0) 2651 5108
bangkok@ambrosetti.eu

CINA

Ambrosetti (Beijing) Consulting Ltd.

No.762, 6th Floor, Block 15
Xinzhaoliyuan, Chaoyang District
Beijing, 100024
Tel. +86 10 5757 2521
beijing@ambrosetti.eu

Ambrosetti (Beijing) Consulting Ltd.

No. 1102 Suhe Mansion,
No.638 Hengfeng Road,
Zhabei District
Shanghai, 200070
Tel. +86 21 5237 7151
Fax +86 21 5237 7152
shanghai@ambrosetti.eu

Bai Shi Barbatelli & Partners

Commercial Consulting Shanghai Company Ltd (Shanghai)

No. 517 Suhe Mansion,
No.638 Hengfeng Road,
Zhabei District
Shanghai, 200070
Tel. +86 21 62719197
Fax +86 21 62719070
shanghai-partner@ambrosetti.eu

COREA

HebronStar Strategy Consultants

4F, Ilsin bldg.,
Teheraro37gil 27,
Gangnam-gu, Seoul
Tel. +82 2 417 9322
Fax +82 2 417 9333
seoul@ambrosetti.eu

GIAPPONE

Corporate Directions, Inc. (CDI)

Tennoz First Tower 23F
2-2-4 Higashi Shinagawa,
Shinagawa-ku
Tokyo, 140-0002
Tel. +81 3 5783 4640
Fax +81 3 5783 4630
tokyo@ambrosetti.eu

IRAN

The European House - Ambrosetti

Middle East
u.12, 330 Dolat St., Kaveh Blvd
ZIP Code: 1944683466 - Tehran - Iran
Tel. +98.(0)21.22571258
Mob. (UAE) +971.56.1311.532
Mob. (IT) +39.340.592.1349
Mob. (IR) +98.912.8450.321
Fax. +98.(0)21.22571261
teheran@ambrosetti.eu

SUDAFRICA

Grow To The Power of n Consulting

Suite F9, Building 27
Thornhill Office Park - Bekker Road
Vorna Valley, Midrand
South Africa 1685
Tel. 0861 102 182 (local)
Tel. +27(0)11 805 0491 (international)
Fax 086 501 2969
johannesburg@ambrosetti.eu