



Studi e Ricerche



Futuro digitale: strategie e strumenti

*Come il Cloud Computing
e l'Intelligenza Artificiale stanno
ridisegnando il business*

a cura di Andrea Rocchi e Francesca Iandolo



University Press



SAPIENZA
UNIVERSITÀ EDITRICE

Collana Studi e Ricerche 181

Futuro digitale: strategie e strumenti

*Come il Cloud Computing
e l'Intelligenza Artificiale stanno
ridisegnando il business*

a cura di Andrea Rocchi e Francesca Iandolo



SAPIENZA
UNIVERSITÀ EDITRICE

2025

Copyright © 2025

Sapienza Università Editrice

Piazzale Aldo Moro 5 – 00185 Roma

www.editricesapienza.it

editrice.sapienza@uniroma1.it

Iscrizione Registro Operatori Comunicazione n. 11420

Registry of Communication Workers registration n. 11420

ISBN: 978-88-9377-413-0

DOI: 10.13133/9788893774130

Pubblicato nel mese di ottobre 2025 | *Published in October 2025*



Opera diffusa in modalità *open access* e distribuita con licenza
Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Non opere
derivate 4.0 Internazionale (CC BY-NC-ND 4.0)

Work published in open access form and licensed under Creative Commons Attribution – NonCommercial – NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

In copertina | *Cover image*: per gentile concessione di TIM.

Indice

Prefazione	9
Introduzione	13
1. Analogica, digitale, autonoma: una (breve) storia della tecnologia <i>Andrea Rocchi, Antonio La Sala, Maria Virginia Sirolli</i>	15
1.1. Introduzione	15
1.2. L'era analogica: dalla prima alla seconda rivoluzione industriale	18
1.3. La terza rivoluzione industriale: "Galassia Internet"	21
1.4. L'era digitale: la quarta rivoluzione industriale	27
1.4.1. L'Internet of Things e l'automazione	28
1.4.2. Oltre Industria 4.0: l'Intelligenza Artificiale (AI) e l'integrazione uomo-macchina	29
2. Focus sulle tecnologie digitali <i>Enrica Sposato, Dario Pensa</i>	33
2.1. Il Cloud computing	33
2.1.1. Definizione e Caratteristiche del Cloud Computing	35
2.1.2. Modelli di Deployment: pubblico, privato, ibrido o multi-cloud?	37
2.1.3. Modelli di Servizio: a quale livello di risorse accedere?	40
2.1.4. Cloud Security	42
2.1.5. Trend Emergenti	45
2.2. Intelligenza Artificiale	46
2.2.1. Introduzione all'intelligenza artificiale	46
2.2.2. Etica e intelligenza artificiale	50
2.2.3. Regolamentazione dell'Intelligenza Artificiale (AI Act)	51
2.2.4. L'impatto sul mondo del lavoro	53
2.2.5. L'IA e il business	53

2.2.6. L'IA e il Cloud	55
2.2.7. Modalità di erogazione dell'Intelligenza Artificiale	56
3. Il cloud nelle imprese: principali strategie e modalità di adozione e implementazione	61
<i>Giuseppe Villari</i>	
3.1. DevOps e Cloud Computing	61
3.2. Architettura a microservizi (significato, architetture, best practices)	68
3.3. Architetture basate su container: soluzione cloud native	73
4. La strategia digitale in Europa e in Italia	79
<i>Andrea Rocchi, Pietro Vito, Vittorio Costa</i>	
4.1. Introduzione	79
4.2. Digital Economy and Society Index (DESI)	81
4.2.1. Il Digital Economy and Society Index (DESI)	81
4.2.2. Il "Decennio Digitale" 2030	82
4.2.3. La posizione dell'Italia	83
4.3. La strategia Cloud Italia	86
4.3.1. Panoramica e obiettivi	86
4.3.2. Principali iniziative e realizzazioni nella Strategia Cloud Italia	87
4.4. Il Fondo per la Repubblica Digitale	89
4.4.1. Presentazione del Fondo	89
4.4.2. Come funziona e dove vengono investiti i fondi	90
4.5. La sinergia tra strategia nazionale ed europea	91
5. Le strategie Cloud Tim Le strategie Cloud Tim	93
<i>Dario Pensa, Enrica Sposato, Giuseppe Villari, Attilio Somma</i>	
5.1. L'innovazione in TIM Enterprise	93
5.1.1. Center of Excellence	93
5.1.2. Vertical Solution & Cloud Apps	94
5.1.3. Digital Players	94
5.2. I Data Center di TIM Enterprise e i loro servizi	94
5.2.1. L'Infrastruttura Tecnologica di TIM	95
5.2.2. Prodotti e Servizi Cloud	97
5.3. Intelligenza Artificiale	102
5.3.1. I Servizi di Tim Enterprise per l'Intelligenza Artificiale	102
5.3.2. Sviluppo di progetti custom basati su intelligenza artificiale	104

5.4. Cloud Security	105
5.5. Strategia di TIM Enterprise	109
6. Futuriste, giurassiche, neoclassiche: come le imprese si preparano alla transizione digitale. Il caso del Piemonte	111
<i>Andrea Rocchi, Maria Felice Arezzo, Francesca Iandolo</i>	
Introduzione	111
6.1. Digitalizzazione in Piemonte: infrastruttura, livello di adozione, competenze	113
6.1.1. Livello infrastrutturale	113
6.1.2. Copertura delle connessioni	117
6.1.3. Banda ultra-larga	120
6.2. Risultati dell'indagine campionaria	121
6.2.1. Le caratteristiche strutturali delle imprese all'interno del campione	123
6.2.2. Utilizzo del cloud e intenzioni future	123
6.2.3. Attitudine delle imprese	129
6.3. Cluster Analysis	134
6.4. Discussione dei risultati	141
6.5. Limitazioni e conclusioni	142
7. L'integrazione intelligente nei sistemi produttivi	145
<i>Maria Virginia Sirolli, Andrea Rocchi, Fabrizio D'Ascenzo</i>	
7.1. Introduzione	145
7.2. L'evoluzione delle tecnologie digitali: dall'Industria 4.0 agli ecosistemi connessi	145
7.3. Le tecnologie digitali nei sistemi produttivi	148
7.4. Le nuove tecnologie: digital twin, GenAI, robotica collaborativa ed edge computing	151
7.2.1. Digital twin	151
7.2.2. Intelligenza Artificiale Generativa	153
7.2.3. Robotica collaborativa	155
7.2.4. Edge Computing	157
7.5. Prospettive future: verso modelli produttivi adattivi e human-centric	158
Riferimenti Bibliografici	161

Prefazione

Viviamo un periodo di trasformazione senza precedenti, una rivoluzione che, così come le grandi ondate di innovazione degli ultimi cinque secoli, rappresenta un nuovo paradigma in grado di ridefinire e plasmare diversi aspetti della nostra vita, con impatti etico-sociali significativi e una profonda riconfigurazione dei processi e dei prodotti aziendali. Questo è un momento interessante, uno di quei momenti in cui questa azienda guarda avanti sentendo odore di futuro. Un futuro nel quale noi siamo immersi.

Cloud e intelligenza artificiale sono sicuramente le parole del 2023 – complice l'avvento di chat GPT che negli ultimi sei mesi ha fatto balzare l'intelligenza artificiale tra le parole più cercate – come sicuramente nel 2024 saranno due temi, due tecnologie che terranno banco.

È indubbio che l'Intelligenza Artificiale (IA) sia una delle soluzioni più innovative in continua crescita. Dappertutto si parla infatti di IA: ad oggi ben il 93% degli italiani ha già sentito parlare di intelligenza artificiale e il 55% afferma che è molto presente nella loro quotidianità.

Le proiezioni indicano che entro il 2025, circa il 30% dei contenuti nei processi di Sales e Marketing sarà generato da intelligenza artificiale generativa. Parallelamente, nel Customer Care, si prevede che circa il 15% delle interazioni con i clienti sarà gestito attraverso contact center abilitati da AI.

L'adozione è in continua crescita, tanto che il 61% delle grandi imprese italiane ha già avviato almeno un progetto sull'IA, e tra queste, il 42% ne ha più di uno operativo. E noi di TIM siamo appunto tra queste! Il ruolo del Governo rimane centrale anche su questo tema, lo dimostra la nascita del Comitato di coordinamento per aggiornamento

della strategia nazionale per l'IA, che contribuirà a redigere la strategia nazionale sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale.

Con un valore stimato in 1,9 miliardi di euro nel 2023, in crescita fino a 6,6 miliardi nel 2027, il mercato dell'Intelligenza Artificiale è in forte sviluppo anche in Italia, sostenuto principalmente dagli investimenti dei comparti finance, telecomunicazioni e IT, manifattura e retail e con ulteriore potenziale di crescita nei settori dell'assistenza sanitaria, della Pubblica Amministrazione e dell'agricoltura. Sono queste alcune delle principali evidenze del Rapporto 'L'Intelligenza Artificiale in Italia – Mercato, Innovazione, Sviluppi' realizzato dal Centro Studi TIM in collaborazione con Intesa Sanpaolo Innovation Center presentato alla conclusione della 'TIM AI Challenge'.

Il ruolo di TIM Enterprise in questo mercato in crescita si articola su quattro pilastri fondamentali: il nostro Centro d'Eccellenza per l'Intelligenza Artificiale e lo sviluppo del Cloud (CoE) di Torino, centro nevralgico per lo sviluppo e la sperimentazione di soluzioni all'avanguardia con il partner Google Cloud e Intesa San Paolo, il programma Digital Players, che vede la collaborazione con attori esterni per lo sviluppo di soluzioni innovative; la creazione di proposte verticali per l'industria in partnership con Google Cloud e il nostro centro di competenza per l'AI responsabile, l'Ethical AI & Cultural Hub.

Questo studio vuole offrire un quadro esaustivo delle sfide, delle opportunità e delle prospettive future nel mercato del cloud computing e dell'intelligenza artificiale. Rappresenta il risultato tangibile di una collaborazione fruttuosa tra il mondo accademico e la nostra azienda, da sempre impegnata nell'innovazione e attore chiave nel panorama delle telecomunicazioni a livello nazionale e internazionale. I risultati costituiscono una solida base per ulteriori e auspiccate ricerche e contribuiscono a fornire una guida informativa per orientare le decisioni e gli investimenti futuri.

Iniziative come questa, hanno lo scopo di innescare un circolo virtuoso, puntando a facilitare l'incontro tra imprese e generazioni diverse per valorizzare le nuove esperienze e proposte di chi si affaccia oggi in un mercato sempre più veloce, in cui l'Intelligenza Artificiale è un fortissimo acceleratore della trasformazione digitale di aziende e Pubblica Amministrazione. In questo contesto, un'azienda come TIM, che ha nel suo DNA e nella sua storia la capacità di portare nel Paese l'innovazione in maniera responsabile, si pone l'obiettivo di estrarre il meglio di una tecnologia disruptive come l'AI, ponendo la massima attenzione alle

tematiche di privacy, sicurezza e impatto sociale in quello che facciamo. Con TIM Enterprise mettiamo a disposizione risorse e competenze con l'obiettivo di far crescere tutta la filiera dell'innovazione.

La strada verso l'utilizzo dell'Intelligenza Artificiale in numerosissimi settori della società è già tracciata, imponendoci di perseguire questo percorso, con la consapevolezza di coniugare questi strumenti, tenendo sempre al centro le persone.

Elio Schiavo

Chief Enterprise and Innovative Solutions Officer TIM

Introduzione

In un contesto dominato da un'accelerazione dell'innovazione e da una trasformazione digitale pervasiva, il volume "Futuro digitale: strategie e strumenti" emerge come un compendio analitico volto a decodificare la rivoluzione tecnologica imperante. Elaborato sulla base di uno studio condotto dal centro di ricerca Impresapiens di Sapienza Università di Roma per TIM Enterprise, il testo si articola in un'analisi sistematica dei mutamenti paradigmatici indotti dall'avanzamento tecnologico che ristrutturata incessantemente il tessuto socio-economico globale.

La struttura del libro segue un percorso logico che intende orientare il lettore attraverso i diversi vettori della trasformazione digitale.

L'opera inizia con un'esplorazione dell'evoluzione tecnologica, delineando una traiettoria storica che si estende dalle iniziali ondate di innovazione industriale sino al presente, caratterizzato dall'integrazione quotidiana di tecnologie emergenti quali l'intelligenza artificiale e il cloud computing. La digital transformation viene evidenziata come una leva critica non più eludibile per il mantenimento della competitività in un mercato caratterizzato da un'evoluzione esponenziale.

Il secondo capitolo si dedica ad un focus relativo alle tecnologie digitali. In particolare, al cloud computing, analizzando i modelli di servizio come IaaS, PaaS e SaaS, assieme al loro impatto sulle dinamiche di scalabilità e agilità aziendale, e all'intelligenza artificiale, discutendo il suo impatto trasversale nelle strategie di business e nella sfera quotidiana, senza trascurare le implicazioni etiche inerenti.

Il terzo capitolo si focalizza sulle modalità di adozione ed implementazione delle tecnologie cloud all'interno delle imprese, analizzando in dettaglio il concetto di DevOps insieme alle pratiche agile,

mettendo in luce come queste influenzino l'efficienza nello sviluppo software e la gestione di progetti IT.

Il quarto capitolo offre una panoramica relativa alla strategia digitale europea ed italiana, con un focus sullo stato dell'arte della digitalizzazione in Italia, analizzando sia il posizionamento del nostro paese che le principali misure di policy a sostegno della trasformazione digitale.

Il capitolo 5, successivamente, si focalizza sulle strategie cloud adottate da TIM Enterprise, sulle principali criticità legate alla cybersecurity ed una dettagliata delle strategie per la tutela dei dati e delle infrastrutture IT nel paradigma del cloud. Infine, vengono analizzate le architetture basate su microservizi, discutendo i loro benefici in termini di velocizzazione dell'innovazione e di manutenzione sistemica del software.

Il sesto capitolo è dedicato alla presentazione dei risultati della ricerca originale effettuata da Impresapiens, offrendo prospettive inedite per l'adattamento e la prosperità aziendale nell'ambito di un ambiente tecnologico in rapido e continuo cambiamento.

Il capitolo conclusivo sposta lo sguardo verso il futuro, tracciando le traiettorie che queste tecnologie stanno assumendo e mostrando come la loro integrazione stia progressivamente trasformando la produttività e le logiche stesse dell'organizzazione industriale. L'obiettivo è offrire al lettore non solo una fotografia dello stato attuale, ma una bussola per orientarsi tra i possibili scenari evolutivi dell'impresa digitale.

Attraverso quest'analisi, "Futuro digitale: strategie e strumenti" si propone di delineare una mappa concettuale del panorama tecnologico attuale e prossimo venturo, fornendo ai lettori gli strumenti critici per navigare e interpretare il contesto dinamico che ci circonda.

1. Analogica, digitale, autonoma: una (breve) storia della tecnologia

Andrea Rocchi, Antonio La Sala, Maria Virginia Sirolli

1.1. Introduzione

L'interazione tra i cicli economici a lungo termine e le rivoluzioni industriali costituisce un nodo cruciale di convergenza tra economia e storia e allo stesso tempo un'intersezione che invita a un'indagine multidisciplinare. Le rivoluzioni industriali, in effetti, ben lontane dall'essere meri aggiustamenti tecnologici, emergono come catalizzatori di cambiamento, innescando nuove fasi di espansione non solo economica ma pure sociale. Si tratta, dunque, di trasformazioni radicali che ristrutturano l'intera architettura socioeconomica. Pensando alla prima Rivoluzione Industriale, ad esempio, è facile notare come la meccanizzazione e il vapore abbiano non solo dato impulso alla crescita di valore economico ma anche ridefinito le relazioni di lavoro e la struttura del tessuto sociale. Analogamente, la seconda Rivoluzione Industriale, con l'avvento dell'elettrificazione e della produzione di massa, e la terza, focalizzata sulla comunicazione e sull'informatica, hanno ciascuna avuto profonde implicazioni economiche, sociali e politiche. Un'utile chiave di lettura di questo noto fenomeno sociotecnico è stata fornita da Nikolai Kondratiev con l'introduzione dei *cicli K* (Kondratiev, 1935).

I cicli K, noti anche come onde di Kondratiev o cicli di Kondratiev, rappresentano un fenomeno economico di grande rilevanza. La teoria, formulata per la prima volta dall'economista russo Nikolai Kondratiev nel 1925, ha subito numerose revisioni e adattamenti, ma la sua essenza rimane invariata: l'economia globale attraversa cicli a lungo termine, con fasi di espansione e contrazione di durata variabile fra i 50 e i 60 anni. Ogni ciclo è composto da una fase di espansione (o primavera), una fase di stallo (o estate), una fase di contrazione (o autunno)

e una fase di depressione (o inverno), misurabili attraverso indicatori di produzione industriale, occupazione, prezzi delle materie prime e tassi di interesse.

Nelle dinamiche economiche e sociali, si possono identificare quattro fasi cruciali che non solo modellano il mercato, ma anche influenzano profondamente gli aspetti psicosociali della comunità. La "Primavera", che dura approssimativamente un quarto di secolo, è un periodo di crescita e di espansione, rappresentando l'unico stadio di autentico benessere sociale. Economicamente, si manifesta un bisogno di maggiore liquidità per sostenere l'incremento della produzione, che a sua volta porta a un aumento dei prezzi e prelude a una fase inflazionistica. Socialmente, si verifica una ristrutturazione del mercato del lavoro e dei ruoli individuali.

A seguire, l'"Estate", un periodo più breve di circa cinque anni, segna un'inversione di tendenza verso la recessione. In questa fase, il capitale è prevalentemente canalizzato verso il consumo, con una conseguente diminuzione degli investimenti e del risparmio. Si raggiunge anche il picco inflazionistico, che erode parte dei guadagni della fase primaverile. Sul fronte sociale, il benessere accumulato nella fase precedente porta a una diminuzione della produttività.

La "stagione dell'Autunno", estesa dai sette ai dieci anni, è caratterizzata da una forma di crescita deflazionaria. Sebbene non eguagli il benessere della Primavera, si assiste a un rinnovato impulso all'innovazione e a un incremento del consumo, spesso sostenuto da un maggiore indebitamento.

Infine, l'"Inverno" si articola in due sottoperiodi: una "fase di collasso," di circa tre anni, e una "fase di contrazione," che si protrae per un quindicennio. In questa stagione, si manifesta una contrazione significativa dell'economia, e la società entra in un periodo di austerità. Tuttavia, è anche il momento in cui i cambiamenti incrementali, maturati nelle fasi precedenti, convergono nella formazione di una nuova struttura sociale, inaugurando un nuovo ciclo.

Come osservato, le principali cause dell'alternanza dei cicli sono identificate da un lato, nell'innovazione e negli investimenti che la sostengono; dall'altro, nelle pressioni socioeconomiche che chiedono nuova innovazione. Ciò evidenzia che le onde K non sono un fenomeno strettamente economico, ma la manifestazione misurabile in termini economici del comportamento, armonico o disarmonico, del sistema socioeconomico nel suo insieme. A partire dagli studi di Kondratiev,

Schumpeter (1939), Freeman (1977) e Freeman e Perez (1986) hanno individuato cinque cicli: l'avvio del primo ciclo viene ricondotto alla prima rivoluzione industriale in Inghilterra e si avvia intorno al 1771; il secondo ciclo, l'epoca delle ferrovie, si avvia intorno alla prima metà del XIX secolo, e corrisponde alla seconda rivoluzione industriale. Nuove tecnologie e capitali accumulati durante la prima rivoluzione vengono impiegati per costruire le prime ferrovie e l'industria pesante dell'acciaio diventa settore di traino dell'economia. Il terzo ciclo si avvia intorno alla seconda metà del XIX secolo e prende il nome di "Era dell'elettricità". Si caratterizza per la proliferazione di collegamenti ferroviari transnazionali e di quelli marittimi transcontinentali che hanno reso possibile una prima "globalizzazione". In questo periodo, Germania e gli Stati Uniti sfidano l'egemonia economica britannica. Il quarto ciclo, più breve del precedente, prende il nome di "Era del petrolio, dell'automobile e della produzione di massa" si avvia intorno al 1908. L'avvio del ciclo è legato al lancio della Ford T, la prima vettura prodotta in serie utilizzando la catena di montaggio. Le nuove tecniche di produzione di massa e l'ampia diffusione dell'energia elettrica e l'uso della plastica sconvolsero i modelli di lavoro e di vita. Ciò diede anche avvio al consumismo di massa. Il quinto ciclo prende, infine, il nome di "Era dell'informatica e delle telecomunicazioni" ed ha inizio nel 1971, e attualmente sta vivendo la sua ultima fase: l'Inverno di Kondratiev. Il 1971 è l'anno in cui l'Intel lancia sul mercato il microprocessore, dando inizio all'epoca delle tecnologie informatiche e delle telecomunicazioni. Ciascuna delle onde individuate – a causa dell'accelerazione dei cicli tecnologici, ciascuna onda, ha una durata minore rispetto alla precedente – consiste in:

- una fase di rivoluzione tecnologica;
- una fase di maturità, in cui le innovazioni radicali diminuiscono in numero e impatto e l'attenzione si concentra principalmente sull'exploitation;
- una fase conclusiva, di saturazione.

Una rivoluzione tecnologica, tuttavia, non si limita a essere una semplice evoluzione tecnica: rappresenta piuttosto una metamorfosi fondamentale dell'architettura di una società. In altre parole, modificando le modalità attraverso le quali una comunità si auto-perpetua e si espande, se ne modifica il paradigma (Dosi, 1985). Si tratta di una trasformazione radicale delle interazioni tra individui e gruppi sociali: non solamente il risultato dell'avvento di nuove tecnologie, ma un fenomeno in cui l'uso

differenziato di tali tecnologie consente ad alcuni gruppi di ottenere una posizione dominante, alterando così le dinamiche di potere all'interno della società stessa.

In effetti, un paradigma tecnologico (Dosi & Nelson, 2014; Dosi, 1982, 1988; Freeman, 1982, 1994) può essere visto come un insieme coerente di pratiche, design archetipici e un corpus di conoscenze che forniscono una cornice per la definizione dei problemi e delle soluzioni tecno-economiche. Questo concetto, sviluppato a partire dal lavoro di Thomas Kuhn sulle rivoluzioni scientifiche, funge da guida per le attività di ricerca e sviluppo, fornendo regole – formali e informali – che orientano gli sforzi di innovazione, influenzano l'organizzazione industriale e la dinamica del mercato (Freeman, 1982, 1994).

Le traiettorie tecnologiche, d'altra parte, rappresentano i percorsi evolutivi che emergono all'interno di un paradigma tecnologico: le traiettorie tecnologiche sono, dunque, il risultato di un processo di selezione naturale all'interno del paradigma dominante, rappresentano i “sentieri” lungo i quali si sviluppa l'innovazione tecnologica, orientando gli sforzi di ricerca e sviluppo verso miglioramenti incrementali o radicali (Nelson & Winter, 1977, 1982).

Un cambiamento nel paradigma tecnologico può, così, portare a nuove opportunità di innovazione: la conoscenza scientifica è motore di innovazione tecnologica (Mokyr, 2002, 2010). D'altra parte, non si può ignorare la dimensione path-dependent della tecnologia: Paul David (1993, 2004) e Keith Pavitt (1987, 1999), in particolare, hanno sottolineato che le innovazioni sono di fatto il risultato di combinazioni di tecnologie esistenti (Arthur, 2009).

A partire da queste doverose premesse, in quanto segue si proverà a ripercorrere brevemente il ruolo storicamente ricoperto della tecnologia nel passaggio dall'era analogica a quella digitale.

1.2. L'era analogica: dalla prima alla seconda rivoluzione industriale

La prima rivoluzione industriale ha determinato straordinarie trasformazioni, con effetti distruttivi dei precedenti assetti sociali e produttivi, con la scomparsa di vecchi mestieri, ma anche con l'emergere di nuovi lavori, un ridisegno delle città, la creazione di nuove classi sociali e quindi anche di nuovi conflitti politici. La straordinaria accelerazione

industriale della Gran Bretagna portò ad una espansione degli interessi commerciali inglesi ben oltre i confini nazionali. Non si trattava più di spingere le proprie navi verso terre lontane, per acquistare merci rare, come le spezie, che mancavano nel territorio nazionale; il commercio con terre lontane era stato da secoli il principale stimolo a spingersi verso lontani orizzonti. Il nuovo imperialismo dell’Inghilterra industriale si basava certo sull’acquisizione di materie prime – il cotone dall’India o dall’Egitto o dal Nord America – ma da «trasformare» negli opifici di Manchester, e da rivendere poi in tutti i mercati del mondo in virtù di una superiorità organizzativa e tecnica, che allo stesso tempo minava le economie interne di quei paesi, spiazzando le precedenti manifatture locali. La ricchezza diveniva potenza delle nazioni e la superiorità economica inglese diveniva dominio politico. Era inevitabile che nuovi conflitti si delineassero all’orizzonte.

David Landes nel *Prometeo liberato* (1994, 2017) ricorda a questo proposito come, dopo le guerre napoleoniche, l’emergente Prussia iniziò un pressante percorso di emulazione e inseguimento della Gran Bretagna, avendo il re di Prussia ben chiaro che i nuovi conflitti fra nazioni si sarebbero giocati sul piano proprio di un confronto di potenze, fondato sulla forza di economie che avevano nel peso della manifattura il proprio centro motore. Questo convinse il re di Prussia a spingere sulla crescita del comparto industriale, cosicché il processo che in Inghilterra poté svolgersi nell’arco di due secoli, in Prussia, ma anche in Francia, dovette essere sostenuto da azioni pilotate dallo Stato, in una competizione economica che si stava trasformando in un confronto fra Stati. Tra le varie iniziative, si distinsero particolarmente quelle volte a istituire istituzioni educative tecniche nei due paesi continentali: le *Écoles des Arts et Métiers* in Francia e le *Gewerbeschulen* in Prussia, insieme all’*École Polytechnique* francese e al *Gewerbeinstitut* di Berlino fondato nel 1821, agirono come fulcri per la disseminazione di competenze tecniche (Landes, 2017). Queste istituzioni furono fondamentali per catalizzare processi di industrializzazione accelerata, indispensabili per rimanere competitivi rispetto all’industria inglese, all’epoca più avanzata. Ricordo che gli anni centrali del XIX secolo coincisero con una fase di bassa crescita, e furono teatro di eventi politici di grande portata, dall’Unità d’Italia alla fondazione del Reich tedesco, dalla guerra civile negli Stati Uniti alla rivoluzione Meiji in Giappone, dalle guerre di indipendenza in America Latina alle guerre dell’oppio in Cina; rivolgimenti che mutavano il contesto

politico a livello globale, spingendo ben presto le nazioni europee a voler espandere la loro sovranità oltre i propri confini, per garantirsi un controllo diretto di mercati internazionali, sufficientemente estesi da sostenere la crescita accelerata dell'industria nazionale. L'età dell'imperialismo diviene l'età dell'industrializzazione forzata: per consolidare la propria influenza politica a livello globale, era imperativo avere un robusto apparato industriale nazionale. Questo era fondamentale per promuovere quegli ambiti della società in via di modernizzazione – come le ferrovie, le navi di grande dimensione e l'industria bellica – che rapidamente si trasformarono in icone di un avanzamento apparentemente inesauribile. Questa accelerazione portò alla crescita degli scambi internazionali che segnò l'inizio del XX secolo e allo stesso tempo dell'espansionismo politico militare delle grandi potenze, che ebbe come sua "tragica conseguenza la grande guerra, l'intermezzo drammatico della crisi economica e politica degli anni Venti e Trenta ed infine l'emergere degli Stati autoritari e del conflitto che portò alla Seconda guerra mondiale. Dal punto di vista dell'organizzazione della produzione – cioè della *milieux innovateurs division of labour* – l'innovazione di fondo fu l'introduzione della cosiddetta «gestione scientifica del lavoro» che si tradusse nelle catene di montaggio di Ford. Diversi autori si erano concentrati sulla divisione del lavoro come base dell'efficienza della produzione. Marx nel *Capitale* (I, XII, 5) aveva individuato come la differenza fra la ripartizione delle mansioni fra artigiani e la divisione del lavoro propria della manifattura capitalista si fondava sulla disciplina del lavoro data dai tempi di lavorazione. Charles Babbage nel suo *On the Economy of Machinery and Manufactures* del 1832 e Andrew Ure in *The Philosophy of Manufactures* del 1835 avevano analizzato proprio il tema dell'ottimizzazione di un ciclo di produzione, tenendo a riferimento il tempo di realizzazione di volumi di produzioni omogenee. La seconda rivoluzione industriale sorse in concomitanza con la formazione degli Stati-nazione, in un ambiente caratterizzato da una crescente domanda di infrastrutture pubbliche e beni di consumo standardizzati. Questo bisogno fu soddisfatto attraverso grandi strutture produttive che utilizzavano la divisione del lavoro per migliorare l'efficienza. Come la sua predecessora, questa fase industriale fu il risultato dell'integrazione di diverse innovazioni tecnologiche che facilitarono la produzione su larga scala.

Nel contesto britannico, l'approccio ingegneristico, ispirato da Babbage, favorì la standardizzazione dei processi produttivi. Questa tendenza trovò terreno fertile negli Stati Uniti, soprattutto dopo la conclusione del conflitto civile. Fu Frederick Taylor (1911) a fornire il modello teorico per questa nuova fase industriale, attraverso la sua concezione dell'organizzazione scientifica del lavoro, che enfatizzava la separazione delle funzioni esecutive da quelle direzionali, la standardizzazione degli strumenti e delle procedure, e l'implementazione di sistemi di monitoraggio del tempo e dei metodi. Questo modello, noto come fordismo, ottimizzava le economie di scala statiche a discapito delle dinamiche, legate all'apprendimento e alle competenze. Il fordismo portò anche a una netta separazione tra la forza lavoro e le élite decisionali, oltre a una concentrazione del potere economico in grandi conglomerati. Queste entità, denominate Trust negli Stati Uniti e Konzern in Germania, divennero centri di competenza tecnica e produttiva. Questo periodo fu anche segnato da significativi progressi in vari campi scientifici e tecnologici, come la scienza dei materiali e l'ingegneria elettrica, che divennero pilastri della nuova fase industriale. Questa fase attraversò periodi di instabilità, come la Grande Guerra e la crisi economica, e si concluse con la Seconda Guerra Mondiale. Nel periodo postbellico, diviso tra il blocco capitalista occidentale e quello comunista orientale, il fordismo appariva come l'unico modello moderno di organizzazione produttiva. Tuttavia, la sua diffusione, sostenuta da una classe media in espansione, generò tensioni competitive e sociali nei paesi occidentali, culminando in una trasformazione industriale che può essere vista come una terza rivoluzione industriale.

1.3. La terza rivoluzione industriale: "Galassia Internet"

La rilettura delle grandi trasformazioni del mondo implica il recupero di una puntuale riflessione sul rapporto tra lo sviluppo della scienza e le sue ricadute tecnologiche e quindi industriali (Bianchi & Labory, 2018).

Newton alla metà del Seicento portò a sintesi un lungo pensiero teorico sulle dinamiche dell'universo, delineando un modello di gravitazione universale che, tramite Locke, venne assunto a riferimento delle dinamiche sociali. Lo stesso ribollire scientifico e politico si verificò intorno alla metà dell'Ottocento (Gholson e Barker, 1985). Nel 1865, James Clerk Maxwell elaborò un insieme di equazioni differenziali che,

basandosi su estese ricerche teoriche precedenti, stabilirono le leggi cardine dell'interazione elettromagnetica. Le equazioni di Maxwell rivelarono la correlazione tra campo elettrico e campo magnetico, portando alla scoperta delle onde elettromagnetiche. Questo gettò le basi per gli esperimenti di Heinrich Rudolf Hertz, che sviluppò un dispositivo capace di emettere onde radio. Queste scoperte scientifiche furono poi la premessa per le ricerche di Augusto Righi all'Università di Bologna e, successivamente, per le sperimentazioni di Marconi. Questi ultimi lavori costituirono il fondamento industriale per gli sviluppi futuri nel campo delle telecomunicazioni, che assunsero un'importanza crescente, al punto da essere considerate la tecnologia chiave della cosiddetta terza rivoluzione industriale. Tuttavia, dalla formulazione delle equazioni di Maxwell, cioè dalla definizione delle leggi dell'elettromagnetismo, derivano anche le ricerche sulla materia e sulla luce, che aprirono, all'inizio del nuovo secolo, la via ad altre grandi scoperte: innanzitutto i lavori di Albert Einstein, delineati fin dal 1905, sul relativismo dei concetti di tempo e di spazio e sul rapporto tra materia ed energia, con cui si scopriva l'immensa forza che stava nella stessa struttura atomica della materia. In parallelo a questo filone principale, emergono anche gli studi di Max Planck che, a partire dal 1901, gettarono le basi per la fisica quantistica. Planck dimostrò che gli atomi emettono e assorbono radiazioni in maniera discontinua, attraverso quanti di energia, ovvero unità finite e discrete di energia. Questo portò a una rappresentazione granulare, piuttosto che continua, della materia. Da questo punto di partenza, si sviluppò una linea di ricerca sempre più applicata, che condusse all'elaborazione dei due pilastri della nuova scienza e, di conseguenza, della nuova industria. Da un lato, la ricerca focalizzata sul controllo dell'energia generata dalla fissione nucleare; dall'altro, gli studi per comprendere la discontinuità tra energia e materia, che aprirono la strada alle applicazioni della digitalizzazione. Quest'ultima può essere considerata la tecnologia fondamentale della cosiddetta quarta rivoluzione industriale. Come gli studi teorici di Newton generarono nuove tecnologie atte a sostenere lo sviluppo di una nuova industria, essenzialmente perché uomini nuovi – i commons – si avvalsero di quelle tecniche per affermarsi socialmente e politicamente, così dovettero trascorrere molti anni prima che si creassero le condizioni politiche e sociali affinché le teorie di Einstein e Planck divenissero base di una nuova industria.

La terza rivoluzione industriale – di cui è possibile identificare i termini di riferimento nella rivoluzione delle tecnologie dell'informazione e delle telecomunicazioni (Information and Communications Technology, ICT), – nasce quindi nell'età in cui il mondo uscito dalla Seconda guerra mondiale si divide in un'area di mercato, sotto la bandiera degli Stati Uniti e in un'area di economia socialista, sotto l'egida dell'Unione Sovietica, con una enorme zona residuale definita come Terzo Mondo, di fatto irrilevante dal punto di vista economico e politico (Rifkin, 2011). La crescita del dopoguerra si fondava del resto su alcuni presupposti, che a loro volta si esaurirono alla metà degli anni Settanta: costo del lavoro costante, grazie alla continua immissione sul mercato del lavoro industriale di lavoratori dal settore agricolo; costo delle materie prime stabile, grazie alla produzione di petrolio da parte di paesi sostanzialmente soggetti al controllo delle grandi potenze; costo del denaro limitato dall'assenza di inflazione; infine, regime di cambi fissi, che riduceva i rischi di cambio. Sulla base di questi presupposti già alla metà degli anni Sessanta tutti i paesi industrializzati raggiungevano la piena occupazione, avviando una nuova fase politica e sociale. La dichiarazione di non convertibilità del dollaro da parte dell'Amministrazione Nixon nel maggio 1971 – a seguito di una continua erosione della competitività americana – chiude la stagione dei cambi fissi e quindi della stabilità monetaria, decretando la fine di un sistema monetario basato sulla valuta americana (De Simone, 2018). Nel 1973 la prima crisi petrolifera mette fine al regime dei prezzi stabili se non decrescenti delle materie prime, scatenando in tutti i paesi occidentali processi inflattivi che sembrano non contenibili, se non attraverso una riduzione dei consumi legata alla compressione dei salari, che scatena nuovamente tensioni operaie e studentesche che già si erano manifestate alla fine degli anni Sessanta. In questo contesto di grande instabilità valutaria e con livelli di inflazione crescenti, con costi delle materie prime alle stelle e in una fase in cui in tutti i paesi si registrano aspri conflitti sociali interni, fino alla esplosione in molti paesi di vicende di terrorismo politico, cambia anche la natura dei mercati fino a quel momento essenzialmente oligopoli locali cresciuti sulla domanda interna. Emerge così una nuova concorrenza basata sulla penetrazione da parte di tutti i produttori nei mercati vicini e quindi cresce il bisogno di differenziare le produzioni per competere in mercati straordinariamente più complessi del passato. Un forte processo di automazione delle linee di produzione diviene la risposta dei vertici

delle grandi aziende per contenere non solo i costi del lavoro, ma anche i conflitti sindacali; vengono inoltre avviati processi di riorganizzazione volti anche a differenziare i prodotti, in un quadro in cui la competizione stava incentrandosi non più solo sul prezzo ma anche sulla qualità delle produzioni (Mowery, 2009). In Italia, il violentissimo scontro sindacale dell'estate del 1980 portò alla Fiat di Torino, dopo un'occupazione della fabbrica di oltre un mese ed una successiva marcia degli impiegati e dei quadri contro il sindacato, al licenziamento di 14.000 dipendenti. La ristrutturazione degli impianti portò poi ad una massiccia automazione interna, che ebbe come conseguenza una riduzione dei dipendenti da 320.000 a 225.000 in sei anni. In quegli stessi anni cominciano, dunque, ad articolarsi diversi modelli di produzione non più schiacciati sulla precedente modalità fordista (Bianchi, 2018). Da una parte si afferma la via della Fiat che sostituisce la linea di montaggio fordista, in cui in sequenza singoli lavoratori assemblano pezzo dopo pezzo il bene finale, con una linea in cui robot eseguono le stesse operazioni, potendo però offrirne alcune varianti, per differenziare il prodotto finale. D'altra parte, cresce un modello alternativo, basato sullo sviluppo di reti di impresa, che in un territorio articolano diverse attività specifiche, unite da un nuovo imprenditore che riassume il ruolo di organizzatore del ciclo produttivo, ora in contesto diffuso (Landes, 1994). I distretti industriali diventano una forma alternativa di organizzazione produttiva, che a sua volta crescerà lasciando emergere nuovi gruppi industriali e allo stesso tempo modelli di produzione a rete, che assumeranno in tutto il mondo sempre più valore. Quindi da una parte l'automazione della linea fordista, con ricerca di flessibilità nella gestione robotizzata di sequenze di prodotti parzialmente differenziati; dall'altra, organizzazioni a rete che producono anche in parallelo lotti di prodotti differenziati. Le due alternative organizzative sono volte a produrre beni parzialmente differenziati per un mercato più segmentato e più attento alla qualità. Contemporaneamente l'evoluzione delle tecnologie meccaniche si incrocia con gli sviluppi nel settore delle telecomunicazioni e dell'informatica, utilizzando calcolatori sempre più potenti, sia per gestire i flussi di produzione interni ad una fabbrica sempre più automatizzata, sia per gestire flussi di beni provenienti da diversi fornitori operanti nel distretto ed infine assemblati fra loro dall'impresa che controlla direttamente la relazione con il mercato finale (Ciasullo et al., 2024). Negli anni successivi i due modelli si svilupperanno notevolmente, anche incrociandosi fra loro,

alla ricerca di modalità di organizzazione della produzione che possano garantire gradi di differenziazione del prodotto e allo stesso tempo economie di volume atte a contenere i costi unitari di produzione. In questa fase in tutto il mondo si sperimentano nuovi modelli di produzione e così facendo si riscoprono i valori fondanti di quella efficienza basata sul rapporto tra specializzazione individuale e complementarietà collettiva, che già Smith aveva individuato nella sua opera scritta al tempo della prima rivoluzione industriale. Si scoprono i distretti industriali, i *milieux innovateurs*, i networks, i clusters, forme diverse per raffigurare aggregazioni produttive in cui il territorio assume quella funzione di collante che la grande fabbrica rappresentava nella fase precedente (Castells, 2014). Tutto ciò che in passato veniva internalizzato nel grande impianto, che diveniva non solo luogo di lavoro, ma centro totalizzante della vita collettiva, veniva ora distribuito su territori che riacquisivano il senso di unità di base in cui la qualità dei prodotti finali, la qualità delle competenze, la qualità delle istituzioni locali «fanno la differenza». In questa fase si riscoprono le piccole imprese, che diventano anche fattori di promozione di una nuova imprenditoria in grado di coniugare competenza produttiva e creatività dei prodotti. Lo sviluppo delle tecnologie della comunicazione e dell'informazione mette a disposizione di questi imprenditori strumenti potentissimi, non solo perché usati per sostituire capitale a lavoro, ma perché in grado di aprire mercati nuovi (Landes, 1994). La trasformazione produttiva si concretizza in Italia, come in tutto il mondo occidentale, in una fase di profonda trasformazione sociale: gli anni della crescita postbellica, come abbiamo detto, avevano lasciato spazio ad una fase di instabilità, in cui conflitti sociali ed inquietudini individuali si intrecciavano fra loro (Greenwood 1997). Tra la fine degli anni Sessanta e primi anni Ottanta si ridisegnano i modelli stessi della vita collettiva e il bisogno di «fuoriuscire dagli schemi» apre visioni nuove per l'industria capaci di cogliere la fine del lungo ciclo fordista. Il bisogno, apparentemente contraddittorio, di una maggiore espressione individuale e allo stesso tempo di una nuova vita comunitaria fa da traino a modelli diversi, se non alternativi, di concepire lo stesso ruolo sociale del lavoro (Castells, 2006). Del resto, proprio gli sviluppi del pensiero scientifico del Novecento avevano delineato nuovi scenari. I due pilastri della rivoluzione nella fisica posti all'inizio del Novecento, che del resto riunivano la ricerca sull'infinitamente grande – le dinamiche dell'universo – e sull'infinitamente – l'atomo e le componenti ultime della materia – avevano

introdotto i termini «relativismo» e «indeterminatezza» nel pensiero contemporaneo. Se il mondo lasciato da Newton era del tutto deterministico e la società appariva essa stessa come un mondo in gravitazione permanente, in cui i diversi corpi sociali, contrapponendosi fra loro, determinavano la dinamica dell'intero sistema, il mondo fordista, figlio del positivismo di fine Ottocento, presentava a sua volta rigide soluzioni tecniche, in cui la produzione di massa veniva intesa come espressione di un mondo rigidamente ed univocamente rivolto al progresso. La nuova fase incorporava in sé gli elementi di incertezza che il combinarsi delle crisi petrolifere, valutarie, sociali degli anni Settanta e, infine, la caduta dell'Unione Sovietica e quindi la fine del mondo rigidamente ripartito in blocchi portava con sé. Per comprendere queste metamorfosi, si fa riferimento al concetto di società liquida (Bauman, 2000): l'individuo non si definisce più in termini di ruolo produttivo (come operaio, contadino o imprenditore), ma piuttosto come un consumatore impulsivo. L'appartenenza a un gruppo sociale non è più determinata da un'ideologia o un insieme di valori, ma piuttosto dal mero atto del consumo. Questo orienta la società verso una forma di globalizzazione che standardizza gli individui esclusivamente sulla base del criterio del consumo (Jänicke e Jacob, 2013). La caduta del Muro di Berlino – icona della contrapposizione del mondo post-bellico – porta a una progressiva apertura degli scambi internazionali, che poi si accelera dal 2001 quando con gli accordi di Doha la Cina e gli altri paesi in via di sviluppo entrano definitivamente sulla scena mondiale; a questa apertura si accompagna – secondo il dettato del cosiddetto *Washington Consensus* – una politica di riduzione del ruolo dello Stato nell'economia e quindi una diffusa convinzione che il mercato, liberato da ogni vincolo, porti inevitabilmente a un progresso generalizzato. In questo contesto crescono anche una nuova finanza, sempre meno agganciata alla produzione reale, e una nuova economia che teorizza il necessario declino della produzione manifatturiera come base stessa della crescita economica, direi della ricchezza delle nazioni. Le modalità organizzative dei processi produttivi conducono a una segmentazione della catena del valore, con il trasferimento delle fasi a diverso valore aggiunto in paesi differenti, in funzione dei costi del lavoro locali. L'ascesa dei paesi in fase di industrializzazione, in particolare della Cina, alimenta il commercio internazionale, importando tecnologie dall'Occidente e esportando beni nei paesi sviluppati (Bianchi, 2018). Tali beni sono spesso progettati dalle stesse aziende occidentali che

hanno decentrato la loro produzione. Nel frattempo, nei paesi sviluppati, si assiste all'emergere di intermediari finanziari sempre più audaci. Questa fase, iniziata nei primi anni '90 e proseguita fino alla prima decade del nuovo millennio, sembrava suggerire che la liberalizzazione dei mercati avrebbe prevenuto future crisi. Tuttavia, nel 2007 la situazione raggiunge un punto critico con il fallimento di Lehman Brothers, innescando una profonda trasformazione dei sistemi produttivi globali.

Questi, essendo sistemi dinamici, subiscono cambiamenti interni che alterano la loro struttura finale. La prolungata crisi tra il primo e il secondo decennio del nuovo millennio rappresenta principalmente l'implosione di un modello economico che riteneva possibile la crescita senza una solida base produttiva. Si era giunti a considerare la manifattura come un retaggio sociale obsoleto di fronte all'avanguardia della finanza, e si riteneva inevitabile, se non addirittura auspicabile, una deindustrializzazione a favore dei nuovi paesi emergenti. In realtà, questa crisi ha agito come un periodo di incubazione per una nuova rivoluzione industriale.

1.4. L'era digitale: la quarta rivoluzione industriale

L'avvento dell'Industria 4.0 (I4.0) si configura come un evento epocale nella diacronia dell'evoluzione industriale, agendo come un catalizzatore per una transizione paradigmatica che supera la mera automazione per instaurare una interconnessione pervasiva e ubiquitaria dei processi produttivi guidata dalla tecnologia digitale. Questa rivoluzione industriale, inizialmente promossa nel contesto della Fiera di Hannover del 2011, ha rapidamente acquisito una risonanza globale. Il termine "Industria 4.0" è diventato un locus di indagine interdisciplinare e un punto di convergenza per una vasta gamma di stakeholder, inclusi accademici, policy maker, leader industriali e organizzazioni non governative (Bianchi, 2018). Al centro di questa profonda metamorfosi industriale si colloca una convergenza sinergica di tecnologie emergenti quali l'Internet delle Cose (IoT), l'Intelligenza Artificiale (AI), i Big Data, la blockchain, la realtà aumentata e la robotica avanzata: comunicazione in tempo reale, interoperabilità, auto-organizzazione e apprendimento automatico sono intrinsecamente integrati. Tale amalgama tecnologico ha innescato una fitta rete di implicazioni non solo socioeconomiche, ma pure etiche. Da un lato, l'avvento di I4.0 ha inaugurato un'era di nuove opportunità, fornendo terreno fertile per

l'innovazione continua, l'ottimizzazione dei processi, la personalizzazione della produzione e la creazione di nuovi modelli di business; dall'altro lato, ha sollevato una serie di questioni etiche e sociali di rilevanza critica, incluse preoccupazioni relative alla disoccupazione e all'irrilevanza tecnologica, alla sicurezza e integrità dei dati, alla sostenibilità ambientale e all'accessibilità e all'equità tecnologica.

Tali questioni comportano la necessità di una costante e dinamica rinegoziazione di valori, culture, modelli di governo e di gestione. Non si tratta di sola innovazione tecnologica, ma di un complesso fenomeno sociotecnico che richiede un'analisi olistica. La sua storia, sebbene ancora in fase di scrittura, è indubbiamente destinata a influenzare e plasmare il futuro del panorama industriale globale in modi che attualmente è possibile solo sfiorare con il pensiero.

D'altra parte, l'«industria» è essa stessa l'insieme delle condizioni materiali e immateriali che permettono di attivare il processo produttivo: se il mondo globalizzato configura l'attuale estensione del mercato fino a coincidervi, è necessario disegnare un modello organizzativo – economico e sociale – coerente con la digitalizzazione.

Resilienza, adattabilità e autoefficacia si manifestano non solo come questioni intrinsecamente legate alle competenze, ma anche come prerequisiti indispensabili per il progresso di nuove modalità di interazione uomo-macchina (Arslan et al., 2021). In questa cornice, è evidente che la quarta rivoluzione industriale ha generato una biforcazione (Rana e Sharma, 2019) articolabile in due percorsi evolutivi principali (Spence 2022, p. 244): una prima fase centrata sull'IoT, che si focalizza sulla sostituzione del lavoro e sull'automazione (Weber, 2016; Coupe, 2019); una seconda fase orientata sull'AI, caratterizzata dall'integrazione uomo-macchina (Sorko et al., 2016; Szabó-Szentgróti et al., 2021).

1.4.1. L'Internet of Things e l'automazione

Originariamente confinata e tendenzialmente sovrapposta alla identificazione a radiofrequenza (RFID), la portata del fenomeno dell'Internet of Things (IoT) ha subito una metamorfosi concettuale profonda che ne ha ampliato radicalmente il significato, avvicinandolo a quello di rete: una rete complessa e multidimensionale di dispositivi interconnessi attraverso l'infrastruttura globale di Internet (Lee et al., 2019). Questa riconfigurazione epistemologica ha catalizzato una diversificazione applicativa senza precedenti, estendendo il dominio d'azione dell'IoT

a settori anche molto distanti tra loro come i trasporti, la sanità, la domotica. La colonna vertebrale tecnologica dell'IoT è costituita da una sinergia di elementi, che vanno oltre il semplice RFID e includono una vasta gamma di applicazioni software/hardware, metodologie avanzate per l'analisi dei Big Data e architetture di cloud computing (Chang et al., 2020). Questo ecosistema tecnologico sofisticato consente alle organizzazioni di perfezionare e ottimizzare i processi collaborativi, sia intra-organizzativi che inter-organizzativi, agevolando l'archiviazione, la condivisione e la disseminazione di informazioni e conoscenze in un contesto di automazione totale, che ovvia alla necessità di intervento umano.

Sul fronte del mercato del lavoro, l'incidenza dell'IoT è stata oggetto di attenta analisi. McAfee e Brynjolfsson (2017) hanno indagato le modalità attraverso le quali attività lavorative, anche quelle di notevole complessità, possano di fatto essere sottoposte a processi di automazione e gestione remota. Un esempio emblematico è rappresentato dai sistemi di home banking, che consentono una vasta gamma di transazioni finanziarie da remoto, eliminando completamente la necessità di interazione umana, prefigurando un'espansione progressiva dell'automazione verso funzioni astratte e compiti di alta complessità, tradizionalmente considerati prerogativa esclusiva dell'intelligenza umana. In questa cornice, Brynjolfsson e McAfee (2014) hanno messo in luce il potenziale disgregante di questa fase di automazione avanzata, suggerendo che potrebbe esacerbare il divario tra i rendimenti del capitale e quelli del lavoro, con conseguenze potenzialmente deleterie per la coesione socioeconomica (Brynjolfsson, 2022). In parallelo, un corpus di ricerca in espansione si è focalizzato sulle opportunità offerte dall'Intelligenza Artificiale (AI) come un meccanismo di riequilibrio e mitigazione in risposta a una serie di sfide emergenti. Queste includono la perdita di posti di lavoro (Coupe, 2019; Ivanov e Webster, 2019; Arslan et al., 2021), la trasformazione dei requisiti professionali (Hmoud e Laszlo, 2019; Vrontis et al., 2022), e la necessità di sviluppare nuove competenze e capacità (Arslan et al., 2021).

1.4.2. Oltre Industria 4.0: l'Intelligenza Artificiale (AI) e l'integrazione uomo-macchina

L'Intelligenza Artificiale (AI) rappresenta un dominio di indagine e implementazione che ha navigato attraverso diverse epoche storiche, ognuna caratterizzata da specifici dilemmi, opportunità e paradigmi

predominanti. La sua storia costituisce un intricato tessuto di teorizzazione e applicazione, di ambizioni e restrizioni, di sviluppi teorici, metodologici e applicativi che hanno visto la convergenza di svariati campi del sapere, dalla matematica e l'ingegneria alla filosofia e alle neuroscienze. La genealogia dell'AI può essere fatta risalire agli anni '50 del Novecento, un'epoca di effervescenza scientifica focalizzata sull'indagine dei sistemi computazionali e delle intelligenze artificiali. Alan Turing, uno dei luminari nel campo dell'informatica teorica, ha svolto un ruolo cardine. Nel suo saggio "Computing Machinery and Intelligence" (1950), Turing avanzò l'idea di un test, noto poi come Test di Turing, come criterio epistemologico per valutare la cognizione artificiale. Secondo questo criterio, una macchina potrebbe essere qualificata come "intelligente" se le sue risposte fossero indistinguibili da quelle di un essere umano. Il Test di Turing rappresentò un punto di svolta epistemologico, poiché forniva un criterio operativo per valutare l'intelligenza artificiale, liberando la discussione da vaghe definizioni filosofiche e teoriche. Inoltre, il test di Turing ha aperto la strada a una serie di questioni etiche e filosofiche che avrebbero influenzato il campo per decenni a venire, come la questione della coscienza della macchina, dell'autonomia decisionale e della moralità artificiale (Misselhorn, 2018). Con il passare del tempo e a partire dagli studi di Turing, la comunità accademica ha elaborato due paradigmi distinti: l'Intelligenza Artificiale Forte e l'Intelligenza Artificiale Debole (Tegmark, 2018; Flowers, 2019). Il primo postula che le macchine possano raggiungere un livello di coscienza, mentre il secondo si focalizza su applicazioni più circoscritte, come il riconoscimento di pattern o l'elaborazione del linguaggio naturale. Questi paradigmi hanno orientato la traiettoria della ricerca e dello sviluppo in AI, generando una pluralità di metodologie e tecnologie per applicazioni sociali e industriali. Successivamente al contributo di Turing e a partire dagli anni '50, infatti, l'approccio simbolico – di tipo forte – ha colonizzato il campo dell'IA con un focus su regole logiche e rappresentazioni esplicite della conoscenza. Programmi come ELIZA e SHRDLU hanno rappresentato pietre miliari, simulando rispettivamente il dialogo umano e la manipolazione di oggetti in un mondo virtuale (Epstein e Klinkenberg, 2001). Tuttavia, l'approccio ha mostrato profondi limiti nella gestione dell'ambiguità e della complessità del mondo reale. Questa constatazione ha portato a un cambio di paradigma verso modelli computazionali ispirati dalla biologia. Gli anni '80 e '90, in particolare, hanno segnato una svolta

significativa con l'adozione di reti neurali e tecniche di apprendimento automatico (Ghahramani, 2015). Questi sviluppi hanno permesso alle macchine di imparare dai dati, superando così le limitazioni degli approcci simbolici. L'apprendimento automatico è diventato una componente fondamentale dell'IA, fornendo un meccanismo per adattarsi e ottimizzare le prestazioni senza la necessità di regole predefinite. L'avvento del deep learning e l'aumento esponenziale della potenza di calcolo, infine, ha condotto all'era dell'IA generativa. Modelli di Generative Pre-trained Transformer (GPT) hanno ampiamente dimostrato capacità di generare testo coerente e di svolgere compiti specifici senza essere esplicitamente programmati per farlo. Questa fase rappresenta una sintesi delle lezioni apprese dalle fasi precedenti, combinando la flessibilità dell'apprendimento automatico con la potenza del calcolo ad alte prestazioni. Oggi, mentre ci si muove verso forme più sofisticate di IA, come l'Intelligenza Artificiale Generale (AGI), emergono questioni etiche e sociali di crescente importanza (Benanti, 2023). L'IA è diventata una disciplina intrinsecamente multidisciplinare che coinvolge non solo aspetti tecnici, ma anche questioni etiche, legali e sociali. Ne costituisce un esempio la questione legata al lavoro e alla collaborazione uomo-macchina. È stato affermato, infatti, che grazie alle tecnologie AI è possibile una collaborazione più profonda tra uomini e macchine (Xiong et al., 2022). Un esempio interessante è quello dei robot sociali, che migliorano i processi industriali collaborando con gli esseri umani nelle catene di montaggio, oltre a offrire consigli personalizzati e percorsi di apprendimento utilizzando algoritmi digitali. Il ruolo degli agenti di AI è cambiato, passando da strumenti a collaboratori, e infine a colleghi e compagni con la possibilità di potenziare i reciproci punti di forza e aumentare la produttività (Flowers, 2019). Tuttavia, la continua interazione tra agenti AI ed esseri umani, anche in compiti di routine, è una dinamica non priva di criticità (Carayannis & Morawska-Jancelewicz, 2022). Lo sviluppo di tale collaborazione non è un processo semplice a causa della sua possibile influenza sulla significatività del ruolo umano: pregiudizi, emozioni, valori e personalità ne influenzano il successo o il fallimento. Tale questione è stata affrontata adottando il termine *ansia tecnologica*, la sensazione spiacevole che le persone provano quando sfruttano una nuova tecnologia (Mokyr et al., 2015). Anche se temporanea, questa sensazione può influenzare l'accettazione degli agenti di AI come membri attivi di organizzazioni e società e la loro adozione nell'ambiente di lavoro. Su questa linea, la

letteratura ha rilevato che il supporto organizzativo è fondamentale per aiutare i lavoratori ad affrontare e superare le resistenze all'adozione tecnologica. Il benessere organizzativo e la formazione possono potenzialmente portare a un possibile legame emotivo tra i lavoratori umani e l'IA, soprattutto se costruito in termini di dipendenza dell'IA dall'azione dell'uomo (Feijóo et al., 2020). Dunque, nonostante la quarta rivoluzione industriale sembri mettere da parte la componente umana, l'integrazione onnipresente delle tecnologie digitali nel più ampio quadro sociotecnico ha innescato la genesi di un nuovo stadio evolutivo in cui l'uomo e la macchina si riconciliano e lavorano in simbiosi l'uno con l'altra, con un ulteriore potenziamento delle capacità fisiche, sensoriali, emotive e cognitive degli esseri umani. Questa convergenza, tuttavia, non avviene automaticamente ma richiede una rinnovata alfabetizzazione, una diversa comprensione della maturità digitale, in un costante scambio dialettico con gli esseri umani.

2. Focus sulle tecnologie digitali

Enrica Sposato, Dario Pensa

Nel contesto dell'evoluzione tecnologica, l'intelligenza artificiale (IA) rappresenta un pilastro centrale, integrandosi e potenziandosi reciprocamente con le infrastrutture digitali esistenti. Il cloud computing, in particolare, funge da catalizzatore per l'espansione delle capacità dell'IA, fornendo la potenza di calcolo necessaria e l'accessibilità su scala globale. Il cloud computing sta ridisegnando il modo in cui le organizzazioni archiviano, elaborano e distribuiscono le informazioni. Questa transizione rappresenta non solo un avanzamento tecnologico, ma anche una profonda metamorfosi nelle dinamiche di business e nelle strategie aziendali. Tenendo conto di queste premesse, il Capitolo 2 esamina l'ascesa del cloud computing e il suo impatto sul nostro mondo digitale.

2.1. Il Cloud computing

L'adozione del *cloud computing* è ormai parte della strategia di ogni piccola, media o grande impresa o Pubblica Amministrazione che voglia essere dinamica e innovativa. Il mercato del *cloud* è infatti in continua crescita, ed è diventato negli ultimi anni un fenomeno di massa anche in Italia. Come dimostra la ricerca dell'Osservatorio del Politecnico di Milano il mercato del *cloud* in Italia nel 2022 ha avuto un incremento del 18% rispetto al 2021, con un valore totale di 4,56 mld di euro, e si stima che continuerà su questo trend anche nei prossimi anni (vedi Figura 2.1). La crescita è suddivisa in +15% di crescita organica, dovuta ad un aumento della domanda di adozione di servizi cloud, e +3% di crescita inflattiva, dovuta ad un'anticipazione dell'aumento dei costi dei servizi cloud.

Il successo del *cloud* deriva non solo dalle elevate potenze computazionali e da i servizi altamente innovativi che questo mette a disposizione, ma anche dalla sua convenienza economica. Infatti, i servizi sono erogati a consumo, secondo il *pay-as-you-go pricing*. Se in passato il *cloud computing* veniva considerato una prerogativa per le sole grandi aziende, adesso è reso disponibile anche alle più piccole. Grazie anche a questo innovativo *business model*, l'utente sostiene un costo solo per i servizi che consuma effettivamente.

Questi vantaggi si applicano a qualunque tipo di impresa. Il cloud fornisce soluzioni e servizi per qualunque tipo di mercato, riuscendo ad attrarre anche quei mercati considerati poco tecnologici o lontani dal mondo dell'*Information Technology (IT)*, come ad esempio l'Agricoltura, l'Alimentazione, l'Edilizia, la Formazione, e altri.

Il *cloud computing* inoltre è un abilitatore delle più recenti tecnologie, come l'*artificial intelligence*, l'internet delle cose (*IoT – Internet of Things*), *blockchain*, *analytics* etc., su cui vengono sviluppate soluzioni e casi d'uso in ogni ambito. Tali tecnologie richiedono un' elevata quantità di dati e quindi necessitano, per poterli elaborare, di enormi capacità di storage e potenza computazionale tipiche del *cloud*.

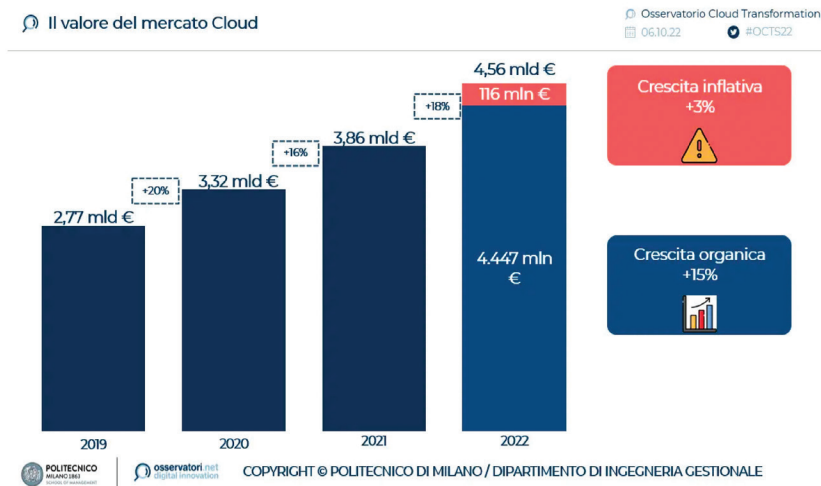


Fig. 2.1. Il valore del mercato Cloud in Italia (2022).

Fonte: Osservatorio Cloud Transformation, Politecnico di Milano, *La Cloud Transformation in Italia nel 2022*, ottobre 2022.

La sfida per le imprese è individuare il tipo di soluzione o modello tecnologico in grado di soddisfare le proprie esigenze di business e fornire loro la giusta spinta per evolversi e innovarsi. Di seguito verranno approfondite le diverse opportunità che le tecnologie *cloud* offrono, in modo da chiarire le opportunità e i benefici di ognuna.

2.1.1. Definizione e Caratteristiche del Cloud Computing

Il *cloud computing* o *cloud*, come da definizione completa e ufficiale fornita dal US NIST (*United States – National Institute of Standards and Technology*), è un insieme di risorse di calcolo condivise e accessibili su richiesta e in modo ubiquo attraverso la rete. Pertanto, tali risorse possono essere fornite e rilasciate con minima gestione e senza alcuna interazione con il *cloud provider* che le mette a disposizione (Mell e Grance, 2011).

Per cogliere il significato di questo insieme di caratteristiche è utile ripercorrerne la storia. Sebbene il *cloud* si sia diffuso su larga scala solo negli ultimi anni, non si tratta di una tecnologia recente. Infatti, la sua evoluzione ha inizio negli anni '50, quando si sviluppò la necessità di avere grandi *mainframe*, o centri di calcolo, dotati di elevato potere computazionale in modo da poter elaborare una grande mole di informazioni.

In questi grandi *mainframe* ogni utente o elaborazione era in grado di occupare in maniera esclusiva e dedicata una specifica risorsa, metodo di gestione piuttosto inefficiente se si considera soprattutto il costo delle risorse hardware dell'epoca.

Al fine di rendere sempre più efficiente l'elaborazione di tali informazioni, negli anni '70 fu ingegnerizzato il concetto della condivisione di risorse in *pool*, o raggruppamento di risorse, e quindi delle *Virtual Machine* (VM). In questo modo, applicazioni e servizi condividono le stesse risorse fisiche, ottimizzandone l'utilizzo. La virtualizzazione delle risorse fisiche, come ad esempio componenti di *server*, *storage* e *network*, consiste nell'astrazione per l'applicazione o servizio per cui tutto funziona come se quell'applicazione o servizio avesse ad uso esclusivo quella porzione di risorsa fisica. In realtà, la risorsa fisica nella sua interezza è condivisa con altre applicazioni o servizi.

Il diffondersi di internet negli anni '80, e la possibilità di mettere in rete e connettere tali risorse, fece il resto per rendere più accessibile il servizio e trasformarlo nella tecnologia del *cloud computing* sviluppata all'interno degli estesi *data center* che conosciamo oggi.

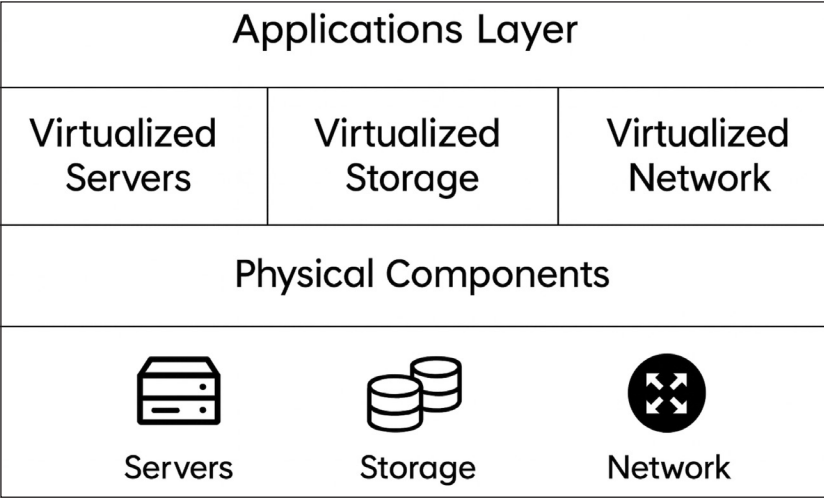


Fig. 2.2. Architettura cloud semplificata.
Fonte: elaborazione degli autori

In Figura 2.2 viene rappresentata l’architettura cloud semplificata. Le applicazioni utente, poste al livello più alto dell’architettura, accedono alle risorse virtualizzate grazie all’astrazione delle risorse fisiche, fornita dal livello di virtualizzazione.

Il *cloud*, come specificato dal NIST (Melle Grance, 2011), è quindi basato su cinque caratteristiche essenziali:

- **On-demand self-service:** l’accesso tramite internet alle risorse *cloud* necessarie, come potenza computazionale o *storage* o *network*, è resa possibile tramite un’interfaccia utente, senza che sia necessaria alcuna interazione umana con il fornitore del servizio;
- **Broad network access:** l’accesso alle risorse *cloud* avviene tramite meccanismi e piattaforme standard di rete, come applicazioni su dispositivi mobili (cellulari, tablet o pc portatili) o fissi (pc in workstation fisse);
- **Resource pooling:** sinonimo dell’economia di scala del *cloud*, che rende il *cloud* un servizio *cost-efficient*. Basato su un modello *multi-tenant*, dove cioè le risorse sono separate virtualmente per essere usate da più *tenant*. Un *tenant* può essere definito come un’organizzazione o un gruppo di utenti o un’applicazione o una qualsiasi altra entità. Ogni *tenant* è invisibile agli altri. Le risorse attribuite a quel *tenant* sono isolate e dedicate, ma sono allo stesso tempo condivise da altri *tenant* dell’infrastruttura. Si dice quindi che le risorse

cloud sono messe a disposizione in *pool* per servire più clienti. Le risorse possono essere assegnate in maniera dinamica e riassegnate in base al carico delle richieste;

- **Rapid elasticity:** le risorse possono essere fornite in base al bisogno di quel momento e sono fornite e rilasciate in maniera elastica;
- **Measured service:** il costo delle risorse *cloud* è calcolato in base all'utilizzo effettivo che se ne fa (*pay-as-you-go*). Se le risorse non vengono utilizzate non generano alcun costo. L'utilizzo delle risorse viene quindi monitorato, misurato e riportato trasparentemente in base all'utilizzo.

L'insieme di queste caratteristiche rende il *cloud* una tecnologia "*as a service*", basata su piattaforme online, che permettono di ottenere risorse *on-demand*, adattandole dinamicamente in base alle necessità, generando solo consumi effettivi. Questo modo rivoluzionario di accedere alle risorse *cloud*, ha cambiato il modo in cui soluzioni e servizi IT vengono utilizzati e concepiti, rendendoli più *cost-efficient*. Si tratta di un prezioso strumento per le aziende, che mette a disposizione una varietà di tecnologie innovative. Tali strumenti innovativi rendono le aziende in grado di adattarsi agilmente alle necessità del proprio mercato.

Questo insieme di caratteristiche fornisce un'elevata adattabilità in termini di configurazione delle risorse dell'infrastruttura *cloud*, e si traducono in diversi modelli di *deployment* e di servizio, a seconda di come le risorse *cloud* vengano implementate, assegnate e gestite all'interno dell'infrastruttura *cloud* per andare incontro a delle esigenze specifiche.

2.1.2. Modelli di Deployment: pubblico, privato, ibrido o multi-cloud?

In base alle esigenze di business è possibile adottare uno specifico modello di *deployment* dell'infrastruttura *cloud* (Liu et al., 2011). Si identificano i seguenti modelli: pubblico, privato, ibrido e multi-cloud. In base al modello di *deployment* variano diversi fattori, quali, ad esempio, la localizzazione dell'infrastruttura, chi ne detiene la proprietà, in che modo si accede alle risorse e come vengono gestite. Nel caso in cui sia già presente un'infrastruttura presso una specifica organizzazione, anche detta infrastruttura *on-premise*, questi modelli possono essere considerati come indipendenti o come un'estensione virtuale delle risorse *on-premise*.

Public Cloud

Quando il data center fornisce servizi per più organizzazioni, si trova presso una location definita da un *cloud service provider*, il modello di *deployment* si definisce pubblico. Il *cloud provider*, come Google Cloud, AWS (Amazon Web Service) o Azure, proprietario del data center, gestisce, amministra e mantiene l'infrastruttura *cloud* in tutti i suoi componenti. Le risorse *cloud* vengono accedute tramite interfaccia *web*, e possono essere di tipo virtuale come *server*, *storage*, *network*, piattaforme di sviluppo o applicativi. I servizi forniti possono spaziare dall'*artificial intelligence*, al *data analytics*, all' *IoT*, alle *security applications*, al *coding platform* o a servizi di monitoring etc. (vedi Figura 2.3 per una rappresentazione ad alto livello). L'applicazione dell'utente finale è eseguita su HW di proprietà del *cloud provider*, e grazie all'architettura *multi-tenant*, l'utilizzo delle risorse è condiviso da diverse organizzazioni.

Quando la scelta di sviluppare una soluzione o servizio ricade sul public cloud? La scelta dipende dagli obiettivi di business, in base ai quali poter valutare i vantaggi e svantaggi che derivano dal modello. Tra i vantaggi vi è l'elevata economia di scala: i grandi data center offerti dai *cloud provider* offrono una quantità di risorse che per qualunque altra organizzazione risulterebbe proibitiva in termini di costo. L'elevata sca-

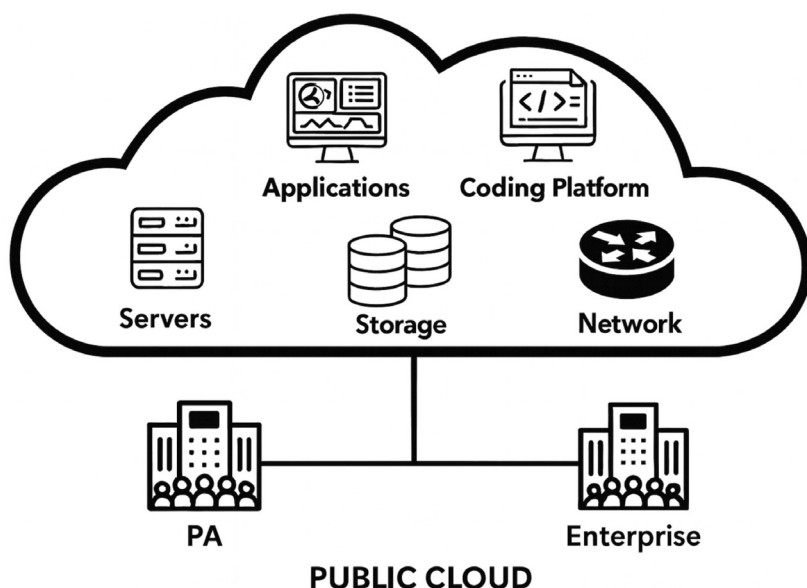


Fig. 2.3. Public cloud, rappresentazione ad alto livello.

Fonte: elaborazione degli autori

labilità, offerta dal *resource pooling*, è sicuramente superiore rispetto ad un modello di deployment di tipo privato. D'altra parte, la condivisione di risorse in *pool* può non essere l'ideale nei casi in cui le informazioni da dover elaborare siano altamente sensibili, oppure quando per motivi di sicurezza è richiesto un livello di configurazione di basso livello dell'infrastruttura. Gli aspetti operativi di basso livello nel modello *public cloud* sono infatti interamente delegati al *provider*. Sempre più organizzazioni utilizzano risorse di *cloud computing* pubblico per costruire infrastrutture secondarie per il ripristino in caso di situazioni di emergenza: ad esempio per la duplicazione dei dati (backup di dati non altamente sensibili) o per garantire la continuità di determinati applicativi in caso di disservizi (*business continuity*). Nel caso di startup o medie imprese invece, viene preferito il cloud pubblico per la sua flessibilità e agilità nel poter sperimentare e disporre di servizi innovativi *on-demand*, senza dover gestire complessità in termini di costi e operatività.

Private Cloud

Nel caso di un'infrastruttura *cloud* privata, questa è fornita ad uso esclusivo di una singola organizzazione. L'infrastruttura può essere di proprietà, gestita e operata dalla singola organizzazione, da un *service provider* o una combinazione delle due. L'infrastruttura può quindi trovarsi presso la sede della singola organizzazione, oppure essere di proprietà, gestita e operata da un fornitore di servizi, e quindi trovarsi presso un *data center* di un *cloud provider*. In questo secondo caso si tratta di una parte logicamente separata di un cloud pubblico.

Questo modello consente di disporre dell'elevata flessibilità del *cloud computing* utilizzando sistemi gestiti direttamente dall'organizzazione o sotto il controllo del team IT interno all'organizzazione. Questo aspetto fornisce la possibilità di avere maggiore controllo sulle risorse, per implementare misure di sicurezza personalizzate e, in caso di elaborazione di dati altamente sensibili, replicare rigide normative governative o di settore, avendo la possibilità di esercitare pieno controllo sulle implementazioni di sicurezza e *compliance* della *privacy* sia a livello di piattaforma che di infrastruttura. D'altra parte, il maggiore controllo e operatività dell'infrastruttura potrebbe generare dei costi maggiori, così come eventuali inefficienze di inutilizzo delle risorse. Il cloud privato è la soluzione prescelta dalle grandi aziende, soprattutto nel caso sia richiesta l'elaborazione di dati altamente sensibili, o sia necessario migrare sul cloud applicazioni *mission critical*.

Hybrid Cloud

Adottare il modello di *deployment Hybrid Cloud* permette di sfruttare i vantaggi di entrambi i modelli: il *cloud* privato dell'organizzazione e il *cloud* pubblico del *provider* sono interconnessi in un'unica infrastruttura flessibile.

Ad esempio, una possibile architettura potrebbe essere composta da *public cloud per la parte* che si occupa dell'elaborazione di dati poco sensibili o di carichi di lavoro altamente variabili, e da *private cloud* per la componente che si occupa dei flussi di dati altamente regolamentati e sensibili o dei carichi di lavoro stabili che non richiedono elevata scalabilità. Ulteriori casi d'uso riguardano l'integrazione di più fonti dati e l'utilizzo di applicativi basati su intelligenza artificiale: oggi le organizzazioni stanno creando esperienze sempre più ricche e personalizzate, combinando nuove fonti di dati tra cloud pubblico e privato, e utilizzando servizi avanzati dotati delle ultime funzionalità dell'*artificial intelligence*.

Grazie all'interoperabilità, e alla cooperazione tra cloud pubblico e privato, è quindi possibile implementare architetture ad elevate prestazioni (vedi Figura 2.4)

Multi-Cloud

Infine, con *multi-cloud* si fa riferimento alla possibilità di combinare servizi e applicazioni che risiedono su più *public cloud*. Tale definizione prevede anche la variante di modello ibrido *multi-cloud*, in cui ad esempio un sistema *on-premise* dialoga con servizi ospitati su diversi *public cloud provider*. Questo tipo di modello, oltre ad ereditare i vantaggi del modello ibrido, beneficia della portabilità, ovvero la garanzia di *no vendor lock-in*. In questo modo, non si è vincolati ad un fornitore specifico, ed è possibile migrare applicazioni e dati non solo tra sistemi *on-premise* e cloud, ma anche tra fornitori di servizi *public cloud*.

2.1.3. Modelli di Servizio: a quale livello di risorse accedere?

Le categorie di servizi che offre il cloud computing si distinguono in *Infrastructure as a Service (IaaS)*, *Platform as a Service (PaaS)* e *Software as a Service (SaaS)*. Questi modelli indicano sia il tipo di servizio offerto ma anche il livello di controllo delle risorse che viene fornito al suo utente finale. Infatti, ad ogni categoria viene associato uno *Shared Responsibility Model*, che delinea la responsabilità e le competenze associate a ciascun modello di servizio. In particolare, chiarisce chi, tra il fornitore di ser-

vizi cloud e l'utente, è responsabile per diversi aspetti della sicurezza, della gestione e della manutenzione delle risorse e delle applicazioni all'interno dell'ambiente *cloud*. Più il tipo di accesso alle risorse è di basso livello, maggiori saranno le responsabilità a carico dell'utente o dell'organizzazione. Anche in questo caso, la scelta sul tipo di modello di servizio dipende dagli obiettivi di business che si vogliono raggiungere. Nello sviluppo di determinate soluzioni o servizi, avere un livello di controllo e gestione più profondo può essere critico.

IaaS

In questo modello di servizio, il cloud provider gestisce e mantiene le risorse fisiche del data center di più basso livello – *cooling power*, *network* e *security* – così come risorse di *computing* che includono *server* e *storage* e le risorse software necessarie a fornire i livelli di virtualizzazione e astrazione richiesti: all'organizzazione viene fornito accesso in modo da poter creare *Virtual Machine* (VM) e configurarle opportunamente. L'organizzazione può ad esempio scegliere di utilizzare un middleware specifico, installare applicazioni ed eseguire carichi di lavoro su queste VM. Oltre alle VM, viene fornito accesso anche alle altre risorse, sia di rete che per creare spazio di archiviazione e backup. L'organizzazione inoltre può tracciare e monitorare le prestazioni e l'utilizzo dei propri servizi cloud.

PaaS

In termini di *Shared Responsibility Model*, il modello di servizio PaaS elimina un livello di complessità. Infatti, il *cloud provider* gestisce e mantiene, oltre alle risorse già elencate nel caso dello IaaS, anche l'infrastruttura della piattaforma che include sistemi operativi, strumenti di sviluppo, *runtime*, *middleware* e *database*. Il *cloud provider* si assume inoltre la responsabilità dell'installazione, della configurazione e del funzionamento dell'infrastruttura dell'applicazione, lasciando all'organizzazione la responsabilità solo del codice dell'applicazione e della sua manutenzione. Servizi ed API (Application Programming Interface) vengono esposti per semplificare il lavoro degli sviluppatori e produrre applicazioni cloud elasticamente scalabili e che garantiscono continuità del servizio. Quindi l'organizzazione ha accesso agli strumenti necessari per sviluppare, gestire e mettere in servizio applicazioni come *web application*, riducendo la quantità di codice da scrivere e potendosi concentrare sullo sviluppo delle caratteristiche funzionali dell'applicazione.

Altri casi d'uso del PaaS includono ad esempio lo sviluppo e gestione delle API, infatti le organizzazioni utilizzano PaaS per sviluppare, eseguire, gestire e proteggere API e microservizi in maniera agile. Il PaaS è molto usato anche per sviluppo di applicazioni *data analytics* e *artificial intelligence* basate su IoT, in quanto fornisce una varietà di ambienti di sviluppo e quindi linguaggi di programmazione necessari in ambito IoT.

Rispetto alla configurazione IaaS, il livello mancante di controllo e quindi di flessibilità del PaaS può comportare una dipendenza con la piattaforma di sviluppo del *service provider*. L'utente finale non ha alcun controllo diretto sugli eventuali cambiamenti di strategia che il *provider* potrebbe apportare alla propria piattaforma, alle offerte di servizi o agli strumenti.

SaaS

Nel modello SaaS il *cloud service provider* si prende carico, oltre che dell'infrastruttura e delle risorse di piattaforma, anche della gestione delle applicazioni e dei dati. Aspetti come l'accesso all'applicazione, la sicurezza, gli aggiornamenti, il monitoraggio, il backup, e in generale le prestazioni sono gestiti dal *provider*. L'infrastruttura e il codice sono mantenuti centralmente e resi accessibili a tutti gli utenti. L'utente finale usufruisce delle applicazioni acquistando una licenza software.

Esempi di servizi SaaS in ambito collaboration e archiviazione sono *Microsoft 365* (Outlook, Powerpoint, Word, etc.) oppure la suite di prodotti *Google Workspace* (Gmail, Meet, etc.). In ambito applicativi aziendali vi sono applicazioni di *Customer Relationship Management* (CRM) come Salesforce o SAP Concur in ambito *Human Resources* (HR).

La possibilità di accedere ad un servizio pronto all'uso e accessibile ovunque, è tra i principali vantaggi di questo modello. Anche nel caso dei servizi SaaS l'elaborazione di dati altamente sensibili può essere però un punto di attenzione, sia per la proprietà che per la sicurezza dei dati: l'immagazzinamento del dato e le relative configurazioni di sicurezza vengono delegati ad una terza parte, dovranno quindi essere preventivamente compliant ad eventuali regolamentazioni

2.1.4. Cloud Security

I vantaggi dell'adozione del cloud sono molteplici (flessibilità, scalabilità, ottimizzazione dei costi, etc.) tuttavia, ci sono anche alcuni possibili problemi di sicurezza che devono essere necessariamente affrontati.

La sicurezza nel cloud è composta da un insieme di tecnologie, protocolli e best practice che vengono utilizzate per proteggere i dati e le risorse archiviate nel cloud, oltre che a garantire il rispetto nelle norme vigenti e migliorare la reputazione dell'azienda

2.1.4.1. Responsabilità condivisa

La responsabilità della sicurezza quando si parla di cloud segue un modello che viene definito *di responsabilità condivisa*, il che significa che l'implementazione della sicurezza è divisa tra il Cloud Service Provider (CSP) e il cliente.

In generale il CSP è sempre responsabile di tutta la sicurezza di base inerente all'infrastruttura, ma dipende anche dal servizio offerto.

Nel caso dell'IaaS il CSP si occupa della sicurezza dell'elaborazione, dell'archiviazione e della rete fisica, inclusi tutti gli aggiornamenti e le configurazioni; al cliente è demandata la sicurezza dei dati, delle applicazioni, i controlli di rete virtuale, del sistema operativo e dell'accesso degli utenti.

Nel caso "opposto", quello del SaaS, la sicurezza è gestita quasi totalmente dal CSP e al cliente viene demandata solo la gestione degli accessi e dei propri dati.

La sicurezza sul cloud evolve adattandosi al nascere di nuove minacce, per questo le soluzioni sul mercato sono diverse e in continua evoluzione. In generale possiamo dividere le soluzioni per la sicurezza del cloud in quattro categorie:

Gestione delle identità e degli accessi (IAM): processo di autenticazione, autorizzazione e gestione degli account degli utenti. Questo è importante per poter dare ad ogni utente i permessi minimi per poter eseguire le proprie mansioni e non dare accessi ad utenti non autorizzati.

Protezione dei dati: attraverso la crittografia dei dati, la gestione degli accessi, i sistemi di backup e di ripristino dei dati.

Gestione delle minacce: tramite il monitoraggio, rilevamento e risposta agli incidenti in caso di minacce in ambiente cloud, a volte anche tramite utilizzo di algoritmi di intelligenza artificiale in grado di riconoscere possibili minacce automaticamente.

Conformità legale: monitoraggio e valutazione continua della conformità legale del cloud per garantire la conformità delle leggi e dei regolamenti vigenti.

2.4.1.2. Problematicità specifiche del cloud

La sicurezza informatica è simile quando si parla di sistemi tradizionali e quando si parla di cloud, problematiche come il phishing, i malware, le minacce interne o API vulnerabili sono valide in entrambi gli ambienti. Ciononostante, esistono delle sfide specifiche dovute all'utilizzo del cloud rispetto ad un sistema tradizionale:

Gestione degli accessi: l'accesso alle risorse cloud avviene tramite rete internet pubblica, questo consente un comodo accesso da qualsiasi località o dispositivo, ma dà anche la possibilità ad utenti malintenzionati di tentare di accedere a risorse sul cloud senza avere l'autorizzazione.

Mancanza di visibilità: essendo l'infrastruttura esterna alla propria rete aziendale i sistemi tradizionali di visibilità della rete non sono adatti ad un ambiente cloud.

Errori di configurazione: una delle principali cause della violazione dei dati negli ambienti cloud consiste nella errata configurazione delle impostazioni di sicurezza. I servizi cloud sono studiati per consentire un facile accesso e la condivisione dei dati: questo può portare ad errori di configurazione, ad esempio il mancato cambio della password predefinita o la non attivazione della crittografia su alcuni dati, così come l'errata gestione dei controlli delle autorizzazioni.

Requisiti normativi e di conformità

L'utilizzo del cloud aggiunge un ulteriore livello di requisiti normativi e di conformità interni rendendo più complesso e coerente, rispetto al caso data center on-premise, il processo di identificazione di tutti gli asset e i controlli cloud, l'associazione ai requisiti pertinenti e la corretta documentazione del tutto.

Dinamicità

Molti strumenti di sicurezza legacy non sono in grado di applicare i criteri in un contesto cloud dove gli ambienti sono flessibili e i carichi di lavoro sono in continua evoluzione, eliminati o aggiunti improvvisamente.

Nonostante queste problematiche specifiche, l'adozione del cloud non è più rischiosa dei sistemi on-premise. I principali cloud provider dispongono di un'infrastruttura progettata per essere totalmente sicura e dispongono di una sicurezza a più livelli integrata direttamente nella piattaforma e nei relativi servizi.

2.1.5. Trend Emergenti

Il cloud computing è in continua evoluzione e sono molti i trend emergenti su cui le aziende stanno puntando. I recenti sviluppi tecnologici hanno l'obiettivo di far uso delle tecnologie cloud nella maniera più efficace ed efficiente possibile, in modo da ridefinire approcci e metodologie con cui le aziende sviluppano, distribuiscono e gestiscono le loro soluzioni e servizi. Alcuni di questi trend sono le architetture a microservizi, le cloud native application e le metodologie DevOps, dove viene fatto un approfondimento nel Capitolo 3. Dal punto di vista delle tecnologie i trend emergenti riguardano il serverless computing, l'edge computing, l'AI e il *Machine Learning* ed infine la *digital sovereignty* in ambito compliance (Ganne, 2022).

Serverless Computing: tecnologia che consente la migliore astrazione delle risorse di basso livello per sviluppare codice. La migliore astrazione è ottenuta sia in termini di ottimizzazione dell'utilizzo risorse che di gestione dell'infrastruttura sottostante essendo demandata al *provider*.

Edge Computing: piccoli centri di calcolo, dotati di posti in prossimità degli utenti finali delle applicazioni. Grazie alla prossimità degli utenti è possibile fornire migliori prestazioni in termini di velocità dello scambio dei dati e della loro elaborazione. Tali elevate prestazioni sono necessarie in diversi contesti e casi d'uso (Varghese et al., 2016), per garantire decisioni in tempo reali per applicazioni di tipo video streaming, mobility (in generale *real-time applications*), oppure per intervenire come risorsa computazionale aggiuntiva per eseguire determinati *task* di *data management* (es. pre-analisi o *pre-filtering*).

AI & Machine Learning: sono attesi sempre più progressi da questa tecnologia, anche grazie al continuo progredire delle capacità di elaborazione delle risorse di calcolo. La possibilità di addestrare gli algoritmi su una vasta gamma di informazioni di diversa tipologia migliorerà

le capacità di predizione e di ottimizzazione dei risultati ottenuti. Nel successivo capitolo viene fornita una panoramica degli strumenti che questa tecnologia mette a disposizione.

Digital Sovereignty: l'accumulo di dati, la loro elaborazione e gestione, in linea con le regolamentazioni in termini di privacy e sicurezza, è il focus di questa tematica. Sulla base del GDPR – il Regolamento Generale sulla Protezione dei Dati dell'Unione Europea- è in fase di definizione il *Data Act* per disciplinare la privacy e la sicurezza dei dati personali. Diverse sono le tecnologie emergenti che potranno validare i servizi e prodotti già sviluppati a tali regolamentazioni e normative.

2.2. Intelligenza Artificiale

2.2.1. Introduzione all'intelligenza artificiale

Come emerge dalla breve storia dell'Intelligenza Artificiale riportata nel capitolo 1, fornire una definizione "univoca e condivisa" è un compito complesso. Lo stesso concetto di "intelligenza" apre diversi dibattiti filosofici su quale sia davvero un comportamento intelligente. Una possibile definizione è quella data da Amigoni et al. (Amigoni et al., 2018):

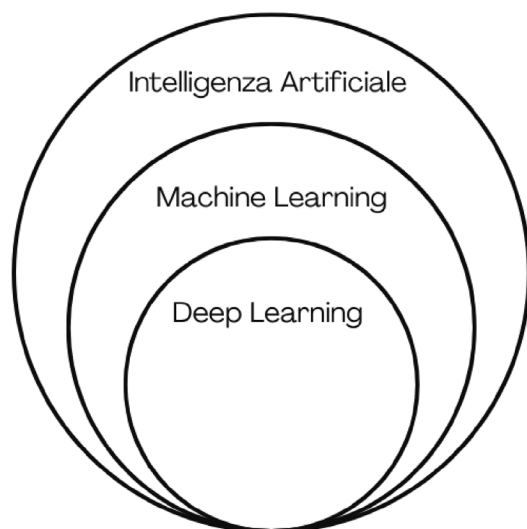


Fig. 2.4. La relazione tra Deep Learning, Machine Learning, Intelligenza Artificiale.
Fonte: elaborazione degli autori

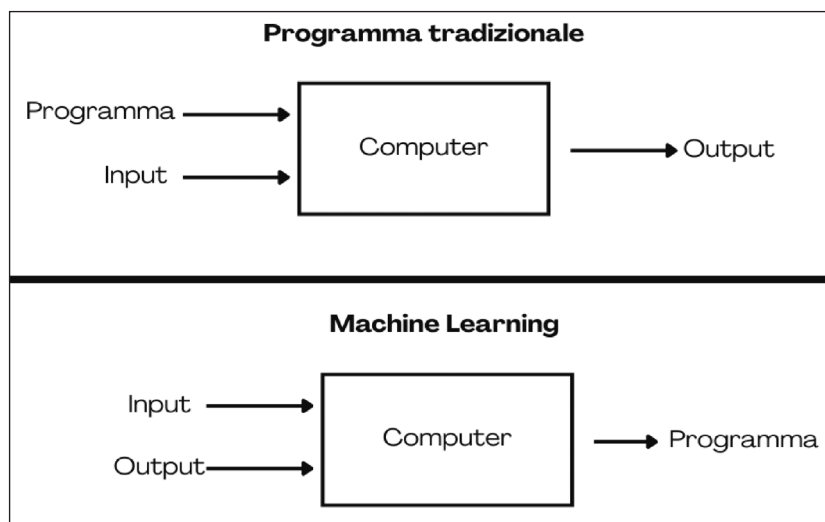


Fig. 2.5. Programmazione Tradizionale vs Machine Learning.

Fonte: elaborazione degli autori

«L'intelligenza artificiale è una disciplina appartenente all'informatica che studia i fondamenti teorici, le metodologie e le tecniche che consentono la progettazione di sistemi hardware e sistemi di programmi software capaci di fornire all'elaboratore elettronico prestazioni che, a un osservatore comune, sembrerebbero essere di pertinenza esclusiva dell'intelligenza umana.»

Il concetto di Intelligenza artificiale nasce negli anni cinquanta. Perché solo negli ultimi anni ha iniziato ad essere così pervasiva? Prima di dare una risposta è opportuno definire cos'è l'apprendimento automatico (Machine Learning), cos'è l'apprendimento profondo (Deep Learning) e qual è la relazione tra loro (vedi figura 2.5).

2.2.1.1. Il Machine Learning

Con Machine Learning si intende una famiglia di algoritmi di intelligenza artificiale in grado di apprendere autonomamente come risolvere un determinato problema. La differenza con la programmazione classica può essere riassunta dal grafico in figura 2.6:

Nella programmazione classica l'algoritmo viene scritto da un programmatore e, successivamente, il programma e l'input vengono dati al calcolatore che calcolerà l'output associato a quell'input utilizzando il programma.

Per esempio, se volessi sviluppare un software in grado di fare la somma di due numeri scriverei il codice che prende in input due numeri, li somma e restituisce il nuovo valore come output; quindi dando il programma scritto e come input i valori 4 e 5, il calcolatore mi darebbe come output il numero 9.

Utilizzando il Machine Learning invece viene data al calcolatore una serie di valori di input e l'output associato a quegli input, e sarà l'intelligenza artificiale che interviene per individuare qual è il rapporto tra input e output generando il codice in grado di eseguire l'azione richiesta.

Per esempio, se l'obiettivo è sviluppare un software in grado di distinguere l'immagine di un cane da quella di un gatto, sarebbe praticamente impossibile scrivere il codice a mano. Tramite invece l'utilizzo del machine learning, è sufficiente dare in input immagini di cani, indicando come output associato la classe "cane", e immagini di gatto, indicando come output associato la classe "gatto". In questo modo sarà poi l'intelligenza artificiale ad apprendere da queste immagini quali sono le caratteristiche che distinguono un cane da un gatto, e restituirà un programma in grado di eseguire questa classificazione. Questo programma sarà in grado di "generalizzare" l'azione richiesta distinguendo cani e gatti anche non presenti negli esempi che sono stati utilizzati per l'addestramento.

2.2.1.2. Il Deep Learning

Il Deep Learning è un sottoinsieme del Machine Learning basato sul concetto di *Reti Neurali*: modelli matematici ispirati al cervello umano in grado di apprendere da una grande quantità di dati. Le reti neurali sono spesso utilizzate su dati non strutturati, come per esempio le immagini o i documenti scritti in linguaggio naturale. I due ambiti in cui il deep learning ha dimostrato il suo potenziale, infatti, sono il Computer Vision e il Natural Language Processing.

Nello specifico una rete neurale è composta da un insieme di neuroni artificiali collegati tra di loro, in cui l'output di un neurone è l'input dei neuroni successivi. Esistono diverse architetture di reti neurali, le più note sono:

- Feedforward / multilayer perceptron
- Reti neurali convoluzionali
- Reti neurali ricorsive

2.2.1.3. Dati e potenza di calcolo

In linea con quanto precedentemente evidenziato, l'addestramento degli algoritmi di Machine Learning, inclusi quelli di Deep Learning, richiede un volume elevato di dati. In generale, la complessità del compito assegnato all'intelligenza artificiale determina la quantità di dati necessaria per garantire un apprendimento adeguato delle informazioni pertinenti. Non solo, per poter eseguire l'addestramento su una tale mole di dati, è indispensabile una elevata capacità computazionale.

Da queste due necessità, si può intuire perché solo negli ultimi anni si è potuto utilizzare questa tipologia di algoritmi:

- Grazie all'IoT, all'utilizzo di dispositivi digitali e alla diffusione di internet, una grande quantità di dati viene generata ogni giorno.
- L'evoluzione dei processori, soprattutto quelli dedicati al calcolo parallelo come le GPU (insieme a processori dedicati all'addestramento delle reti neurali), è arrivata ad un punto tale da avere la potenza di calcolo necessaria.

La costruzione di data center dove è possibile concentrare la grande mole di dati e la potenza di calcolo in un unico luogo, ha dato l'opportunità di addestrare algoritmi di ML senza la necessità di acquistare il costoso Hardware necessario.

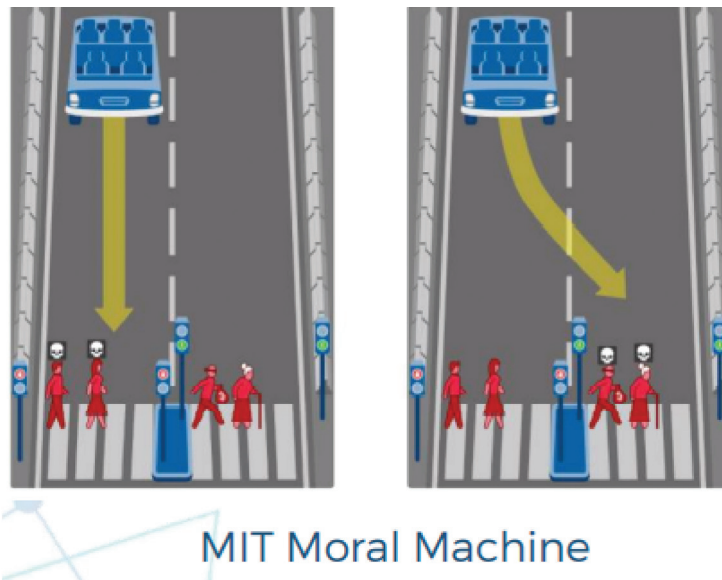


Fig. 2.6. MIT Moral Machine.

Fonte: Awad et al. (2018), "The Moral Machine experiment", Nature.

2.2.2. Etica e intelligenza artificiale

Gli algoritmi di intelligenza artificiale sono strumenti molto potenti che stanno diventando pervasivi in tutto il mondo che ci circonda. Per questo motivo è necessario che lo sviluppo e l'utilizzo dell'intelligenza artificiale avvenga nella maniera più etica possibile.

Lo sviluppo di progetti di intelligenza artificiale che siano caratterizzati anche da contenuti etici è complesso, anche perché, banalmente, molti 'dilemmi etici' spesso non hanno una soluzione univoca. Ad esempio, basti pensare al dilemma etico rappresentato dal guidatore a cui si rompono i freni ed è costretto a scegliere se investire due giovani o due anziani (vedi figura 2.7).

A questa domanda non c'è una sola risposta corretta, la risposta dipende, appunto, dall'etica (ideali, cultura, valori) propria della persona a cui si pone il quesito.

Il discorso sull'etica dell'Intelligenza Artificiale domina il dibattito da un punto di vista scientifico, economico e di policy (Floridi, 2022; Benanti, 2019, 2023; Chiriatti, 2029, 2021; Taddeo 2019). Tuttavia, la varietà e numerosità delle implicazioni sociali e culturali che l'IA genererà rende difficile immaginare una univocità, sia nell'adozione di prospettive di analisi che nella implementazione di soluzioni.

Per ridurre la complessità dell'ampio dibattito cui sopra si è accennato, e coerentemente con le finalità di questo volume, può tuttavia essere di supporto indicare quelli che sono alcuni principi fondamentali che possono essere utili quando si parla di intelligenza artificiale. Nell'ambito delle diverse proposte sviluppate in ambito accademico e professionale, sembra utile ai fini della trattazione riportare delle linee guida sull'etica stilate da Gartner (2022):

Giusto/equo: Gli algoritmi di intelligenza artificiale devono essere equi e non essere discriminatori. Nessun gruppo di persone deve essere favorito o sfavorito rispetto ad un altro.

Spiegabile e trasparente: Gli algoritmi di intelligenza artificiale dovrebbero essere spiegabili e comprensibili. Con gli algoritmi più complessi, come le reti neurali, diventa complesso capire il perché di un determinato output, per questo bisogna utilizzare tecniche specifiche che ci possano spiegare il perché delle scelte adottate dall'intelligenza artificiale.

Responsabile: Gli sviluppatori di intelligenza artificiale dovrebbero essere responsabili dello sviluppo etico dei propri applicativi. Per questo motivo, ogni azienda o ente che sviluppa intelligenza artificiale dovrebbe avere un team che si occupi della governance di questa tipologia di applicativi, anche se il concetto di responsabilità rimane valido per tutte le persone coinvolte.

Sicura: La sicurezza è un concetto fondamentale nello sviluppo di qualsiasi tipologia di software, ma lo è specialmente quando si parla di intelligenza artificiale in quanto tratta spesso dati sensibili, come dati personali o finanziari, che vengono utilizzati per prendere decisioni che hanno un impatto significativo sulle persone (ad esempio, l'IA che restituisce un valore di affidabilità per la concessione di un mutuo).

Umano centrica e socialmente utile: L'utilizzo dell'intelligenza artificiale dovrebbe avere come obiettivo il beneficio dell'umanità; risolvendo problemi reali e migliorando la vita delle persone.

2.2.3. Regolamentazione dell'Intelligenza Artificiale (AI Act)

La pervasività dei nuovi applicativi basati su intelligenza artificiale e la pericolosità di un loro utilizzo non controllato sta portando alla creazione di diversi regolamenti specifici per l'intelligenza artificiale.

Nel 2022 l'Unione Europea ha sviluppato la prima bozza di regolamento denominato AI Act, che è stato ufficialmente approvato il 13 marzo 2024. Il regolamento si basa sul concetto di rischio:

Rischio inaccettabile:

Sistemi utilizzati in modo intrusivo o discriminatorio che minacciano salute, sicurezza, diritti fondamentali delle persone naturali (social scoring, pratiche manipolative e uso di dati biometrici per categorizzare persone in luoghi pubblici).

Rischio alto:

IA in settori/attività critici. Es. sistema giudiziario, educazione, occupazione, valutazione credito, reti elettriche, ospedali, ambiente, ecc.

Rischio limitato:

Sistemi che manipolano contenuti, per esempio i chatbot.

Rischio Minimo:

Sistemi a rischio minimo per diritti e sicurezza dei cittadini, per esempio gli algoritmi antisпам.

Questo regolamento è il primo al mondo sull'intelligenza artificiale, ma sono diverse le nazioni che stanno iniziando ad approcciarsi ad una regolamentazione specifica. Per esempio la Cina già dal 2023 ha sviluppato una regolamentazione specifica per l'intelligenza artificiale generativa.

2.2.2.1. Framework etico

Per poter accertare che lo sviluppo di un applicativo, basato su intelligenza artificiale, sia sviluppato seguendo i principi etici e le regolamentazioni vigenti, è necessario lo sviluppo di un framework etico. Tale framework fa in modo che tutti i passaggi e i controlli siano seguiti, e che lo sviluppo si concluda con una documentazione che dimostri il corretto sviluppo del modello.

Per sviluppare questo tipo di framework è importante tenere in considerazione due concetti:

Ethics by design: Lo sviluppo di un applicativo basato su intelligenza artificiale che possa definirsi etico deve esserlo già a partire dall'idea e dal progetto. Bisogna da subito stimare il livello di rischio dell'applicativo, capire qual è il contesto di partenza, analizzare i dati che verranno dati in pasto all'intelligenza artificiale controllando siano privi di bias al loro interno, analizzare tutti i passaggi dello sviluppo per capire in quali punti potrebbero essere inseriti altri bias e procedere solo se si ha la certezza di poter sviluppare un modello valido sia tecnicamente sia eticamente.

Dynamic ethics: Uno dei vantaggi dell'intelligenza artificiale è la sua capacità di continuare ad apprendere tramite processi definiti di MLOps che all'arrivo di nuovi dati sono in grado di controllare se il modello è ancora efficace e, in caso negativo, riescono a far partire nuovi addestramenti. Questo procedimento potrebbe però far assorbire, anche ad un modello ethics by design, bias che renderebbero il modello non più etico. Per questo è importante che nella fase di monitoring della pipeline di MLOps ci siano dei controlli non solo tecnici ma anche etici (per esempio inserire un test set di dati che controlli anche l'assenza di bias oltre che la precisione).

2.2.4. L'impatto sul mondo del lavoro

L'intelligenza artificiale è uno strumento rivoluzionario, e come tale, la sua influenza sul mondo del lavoro (e non solo) sta avendo un impatto significativo che aumenterà nel corso dei prossimi anni.

Il motivo principale è l'automatizzazione di tutte quelle attività semplici e ripetitive prima svolte da esseri umani. Al contrario, la forte domanda di esperti di intelligenza artificiale e tematiche affini, sta creando nuovi posti di lavoro ad alta e altissima specializzazione.

Diventeranno quindi necessarie nel prossimo futuro delle politiche che aiutino le persone ad ottenere il meglio da questa "rivoluzione"; per esempio:

- Investire nell'istruzione e nella formazione in modo tale che le persone abbiano le competenze necessarie per lavorare con l'intelligenza artificiale
- Sostenere la riqualificazione dei lavoratori le cui attività sono state o verranno automatizzate grazie all'intelligenza artificiale
- Sviluppare politiche di redistribuzione della ricchezza, in caso le competenze riguardanti l'intelligenza artificiale portino delle forti disparità sociali

2.2.5. L'AI e il business

Il fatto che l'intelligenza artificiale possa aiutare il business è ormai asodato. Siamo passati da un'epoca in cui le aziende si avvicinavano all'intelligenza artificiale tramite PoC, per poterne testare la validità, ad un'epoca in cui i sistemi di intelligenza artificiale sono in produzione e chi non li utilizza si ritrova ad essere in una situazione di svantaggio competitivo.

Il mercato dell'intelligenza artificiale in Italia ha raggiunto i cinquecento milioni di euro nel corso del 2022, con una crescita di oltre il trenta per cento per anno.

Tra i principali benefici che l'intelligenza artificiale porta al business ci sono:

Miglioramento della sicurezza

L'intelligenza artificiale è in grado di analizzare i dati in tempo reale e di riconoscere comportamenti sospetti e modelli anomali che potrebbero indicare una minaccia alla sicurezza informatica, dando così l'opportunità alle aziende di adottare misure preventive e mitigare i rischi.

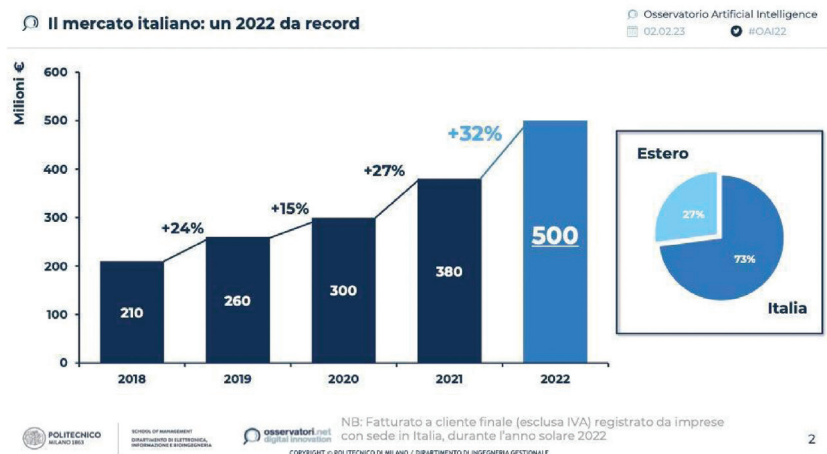


Fig. 2.7. Mercato italiano dell'Intelligenza Artificiale (2022).

Fonte: Politecnico di Milano – Osservatorio Artificial Intelligence, *Artificial Intelligence 2022: a che punto siamo?*, 2023.

Un esempio specifico è quello dell'utilizzo di algoritmi di *Anomaly Detection*, basati sul Machine Learning, in grado di riconoscere automaticamente quando avviene un'anomalia, come ad esempio nel caso di un utilizzo anomalo delle carte di credito che viene opportunamente segnalato dando l'opportunità di eseguire delle verifiche mirate.

Automazione dei processi

L'intelligenza artificiale può automatizzare tutte le attività manuali e ripetitive, consentendo all'azienda di aumentare l'efficienza, ridurre i costi operativi e liberare le risorse umane che potranno occuparsi di attività a più alto valore.

Un esempio è quello degli assistenti conversazionali, che sono in grado di funzionare 24/7 e di gestire autonomamente la maggior parte delle richieste dei clienti, mettendo poi in contatto con l'operatore umano il cliente solo in caso di una necessità specifica che il chatbot non sia stato in grado di risolvere.

Miglioramento delle decisioni aziendali

L'intelligenza artificiale è in grado di analizzare una grande mole di dati provenienti da fonti eterogenee, identificando pattern e tendenze nascoste, fornendo così informazioni preziose per poter poi fare delle scelte informate.

Personalizzazione dell'esperienza cliente

L'intelligenza artificiale può studiare le informazioni relative ai clienti, come le preferenze di acquisto e i comportamenti passati, e partendo da essi, offrire raccomandazioni personalizzate, promuovere prodotti o servizi aumentando così la soddisfazione e la fidelizzazione del cliente.

Un esempio in tal senso è dato dall'utilizzo di algoritmi di clusterrizzazione per la segmentazione dei clienti: l'intelligenza artificiale prende tutte le informazioni dei clienti e li raggruppa automaticamente in diversi gruppi simili tra loro. In questo modo sapremo che se una persona compra un determinato prodotto o apprezza una determinata promozione, molto probabilmente tutte le altre persone appartenenti allo stesso gruppo saranno interessate a quel prodotto o apprezzeranno quella promozione.

Ottimizzazione della produzione e della catena di approvvigionamento

L'intelligenza artificiale è in grado di ottimizzare i processi analizzando i dati relativi alla produzione e al venduto. Grazie alle tecniche di predizione della domanda, l'intelligenza artificiale può utilizzare tutte le variabili relative alle vendite, sia endogene (come lo storico del venduto per singolo prodotto) sia esogene (come per esempio il meteo) per predire quali saranno le vendite per singolo prodotto nel futuro prossimo, e dandoci la possibilità di ottimizzare le scorte e gestire meglio il magazzino.

Miglioramento del marketing e delle vendite

L'intelligenza artificiale può contribuire all'ottimizzazione delle strategie di marketing e delle vendite. Attraverso l'analisi dei dati dei clienti e del venduto l'IA è in grado di identificare segmenti di mercato specifici, individuare potenziali clienti e suggerire approcci di vendita personalizzati. In questo modo le aziende sono in grado di raggiungere il proprio pubblico target in modo più efficace.

2.2.6. L'AI e il Cloud

La necessità di una grande mole di dati e della potenza di calcolo necessaria all'addestramento degli algoritmi di intelligenza artificiale trovano la loro naturale soluzione nell'utilizzo del Cloud.

I vantaggi dell'utilizzo del Cloud per addestrare e mettere in produzione modelli di intelligenza artificiale sono molteplici:

Scalabilità

La scalabilità è uno dei principali vantaggi dell'utilizzo del cloud, specialmente quando si parla di intelligenza artificiale. I servizi cloud offrono la possibilità di aumentare o ridurre le risorse di elaborazione, archiviazione e rete in base alle esigenze dell'applicativo.

Abbiamo quindi l'opportunità, per esempio, di utilizzare una grande potenza di calcolo durante l'addestramento dell'intelligenza artificiale per poi utilizzare solo le risorse necessarie all'utilizzo del modello addestrato.

Disponibilità

I servizi cloud sono distribuiti su più data center e utilizzano tecnologie di failover e ripristino che garantiscono che le applicazioni possano sempre essere disponibili. I servizi cloud hanno inoltre sistemi di monitoraggio e notifica per aiutare gli utenti a identificare e risolvere rapidamente i problemi. Applicazioni basate su intelligenza artificiale, come i sistemi di manutenzione predittiva o i sistemi di assistenza ai clienti, hanno la necessità di rimanere attivi 24/7 per garantire che l'azienda possa evitare costose interruzioni della produzione e garantire ai clienti i servizi necessari.

Sicurezza

I servizi cloud offrono diverse funzionalità di sicurezza avanzate che possono aiutare a proteggere le applicazioni di intelligenza artificiale e i dati da attacchi e violazioni.

Costi Pay per Use

Utilizzando il cloud per il training e per la messa in produzione di applicativi basati sull'intelligenza artificiale uno dei vantaggi è quello di pagare solo per le risorse consumate.

2.2.7. Modalità di erogazione dell'Intelligenza Artificiale

Le organizzazioni, grazie al cloud, possono accedere alle funzionalità dell'intelligenza artificiale senza dover investire in hardware o software dedicati.

I servizi offerti dai cloud provider si possono dividere nelle seguenti aree:

Soluzioni di IA pronte all'uso

Alcuni servizi basati su Intelligenza Artificiale vengono erogati con logica SaaS. Questi applicativi possono essere utilizzati direttamente accedendo al software, solitamente tramite API. Per esempio, esistono sistemi di gestione documentale basati su tecniche di NLP a cui si possono dare in pasto i nostri documenti e avere delle analisi automatiche degli stessi, come la clusterizzazione o l'estrazione automatica di informazioni.

Modelli pre-addestrati specializzabili

Ci sono diversi casi d'uso in cui l'intelligenza artificiale ha la necessità di essere addestrata su una grande mole di dati per essere in grado di eseguire un compito generico, salvo poi aver bisogno di una quantità di dati molto minore per essere specializzata. Per esempio, le reti neurali convoluzionali che vengono utilizzate per l'analisi delle immagini hanno bisogno di molte immagini per essere in grado di fare il loro mestiere. Ma dopo un primo addestramento approfondito, sono in grado di riconoscere forme geometriche, colori, gradienti, etc. A questo punto se vogliamo specializzare uno di questi modelli per eseguire un compito specifico, come la capacità di distinguere un cane da un gatto, ci basterà eseguire quello che viene definito con il termine inglese *Fine Tuning*, e dare solo alcune immagini di cani e gatti indicando che l'obiettivo è la classificazione dell'immagine.

L'analisi delle immagini è solo uno dei possibili casi d'uso in cui l'utilizzo di modelli pre-addestrati è molto utile, altri esempi rientrano nell'analisi del linguaggio naturale o la specializzazione dei modelli di intelligenza artificiale generativa.

In questo modo con pochi dati e poca potenza di calcolo, si possono sviluppare dei modelli di intelligenza artificiale in grado di risolvere problemi specifici, partendo da modelli sul cloud pre-addestrati.

AutoML

Con Cloud AutoML si intende una suite di strumenti per l'automatizzazione del processo di sviluppo dei modelli di Machine Learning. Queste suite sono in grado automaticamente di eseguire la preparazione dei dati, la selezione e l'addestramento del miglior algoritmo di intelligenza artificiale valutandone le performance, ed infine rendere il modello addestrato disponibile all'utilizzo, solitamente tramite API.

Grazie a questo tipo di soluzione un'azienda può accedere alla creazione di modelli di ML senza particolari competenze in materia, o poter velocizzarne lo sviluppo rispetto alla creazione di un modello custom.

AI Platform

Quando si parla di intelligenza artificiale è importante ricordarsi che l'addestramento del modello è solo una parte del processo di sviluppo. Le piattaforme per l'intelligenza artificiale danno l'opportunità di sviluppare pipeline end-to-end di Machine Learning seguendo la corretta implementazione della logica MLOps; tutti gli strumenti per la raccolta e preparazione dei dati, la scelta del miglior algoritmo di Machine Learning da utilizzare (sia tramite l'utilizzo di tecniche di AutoML ma anche dando l'opportunità di sviluppare modelli custom) per la messa in produzione del modello e per monitorare il modello in produzione con la possibilità di automatizzare anche processi di riaddestramento e messa in produzione del nuovo modello in caso sia migliore del precedente.

Infrastrutture per il Machine Learning

In caso si volessero sviluppare modelli di intelligenza artificiale in autonomia, ma senza acquistare o dover gestire l'hardware necessario, sul cloud sono presenti infrastrutture specifiche per l'intelligenza artificiale. Due esempi sono: le TPU (Tensor Processing Unit) sviluppate da Google Cloud, che consistono in circuiti integrati specifici per applicazioni (ASIC) progettati per accelerare l'addestramento e l'inferenza di modelli di Machine Learning disponibili su GCP (Google Cloud Platform) e le DGX Nvidia che danno la possibilità di utilizzare GPU (professionali in parallelo per addestrare i modelli di intelligenza artificiale).

Edge

In alcuni casi specifici c'è la necessità che l'elaborazione avvenga con una latenza molto bassa, e quindi, il più vicino possibile a dove verrà utilizzato l'applicativo basato su intelligenza artificiale. Un esempio consiste nell'analisi automatica dei difetti di produzione in una catena di montaggio; in questo caso l'analisi delle immagini che arrivano dalle telecamere deve essere effettuata dall'intelligenza artificiale molto rapidamente, in quanto le anomalie devono essere scartate solitamente in un tempo minore al secondo.

Per conciliare la necessità della potenza di calcolo, l'accesso ai dati necessari all'addestramento del modello e la necessità di una bassa latenza in fase di inferenza, si addestra il modello su cloud e, una volta addestrato, installato sull'edge.

Per edge intendiamo sia un server locale, per esempio all'interno dello stabilimento, sia un edge cloud, un piccolo data center vicino al luogo dove dovrà essere utilizzato il modello, sia un edge IoT, come una telecamera intelligente.

3. Il cloud nelle imprese: principali strategie e modalità di adozione e implementazione

Giuseppe Villari

Nel mondo digitale contemporaneo, la sicurezza nel cloud è diventata un cardine fondamentale per le strategie aziendali, rivoluzionando il modo in cui le imprese approcciano la protezione dei loro dati. Come discusso nel capitolo precedente, le peculiarità del cloud richiedono una riflessione approfondita su tematiche quali la gestione degli accessi, la visibilità dell'infrastruttura, gli errori di configurazione, la conformità normativa e la dinamicità degli ambienti per rispondere alle sfide poste da queste problematiche, assicurando la resilienza e l'integrità dei sistemi informatici aziendali.

Tali sfide si inseriscono in un contesto aziendale che privilegia un'ottica integrata della gestione degli asset digitali, quale risposta delle organizzazioni alla costante evoluzione del panorama tecnologico. L'urgenza di ottimizzare i processi, incrementare l'efficienza operativa e abbreviare i cicli di rilascio del software sta inducendo un cambiamento sostanziale nelle metodologie lavorative.

Il presente capitolo esamina l'adozione del cloud nelle strutture aziendali, con particolare riferimento all'integrazione tra DevOps e Cloud Computing. La filosofia di DevOps emerge come risposta alle esigenze di agilità e rapidità imposte dal mercato software contemporaneo, con il cloud che funge da catalizzatore cruciale di questa evoluzione. Assicurando la protezione dell'infrastruttura e dei dati, il cloud permette a DevOps di ottimizzare la collaborazione interfunzionale, incrementando la velocità di sviluppo e il deployment del software.

3.1. DevOps e Cloud Computing

Prima dell'avvento del Cloud Computing, la netta separazione tra il ruolo dello sviluppatore e quello dell'operatore IT si configurava come

uno dei nodi critici nel processo di rilascio e di manutenzione dei software. Con l'emergere del modello Agile come nuovo standard nel software development, tale separazione è stata identificata come una delle prime problematiche significative da affrontare.

Nasce quindi l'esigenza di integrare questi due ambiti e armonizzarli con la flessibilità offerta dalle tecnologie cloud. In tale contesto prende forma il concetto di "DevOps", risultato della fusione dei termini "Development" e "Operations".

Si tratta di una metodologia e una cultura di sviluppo software che mira a ridurre al minimo le barriere tra i team di sviluppo e quelli di IT Operations e, promuovendo la collaborazione, la comunicazione e la condivisione delle responsabilità tra questi team, a migliorare il ciclo di vita del software dalla sua ideazione alla sua implementazione e manutenzione.

Alla base della metodologia DevOps vi è l'aspirazione di automatizzare e semplificare i processi di sviluppo, test, distribuzione e monitoraggio del software, consentendo alle organizzazioni di fornire più rapidamente e in modo più affidabile nuove funzionalità e aggiornamenti ai propri utenti.

Emerge pertanto la necessità di una trasformazione culturale all'interno delle organizzazioni che va ben oltre la semplice adozione di nuovi strumenti o tecnologie. Tra gli elementi fondamentali della cultura DevOps vi sono la collaborazione, la condivisione delle responsabilità e la volontà di apprendere e migliorare costantemente.

Gli sviluppatori e gli operatori IT collaborano sin dalle prime fasi del processo di sviluppo: ciò favorisce una maggiore comprensione reciproca delle esigenze e delle sfide di entrambi i reparti, consentendo loro di lavorare verso obiettivi comuni. La comunicazione continua e la condivisione delle informazioni risultano fondamentali per prevenire incomprensioni e disguidi nel corso dello sviluppo e del rilascio del software.

Ciò implica che gli sviluppatori non si limitano alla stesura del codice per poi trasferirlo successivamente agli operatori per la distribuzione, ma partecipano attivamente anche alle attività di gestione dell'infrastruttura e monitoraggio del software in tutti gli ambienti, dal testing fino all'ambiente di produzione effettivo. Allo stesso tempo, gli operatori acquisiscono una maggiore comprensione del software e delle sue esigenze specifiche, contribuendo a fornire un'infrastruttura stabile e affidabile per l'applicativo.

La cultura DevOps promuove la flessibilità e l'adattabilità: le organizzazioni che vogliono integrare tale filosofia devono essere in grado di rispondere rapidamente ai cambiamenti nel mercato e alle esigenze dei clienti, avvalendosi di processi automatizzati e cicli di rilascio rapidi. In questo contesto, assumono particolare rilevanza l'apprendimento e il miglioramento continui, in particolare in termini di identificazione e correzione tempestiva di errori nel processo di sviluppo.

I valori, la cultura e la mentalità DevOps si declinano in un set circoscritto di tecnologie, strumenti e pratiche che possono essere raggruppate nelle seguenti macro-categorie:

- Continuous Integration (CI) e Continuous Deployment (CD)
- Infrastructure as Code (IaC)
- Automazione e Orchestrazione
- Containerizzazione e microservizi
- Monitoraggio e logging
- Gestione delle configurazioni

La Continuous Integration (Integrazione Continua) e il Continuous Deployment (Deploy Continuo) sono pratiche centrali del paradigma DevOps. La prima implica l'integrazione continua del codice scritto dagli sviluppatori in un repository condiviso (e.g. Git), seguita dall'esecuzione di test automatici per rilevare eventuali errori o conflitti. Questo processo riduce il rischio di introdurre bug nel codice, migliorando la qualità del software. Il secondo, invece, estende la logica della Continuous Integration, consentendo il rilascio automatico e continuo delle nuove versioni del software in produzione. In questo modo si garantisce una continua erogazione di nuove funzionalità e risoluzione dei bug agli utenti finali, riducendo i tempi di rilascio e migliorando la reattività dell'applicativo.

Con "Infrastructure as Code" (IaC) si fa riferimento a un approccio che consente di gestire l'infrastruttura di un'applicazione attraverso codice, in modo programmatico e automatizzato. Utilizzando strumenti come Terraform o Pulumi, è possibile definire l'intera infrastruttura, comprese le risorse cloud, le macchine virtuali e le configurazioni di rete. Questo consente di trattare l'infrastruttura come un prodotto software e di gestirla in modo rapido e ripetibile, facilitando la gestione di più versioni del codice (versioning), la distribuzione e la scalabilità dell'infrastruttura stessa.

I maggiori cloud provider sul mercato hanno integrato nativamente questa metodologia all'interno delle loro infrastruttura di data center e hanno sviluppato i loro framework IaC proprietari (AWS CloudFormation, Azure ARM Templates, Google Deployment Manager).

L'automazione è un elemento chiave di DevOps, in quanto consente di ridurre i tempi di esecuzione delle attività manuali e minimizza gli errori umani. Strumenti come Jenkins, GitLab CI/CD e CircleCI consentono di automatizzare i processi di compilazione del codice, test e rilascio di una nuova versione. L'orchestrazione, d'altra parte, gestisce il flusso di lavoro tra diversi strumenti e processi, assicurandosi che le attività vengano eseguite in modo sequenziale e coerente.

La containerizzazione consente di impacchettare l'applicazione e le sue dipendenze in un ambiente isolato, chiamato container, attraverso l'utilizzo di strumenti come Docker e Kubernetes. Tale pratica rende il software portatile e riproducibile, facilitando la distribuzione su diversi ambienti senza problemi di compatibilità. I microservizi, invece, sono un'architettura di sviluppo in cui un'applicazione viene suddivisa in piccoli servizi indipendenti, che possono essere sviluppati, testati e distribuiti in modo autonomo. Questo approccio rende il software più scalabile e flessibile, consentendo di apportare modifiche a un servizio senza influenzare l'intero sistema. I concetti di Container e Microservizi verranno ripresi e approfonditi nei paragrafi successivi.

Il monitoraggio e il logging sono fondamentali per assicurare che l'applicazione sia sempre in uno stato funzionante e per individuare tempestivamente eventuali problemi. Strumenti come Prometheus,

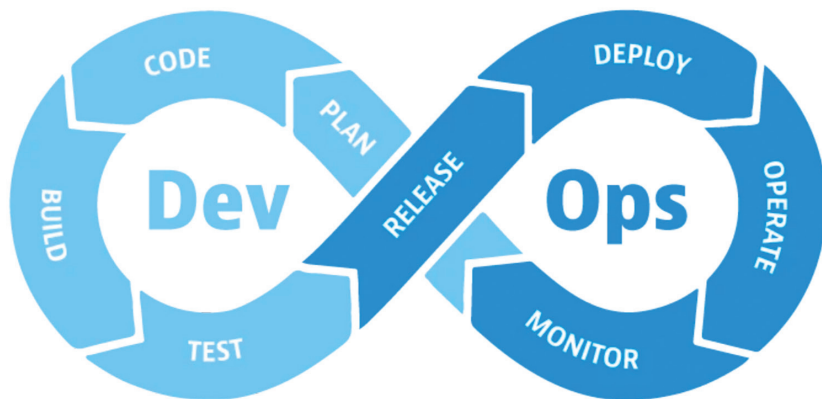


Fig. 3.1. DevOps stages.

Fonte: Dynatrace, 2025.

Grafana e ELK (Elasticsearch, Logstash, Kibana) consentono di monitorare le prestazioni del software e raccogliere e analizzare i log del sistema. Questi strumenti forniscono preziose informazioni sull'utilizzo delle risorse, sull'affidabilità dell'infrastruttura e sulla risoluzione di eventuali problemi di prestazioni.

Infine, la gestione centralizzata delle configurazioni e delle politiche di sicurezza dell'infrastruttura è essenziale per garantire uniformità e coerenza tra gli ambienti di sviluppo, test e produzione. Gli strumenti più diffusi nel panorama enterprise sono Puppet, Chef e Ansible.

Dal punto di vista teorico, le metodologie DevOps possono apparire come soluzioni ottimali alle sfide IT aziendali. Tuttavia, osservando la realtà, emerge come molte organizzazioni, in particolare quelle di grandi dimensioni, mantengano un approccio tradizionale legato ad architetture software di tipo monolitico. Tale contesto rende l'adozione di nuove tecnologie difficoltosa e sottolinea la necessità di un piano strategico per una transizione graduale e armoniosa verso un approccio più agile.

Prima di introdurre le metodologie DevOps nella cultura aziendale è doveroso condurre una valutazione dell'attuale situazione interna. Questa valutazione dovrebbe analizzare i processi di sviluppo e distribuzione del software attuali identificando le inefficienze, le mancanze e le possibili aree di miglioramento ed è importante coinvolgere da subito tutti i reparti interessati, inclusi gli sviluppatori, gli operatori IT e i manager, per garantire un allineamento condiviso sugli obiettivi.

Dopo aver valutato le esigenze dell'organizzazione, è necessario identificare gli strumenti e le tecnologie DevOps più adatti per supportare gli obiettivi prefissati. Questa scelta dovrebbe essere guidata da fattori come la scalabilità, la flessibilità, l'integrazione con gli strumenti esistenti e la capacità di adattarsi alle specifiche esigenze. È importante focalizzarsi sugli strumenti che soddisfano realmente i requisiti dell'azienda, evitando soluzioni superflue.

Il passo successivo riguarda la creazione di processi e flussi di lavoro ottimizzati per il ciclo di vita del software: questi dovrebbero coprire tutte le fasi, dall'ideazione iniziale alla distribuzione e al monitoraggio dell'applicazione in produzione. I processi DevOps dovrebbero essere automatizzati il più possibile, consentendo agli sviluppatori e agli operatori di concentrarsi su attività ad alto valore aggiunto anziché su compiti manuali ripetitivi.

Una volta implementati i processi, è fondamentale monitorarne costantemente le prestazioni. Definire e misurare indicatori chiave di prestazione (KPI) consentirà di valutare l'efficacia dell'implementazione dei nuovi paradigmi e di individuare eventuali aree di miglioramento. I KPIs rilevanti possono includere tempi di rilascio, tempo di risposta degli incidenti, tempo di aggiornamento del software, affidabilità dell'infrastruttura e molto altro. Le metriche raccolte aiuteranno a prendere decisioni basate sui dati per ottimizzare ulteriormente i processi e migliorare continuamente l'efficienza e la qualità dei rilasci.

Dall'analisi svolta emerge con chiarezza come DevOps e le metodologie agili condividano lo stesso obiettivo: migliorare l'efficienza e la qualità dello sviluppo delle applicazioni. L'integrazione delle pratiche DevOps con lo sviluppo Agile può creare una sinergia significativa che massimizza i vantaggi di entrambi gli approcci.

Un esempio può essere Scrum (Scwaber e Beedle, 2002), un framework agile che suddivide lo sviluppo software in iterazioni denominate *sprint*, generalmente della durata di 2-4 settimane. Scrum si concentra sulla pianificazione del lavoro, sulla comunicazione e sulla consegna frequente di incrementi funzionali del software. Le tecnologie DevOps possono supportare Scrum fornendo un processo di Continuous Integration e Continuous Deployment, garantendo che ogni incremento di funzionalità sia testato, pronto e distribuibile in modo affidabile. Inoltre, la collaborazione stretta tra gli sviluppatori e gli operatori di produzione facilita la consegna rapida e continua del software, consentendo al team di rispondere prontamente alle esigenze dei clienti e agli eventuali cambiamenti dei requisiti.

Altro esempio degno di nota è Kanban (Anderson, 2020), un sistema di gestione del lavoro visivo che si concentra sulla visualizzazione delle attività in un flusso di lavoro e sul limitare il lavoro in corso. Questo approccio consente di identificare i colli di bottiglia e le inefficienze, migliorando il flusso di lavoro complessivo. DevOps si integra naturalmente con Kanban poiché la collaborazione stretta tra sviluppatori e operatori favorisce la riduzione degli ostacoli e la rapida risoluzione dei problemi. Inoltre, la trasparenza fornita da DevOps attraverso il monitoraggio e il logging aiuta il team a identificare rapidamente eventuali blocchi o ritardi nel flusso di lavoro, consentendo di prendere misure correttive tempestivamente.

Allo stesso modo in cui l'industria tecnologica e le esigenze aziendali continuano a evolversi, anche DevOps si sviluppa per affrontare

nuove sfide e sfruttare nuove opportunità. In quest'ultima parte del paragrafo, verranno esaminate alcune delle tendenze emergenti che si sono sviluppate negli ultimi anni.

Una delle naturali evoluzioni di DevOps è GitOps: questo approccio utilizza Git come unica fonte di riferimento e di controllo per la creazione, l'aggiornamento e l'eliminazione delle componenti infrastrutturali. Il codice che viene inviato al repository controlla il processo CI, mentre il processo CD verifica e applica i requisiti di sicurezza, dell'Infrastructure as Code e di qualsiasi altra configurazione imposta dal framework di sviluppo. GitOps tiene traccia di qualunque modifica al codice per semplificare l'aggiornamento e fornire il controllo delle versioni in caso fosse necessario un ripristino ad una versione precedente e funzionante. Questo garantisce che l'infrastruttura cloud di un sistema sia immediatamente riproducibile in base allo stato di un repository Git.

GitOps risulta particolarmente efficace su architetture basate su container (es. cluster Kubernetes).

Con l'aumento delle minacce di sicurezza informatica, l'integrazione della sicurezza nel processo DevOps diventa essenziale. La tendenza emergente di DevSecOps mira a garantire che la sicurezza sia parte integrante di ogni fase del ciclo di sviluppo del software. Ciò comporta il coinvolgimento precoce del team di sicurezza nei processi DevOps, l'automazione dei test di sicurezza, la valutazione continua dei rischi e l'implementazione di controlli di sicurezza in ogni fase del flusso di lavoro. DevSecOps mira a garantire che la consegna rapida del software non avvenga a discapito della sicurezza.

L'integrazione dell'intelligenza artificiale sta acquisendo rilevanza nella maggior parte degli ambiti enterprise, e il DevOps è naturalmente fra questi: l'IA può essere utilizzata per ottimizzare e automatizzare ulteriormente il processo di sviluppo e distribuzione del software. Ad esempio, gli algoritmi di machine learning possono aiutare a identificare i pattern di anomalie nel monitoraggio dell'infrastruttura e anticipare potenziali problemi. Inoltre, l'IA può essere utilizzata per ottimizzare i flussi di lavoro DevOps, suggerendo miglioramenti basati sui dati e riducendo il tempo di analisi e decisione.

La sostenibilità rappresenta un aspetto sempre più rilevante nel nostro tempo. Anche nel settore tecnologico si osserva una crescente attenzione verso l'impatto ambientale delle attività di sviluppo e IT. Il DevOps sostenibile mira a integrare pratiche di sviluppo e gestione IT

volte a ridurre l'impatto ambientale, come l'ottimizzazione dell'uso delle risorse, l'adozione di infrastrutture a basso consumo energetico e l'utilizzo di tecnologie green. Tale approccio cerca di coniugare la necessità di un'efficienza operativa con la responsabilità sociale e ambientale.

3.2. Architettura a microservizi (significato, architetture, best practices)

Prima di approfondire l'argomento oggetto del presente paragrafo, è essenziale chiarire le definizioni di "microservizi" e "container". Accade con frequenza che questi termini vengano impropriamente impiegati come se fossero intercambiabili, generando ambiguità nel loro utilizzo.

I **microservizi** sono un'architettura software che prevede la scomposizione di un'applicazione monolitica in componenti indipendenti e autonomi chiamati "microservizi". Ogni microservizio corrisponde ad una specifica funzione dell'applicazione e può essere sviluppato, implementato e scalato in modo indipendente dagli altri. I microservizi comunicano tra loro attraverso API, facilitando l'interoperabilità e il disaccoppiamento tra le diverse parti dell'applicazione. Questo approccio consente una maggiore flessibilità nello sviluppo, nell'aggiornamento e nella gestione delle applicazioni, e favorisce la modernizzazione delle infrastrutture IT.

I **container** sono ambienti virtualizzati e isolati che consentono di eseguire un'applicazione e tutte le sue dipendenze in modo indipendente dal sistema operativo dell'host. Un container include il codice dell'applicazione, le librerie, le dipendenze e i file di configurazione necessari per il suo funzionamento. I container consentono un rapido avvio e di interrompere l'applicazione senza influire sul resto del sistema. Questa tecnologia consente di creare immagini standardizzate e portabili che possono essere eseguite su qualsiasi infrastruttura cloud o on-premises, semplificando il processo di distribuzione e scalabilità delle applicazioni.

Tornando ai primi, i microservizi sono quindi costituiti da servizi che sono debolmente accoppiati e possono essere sviluppati, distribuiti, modificati e ridistribuiti in modo indipendente dagli altri. Questo approccio consente di distribuire in modo rapido e semplice le singole funzioni di un'applicazione.

Ad esempio, grazie all'architettura di microservizi, i team possono sperimentare nuove funzioni ed eseguire il rollback in caso di problemi. Ciò semplifica l'aggiornamento del codice e accelera il time-to-market delle nuove funzioni, oltre ad agevolare il processo di isolamento e correzione degli errori nei singoli servizi.

Tale approccio favorisce la creazione di servizi da parte di team di poche unità e indipendenti. Questi sono incoraggiati ad adottare pratiche Agile e DevOps, che consentono loro di lavorare in modo indipendente e più rapidamente, riducendo i tempi del ciclo di sviluppo.

L'architettura di microservizi permette di organizzare i servizi in base alle funzionalità aziendali. I team sono interfunzionali e dispongono di tutte le competenze necessarie per sviluppare e soddisfare le singole funzionalità.

I team che si occupano della creazione e della gestione dei microservizi adoperano pratiche di automazione dell'infrastruttura come **continuous integration (CI)**, **continuous deployment (CD)**. Queste pratiche consentono di creare e distribuire ciascun servizio in modo indipendente senza influire sugli altri team e consentono altresì di distribuire nuove versioni di servizi fianco a fianco con quelle precedenti.

L'architettura di microservizi è spesso adottata da organizzazioni che desiderano modernizzare le proprie applicazioni, migliorare la scalabilità e la velocità di sviluppo, e adottare un approccio più agile e modulare alla progettazione delle applicazioni.

Online Boutique è un'applicazione demo sviluppata da Google per dimostrare l'utilizzo delle architetture a microservizi e di alcune nuove tecnologie, come Kubernetes, Istio, Stackdriver e gRPC e ideata allo scopo di illustrare come costruire e gestire un'applicazione nativa per il cloud basata su microservizi (GitHub Inc., n.d.) .

L'applicazione simula un e-commerce e offre funzionalità per la navigazione tra gli oggetti in vendita, l'aggiunta di prodotti al carrello e l'acquisto degli stessi. Tuttavia, è importante notare che, trattandosi di una demo, alcune funzioni comuni in un'applicazione e-commerce reale, come il login/logout degli utenti e le impostazioni di pagamento, non sono state implementate.

Online Boutique, progettata per essere facilmente installata senza richiedere configurazioni complesse, è composta da 11 microservizi, componenti software indipendenti e autonomi, che comunicano tra loro attraverso il protocollo gRPC. Questo approccio offre un'ampia flessibilità nello sviluppo e nell'aggiornamento delle diverse funzionalità dell'applicazione.

Gli 11 microservizi sono scritti in diversi linguaggi di programmazione, quali Go, C Python, Node.js e Java, e la loro architettura si struttura secondo lo schema rappresentato in figura 3.2:

Ciascun approccio architetturale presenta vantaggi e sfide specifici, e i microservizi non costituiscono un'eccezione. Sebbene quanto descritto finora possa sembrare un approccio promettente, esso comporta tuttavia delle problematiche con cui è necessario confrontarsi.

Sebbene lo sviluppo di un singolo servizio possa essere un'operazione lineare, l'architettura basata su servizi indipendenti introduce sfide significative in termini di scrittura, testing e gestione. La natura decentralizzata dell'implementazione dei microservizi rende difficile la standardizzazione, complicando di conseguenza la gestione complessiva dell'applicazione. Pertanto, al fine di garantire la coerenza dell'intero sistema, si rivela di estrema importanza definire chiare linee guida e standard progettuali. Strumenti specifici per le dipendenze dei servizi e pratiche di sviluppo collaborativo (come quelle descritte nel paragrafo precedente) possono essere utili se propriamente integrati nella cultura aziendale. I microservizi sono sistemi altamente distribuiti che richiedono una conoscenza approfondita di diverse tecnologie e competenze di sviluppo. Pertanto, è essenziale valutare attentamente se il team possiede le competenze necessarie per gestire con successo un'architettura di questo tipo.

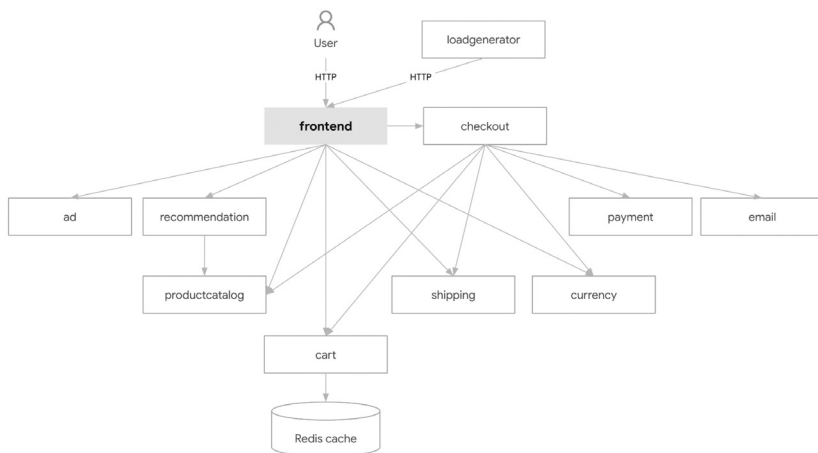


Fig. 3.2. I microservizi.

Fonte: GoogleCloudPlatform, Microservices Demo (repository GitHub). Disponibile su: <https://github.com/GoogleCloudPlatform/microservices-demo>.

Inoltre, l'architettura basata su microservizi introduce un elevato grado di complessità a causa del numero di servizi coinvolti e delle interazioni che si verificano tra di essi. Tale complessità può essere gestita con l'ausilio di un'adeguata progettazione e di strumenti di monitoraggio efficaci. Tuttavia, l'uso contemporaneo di numerosi servizi può intensificare il traffico di rete e aumentare i tempi di latenza. Di conseguenza, è importante progettare le API in modo efficiente e considerare modelli di comunicazione asincrona quando appropriato.

Un'ulteriore sfida relativa all'architettura dei microservizi riguarda la gestione dei dati e della loro coerenza. A tal proposito, l'implementazione di meccanismi di coerenza finale può agevolare la garanzia dell'integrità dei dati.

Dall'analisi fin qui effettuata emerge chiaramente come il passaggio da un sistema monolitico ad un'architettura basata su microservizi non sia un processo immediato, ma che al contrario, esso richieda un refactoring completo dell'applicazione. Ciò comporta un investimento iniziale significativo non solo in termini di progettazione e di riscrittura ma anche e soprattutto di formazione.

Per consentire una transizione graduale dal modello tradizionale, alcune tecniche prevedono lo scorporo progressivo di singole funzioni dal monolite, che persiste come applicazione centralizzata interfacciabile tramite API. Tuttavia, tali procedure possono introdurre inefficienze nel sistema e rappresentano pertanto soluzioni temporanee per garantire la continuità del servizio. Tra queste tecniche un esempio è la metodologia a 12 fattori.

La metodologia a 12 fattori, sviluppata da Adam Wiggins (Wiggins, 2017) si configura come un canone per lo sviluppo di applicazioni in ambienti cloud, delineando un framework che prescrive pratiche operative per massimizzare le proprietà di resilienza, scalabilità e manutenibilità. Questo insieme di principi è stato articolato con lo scopo di fornire una guida metodologica per affrontare le sfide tecniche intrinseche al cloud computing e ai paradigmi di sviluppo moderni, come i microservizi.

Il primo fattore sottolinea la necessità di una corrispondenza biunivoca tra il codebase e l'applicazione. L'intento è garantire l'integrità del software e la tracciabilità delle modifiche, prevedendo che ogni versione dell'applicazione possa essere ricondotta a una specifica versione del codebase. Questo principio è fondamentale per sostenere una base solida di continuous delivery e integration.

La gestione delle dipendenze emerge come secondo fattore. Il manifesto prescrive che le dipendenze debbano essere esplicitamente dichiarate e gestite, eliminando la variabilità dell'ambiente di esecuzione come fonte di inconsistenze. Questo approccio facilita la replicabilità degli ambienti di sviluppo e di produzione e scongiora i rischi legati alla discrepanza tra ambienti diversi.

Il terzo fattore tratta la configurazione dell'applicazione, che dovrebbe essere staccata dal codice e gestita come parte dell'ambiente di esecuzione. Questo principio promuove la portabilità del software e una netta separazione tra codice applicativo e configurazione operativa, vitali per mantenere un'architettura pulita e per facilitare la gestione dei diversi ambienti di deploy.

Per quanto riguarda i servizi di supporto, il quarto fattore avanza l'idea che questi debbano essere trattati come risorse annessibili, accessibili tramite endpoint, che possono essere collegati e scollegati senza impatti sul codebase. Questa strategia assicura flessibilità nel cambio dei servizi e promuove una maggiore modularità.

Il processo di costruzione, rilascio e esecuzione è segmentato in fasi distinte, ciascuna con il proprio ruolo e responsabilità, come delineato nel quinto fattore. Questa separazione consente di definire chiaramente il ciclo di vita dell'applicazione e di automatizzare i processi di deployment e di rollback.

I processi applicativi sono al centro del sesto fattore, che stabilisce che debbano essere stateless e condividere nulla, garantendo indipendenza e scalabilità. Questa caratteristica è essenziale per l'elasticità del sistema e la sua capacità di adattarsi a variazioni di carico.

Il binding delle porte è il tema del settimo fattore, che sottolinea l'autosufficienza dell'applicazione nel gestire le interazioni di rete, evitando dipendenze da server web esterni e facilitando la containerizzazione e il deployment in ambienti cloud.

La concorrenza, ottavo fattore, viene gestita attraverso l'esecuzione di processi distribuiti, consentendo all'applicazione di gestire carichi di lavoro variabili e di essere scalata orizzontalmente. Questo principio è cruciale per garantire la disponibilità e la performance del sistema.

La rilasciabilità dell'applicazione, come descritto nel nono fattore, è fondamentale per assicurare che l'applicazione possa essere avviata o fermata rapidamente, facilitando la manutenzione e il deployment continuo.

Il decimo fattore, la parità tra gli ambienti di sviluppo e produzione, è imperativo per ridurre il gap tecnologico e culturale tra sviluppo e operatività, promuovendo pratiche di continuous deployment e integrazione.

L'undicesimo fattore riguarda il trattamento dei log, che devono essere considerati come flussi di eventi, e la loro gestione deve essere delegata a sistemi esterni, separando la responsabilità della registrazione degli eventi dalla logica applicativa.

Infine, il dodicesimo fattore si concentra sui processi di amministrazione, che devono essere eseguiti in contesti isolati e riproducibili, evitando di impattare il funzionamento ordinario dell'applicazione e garantendo la coerenza attraverso gli ambienti.

3.3. Architetture basate su container: soluzione cloud native

Nel corso del precedente paragrafo è stata presentata la definizione di container e si è fatto riferimento al modo in cui questo abiliti l'esecuzione di un'applicazione in un ambiente virtuale isolato, fornendo tutte le risorse e le tecnologie essenziali, tra cui strumenti di sistema, librerie, codice binario, dipendenze, file eseguibili e file di configurazione. Tutto ciò è reso possibile attraverso una forma di virtualizzazione che agisce a livello del sistema operativo.

In ambito di sviluppo software l'impiego di un'intera macchina virtuale e delle relative risorse hardware, risulta eccessivo rispetto all'obiettivo di eseguire un'applicazione in un ambiente isolato e. In tali casi, è più che sufficiente condividere le risorse del sistema operativo host. Pertanto, i container che operano sullo stesso server condividono lo stesso sistema operativo.

All'apparenza, tale condivisione del sistema operativo potrebbe sembrare un limite. Tuttavia, l'emergere di piattaforme che consentono l'esecuzione di container su host differenti ha mitigato tale problematica. Tale soluzione è applicabile anche nel caso in cui le configurazioni dei sistemi operativi non siano del tutto identiche rispetto allo stato iniziale di creazione. Nell'ambito della tecnologia dei container emerge come strumento di riferimento Docker, progetto open source sviluppato dalla Docker Inc.

Docker, scritto nel linguaggio di programmazione Go, sfrutta diverse funzionalità del kernel Linux per eseguire le sue prestazioni. Tra queste, al fine di creare un container, Docker impiega *namespaces*, una

funzione che implementa un livello di isolamento. Ogni parte di un container opera all'interno di un diverso namespace e interagisce solo con esso. Di conseguenza, quando un container viene lanciato, Docker configura per esso una serie di namespaces (*Docker Overview*, n.d.). Inoltre, allo stesso modo dei container Linux, i container Docker si avvalgono dei cosiddetti control groups, i quali monitorano gruppi di processi e forniscono metriche relative all'uso di diversi sottosistemi, quali CPU, memoria e I/O su blocco (*Runtime Metrics*, n.d.).

Gli strumenti basati su container, Docker compreso, seguono un modello di deployment basato su immagini (modelli statici di applicativi), semplificando la condivisione di applicazioni o servizi con tutte le relative dipendenze tra diversi ambienti. Docker automatizza anche il deployment delle applicazioni o dei processi all'interno dell'ambiente containerizzato.

Mentre i container Linux tradizionali si avvalgono di un'inizializzazione in grado di gestire più processi, la tecnologia Docker favorisce la scomposizione delle applicazioni in processi singoli, grazie agli strumenti necessari. Questo approccio dettagliato presenta vantaggi notevoli.

L'approccio di Docker segue quanto già detto nei paragrafi precedenti riguardanti la modularità in ambito DevOps e microservizi: è possibile "smontare" un singolo container per aggiornarlo o ripararlo senza influenzare l'intera applicazione. Inoltre, la creazione di tag di immagini Docker consente un controllo dettagliato delle versioni e semplifica il processo di deployment. Questa metodologia offre una struttura agile, facilitando l'integrazione e il deployment continui.

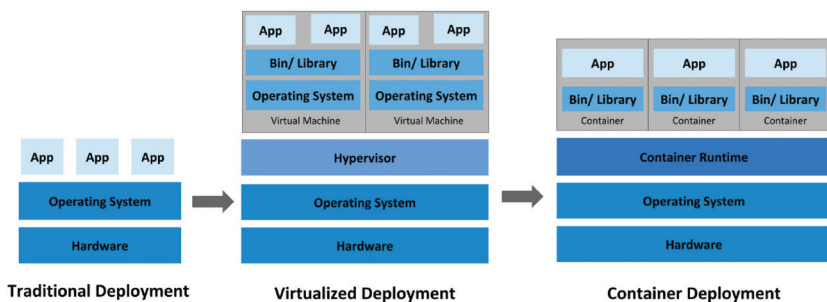


Fig. 3.3. La struttura di Kubernetes.

Fonte: Kubernetes.io, Cos'è Kubernetes. Disponibile su: <https://kubernetes.io/it/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes>.

Infine, sebbene Docker offra una maggiore agilità nella gestione di container singoli, il passaggio a una gestione più avanzata che consente l'orchestrazione di container richiede l'utilizzo di soluzioni come Kubernetes, che gestiscono la complessità dei servizi e delle reti tra le istanze.

Anche Kubernetes è una piattaforma open source, progettata per gestire carichi di lavoro e servizi containerizzati, facilita sia la configurazione dichiarativa che l'automazione ed è supportata da un vasto ecosistema in crescita.

Il nome "Kubernetes" deriva dal greco e significa "timoniere" o "pilota". Google ha reso open source il progetto Kubernetes nel 2014, coniugando oltre quindici anni di esperienza di gestione di carichi di lavoro su scala mondiale anche grazie alla partecipazione di tutta la sua community.

Kubernetes offre un framework per la gestione resiliente dei sistemi distribuiti. Si occupa di scalabilità, failover, distribuzione delle applicazioni e altro ancora. Fornisce strumenti per la scoperta dei servizi, orchestrazione dello storage, rollout/rollback automatici, ottimizzazione dei carichi, self-healing e gestione delle informazioni sensibili e della configurazione.

Kubernetes non può essere paragonato a un sistema PaaS completo, ma offre funzionalità PaaS come distribuzione, bilanciamento del carico e monitoraggio(Figura 3.3)

Per capire meglio le potenzialità di questo framework, è necessario fornire alcune definizioni degli oggetti più rappresentativi per il funzionamento di un'applicazione che deve essere istanziata su Kubernetes:

- **Pod:** Un Pod è la più piccola unità distribuibile in Kubernetes. Contiene uno o più container e rappresenta un processo in esecuzione su un nodo del cluster.

I container all'interno di un Pod condividono lo stesso spazio di rete e archiviazione, e sono spesso utilizzati per eseguire componenti correlati che devono interagire tra loro.

- **Namespace:** Un Namespace è una suddivisione virtuale di un cluster Kubernetes che consente di isolare risorse e oggetti all'interno dello spazio condiviso. È utilizzato per organizzare e gestire le risorse in modo logico e separato. Ad esempio, sono utilizzati per separare le risorse e le applicazioni tra diversi team o ambienti di sviluppo, migliorando la gestione e l'isolamento delle risorse.

- **ReplicaSet:** Un ReplicaSet gestisce un numero specificato di repliche (istanze) di un Pod, garantendo che il numero desiderato di copie sia sempre in esecuzione.

I ReplicaSet vengono utilizzati per garantire la disponibilità e consentire il ripristino veloce in caso di errore.

- **Deployment:** Un Deployment fornisce funzionalità aggiuntive rispetto a un ReplicaSet. Gestisce l'aggiornamento delle versioni delle applicazioni in modo dichiarativo e supporta il rollback a versioni precedenti in caso di problemi.
- **Service:** Un Service è una risorsa Kubernetes che espone un gruppo di Pod come un singolo endpoint di rete. Fornisce un meccanismo stabile per la comunicazione con i Pod, indipendentemente dalle loro posizioni.

I Service sono utilizzati per abilitare la comunicazione tra i diversi componenti delle applicazioni e per esporre le applicazioni all'esterno del cluster.

- **Load Balancer:** Un Load Balancer è una risorsa Kubernetes che consente di bilanciare il traffico in ingresso tra più istanze di un Service. Spesso viene utilizzato per distribuire il traffico tra i Pod all'interno di un cluster.

I Load Balancer sono utilizzati per garantire la scalabilità e l'affidabilità delle applicazioni distribuendo il traffico tra le istanze dei Servizi.

- **Persistent Volume:** Un Persistent Volume (PV) è una risorsa Kubernetes che rappresenta uno spazio di archiviazione persistente, come un disco o un volume. I Persistent Volume Claims (PVC) sono richieste di archiviazione fatte dai Pod per ottenere accesso a uno spazio di archiviazione persistente.

I PV e i PVC sono utilizzati per consentire ai container di memorizzare dati in modo persistente, ad esempio per database o file di configurazione che devono sopravvivere al riavvio dei Pod.

Questi elementi base, uniti ad altri, garantiscono una gestione ordinata di tutti gli elementi che compongono un'applicazione e la rendono, a tutti gli effetti, altamente portabile da un ambiente kubernetes

a un altro. Da qui risulta quindi chiaro il perchè questa tecnologia ha preso velocemente piede all'interno dei reparti IT delle aziende e perchè tutti i colossi tecnologici del settore stanno investendo tempo e risorse sulla containerizzazione.

Ma, come si può immaginare, esistono dei limiti entro i quali è sconsigliato passare ai container. Molto spesso infatti, specie per le applicazioni che hanno carichi irrisori, la gestione di un cluster kubernetes risulta più onerosa di quella dell'applicazione stessa, rendendo quindi tutto il processo inefficiente.

Questo perchè kubernetes ha un'architettura che consta di due parti principali: La Control Plane e i Worker Node.

La control plane è il componente centrale che gestisce e coordina tutte le attività del cluster. Questo piano di controllo è costituito da vari componenti essenziali che lavorano insieme per garantire che il cluster Kubernetes funzioni correttamente.

I "worker node", invece, o "nodi di calcolo", rappresentano la parte del cluster che effettivamente esegue i container e fornisce le risorse computazionali necessarie per le applicazioni.

Ogni nodo può ospitare uno o più pod. I container all'interno di un pod condividono lo stesso contesto di rete e archiviazione. Ogni nodo worker mette a disposizione risorse fisiche come CPU, memoria, spazio di archiviazione e capacità di rete per la corretta esecuzione. Kubernetes gestisce la distribuzione delle risorse e garantisce che le applicazioni abbiano accesso alle risorse richieste.

La componente software detta "kubelet" è in esecuzione su ciascun nodo. Si collega alla control plane e si occupa di gestire i container sul nodo. La kubelet assicura che i pod vengano eseguiti correttamente e che il loro stato sia conforme alla definizione.

Il "container runtime" è uno strato software che si occupa dell'esecuzione dei container. Kubernetes può essere configurato per utilizzare diversi runtime, tra cui Docker e containerd. Il runtime è responsabile dell'avvio, dell'arresto e della gestione dei container stessi.

Molto spesso la configurazione di kubernetes sul proprio datacenter ne disincentiva l'utilizzo poiché il provisioning e la gestione della control plane risulta essere un overhead non di poco conto rispetto ai carichi di lavoro previsti.

I cloud service provider sono quindi venuti incontro alle esigenze dei loro clienti ed hanno quindi sviluppato dei servizi KaaS (Kubernetes as a Service).

La versatilità dell'ambiente Kubernetes all'alta scalabilità e al modello di consumo dei provider hanno fatto sì che anche le piccole e medie imprese potessero virare verso le architetture a microservizi con facilità e con il giusto effort.

Tra i servizi KaaS più utilizzati vi sono Amazon EKS (Elastic Kubernetes Service), AKS (Azure Kubernetes Service) e GKE (Google Kubernetes Engine).

4. La strategia digitale in Europa e in Italia

Andrea Rocchi, Pietro Vito, Vittorio Costa

L'adozione diffusa di infrastrutture cloud-native, come delineato nel Capitolo 3, enfatizza l'importanza del Cloud Computing nel contesto IT odierno (Armbrust et al., 2010). Il passaggio a tali architetture costituisce un avanzamento che va oltre il semplice progresso tecnologico, segnando una svolta strategica decisiva nel ripensare le pratiche di sviluppo e gestione delle applicazioni aziendali (Mahdi, 2021). Questo processo ha gettato le basi per l'elaborazione di una strategia digitale coesa a livello nazionale ed europeo (Lee, 2020). L'integrazione di tecnologie cloud-native non si limita a essere una scelta operativa per le imprese, ma assume un ruolo centrale nelle politiche nazionali volte a stimolare l'innovazione, la competitività e lo sviluppo economico, aspetti essenziali in un contesto economico globale in crescente digitalizzazione (Hornor, 2022).

4.1. Introduzione

Nel corso dell'ultimo decennio, l'Europa, e, in particolare, l'Italia hanno assistito a una profonda trasformazione socio-economica portata avanti dalla crescente digitalizzazione (Istat, 2022). Questa evoluzione non rappresenta solo una mera transizione dall'analogico al digitale, ma incarna una rivoluzione che interseca diversi settori, modellando nuovi modi di fare business, interagire socialmente e governare (Rymarczyk, 2020; Westerman et al., 2014). Un concetto chiave in questo scenario è il cloud computing, un paradigma che ha riscritto le regole della fornitura di servizi informatici (Buyya, Broberg, & Goscinski, 2011). Attraverso una vasta rete di dispositivi hardware e software,

servizi come storage online, applicazioni web e intelligenza artificiale sono ora accessibili via web a milioni di utenti (Mell & Grance, 2011).

Nel contesto europeo, l'Unione ha identificato, tra luci e ombre, la digitalizzazione come una leva essenziale per accrescere la sua competitività globale (Kwilinski, Vyshnevskiy, & Dzwigol, 2020). Gli investimenti, le politiche e le iniziative sono stati mirati a garantire che la transizione digitale sia equa, sostenibile e orientata alla crescita (<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digital-skills-coalition>). L'Italia, nel suo specifico contesto, ha abbracciato questa visione ma ha dovuto affrontare sfide uniche date dalla sua struttura economica e dal suo tessuto imprenditoriale, caratterizzato in gran parte da piccole e medie imprese (PMI) (Hall, Lotti, & Mairesse, 2009). Una parte rilevante di questa trasformazione è rappresentata dalle "Cloud Regions", aree geografiche che ospitano data center interconnessi. Questi centri rappresentano più di semplici depositi di dati; sono simboli tangibili del progresso digitale di una nazione e catalizzatori di sviluppo economico, competitività e innovazione (Wickremasinghe, Calheiros, & Buyya, 2010).

La recente apertura della Cloud Region in Piemonte, nata dalla collaborazione tra colossi come Google Cloud e TIM, rappresenta un passo significativo in questa direzione (Pellitteri, 2020). La sua posizione strategica, unita all'ubicazione di una simile struttura già inaugurata a Milano, potrebbe determinare un cambio di paradigma nella distribuzione e nell'accesso ai servizi cloud in Italia. L'ubicazione di queste strutture in due delle principali aree metropolitane italiane non è casuale; essa riflette una strategia mirata a migliorare l'accesso ai servizi cloud e a facilitare la transizione delle organizzazioni verso soluzioni digitali più avanzate. La prossimità geografica dei data center alle aziende e agli utenti finali riveste un'importanza fondamentale, poiché riduce la latenza, garantendo tempi di accesso più rapidi e risposte più efficienti alle esigenze degli utenti (Ridge, 2023). Analogamente, l'iniziativa di Microsoft di stabilire una regione cloud in Italia mira a rafforzare le capacità delle imprese locali e del settore pubblico, attraverso un miglioramento delle competenze digitali e delle infrastrutture tecnologiche (Microsoft, 2023). Nel contesto più ampio dell'evoluzione digitale, tali infrastrutture sosterranno l'accelerazione della digitalizzazione di entità diverse, da aziende locali a enti pubblici e organizzazioni a livello globale e creeranno numerose opportunità di lavoro (Google, 2023).

Tuttavia, per comprendere veramente l'importanza di questi sviluppi, è fondamentale avere una panoramica dettagliata del livello di digitalizzazione dell'Italia. La relazione sullo stato del decennio digitale della Commissione europea, insieme all'indice DESI, offrono una tale prospettiva, analizzando diverse dimensioni dalla capacità digitale delle persone alle infrastrutture tecnologiche (Commissione Europea, 2023). La strategia nazionale per il Cloud e le infrastrutture chiave, come la diffusione delle linee ADSL e fibra ottica, saranno essenziali per il successo futuro dell'Italia come nazione digitale.

Questo capitolo si propone di esplorare in profondità il contesto italiano ed europeo della digitalizzazione, valutando l'impatto e le potenzialità delle Cloud Region e fornendo spunti di riflessione su questioni cruciali come la sicurezza e la sovranità dei dati.

4.2. Digital Economy and Society Index (DESI)

4.2.1. Il Digital Economy and Society Index (DESI)

Il Digital Economy and Society Index (DESI) è un indicatore composito utilizzato per valutare le prestazioni digitali e la competitività delle economie dei paesi dell'UE attraverso diverse categorie, tra cui connettività, capitali umani, utilizzo di internet, integrazione della tecnologia digitale e servizi pubblici digitali. Il DESI rappresenta uno degli strumenti fondamentali messi in campo dall'Unione Europea per valutare e monitorare la performance digitale dei suoi Stati membri. Concepito come un indice composito, il DESI offre una panoramica completa e multidimensionale dello sviluppo delle economie digitali all'interno dell'UE, mettendo in luce sia le aree di forza che quelle di debolezza di ciascun paese membro (Stavytskyy, Kharlamova, & Stoica, 2019).

Il DESI è strutturato lungo cinque dimensioni principali, ciascuna delle quali considerava vari indicatori per offrire un quadro dettagliato del livello di digitalizzazione:

1. **Capitale Umano:** Misura la competenza digitale della popolazione. Ciò include la percentuale di cittadini che utilizzano internet regolarmente, quelli che possiedono competenze digitali di base o avanzate e il numero di laureati nelle discipline STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics – scienza, tecnologia, ingegneria e matematica).

2. **Infrastrutture Digitali:** Analizza la disponibilità e l'adozione di connessioni internet veloci e ultraveloci, sia fisse che mobili. La sua finalità è capire quanto siano diffuse e accessibili queste tecnologie nelle diverse nazioni.
3. **Uso di Internet tra i Cittadini:** Si concentra sull'attività online degli individui, valutando come utilizzano internet per svariate finalità, che vanno dalla comunicazione ai servizi pubblici online, fino alla fruizione di contenuti.
4. **Integrazione delle Tecnologie Digitali nelle Imprese:** Considera la digitalizzazione del mondo imprenditoriale, esaminando quanto le aziende sfruttano le opportunità offerte dalle tecnologie digitali, dall'e-commerce all'uso di soluzioni basate sul cloud.
5. **Servizi Pubblici Digitali:** Valuta la digitalizzazione dei servizi pubblici, considerando aspetti come l'e-Government, la disponibilità di servizi online e l'uso di soluzioni digitali per facilitare l'interazione tra cittadini e amministrazioni pubbliche.

La combinazione di questi indicatori all'interno delle cinque dimensioni principali fornisce un punteggio complessivo per ciascuno stato membro, permettendo così comparazioni tra paesi e tracciando l'evoluzione della digitalizzazione nel tempo. L'obiettivo del DESI non è soltanto fornire una "fotografia" dello stato attuale, ma anche stimolare gli Stati membri ad adottare politiche efficaci per affrontare le sfide digitali, promuovere l'innovazione e garantire che l'Europa rimanga competitiva nell'era digitale (European Commission, 2022).

4.2.2. Il "Decennio Digitale" 2030

A partire dal 2023, in linea con il programma strategico per il decennio digitale 2030, il DESI è integrato nella relazione sullo stato del decennio digitale e utilizzato per monitorare i progressi verso il conseguimento degli obiettivi digitali. Il "Decennio Digitale" dell'Unione Europea è un'iniziativa che mira a plasmare la trasformazione digitale dell'Europa con l'orizzonte temporale fino al 2030. Il programma è stato delineato dalla Commissione Europea con l'obiettivo di accelerare lo sviluppo e l'uso di tecnologie digitali in modo che tutti gli individui e le imprese possano trarne beneficio. Gli obiettivi specifici del programma riguardano varie aree di intervento come la connettività, le competenze, la digitalizzazione delle imprese e la transizione verde (<https://>

digital-strategy.ec.europa.eu/it/policies/europes-digital-decade). Il Decennio Digitale si pone gli obiettivi seguenti:

- Assicurare che tutti i cittadini europei abbiano accesso a internet ad alta velocità.
- Promuovere competenze digitali per tutti, per consentire una partecipazione attiva e informata nella società digitale.
- Garantire la trasformazione digitale delle imprese, con particolare attenzione alle PMI.
- Sviluppare infrastrutture digitali sicure, performanti e sostenibili, con l'adozione di tecnologie come l'intelligenza artificiale e la blockchain.
- Rafforzare la leadership digitale europea, con un focus su dati e tecnologie che rispettino i valori europei e i diritti fondamentali.

La relazione sullo stato del decennio digitale è un documento pubblicato annualmente dalla Commissione Europea che monitora i progressi compiuti dai paesi membri nei confronti di questi obiettivi. La relazione incorpora il Digital Economy and Society Index (DESI) come uno dei suoi strumenti di valutazione, fornendo un'analisi approfondita dei progressi e delle aree di miglioramento e fornisce anche una panoramica dettagliata sullo stato di avanzamento delle iniziative, dei progetti e delle politiche adottate a livello europeo e nazionale nel contesto della strategia digitale. La relazione offre una base concreta per la discussione e la pianificazione delle future politiche digitali, offrendo a tutti gli stakeholder coinvolti – dai decisori politici alle aziende e ai cittadini – una preziosa risorsa informativa per comprendere meglio dove e come è necessario agire per garantire che l'Europa non solo tenga il passo con le evoluzioni digitali ma possa anche fungere da leader nella definizione di standard e pratiche globali e prevenire l'esclusione sociale (Kwilinski, Vyshnevskyi, & Dzwigol, 2020).

4.2.3. La posizione dell'Italia

Nel panorama europeo tracciato dal DESI, l'Italia presenta un quadro di luci e ombre, con specifiche aree in cui brilla e altre in cui è necessario un impegno rinnovato. Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) del paese rappresenta un impegno sostanziale verso la transizione digitale, destinando 48 miliardi di euro, ovvero il 25% del suo budget totale, alla trasformazione digitale. Questo finanziamento mira a rafforzare le infrastrutture digitali, le competenze digitali dei

cittadini, la digitalizzazione delle imprese e dei servizi pubblici, enfatizzando l'importanza della tecnologia come pilastro per il futuro prospero dell'Italia (Camera dei Deputati, 2023).

Stando al report 2023, in ambito infrastrutturale, nonostante l'Italia si collochi sotto la media UE per quanto riguarda la copertura di rete a capacità molto alta, ha fatto significativi balzi in avanti, con una copertura 5G raggiunta a livello nazionale nel 2021 e l'assegnazione del 93% dello spettro armonizzato. Questi sforzi si affiancano all'avanguardia raggiunta nel campo del High-Performance Computing (HPC) e del quantum computing, rappresentata dal supercomputer LEONARDO e dall'infrastruttura TeRABIT, che promette scambio dati a velocità di terabit.

Nonostante queste e altre iniziative, tuttavia, l'Italia deve confrontarsi con la sfida di migliorare le competenze digitali della popolazione, dove solo il 46% dei cittadini possiede abilità digitali di base. Il gap di competenze è evidenziato anche dal basso numero di laureati in ICT e dalla scarsa rappresentanza femminile nel settore rispetto alla media europea. Per rispondere a queste criticità, l'Italia ha adottato una strategia nazionale e ha incluso misure specifiche nel PNRR, ma è necessario un impegno maggiore per implementare formazione e aggiornamento professionale, soprattutto per incrementare l'adozione di AI e big data tra le imprese.

Proprio nel settore della digitalizzazione delle imprese, l'Italia mostra una buona base con l'adozione di tecnologie digitali tra le PMI, superando la media UE nell'uso di fatture elettroniche e nel commercio elettronico. Tuttavia, la sfida rimane nell'espandere l'utilizzo di tecnologie più avanzate e nel sostenere la scalabilità delle start-up, aspetti nei quali l'Italia è ancora in fase di sviluppo e richiede una politica di sostegno mirata (Skare, de las Mercedes de Obesso, & Ribeiro-Navarrete, 2023).

Quanto ai servizi pubblici, il paese si trova di fronte alla necessità di un rinnovato slancio per migliorare la digitalizzazione e l'accessibilità dei servizi offerti ai cittadini e alle imprese. Sebbene vi siano stati progressi, come l'adozione del sistema di identità digitale e di cartelle cliniche elettroniche, sono necessari ulteriori sforzi per accelerare l'implementazione delle misure previste, migliorare l'interoperabilità dei dati e garantire un approccio user-centric nei servizi pubblici.

Infine, l'Italia si impegna a livello internazionale, collaborando attivamente con gli altri Stati membri dell'UE per l'istituzione di consorzi e partenariati nel settore della cybersecurity e della blockchain. La partecipazione a progetti come l'IPCEI sulla 'Microelettronica e Tecnologie

per la Comunicazione' e il sostegno a 13 Hub di Innovazione Digitale Europei (EDIH) dimostra l'orientamento strategico del paese verso un'innovazione condivisa e un'integrazione europea più forte.

L'adozione di questi piani e progetti non è solo un passo verso il raggiungimento degli obiettivi del Decennio Digitale, ma rappresenta anche un'opportunità per l'Italia di posizionarsi come leader nell'era digitale, promuovendo crescita, innovazione e inclusione sociale. La determinazione con cui il paese sta perseguendo questi obiettivi è fondamentale per il suo successo e richiederà un monitoraggio costante e un dialogo aperto tra tutti gli attori coinvolti, dal governo alle imprese, passando per la società civile.

In sintesi, il percorso dell'Italia verso la digitalizzazione è in corso con molteplici iniziative che toccano diversi settori. Sebbene siano presenti sfide significative, le azioni intraprese e pianificate offrono una visione positiva per il futuro digitale del paese.

Sebbene il punteggio complessivo rappresenti un miglioramento rispetto agli anni precedenti, l'Italia affronta sfide significative. La connettività ad alta velocità e la diffusione della banda larga ultraveloce, ad esempio, sono aree in cui l'Italia ha ottenuto punteggi bassi, così come l'utilizzo di tecnologie digitali da parte delle imprese. Questi dati sono ulteriormente enfatizzati dal ranking del capitale umano, dove l'Italia

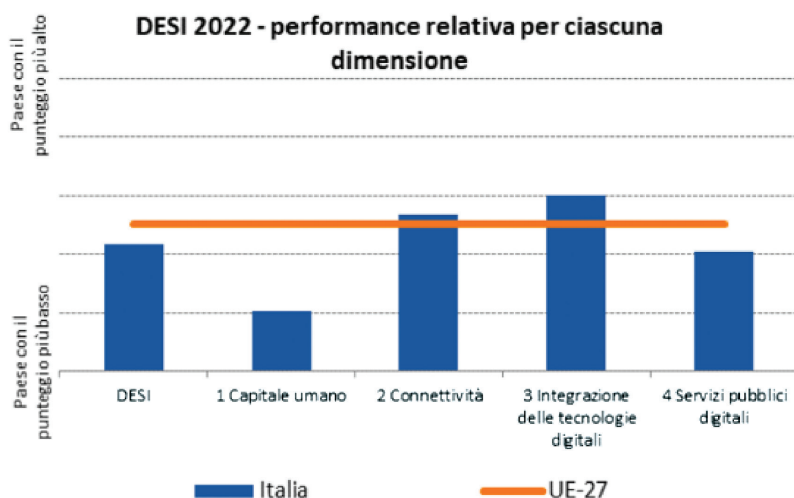


Fig. 4.1. DESI, Performance relativa per ciascuna dimensione.

Fonte: Commissione Europea, *Indice di digitalizzazione dell'economia e della società (DESI) 2022 – Italia*, Bruxelles, 2022.

si trova al 25° posto su 27, con un esiguo 1,4% di giovani laureati in discipline ICT. Tuttavia, è da notare positivamente il 16% di donne nel settore, dimostrando una crescente inclusività di genere nel campo ICT.

Durante la pandemia di Covid-19, l'Italia ha intrapreso iniziative significative per potenziare le competenze digitali della popolazione, con un'attenzione particolare al settore dell'istruzione e del lavoro. Questo è un segno del riconoscimento dell'importanza della digitalizzazione in un mondo post-pandemico.

In conclusione, mentre l'Italia ha certamente realizzato progressi nel percorso verso la digitalizzazione, rimane un significativo margine di miglioramento. L'analisi DESI fornisce una mappa chiara delle aree su cui focalizzarsi, garantendo che il paese possa raggiungere il suo pieno potenziale nell'era digitale.

4.3. La strategia Cloud Italia

4.3.1. Panoramica e obiettivi

La Strategia Cloud Italia rappresenta una tappa fondamentale nel percorso di trasformazione digitale del Paese. Questa strategia non si limita a delineare un piano tecnologico, ma piuttosto un visionario progetto di rinnovamento, mettendo al centro le nuove tecnologie cloud come strumento per riformare, modernizzare e innovare sia il settore pubblico che quello privato (Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2021).

In un'epoca in cui l'agilità, la scalabilità e la reattività sono diventate imperativi per qualsiasi organizzazione, il cloud offre una risposta, consentendo alle istituzioni di adattarsi rapidamente alle esigenze in continua evoluzione. Con il potenziale di ridurre i costi, aumentare l'efficienza e promuovere la collaborazione inter-organizzativa, l'adozione del cloud si pone come un pilastro fondamentale per realizzare una Pubblica Amministrazione (PA) moderna e snella, pronta a rispondere alle sfide del XXI secolo.

L'obiettivo principale della Strategia Cloud Italia è dunque quello di creare un'infrastruttura tecnologica flessibile e integrata, in grado di sostenere la PA nella sua missione di fornire servizi efficienti e tempestivi ai cittadini. Questo passo è vitale non solo per migliorare l'efficienza interna della PA, ma anche per ristabilire la fiducia dei cittadini nelle istituzioni, mostrando un governo in grado di adottare le ultime innovazioni e di operare al passo coi tempi.

Parallelamente, la strategia si propone di stimolare l'innovazione nel settore privato. Attraverso incentivi, formazione e collaborazione, l'intento è di incoraggiare le aziende italiane a sfruttare al meglio le opportunità offerte dal cloud, promuovendo la digitalizzazione e rendendo le imprese italiane più competitive a livello globale. Inoltre, la convergenza verso soluzioni cloud può favorire la nascita di nuove start-up innovative nel campo tecnologico, creando un ecosistema dinamico e vibrante.

In sintesi, la Strategia Cloud Italia non è solo una mera adozione tecnologica, ma una chiara visione di futuro, una dichiarazione d'intenti del Paese verso una modernizzazione profonda e l'embrione di una nuova era digitale, con l'obiettivo di posizionare l'Italia come leader nell'innovazione e nella trasformazione digitale in Europa e nel mondo.

4.3.2. Principali iniziative e realizzazioni nella Strategia Cloud Italia

La Strategia Cloud Italia, mirando alla realizzazione del sistema operativo del Paese, ha enfatizzato l'importanza del cloud computing non solo per la modernizzazione della Pubblica Amministrazione, ma anche come mezzo per alimentare l'innovazione nell'industria italiana.

Il "Polo Strategico Nazionale per il Cloud": Questa iniziativa di prim'ordine, nata nel 2019, sottolinea la volontà del governo italiano di promuovere l'adozione del cloud computing, proponendosi come punto di incontro tra il settore pubblico, l'industria e l'accademia. Questo Polo si propone non solo come hub tecnologico, ma anche come catalizzatore di best practices, ricerche e innovazioni nel campo del cloud computing.

- Adozione del cloud nella PA: Il Polo, combinando elementi della Strategia Cloud Italia e le proprie iniziative, fornisce supporto tecnico alle organizzazioni pubbliche per adottare servizi cloud, enfatizzando la condivisione di best practice e la semplificazione dei processi, in sinergia con la creazione del Cloud PA.
- Ecosistema di fornitori di servizi cloud: Riconoscendo l'importanza dell'innovazione e della competitività, il Polo lavora attivamente per favorire l'emergenza di nuove imprese nel settore del cloud e sostenere quelle esistenti nella loro crescita e espansione.

- Ricerca e innovazione: La stretta collaborazione tra il Polo e il settore accademico mira a spingere i limiti della tecnologia cloud, portando alla luce soluzioni innovative e promuovendo la ricerca di punta.

Allacciandosi a iniziative europee come l'Alleanza Europea per il Cloud (ECSA) e il Joint Undertaking for High Performance Computing and Big Data (EuroHPC JU), il Polo promuove una visione europea congiunta del cloud computing, rafforzando la collaborazione internazionale.

Un ulteriore impegno del Polo è quello di standardizzare e garantire la sicurezza nel cloud computing in Italia, creando un ambiente propizio per l'adozione generalizzata del cloud non solo nella Pubblica Amministrazione, ma anche nell'ampio tessuto industriale del Paese.

È significativo rilevare che il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, con la misura 1.1 "Infrastrutture digitali" mette a disposizione 900 milioni di euro e prevede la messa in sicurezza degli asset strategici dello Stato attraverso la realizzazione Polo Strategico Nazionale (PSN) e la migrazione dei sistemi informatici di PA centrali e strutture sanitarie verso tale infrastruttura. Conseguentemente, buona parte dei dati strategici, ad esempio quelli delle grandi PA centrali come la Difesa, oppure quelli definiti critici come quelli sanitari, migreranno nei 4 nuovi data center del PSN in modo da garantire maggiore sicurezza e un migliore utilizzo di quel tipo di dati. Questa migrazione deve avvenire attraverso due tappe fondamentali: migrare 100 amministrazioni pubbliche entro settembre 2024 e 280 entro il giugno 2026. A Settembre 2023 sono già 200 le Pubbliche Amministrazioni che hanno aderito al Polo Strategico Nazionale, di cui 37 PA Centrali tra cui Ministero della Difesa, dell'Interno e Presidenza del Consiglio dei Ministri, e 130 tra aziende sanitarie locali e ospedaliere (Polo Strategico Nazionale, 2023). Grazie a questa infrastruttura, la Pubblica Amministrazione può sfruttare i vantaggi offerti dal cloud computing come la scalabilità, l'elasticità e la riduzione dei costi operativi. Il Cloud PA facilita inoltre la gestione e l'archiviazione dei dati, garantendo al contempo la loro sicurezza e riservatezza, aspetti fondamentali quando si tratta di informazioni sensibili dei cittadini.

L'implementazione di questa iniziativa rappresenta anche un passo avanti nell'ottica di una PA più sostenibile dal punto di vista ambientale, grazie alla riduzione del consumo energetico e alla diminuzione dell'hardware utilizzato.

Concludendo, la combinazione delle iniziative del Polo Strategico Nazionale per il Cloud con la Strategia Cloud Italia sottolinea il ruolo cruciale del cloud computing nel definire un futuro digitale per l'Italia, potenziando l'efficienza, stimolando l'innovazione e creando nuove opportunità lavorative nel settore.

4.4. Il Fondo per la Repubblica Digitale

4.4.1. Presentazione del Fondo

Il Fondo per la Repubblica Digitale, istituito nel 2019, emerge come un punto cardine nella strategia del governo italiano per accelerare la trasformazione digitale del Paese. Questo fondo, nato dalla crescente consapevolezza dell'urgenza di modernizzare e digitalizzare la struttura e i servizi pubblici, rappresenta una chiara testimonianza dell'ambizione di inserire l'Italia al centro della rivoluzione digitale. Finalizzato a sostenere progetti che utilizzano tecnologie innovative per potenziare la competitività e modernizzare la pubblica amministrazione e i servizi offerti ai cittadini, opera come un fondo rotativo, garantendo un modello finanziario sostenibile e a lungo termine e sottolineando l'importanza di rispondere proattivamente alle dinamiche globali in continua evoluzione (Fondo per la Repubblica Digitale, 2022).

Gli obiettivi principali del Fondo sono molteplici. Innanzitutto, intende promuovere l'adozione e l'integrazione delle tecnologie digitali nei servizi pubblici, rendendo tali servizi più efficienti, accessibili e orientati all'utente. Inoltre, punta a stimolare l'innovazione nel settore privato, incoraggiando le imprese a adottare soluzioni digitali e a sviluppare nuovi modelli di business. Infine, il Fondo mira a garantire che tutti i cittadini, indipendentemente dalla loro origine o posizione geografica, abbiano accesso alle opportunità offerte dalla digitalizzazione, riducendo il divario digitale e promuovendo l'inclusione.

La creazione del Fondo per la Repubblica Digitale sottolinea la visione dell'Italia di un futuro in cui la tecnologia e la digitalizzazione siano al centro dello sviluppo economico e sociale. Al di là del mero finanziamento, rappresenta un impegno nazionale per costruire un'Italia più connessa, informata e pronta ad affrontare le sfide del XXI secolo. Attraverso il Fondo, l'Italia si impegna a creare un ambiente in cui le nuove tecnologie siano facilmente accessibili e utilizzate per migliorare la vita quotidiana dei cittadini e l'efficienza delle imprese.

4.4.2. Come funziona e dove vengono investiti i fondi

Gestito dal Dipartimento per la trasformazione digitale della Presidenza del Consiglio dei Ministri, il Fondo ha inizialmente goduto di una dotazione finanziaria di 1,5 miliardi di euro per il triennio 2019-2021. I progetti finanziati attraverso il Fondo sono destinati a settori chiave quali la sanità, l'istruzione, la mobilità e l'ambiente, con l'intento di migliorare la qualità della vita dei cittadini italiani, la qualità dei servizi pubblici, e rafforzare l'efficienza della pubblica amministrazione. La selezione dei progetti avviene mediante una procedura rigorosa di valutazione, basata su criteri di merito e di rilevanza strategica per la trasformazione digitale dell'Italia. Essenziale è anche l'allineamento dei progetti con la Strategia per la trasformazione digitale del Paese, che fornisce una mappa chiara degli obiettivi e delle priorità nazionali.

Nel corso del triennio 2019-2021, il Fondo ha finanziato oltre 200 progetti, per un investimento complessivo di circa 600 milioni di euro. Questi includono iniziative innovative come lo sviluppo di piattaforme digitali per la sanità, infrastrutture di connettività ad alta velocità, soluzioni digitali orientate all'ambiente e alla mobilità, e l'implementazione di tecnologie all'avanguardia per accrescere l'efficienza della pubblica amministrazione.

Guardando al futuro, il Fondo per la Repubblica Digitale ha già ricevuto una nuova dotazione finanziaria di 1,5 miliardi di euro per il triennio 2022-2024. Questo impegno rinnovato dimostra una forte volontà di proseguire e intensificare gli sforzi per rendere l'Italia un Paese sempre più digitalizzato, competitivo e orientato al futuro.

Il Fondo per la Repubblica Digitale opera attraverso un sistema di valutazione e selezione di progetti che rispondono alle priorità stabilite per la digitalizzazione del Paese. Questi progetti possono essere proposti da enti pubblici, privati o da partnership miste. Una volta ricevuti, i progetti vengono analizzati da un comitato di esperti che valuta la loro fattibilità, l'impatto potenziale e l'allineamento con gli obiettivi del Fondo.

Aree di investimento:

6. Educazione digitale: Riconoscendo che l'educazione è la base per una società digitale, il Fondo investe significativamente nella formazione e nell'alfabetizzazione digitale. Ciò comprende programmi per le scuole, corsi per adulti e iniziative per formare i docenti sulle nuove tecnologie.

7. **Infrastruttura:** La creazione di un'infrastruttura digitale robusta e resiliente è fondamentale. Gli investimenti in questo settore possono includere il miglioramento della connettività a banda larga, lo sviluppo di data centers nazionali e l'ampliamento della rete 5G.
8. **Innovazione:** Al di là dell'adozione della tecnologia esistente, il Fondo punta a stimolare l'innovazione sostenendo startup, centri di ricerca e iniziative imprenditoriali focalizzate su soluzioni digitali avanzate.
9. **Servizi pubblici digitali:** Il miglioramento e la digitalizzazione dei servizi pubblici sono prioritari, per rendere l'amministrazione più efficiente e accessibile ai cittadini.

Progetti e iniziative di rilievo:

1. **Campus Digitali:** Un progetto rivolto alle scuole per integrare l'educazione digitale nel curriculum, fornendo strumenti e risorse moderne agli studenti.
2. **Rete 5G Nazionale:** Un'importante iniziativa per estendere la copertura della rete 5G, garantendo una connettività veloce e affidabile in tutto il Paese.
3. **Italia Startup Hub:** Una piattaforma dedicata a sostenere le startup tecnologiche, offrendo finanziamenti, mentoring e collegamenti con investitori e industrie rilevanti.
4. **Portale della Pubblica Amministrazione Digitale:** Un punto di accesso unificato per i cittadini per accedere a tutti i servizi pubblici, semplificando la burocrazia e migliorando la trasparenza.

Attraverso questi investimenti e iniziative, il Fondo per la Repubblica Digitale si posiziona come uno strumento fondamentale per guidare l'Italia verso un futuro più digitale, innovativo e connesso.

4.5. La sinergia tra strategia nazionale ed europea

La trasformazione digitale rappresenta un impegno cruciale per l'Italia, come dimostrato dalle iniziative ambiziose come la Strategia Cloud Italia e il Fondo per la Repubblica Digitale. Entrambe queste iniziative sono state concepite non solo come risposte alle esigenze nazionali, ma anche come parti di un puzzle più grande: l'agenda digitale europea.

La Strategia Cloud Italia, ad esempio, attraverso il "Polo Strategico Nazionale per il Cloud", ha intrapreso la collaborazione con entità

europee come l'Alleanza Europea per il Cloud (ECSA) e il Joint Undertaking for High Performance Computing and Big Data (EuroHPC JU). Questo evidenzia un impegno non solo nel consolidare un'infrastruttura cloud a livello nazionale, ma anche nell'assicurare che l'Italia rimanga allineata e competitiva con le iniziative europee, secondo quanto indicato dal Dipartimento per la Trasformazione Digitale (2021).

Il Fondo per la Repubblica Digitale, con la sua dotazione di 1,5 miliardi di euro per ciascun triennio, sia 2019-2021 che 2022-2024, dimostra come l'Italia stia investendo attivamente nella trasformazione digitale. Questi fondi, destinati a migliorare settori cruciali come la sanità, l'istruzione e l'ambiente, sono in linea con gli obiettivi europei di migliorare la vita dei cittadini attraverso l'innovazione digitale.

Unendo questi sforzi con le strategie e gli obiettivi dell'Unione Europea, l'Italia non solo assicura un approccio coeso alla digitalizzazione, ma anche una posizione di forza per competere a livello globale. Questo approccio integrato è fondamentale per assicurare che la nazione non sia semplicemente al passo con l'innovazione, ma che possa effettivamente guidare l'innovazione in alcune aree, in linea con quanto previsto dal Digital Decade policy programme (EU Monitor, 2022).

In conclusione, le iniziative italiane in materia di trasformazione digitale, pur essendo profondamente radicate nelle esigenze e nelle ambizioni nazionali, sono fortificate e amplificate dal loro allineamento e integrazione con le strategie europee. Questa sinergia è la chiave per garantire che l'Italia rimanga al passo con l'evoluzione digitale, sfruttando al meglio le risorse e le competenze sia a livello nazionale che europeo.

5. Le strategie Cloud Tim

Dario Pensa, Enrica Sposato, Giuseppe Villari, Attilio Somma

5.1. L'innovazione in TIM Enterprise

A seguito dell'analisi della strategia digitale nazionale e dell'allineamento con gli obiettivi dell'Unione Europea esposti nel capitolo precedente, il Capitolo 5 si dedica allo studio delle iniziative di TIM Enterprise nel contesto del Cloud Computing, offrendo uno spaccato su come le iniziative aziendali siano interconnesse con la più ampia visione nazionale e europea. TIM Enterprise, quale protagonista nel settore delle telecomunicazioni, riflette questo impegno attraverso la sua dedizione all'adozione di soluzioni cloud e tecnologie innovative.

Nelle pagine che seguono, verrà presentato il contributo di TIM Enterprise alla trasformazione digitale, esaminando l'infrastruttura tecnologica dell'azienda, la gamma dei suoi servizi cloud, l'integrazione dell'intelligenza artificiale e le strategie di sicurezza nel cloud. traducendo gli obiettivi strategici in servizi concreti e soluzioni avanzate per interlocutori aziendali e istituzionali.

Esistono in TIM Enterprise tre direttrici fondamentali per l'innovazione:

5.1.1. Center of Excellence

Il Center of Excellence (CoE) è il team di TIM Enterprise che si occupa di supportare l'innovazione da un punto di vista tecnologico sfruttando le competenze interne, con lo scopo di fare evolvere il portfolio di TIM Enterprise. Tra i suoi obiettivi principali ci sono: lo scouting delle nuove tecnologie e la validazione di queste nuove tecnologie tramite la creazione di PoC (Proof of Concept) e prototipi, la condivisione delle best practice, il presidio negli innovation center sui tavoli internazionali.

Le principali tecnologie studiate e ricercate dal CoE sono: Cloud, Intelligenza Artificiale, DevOps&Automation e networking. Tenendo sempre un occhio su tutte le tecnologie innovative emergenti, come i computer quantistici o i DNA Storage.

5.1.2. Vertical Solution & Cloud Apps

I due obiettivi principali di questa direttrice di innovazione sono:

- Sviluppo funzionalità innovative per le soluzioni a portafoglio e piano di trasformazione per integrazione nei processi e nelle soluzioni TIM Enterprise.
- Sviluppo soluzioni verticali innovative con ecosistema di partner ed in sinergia con programma Digital Players: demo, PoC, use cases e narrative e piano di go-to-market verticale.
- Integrazione di soluzioni cross technologies (cloud, iot, AI e cyber-security)

5.1.3. Digital Players

L'Obiettivo di questo programma è quello di eseguire lo scouting di soluzioni innovative (in primis quelle cloud based su tecnologia GCP) e l'implementazione di programmi dedicati all'ecosistema partnership con focus su ISV, Startup, Solution Provider, Tech company.

L'onboarding sul programma di soluzioni di terze parti integrate nelle piattaforme TIM Enterprise, consentirà ai partner di avere accesso a supporto tecnologico, azioni mktg congiunte e accesso ai canali commerciali di TIM , accelerando la penetrazione delle soluzioni TIM sul mercato.

5.2. I Data Center di TIM Enterprise e i loro servizi

Negli ultimi anni, le tecnologie in ambito ICT si sono evolute ad una velocità senza precedenti, la *digital transformation* e l'adozione di nuovi strumenti ICT sono diventati pervasivi in ogni business e mercato, e la sfida è rimanere competitivi e al passo coi tempi.

TIM Enterprise, la business unit di TIM, offre ad Aziende e Pubblica Amministrazione soluzioni innovative, sostenibili e sicure. Combinando sinergicamente le proprie risorse, dai Data Center di ultima

generazione alla rete fissa e mobile capillare e ultraveloce, alle competenze sempre aggiornate su cybersicurezza e IoT, fornisce prodotti e servizi altamente innovativi e di qualità per i propri clienti.

I 16 Data Center proprietari di TIM Enterprise sono alimentati al 100% con energia da fonti rinnovabili, sono distribuiti su tutto il territorio italiano e garantiscono i massimi standard internazionali di sicurezza.

All'interno dei Data Center, vengono offerti prodotti e servizi cloud che rispondono ai requisiti di sicurezza, sostenibilità e competitività nello sviluppo del business e delle soluzioni innovative. L'affidabilità risiede nell'applicazione di metodologie, strumenti e tecnologie di cybersicurezza in ogni fase di progetto. La flessibilità è la capacità di fornire soluzioni pronte a evolversi, per rispondere a future richieste e necessità di business. Ed infine, la competitività che deriva dall'adozione degli strumenti più innovativi e disruptive sul mercato con cui le soluzioni vengono sviluppate.

5.2.1. L'Infrastruttura Tecnologica di TIM

Gli elementi fondanti della *digital transformation* sono identificabili in due elementi principali: connettività ultraveloce ed un'elevata potenza di calcolo, altamente affidabile e costantemente aggiornata agli ultimi trend evolutivi.

L'infrastruttura di TIM Enterprise soddisfa tali requisiti. La rete ultrabroadband in fibra ottica che interconnette i clienti con i 16 Data Center, distribuiti da Nord a Sud, e dotati della più moderna infrastruttura in termini di *facilities, server, storage* e *networking*, permette di erogare servizi ad elevate prestazioni su tutto il territorio.

In termini di servizi forniti, i 16 Data Center sono così distribuiti:

- 6 Data Center Public Cloud, al cui interno operano le piattaforme dei più rilevanti Public Cloud Provider;
- 7 Data Center Core, che offrono servizi cloud e servizi di colocation ai massimi livelli di affidabilità e sicurezza;
- 3 Micro Data Center, che permettono di allocare le proprie piattaforme in ambienti resi sicuri e affidabili in prossimità delle sedi dei clienti.

Nel 2023, i 16 Data Center hanno totalizzato totalizzeranno più di 50.000 mq e 100 MW di potenza IT fruibile, confermando TIM Enterprise come il player leader di settore.

Le caratteristiche distintive dei Data Center di TIM sono:

- La qualità e l'affidabilità, comprovata dalle numerose certificazioni;
- La sostenibilità, anch'essa certificata, per minimizzare gli impatti ambientali;
- L'integrazione con i maggiori hyperscaler, come Oracle, Microsoft Azure, Amazon Web Services, e in particolare Google Cloud, di cui TIM ospita le due region nei propri Data Center, permettendo l'implementazione di scenari multicloud a bassissima latenza;
- La fornitura di infrastrutture IT proprietarie, che costituiscono la base per l'erogazione di servizi cloud e data protection, oltre che fondamentali per la gestione della *data sovereignty*;
- L'integrazione con la rete ad alte prestazioni di TIM, asset distintivo rispetto a tutti gli altri provider.

I Data Center sono realizzati secondo i migliori criteri di sicurezza, protezione, operatività ed efficienza energetica, in modo da offrire SLA (Service Level Agreement) e costi in linea con le diverse esigenze dei singoli clienti. Sono collegati fra loro con una rete ad alta velocità per poter approntare soluzioni di Business Continuity a bassa latenza e di Disaster Recovery tra Data Center TIM o tra Data Center e sedi del cliente.

Sono numerose le certificazioni delle sale sistemi ottenute grazie all'altissima esperienza e competenza, garantendo soluzioni tra le più affidabili del mercato. Infatti, la progettazione dei Data Center è stata eseguita nel rispetto dei requisiti richiesti dai più importanti enti certificativi, per assicurare l'eccellenza nella conduzione dei processi gestionali e i massimi livelli dal punto di vista degli Impianti e della Sicurezza. Infatti sono state ottenute oltre 100 certificazioni, tra cui il Codice di Condotta Europeo (CoC) per il consumo energetico ("Joint Research Center" – "2020 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency"). I Data Center di ultima generazione, certificati Tier III e Tier IV, soddisfano gli standard più elevati riconosciuti a livello globale e definiti dall'Uptime Institute, che classificano la disponibilità e l'affidabilità dei data center. Oltre a soddisfare i massimi requisiti di sicurezza, è assicurato il massimo livello di affidabilità, a prescindere dalle circostanze interne e/o esterne che potrebbero compromettere la stabilità e l'operatività.

L'utilizzo di infrastrutture di alto profilo consente di ottenere elevata disponibilità del servizio (SLA>99,985%) e consumi ottimizzati grazie all'efficienza energetica (fino ad un PUE<1,35).

Infatti, altra caratteristica distintiva dei Data Center di TIM è la sostenibilità, rivolta sia ad ottimizzare i consumi dell'infrastruttura interna, ma anche a salvaguardare l'ambiente circostante. La certificazione LEED ottenuta, di livello gold, attesta il raggiungimento degli obiettivi di minimizzazione dei consumi energetici. Infatti, sono stati realizzati impianti di autoproduzione che sfruttano sia risorse solari che gli effetti geotermici, per minimizzare l'impatto ambientale e aumentare l'indipendenza e la resilienza nell'approvvigionamento delle risorse energetiche.

Grazie alle due nuove Google Cloud Region, ospitate nei 6 nuovi Data Center di Torino e Milano, i clienti possono beneficiare delle opportunità delle tecnologie più innovative. Questa implementazione consente di sviluppare modelli di business più sostenibili riducendo i costi e garantendo prossimità, velocità nel time to market e sicurezza nel rispetto della sovranità digitale, poiché tutti i dati vengono archiviati e gestiti su territorio nazionale. Ciò permette un maggiore controllo e sicurezza per le organizzazioni che desiderano mantenere i propri dati all'interno dei confini nazionali, rispettando le leggi e le regolamentazioni locali. L'integrazione con gli altri principali *hyperscaler* rende l'implementazione di scenari hybrid multi-cloud agile, in modo da cogliere il meglio da ogni fornitore di servizi, e realizzare soluzioni su misura in base al tipo di servizio che si vuole adottare, specifico di quel public cloud provider.

La connessione è un altro asset strategico che rende completa l'offerta dei servizi integrabili con i Data Center. Le possibilità di interconnessione tra le sedi clienti e la rete di Data Center vanno dalla rete mobile alla rete fisse, da reti MPLS a dark fiber. In aggiunta, la predisposizione di una connessione diretta e performante con i PoP (Point of Presence) dell'infrastruttura di rete di TIM, fornisce scambi di dati con gli altri servizi ICT e garantisce rapide implementazioni. In questo modo TIM è l'interlocutore unico per la fornitura di servizi end-to-end, dalla sede del cliente al data center che ospita il servizio cloud desiderato.

5.2.2. Prodotti e Servizi Cloud

TIM Enterprise offre un set completo di soluzioni e *capabilities* in grado di soddisfare le esigenze di business dei clienti. Le soluzioni infatti possono essere pronte all'uso, per rispondere alle richieste di rapidità di implementazione, o personalizzate, per soddisfare esigenze

specifiche. Dovunque si trovi l'azienda nel suo *journey to cloud*, grazie all'offerta che va dalla *colocation* al *multicloud*, dalle infrastrutture alle applicazioni, la gamma di soluzioni è completa e corredata anche di servizi di consulenza e di gestione degli ambienti cloud del cliente.

I principali prodotti e servizi cloud di TIM Enterprise possono essere raggruppati in tre categorie: Data Center Services, Cloud Infrastructure e Cloud Applications. Per una descrizione completa dei prodotti e servizi è possibile fare riferimento alla pagina ufficiale di TIM Enterprise (<https://www.timenterprise.it/cloud>).

Data Center Services (DCS)

Attraverso i propri data center, TIM Enterprise offre servizi di *Colocation* e *Housing*, che consentono ai clienti di ospitare i loro server fisici. Entrambi i servizi forniscono lo spazio fisico necessario per ospitare i server dei clienti all'interno dei Data Center, come ad esempio rack, suite o spazi dedicati (cage). I servizi offerti includono la gestione e il monitoraggio dell'infrastruttura da parte della *Control Room* di TIM. L'offerta è strutturata in 4 profili. Ad ogni profilo è associato un differente bundle di gestione. Questo consente di poter scegliere da una gestione minimale a una gestione completa, sistemistica o applicativa, della propria infrastruttura.

Per quanto riguarda la gestione degli aspetti di sicurezza, nel caso di servizi di *Colocation*, i servizi di sicurezza logica vengono gestiti direttamente dal cliente, mentre per i servizi di *Housing*, TIM Enterprise gestisce la sicurezza logica attraverso piattaforme condivise. Quest'ultima tipologia di servizio ha il vantaggio di accedere a servizi complessi (ad esempio connettività, secured application, backup, storage, gestione applicativi e OS) ottimizzando i costi attraverso la condivisione su larga scala dei costi infrastrutturali.

Gli spazi nei Data Center sono suddivisi in quattro diverse aree, ciascuna con caratteristiche e certificazioni specifiche:

- Area 3: compatibile con la certificazione Tier III;
- Area 3+: certificata Tier III (Uptime) o Rating 3 (ANSI / TIA);
- Area 4: certificata Tier IV;
- Area 4+: certificata Tier IV ed alta densità (2kw/mq).

Questi servizi sono progettati per essere convenienti e flessibili, con diverse livelli di certificazione. Ciò offre la possibilità di creare soluzioni

su misura per una vasta gamma di esigenze aziendali, inclusi modelli di servizio IaaS, PaaS e SaaS, nonché configurazioni public, private, hybrid e multi-cloud.

Cloud Infrastructure

TIM Enterprise propone un portafoglio completo di servizi di tipo *infrastructure* sul proprio cloud, progettati e realizzati da TIM, e che costituiscono la base per costruire e gestire soluzioni cloud avanzate. I servizi cloud sono disponibili in modo integrato con i principali operatori public cloud, consentono la realizzazione di propri prodotti e servizi cloud e l'integrazione di questi con i servizi degli hyperscaler in progetti complessi, fatti su misura per i propri clienti, abilitano gli scenari public, private, hybrid e multi-cloud.

I servizi offerti in questa categoria includono servizi di *hosting* e *data protection*. Tali servizi si propongono a supporto dei percorsi di modernizzazione infrastrutturale e applicativa, includendo servizi professionali di gestione e consulenza. I servizi possono essere customizzati, progettati e realizzati su misura del cliente per realizzare architetture complesse a partire da esigenze specifiche, oppure essere pre-configurate.

I servizi di *hosting* forniscono soluzioni flessibili per ospitare applicazioni e dati aziendali, adattandosi alle diverse esigenze delle aziende, dalla semplice scalabilità alle infrastrutture altamente personalizzate.

I servizi di *data protection*, infine, mirano a garantire la sicurezza e la disponibilità dei dati aziendali, e offrono soluzioni per prevenire perdite di dati e garantire la continuità operativa in situazioni critiche.

TIM Multicloud

L'offerta TIM Multicloud prevede la combinazione di soluzioni IaaS dei Public Cloud Provider come AWS, Google Cloud, Microsoft Azure. Vengono rese disponibili ai clienti le migliori suite di servizi avanzati di cloud computing, altamente performanti e in grado di eseguire una varietà di carichi di lavoro, inclusi quelli nativi del cloud, quelli legati all'IT tradizionale e quelli aziendali. TIM Enterprise svolge un ruolo fondamentale in questa configurazione, agisce da intermediario e offre una governance centralizzata, cioè un unico punto di controllo, per gestire e coordinare l'uso dei vari servizi cloud dei provider. Questo significa che l'azienda o l'utente finale può utilizzare le risorse e i servizi di più fornitori senza dover gestire complesse infrastrutture separatamente.

TIM Enterprise fornisce inoltre un'interfaccia unificata per semplificare la gestione complessiva.

Inoltre, come parte dell'offerta di TIM Multicloud, TIM Enterprise fornisce Managed and Professional Services. Questi servizi comprendono il supporto e l'assistenza specialistica per aiutare il cliente in tutto il suo percorso di adozione del cloud. Questo include la pianificazione, la migrazione dei dati, la configurazione dei servizi cloud e la gestione continua dell'infrastruttura cloud. Tutto ciò avviene tramite la Control Room di TIM Enterprise, il centro operativo dedicato all'amministrazione e alla sicurezza delle risorse cloud.

TIM Cloud Flex

TIM Cloud Flex propone un portfolio di servizi cloud IaaS completo, offrendo la possibilità di scegliere e personalizzare i servizi cloud in base alle esigenze di progetto e sviluppo e garantendo un'ottimizzazione dei costi.

La flessibilità risiede inoltre nella possibile combinazione con ulteriori servizi a valore aggiunto. Sia che si tratti di risorse di tipo virtual server o data center, condivise o dedicate, è possibile personalizzare ulteriormente il servizio richiesto. Ad esempio, aggiungendo servizi come storage, data protection, connettività e ulteriori servizi per lo sviluppo e gestione di progetti e architetture.

Il catalogo di servizi dell'offerta TIM Cloud Flex è composta da:

- Virtual Server e Virtual Data Center, su infrastruttura condivisa. Il cliente può scegliere, con granularità diversa, cioè a livello virtual server o virtual data center, il tipo e il dimensionamento delle risorse virtuali. Nel primo caso si tratta di risorse virtuali server come RAM, CPU, storage, sistema operativo, etc. Nel secondo caso invece il livello di astrazione è più alto, e le risorse virtuali vengono gestite in gruppi di risorse, fornendo anche un livello di configurazione di dettaglio più puntuale e quindi un controllo maggiore.
- Dedicated Cloud, dove le risorse non sono condivise ma interamente dedicate al cliente.
- Ed infine Container, dove l'astrazione delle risorse ha una granularità di tipo container.

TIM Self Data Center Cloud e Hypervisor

Le due offerte di hosting forniscono diversi livelli di gestione e accesso alle risorse virtuali. TIM Self Data Center offre l'accesso a risorse condivise di

cui l'organizzazione o utente finale ne ha la gestione autonoma, mentre TIM Self Data Center Hypervisor offre risorse dedicate e consente all'organizzazione di scegliere tra una gestione gestita o non gestita.

In TIM Self Data Center l'organizzazione ha maggiore autonomia nella creazione e nella gestione del proprio Data Center Virtuale: è fornito l'accesso tramite interfaccia a risorse di calcolo, come macchine virtuali (VM) con CPU, RAM e spazio su disco. Le risorse possono essere facilmente modificate e adattate alle esigenze specifiche del cliente. L'utente può creare vApp, reti, abilitare accessi, per costruire la propria infrastruttura di tipo IaaS.

In TIM Self Data Center Hypervisor, l'infrastruttura fisica è dedicata a una singola organizzazione. Questo servizio offre risorse dedicate sia a livello hardware che software, tra cui calcolo, archiviazione, reti e licenze. Queste risorse sono progettate per consentire al cliente di creare soluzioni combinando più modelli di servizio e deployment, di cui ha il pieno controllo. L'organizzazione, in base al livello di gestione desiderato, può avere accesso al pannello di controllo dell'hypervisor, offrendo un elevato grado di controllo sulla piattaforma.

Data Protection

I servizi di Data Protection offerti includono Services Recovery, Continuity Solution, e Data Space. L'obiettivo di queste soluzioni è fornire sicurezza dei dati, garantire la *business resilience* e abilitare una gestione efficiente dei file e delle applicazioni aziendali, oltre che essere in linea con determinati obblighi di legge in termini di compliance e anche grazie a sistemi di difesa contro attacchi di cyber sicurezza.

TIM Services Recovery e TIM Continuity Solution garantiscono la continuità di servizio tramite backup e possono essere specializzate sulla base delle esigenze dell'organizzazione. Sono soluzioni progettate per gestire i casi in cui potrebbero verificarsi disastri o interruzioni. Esistono diverse opzioni disponibili, a seconda delle esigenze specifiche. Queste opzioni possono variare in termini di tempi di ripristino, sicurezza dei dati e la garanzia di mantenere in funzione le operazioni aziendali anche in situazioni critiche.

Data Space invece è un'offerta rivolta alle organizzazioni che hanno bisogno di archiviare, condividere e proteggere in modo sicuro i loro file e applicazioni. Uno spazio sicuro all'interno dei Data Center di TIM Enterprise per immagazzinare e gestire i dati. Può essere utilizzato sia

in modo personale che condiviso, ad esempio, tra membri di un team di lavoro, favorendo collaborazione e produttività.

Cloud Applications

Catalogo di soluzioni SaaS orientato ai risultati aziendali, come ad esempio OnTheMap Experience e Salesforce CRM. Questi servizi sono progettati per aiutare le aziende a gestire dati, processi aziendali e collaborazione in modo più efficiente e produttivo.

TIM Enterprise collabora con i migliori partner tecnologici del settore, come Google Cloud e Salesforce. Partner riconosciuti come leader in termini di prestazioni dei loro prodotti e visione strategica. TIM Enterprise mette a disposizione le proprie competenze per aiutare l'organizzazione nella sua trasformazione digitale, nell'integrare nuovi approcci per integrare tali soluzioni nei processi aziendali esistenti e renderle il più efficaci possibile.

Le soluzioni offerte possono essere personalizzate, TIM Enterprise offre servizi professionali per creare soluzioni su misura, garantendo che il cliente ottenga esattamente ciò di cui ha bisogno.

In questo contesto, TIM Enterprise ha stretto una partnership strategica con Salesforce, un leader globale nelle soluzioni di CRM e automazione del marketing. Grazie a questa partnership, il fornitore è in grado di offrire ai clienti un pacchetto completo di licenze e servizi professionali per supportare la loro trasformazione digitale.

OnTheMap Experience offre una soluzione che consente all'organizzazione di integrare i propri dati georeferenziati su una mappa personalizzata di Google Maps. Questa funzionalità è utile per visualizzare e gestire dati basati sulla posizione geografica in modo efficiente. Il servizio consente agli store manager di gestire e pubblicare informazioni su web, dispositivi mobili e altre piattaforme. Ciò permette alle aziende di raggiungere i propri clienti in modi innovativi e coinvolgenti.

5.3. Intelligenza Artificiale

5.3.1. I Servizi di Tim Enterprise per l'Intelligenza Artificiale

Scopo delle soluzioni di Artificial Intelligence è la soddisfazione dell'utente, attraverso la fornitura di servizi veloci, completi e personalizzati sulle specifiche esigenze. Oggi i clienti si aspettano esperienze di acquisto semplici e flessibili, assistenza e risposte in real time H24 7/7 giorni.

Di conseguenza, la disponibilità e la velocità di accesso a dati e informazioni, la capacità di avere un approccio proattivo alla relazione con il cliente e la messa a disposizione di canali di comunicazione moderni e innovativi (chat intelligenti, assistenti vocali, etc), accanto a quelli più tradizionali, può determinare il successo di un brand.

L'utilizzo di strumenti di Intelligenza Artificiale consente di personalizzare il servizio sulla base della conoscenza dell'utente, con un impatto positivo sui processi di marketing, sull'e-commerce e sull'assistenza postvendita.

Tim Enterprise, oltre allo sviluppo di progetti basati su intelligenza artificiale su misura per le aziende, propone alcune soluzioni di intelligenza artificiale tra cui:

TIM Tellya

TIM Tellya fornisce un Virtual Assistant in grado di comprendere l'esigenza espressa in linguaggio naturale dall'utente, capire il contesto di riferimento e fornire risposte in tempo reale con informazioni aggiuntive e pertinenti. Può essere utilizzato via web o social, sistemi di messaggistica o Smart Speaker.

TIM Quelix

Quelix è un motore di ricerca per aziende, che consente di estrarre in modo rapido ed efficiente le informazioni indicizzate al suo interno. Basato sulla stessa metodologia di Google Web Search, può analizzare enormi quantità di dati e fornire risposte pertinenti in pochi millisecondi.

TIM Ready Contact Center

TIM Ready Contact Center offre una Customer Experience fluida e flessibile, basata sull'utilizzo di canali di comunicazione innovativi e adeguati alle moderne aspettative degli utenti e sull'integrazione del Virtual Assistant che consente di gestire più utenti contemporaneamente e di fornire risposte immediate, con notevole riduzione dei tempi di attesa, trasferendo il contatto all'operatore umano quando richiesto.

TIM Google Maps & OnTheMap Experience

TIM Google Maps è un insieme di API che consente ai clienti di integrare i propri dati georeferenziati su una mappa di Google personalizzata. L'offerta è inoltre arricchita da OnTheMap Experience, soluzione fornita da TIM Enterprise, che abilita gli store alla gestione

e pubblicazione di informazioni destinate alla fruizione sul web, su dispositivi mobili e/o altre piattaforme.

5.3.2. Sviluppo di progetti custom basati su intelligenza artificiale

TIM Enterprise, con il suo team di Machine Learning Engineer e Data Scientist, è in grado di sviluppare progetti basati su intelligenza artificiale su misura a seconda della necessità del cliente, con lo scopo di soddisfare tutti quelle esigenze specifiche che non possono essere soddisfatte da modelli generici. TIM Enterprise ha inoltre codificato un suo framework etico per lo sviluppo e l'utilizzo di algoritmi di Intelligenza Artificiale, avendo così la certezza che il progetto sia coerente con i principi: *ethics by design* e *dynamic ethics*.

I principali ambiti di applicazione rientrano nelle seguenti categorie:

Natural Language Processing

Con NLP intendiamo tutti gli algoritmi in grado di comprendere e manipolare il linguaggio naturale. TIM Enterprise è in grado di sviluppare sistemi di:

- Classificazione automatica di testi o documenti
- Estrazione automatica di argomenti e/o entità da un testo
- Generazione di un riassunto a partire da un documento
- Q&A specifici dell'azienda
- Conversione da linguaggio parlato (audio) a linguaggio scritto e vice versa
- Analisi delle emozioni associate ad un testo

Computer Vision

Gli esperti di computer vision di TIM Enterprise sono in grado di sviluppare modelli specifici basati su Deep Learning per l'analisi automatica di immagini e video. Alcuni sistemi che vengono sviluppati dal team di TIM Enterprise sono:

- Classificazione automatica delle immagini
- Rilevazione automatica di entità specifiche nelle immagini
- Riconoscimento automatico di difetti di produzione tramite videocamera

- Riconoscimento di frodi tramite analisi automatica delle immagini
- Estrazione automatica del testo scritto in documenti scannerizzati (OCR)
- Analisi dei video per il riconoscimento delle aree più frequentate

Intelligent Data Processing

I sistemi di intelligenza artificiale per l'analisi automatica dei dati, sviluppati da TIM Enterprise, sono in grado di estrarre dai dati a disposizione informazioni complesse e difficilmente riconoscibili da un agente umano, dando l'opportunità di eseguire delle scelte informate all'interno dell'azienda. Alcuni esempi sono:

- Segmentazione dei clienti
- Sistemi di raccomandazione
- Predizione del Churn/Purchase/LTV
- Predizione della domanda o del venduto
- Ottimizzazione dei prezzi
- Manutenzione predittiva

Generative AI

TIM Enterprise è in grado di sviluppare applicativi basati su intelligenza artificiale generativa in grado di creare nuove tipologie di dato:

- Dati sintetici tabellari
- Immagini generate a partire da una descrizione
- Testo generato a partire da una descrizione o una richiesta

5.4. Cloud Security

Sulla base della pluriennale esperienza di gestione della sicurezza, all'interno dell'azienda TIM – una delle più articolate infrastrutture in Italia – TIM Enterprise offre una vasta gamma di soluzioni di sicurezza informatica, aiutando così le aziende a proteggere i propri asset informatici e i dati sensibili da attacchi informatici e minacce avanzate.

TIM Enterprise collabora anche con i principali vendor tecnologici del settore e dispone di un avanzato Security Operation Center, in grado di affiancare il cliente per migliorare la sua cybersecurity posture e proteggere le sue infrastrutture ICT da attacchi informatici.

Le soluzioni di network security di TIM Enterprise sono un insieme di tecnologie, servizi professionali e metodologie pensate per proteggere le reti aziendali e i dati sensibili da attacchi informatici e minacce avanzate su ogni tipologia di connessione: linea mobile, linea BB/UBB di Rete Fissa, Reti WAN MPLS, SDWAN etc.

- Telsy: Già asset di rilevanza strategica per la difesa nazionale, Telsy è anche il Centro di Competenza Specializzata per la Cybersecurity del Gruppo TIM
- Personale tecnico, pre-sales e sales altamente qualificato e certificato in ambito Security
- TILab (ex CSELT): Nei suoi laboratori di ultima generazione, TIM seleziona le migliori tecnologie, in termini di performance, qualità e user experience
- Data Center TIER IV: Piattaforme ospitate in Data Center TIER IV con i massimi livelli di affidabilità e sicurezza: 99,995% di disponibilità

Le soluzioni di network security sono essenziali per garantire la continuità del servizio, la protezione dei dati e la conformità normativa.

L'offerta di **DDoS protection** è una soluzione completa che consente di proteggere la rete dagli attacchi DDoS (Distributed Denial of Service) e garantire la continuità del servizio. La soluzione di protezione DDoS prevede un'analisi approfondita dei flussi di traffico di rete per identificare e bloccare gli attacchi DDoS in tempo reale. La soluzione di protezione è in grado di gestire volumi di traffico elevati e garantire un elevato livello di disponibilità della rete, anche in caso di attacchi DDoS di grande portata.

Next Generation Firewall, soluzione gestita dal personale del SOC, è un sistema avanzato di protezione della rete aziendale che integra funzionalità di sicurezza avanzate con la gestione centralizzata del firewall. Prevede la personalizzazione delle policy di sicurezza, la generazione di report dettagliati e un supporto tecnico dedicato e personalizzato. Per la piccola e media imprese è disponibile la versione My Security Area con apparati firewall più adatti alle esigenze di questo segmento.

DNS sicuro è un servizio avanzato della rete di TIM di protezione della navigazione online degli utenti, che prevede l'utilizzo di un sistema di DNS con funzionalità di analisi dei dati di sicurezza in tempo reale. **TIM SafeWEB** rileva e blocca automaticamente l'accesso a siti

web noti per la distribuzione di malware, phishing e altre minacce informatiche. La versione Enterprise è personalizzabile, facilmente integrabile con la rete aziendale e prevede un supporto tecnico dedicato e personalizzato.

Network Detection and Response è un sistema avanzato di sicurezza informatica che prevede l'utilizzo di tecnologie basate anche sull'intelligenza artificiale per analisi dei dati di sicurezza in tempo reale, funzionalità di threat hunting, di response e la gestione centralizzata delle policy di sicurezza. La soluzione è personalizzabile, facile da utilizzare e prevede un supporto tecnico dedicato e personalizzato.

TIM Secure e **TIM Secure Gateway** sono sistemi di sicurezza collocati all'interno della Rete di TIM per garantire al cliente la navigazione web sicura. Le soluzioni prevedono la protezione del traffico HTTP e HTTPS, la rilevazione delle minacce e l'applicazione di policy di sicurezza personalizzate senza installazione di un Firewall nella sede del Cliente. La soluzione può essere gestita centralmente e servire più sedi territoriali, garantendo quindi una uscita su Internet centralizzata, sicura con banda garantita.

La soluzione di **OT Security** (Operational Technology Security) è un sistema di sicurezza avanzato progettato per proteggere i sistemi di automazione industriale e di controllo. Prevede la rilevazione delle minacce informatiche e il monitoraggio continuo delle reti OT, al fine di prevenire eventuali attacchi informatici. Oltre a individuare eventuali anomalie e prevenire quindi gli attacchi informatici, TIM Cyberindustria prevede anche funzionalità di response, ovvero la capacità di agire prontamente in caso di attacco informatico, isolando e mitigando gli effetti dell'attacco e ripristinando la normalità del sistema.

Se parliamo, nello specifico, di **Cloud Security** è fondamentale per le aziende la protezione di dati e applicazioni presenti in ambiente cloud, garantendo la loro integrità, disponibilità e riservatezza. Inoltre, la cloud security permette alle aziende di rispettare le normative vigenti e di mitigare i rischi legati alla sicurezza informatica, migliorando la reputazione e la fiducia dei clienti.

Per consentire di sfruttare al meglio i vantaggi offerti dalla tecnologia cloud, TIM ha sviluppato delle soluzioni che garantiscono la sicurezza e la protezione dei dati e delle applicazioni presenti in ambiente cloud. Tali soluzioni consentono di affrontare un *journey to cloud* che garantisca la sicurezza sui seguenti aspetti tipicamente molto rilevanti:

- gestione delle identità e degli accessi degli utenti ai dati e alle applicazioni presenti in ambiente cloud;
- crittografia dei dati sensibili, controllo degli accessi, backup e ripristino dei dati;
- monitoraggio costante delle applicazioni e delle infrastrutture presenti in ambiente cloud, identificazione e correzione tempestiva delle vulnerabilità;
- protezione delle reti di comunicazione, del traffico e dei dispositivi presenti in ambiente cloud;
- rispetto delle normative e delle policy interne dell'azienda, garantendo la privacy e la sicurezza dei dati;
- valutazione dei rischi, pianificazione delle misure di mitigazione e monitoraggio costante delle minacce informatiche;
- metodi di copertura del rischio residuo Cyber.

TIM Host Protection, è la soluzione di Web Application Firewall (WAF) per proteggere le applicazioni web da attacchi informatici attraverso un'analisi del traffico HTTP/HTTPS.

Mentre **TIM Cloud APP Security** offre una protezione avanzata per le applicazioni cloud come, ad esempio, Microsoft Office 365 e Google G Suite. Questa soluzione di sicurezza cloud consente alle aziende di proteggere i propri dati e di mantenere la conformità con le normative attraverso una serie di funzionalità, tra cui in controllo della presenza di malware, phishing e ransomware e il controllo degli accessi secondo le policy aziendali.

TIM Cloud Vulnerability Management si basa sull'uso di tecnologie di cloud vulnerability management leader di mercato e di personale qualificato di TIM, e consente una protezione completa per le infrastrutture cloud, offrendo una visibilità sulle risorse e sui rischi associati ad esse, identificando eventuali vulnerabilità e individuando eventuali configurazioni errate, gestendo la conformità e automatizzando le attività di sicurezza.

Per gli utenti di Microsoft Office365, TIM, come partner di Microsoft, offre licenze e servizi professionali con **TIM Sicura 365**, per garantire la corretta configurazione di sicurezza dei prodotti. Lo fa, combattendo minacce avanzate come virus, malware e ransomware, proteggendo gli endpoint, le identità degli utenti e delle applicazioni, le e-mail, le applicazioni di collaborazione e i dati aziendali offrendo una visibilità completa sull'uso delle applicazioni cloud e sui rischi associati ad esse.

Inoltre, TIM, ha pensato anche alla **Cyber insurance**, l'offerta per le aziende di ogni dimensione che consente di sottoscrivere una polizza assicurativa a copertura dei cyber-rischi. La polizza offre all'azienda assicurata garanzie, sia per quanto riguarda la responsabilità civile, sia per i danni causati da un attacco informatico (es. furto di dati, danni reputazionali, interruzione attività).

5.5. Strategia di TIM Enterprise

TIM Enterprise ha l'obiettivo strategico di essere la piattaforma ICT più innovativa ed importante in Italia. Questo deriva dalla possibilità di integrare alcuni asset unici e distintivi che consentono di fornire ad imprese e Pubblica amministrazione un'offerta one-stop -shopping.

Gli asst integrati della piattaforma ICT consentono la costruzione di soluzioni ed offerte end2end che possono mettere assieme connettività ultrabroadband fissa e mobile, infrastrutture di data center e servizi cloud, piattaforme iot e di cyber security, soluzioni innovative di AI e smart analytics.

In particolare l'evoluzione dei Data Center è strettamente legata allo sviluppo dei servizi cloud. Oggi, quasi tutte le aziende hanno pianificato o già attuato la migrazione verso il cloud, oppure stanno costantemente aggiornando e potenziando le loro infrastrutture per mantenere alte prestazioni e una user experience ottimale. Questa evoluzione è guidata da fattori chiave come il 5G, l'edge cloud, l'Internet delle cose (IoT) per la raccolta di grandi quantità di dati, tutti fattori su cui TIM Enterprise investe e continuerà a farlo per essere parte dell'innovazione e guidarla.

Le aree di ricerca e sviluppo di TIM Enterprise:

Investimenti sui Data Center e l'Infrastruttura di rete – TIM Enterprise dispone di data center in Italia con una distribuzione geografica senza paragoni, che copre l'intero paese da nord a sud. L'obiettivo è garantire standard sempre più elevati in termini di prestazioni, operatività e copertura del territorio.

Edge Cloud – Una delle strategie emergenti è l'edge cloud, che consiste nel posizionare unità di elaborazione più vicino possibile agli utenti finali. Questo approccio è complementare ai tradizionali data center centralizzati ed è progettato per soddisfare le esigenze di bassa

latenza. Inoltre, l'edge cloud può elaborare dati in loco, inviando solo i risultati ai data center centrali per ulteriori analisi.

Piattaforme ICT – Le aziende stanno costantemente sviluppando nuovi servizi su infrastrutture cloud in costante evoluzione. Queste infrastrutture sono dotate di funzionalità moderne in grado di rispondere immediatamente alle esigenze dei clienti, dalle aziende private alla pubblica amministrazione. Questi servizi possono essere utilizzati per monitorare e gestire fenomeni specifici, promuovere l'economia (come nel caso del turismo) e gestire situazioni di emergenza.

6. Futuriste, giurassiche, neoclassiche: come le imprese si preparano alla transizione digitale. Il caso del Piemonte

Andrea Rocchi, Maria Felice Arezzo, Francesca Iandolo

Introduzione

Il presente capitolo illustra lo studio condotto per valutare i potenziali benefici della nuova Cloud Region in Piemonte, realizzata da Google Cloud e TIM Enterprise e costituita da tre data center e connessioni in fibra ottica distribuite nell'intero territorio. Il capitolo utilizza un approccio misto di tipo quantitativo (Corbetta, 1999), prima per descrivere il contesto di riferimento nell'ambito del fenomeno analizzato (livello tecnologico infrastrutturale del Piemonte) e poi per analizzare nel dettaglio la tecnologia cloud e la sua adozione da parte delle imprese; si articola in due parti.

Nella prima parte sono presentate le statistiche descrittive relative a 3 driver principali: il livello infrastrutturale, analizzato tramite connettività, facilità di accesso, prossimità geografica, potenza della connessione, ecc.; l'adozione delle tecnologie digitali, in termini di tipologia di tecnologie adottate, evoluzione, ecc.; le competenze digitali, analizzate tramite il livello di investimento, la dotazione di competenze, formazione, ecc.

Le statistiche descrittive sono relative all'utilizzo delle tecnologie digitali e all'infrastruttura di connettività nelle province del Piemonte. Questo approccio ha permesso di mappare e comprendere la distribuzione e l'evoluzione delle tecnologie digitali tra le organizzazioni e gli individui nell'area studiata. Per l'analisi, sono stati raccolti dati annuali riguardanti la copertura delle connessioni internet fisse e mobili, la diffusione della banda larga e ultra-larga, e l'incremento dell'uso di servizi ICT tra le imprese locali. Questi dati sono stati utilizzati per creare una serie di grafici e tabelle che illustrano le variazioni percentuali

di adozione e la distribuzione geografica delle tecnologie nel periodo compreso tra il 2010 e il 2020. Ogni grafico e tabella presentati nel seguito consente di evidenziare le aree con maggiore crescita e quelle che presentano ancora lacune infrastrutturali. Questa parte dell'analisi ha aiutato a identificare non solo le tendenze attuali ma anche le potenziali aree di intervento per politiche future.

La seconda parte del capitolo è dedicata all'indagine campionaria, che ha contato oltre mille rispondenti appartenenti ad aziende e PA piemontesi per misurare la percezione e le aspettative in merito all'introduzione della Cloud Region nel cuore del loro territorio. Per la raccolta dei dati, è stato utilizzato un questionario CAWI (Computer-Assisted Web Interviewing) (Wójcicki, 2012; Kumar, 2011). Il periodo di somministrazione del questionario è stato dal 20 marzo al 30 aprile 2023. Questo metodo è stato scelto per la sua efficacia nel raggiungere un ampio numero di rispondenti minimizzando gli errori di raccolta. Il questionario includeva una combinazione di domande chiuse su scala Likert e domande aperte per commenti supplementari, oltre a sezioni per la raccolta di informazioni demografiche e aziendali specifiche. L'analisi dei dati è stata effettuata utilizzando il software statistico R. Il campione di studio è stato selezionato tramite un metodo di campionamento probabilistico stratificato per garantire che tutte le categorie di organizzazioni (piccole, medie e grandi imprese, oltre alle pubbliche amministrazioni) fossero adeguatamente rappresentate. Complessivamente, 1.004 organizzazioni sono state incluse nel campione per rappresentare equilibratamente le diverse realtà economiche del Piemonte. Per assicurare la validità del questionario, il tool è stato pretestato su un piccolo gruppo pilota di organizzazioni simili a quelle del campione di studio, permettendo di affinare le domande per garantire chiarezza e pertinenza.

I risultati ottenuti evidenziano che la nuova Cloud Region potrà portare diversi vantaggi per il Piemonte, quali la riduzione nei tempi di latenza, la disponibilità di nuovi servizi e la maggiore sicurezza dei dati stessi. Inoltre, ulteriori benefici possono derivare dall'interazione tra la nuova Cloud Region e quella, analoga, recentemente attivata a Milano dalle medesime aziende.

Per analizzare i risultati dell'indagine campionaria condotta tra le organizzazioni piemontesi, è stata utilizzata una cluster analysis. Questo approccio statistico ha permesso di segmentare le organizzazioni in gruppi omogenei basati sulla loro attitudine e comportamento

nell'adozione dei servizi cloud. L'uso della cluster analysis ha facilitato l'identificazione di pattern distinti nel modo in cui diverse organizzazioni percepiscono e utilizzano il cloud computing. L'indagine ha raccolto dati su diversi aspetti, come l'utilizzo attuale dei servizi cloud, le intenzioni future, e i benefici percepiti dall'adozione di tali tecnologie. I dati sono stati poi trattati per identificare cluster di organizzazioni con caratteristiche simili. Il processo ha incluso la normalizzazione dei dati per assicurare che tutte le variabili avessero un peso equo nell'analisi e la determinazione del numero ottimale di cluster da formare. Questa segmentazione ha offerto una base solida per interpretare come le diverse organizzazioni percepiscono e implementano il cloud computing. I risultati dell'analisi dei cluster hanno fornito spunti preziosi per formulare raccomandazioni specifiche, mirate a supportare l'adozione del cloud in modo più efficace tra le varie categorie di organizzazioni.

6.1. Digitalizzazione in Piemonte: infrastruttura, livello di adozione, competenze

Questa sezione fornisce una panoramica sul “posizionamento digitale” della Regione Piemonte. Per ottenere questo risultato è stata effettuata un'analisi dettagliata, distinta per Imprese piccole/medie/grandi e PA, della digitalizzazione della Regione Piemonte e delle singole province.

6.1.1. Livello infrastrutturale

L'analisi del livello infrastrutturale si è basata sulla diffusione dell'utilizzo delle tecnologie digitali tra gli occupati, nelle province del Piemonte, nel periodo 2012-2020.

La Figura 6.1 che segue indica la variazione percentuale del numero di imprese attive nel settore Servizi di Informazione e Comunicazione (settore J – ATECO2007) tra il 2015 e il 2020 suddivise per provincia del Piemonte. Si noti, in ogni caso, che quest'ordine è basato sulla variazione percentuale delle imprese attive nel settore ATECO2007 e non tiene conto di altre variabili, come la dimensione o la redditività delle singole imprese o il valore economico del settore nel suo complesso.

L'aumento maggiore si registra nella provincia Biella, con una percentuale superiore all'80%, seguita da Cuneo (+50%) e Vercelli (+33%). Torino riporta una percentuale pari al +14,4%.

In sintesi, nel periodo considerato, si osserva un incremento delle imprese attive in ogni provincia del Piemonte, alcune delle quali registrano un tasso di crescita più elevato rispetto ad altre.

In particolare, i dati sono suddivisi per provincia e sono espressi come percentuale di occupati che utilizzano internet e tecnologie digi-

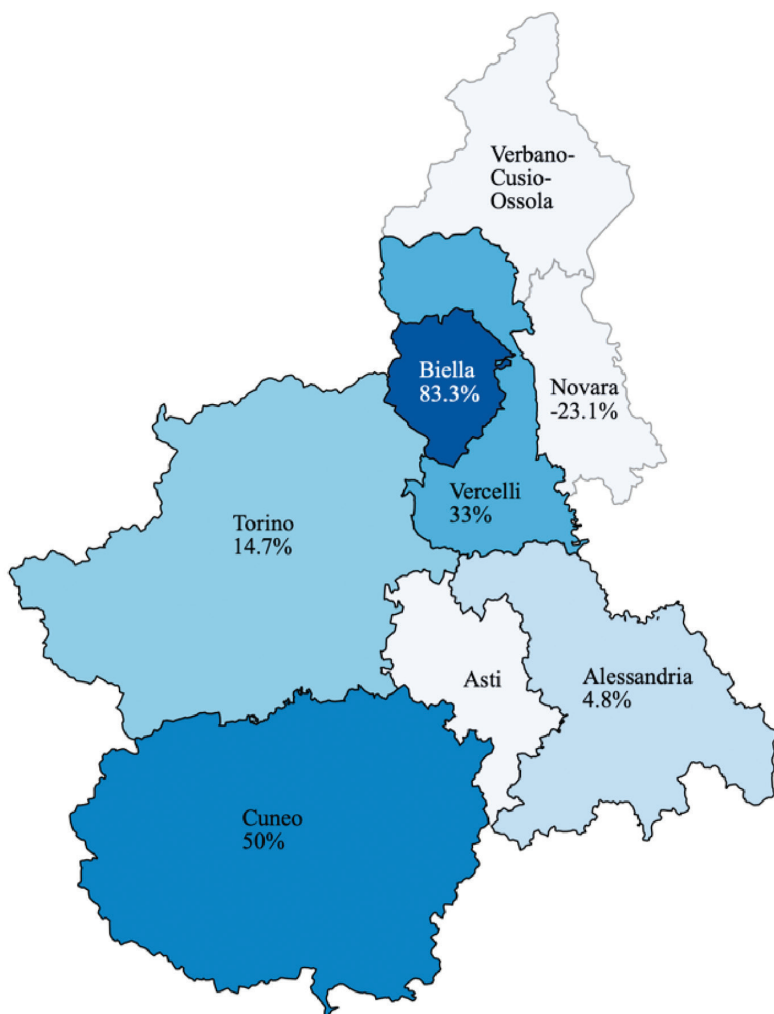


Fig. 6.1. Variazione percentuale delle imprese attive (2015-2020).

Fonte: elaborazione degli autori su dati ISTAT – Registro Statistico delle Imprese Attive (ASIA). La mappa mostra la variazione del numero di imprese attive tra il 2015 e il 2020 – settore Ateco2007 J: servizi di informazione e comunicazione

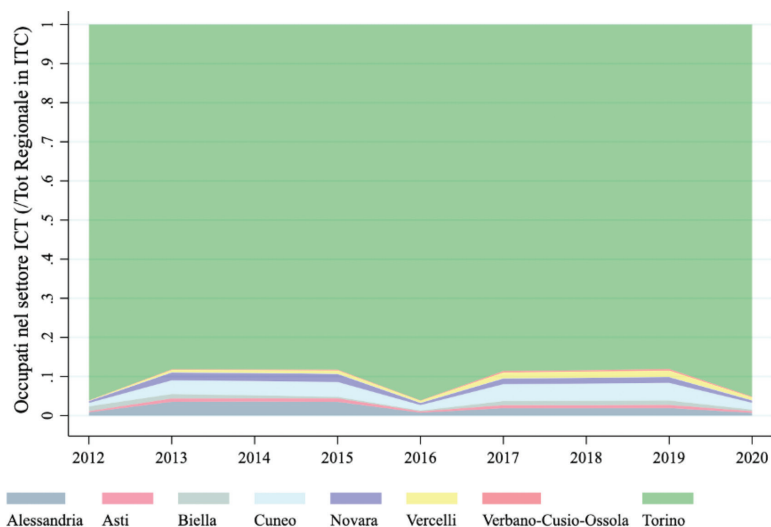


Fig. 6.2. Distribuzione degli occupati regionali in ICT per provincia.

Fonte: Elaborazione degli autori su dati ISTAT – Registro Statistico delle Imprese Attive (ASIA). La figura mostra la variazione della quota di occupati per provincia sul totale degli occupati regionali nel settore Ateco2007 J: servizi di informazione e comunicazione.

tali per svolgere il proprio lavoro (Fig. 6.1). In base ai dati presenti, la percentuale di occupati che utilizza internet e tecnologie digitali per il proprio lavoro è in costante aumento in tutte le province del Piemonte nel periodo considerato.

In generale, i dati suggeriscono che la distribuzione degli occupati regionali nel settore ICT per provincia sia in costante aumento nelle province del Piemonte, anche se ci sono ancora alcune differenze tra le province. Dalla Figura 6.2 emerge come la quasi totalità degli addetti nel settore ICT nel 2020 sia occupata nella provincia di Torino che registra una percentuale del 95% del totale degli occupati nel settore a livello regionale, con la restante quota percentuale distribuita tra le altre province (Alessandria 0,67%; Asti 0,41%; Cuneo 1,86%; Novara 0,63%; Verbano-Cusio-Ossola 0,16%; Vercelli 0,83%).

Le province che registrano una percentuale inferiore rispetto alla media provinciale potrebbero aver bisogno di maggiori investimenti nella formazione del personale e nella digitalizzazione delle imprese locali.

La Figura 6.3 mostra la percentuale di imprese attive nel settore ICT (codice ATECO2007: J) in Piemonte rispetto alla percentuale di tutte le altre imprese in Piemonte nel periodo 2010-2019, calcolato sulla base

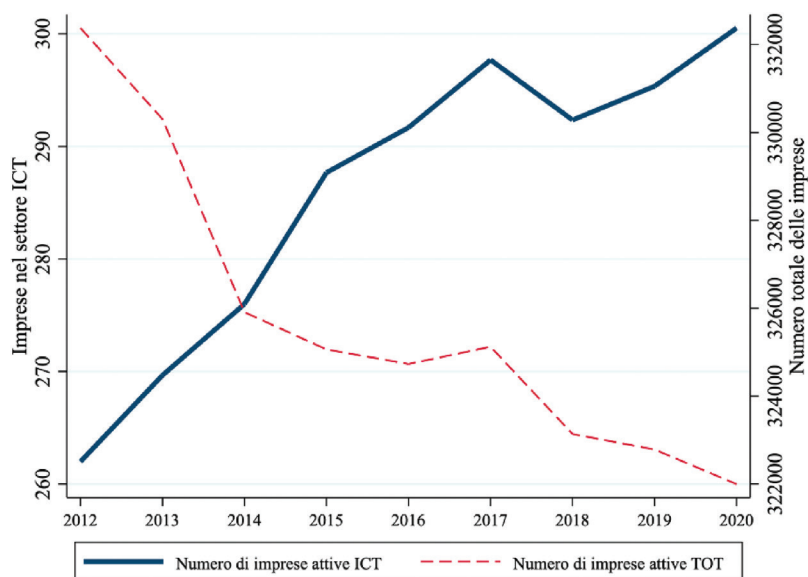


Fig. 6.3. Media mobile imprese Regione Piemonte (2012-2020).

Fonte: Elaborazione su dati ISTAT.

della media mobile triennale. In particolare, il grafico rappresenta la media mobile triennale della percentuale di imprese nel settore ICT ATECO2007J e della percentuale di tutte le altre imprese in Piemonte, espressa come un rapporto tra le due.

La media mobile triennale è stata calcolata per ridurre la variabilità stagionale e mettere in luce meglio le tendenze a lungo termine. Essa viene calcolata come la media aritmetica dei valori osservati nei tre anni precedenti al punto in cui viene calcolata la media mobile.

Il grafico 6.3. mostra che il numero di imprese nel settore ICT ATECO2007J in Piemonte, nel periodo 2012-2020, è in costante aumento rispetto alle altre tipologie di imprese attive in Piemonte. In particolare, si osserva che il rapporto tra le due tipologie di imprese è aumentato costantemente dal 2010, ma il tasso di crescita sembra essere accelerato dal 2015 in poi.

Questo andamento positivo può essere interpretato come un indicatore della crescente importanza del settore ICT ATECO2007J nell'economia piemontese.

Ciò suggerisce che il settore ICT ATECO2007J abbia un impatto positivo sull'economia piemontese e stia diventando sempre più rilevante nel corso degli anni.

6.1.2. Copertura delle connessioni

Successivamente sono stati raccolti dati relativi alla copertura delle connessioni internet nelle province del Piemonte, distinguendo tra le connessioni banda larga fisse e quelle mobili.

Per quanto riguarda le connessioni fisse, si osserva che la copertura delle connessioni internet a banda larga fisse in tutte le province del Piemonte è aumentata nel periodo 2012-2021.

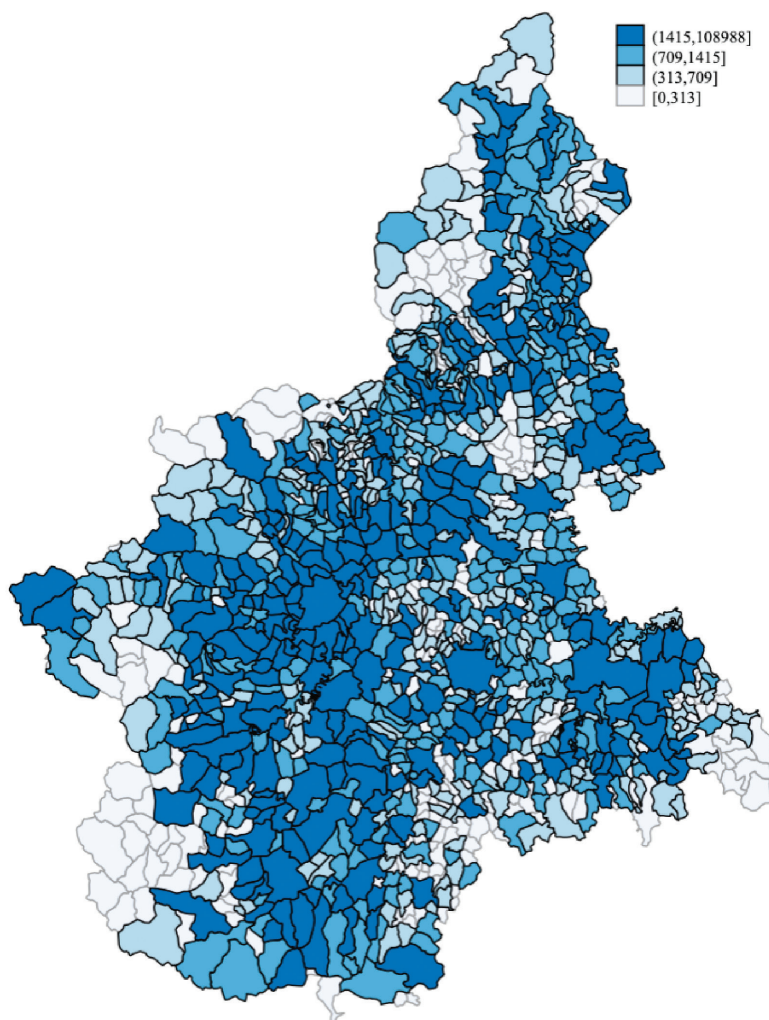


Fig. 6.4. Copertura connessioni con tecnologie ADSL.

Fonte: Elaborazione degli autori su dati AGCOM. La legenda indica il numero di indirizzi serviti da tecnologia ADSL.

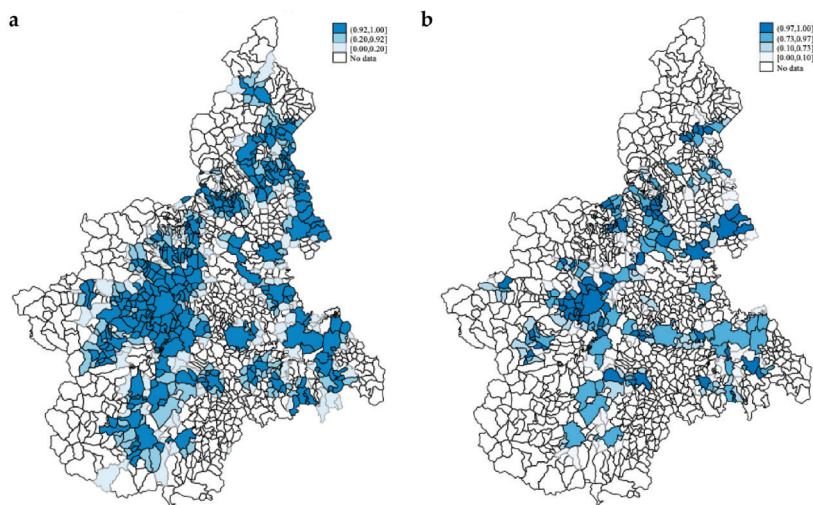


Fig. 6.5. Copertura connessioni fisse con tecnologie FTTC e FTTH (% famiglie servite).
Note: Le figure mostrano la quota di nuclei familiari per comune serviti da connessione con fibra ottica con la tecnologia FTTC (a) e FTTH (b). Elaborazioni degli autori su dati AGCOM.

Nel 2021, la copertura delle connessioni fisse a banda larga sembra essere superiore al 90% in tutte le province del Piemonte (Fig. 6.4). In particolare, le province che registrano la copertura più alta sono Torino (95,6%), Vercelli (95,3%) e Cuneo (94,9%). Tuttavia, alcune province come Biella (88,2%) e Verbano-Cusio-Ossola (89,5%) registrano ancora una copertura inferiore rispetto alla media provinciale.

Per quanto riguarda la dotazione infrastrutturale, e la distribuzione geografica della copertura di fibra con tecnologia FTTC e FTTH (Fig.6.5 a) e b)), emerge la necessità di un investimento in tal senso. Mentre la copertura da tecnologia ADSL appare a livello regionale (97,4%) in linea con il dato nazionale (98,3%), la fibra ottica sembra raggiungere, tramite collegamento FTTC a livello regionale, una percentuale di famiglie (65,6%) inferiore alla media nazionale (76%). Province come Torino (74%), Novara (72,6%), Biella (72,6%) e Verbano-Cusio-Ossola (76,5%) registrano una performance migliore a fronte di altre che sembrano essere ancora indietro come Vercelli (57,8%), Cuneo (52,9%), Asti, (50,8%) e Alessandria (53,5%). Un quadro simile emerge anche dall'analisi dei dati sulla percentuale di famiglie raggiunte dalla fibra ottica (Fig. 6.6). Il dato nazionale conferma come il 64,3% delle famiglie sia servito da fibra ottica direttamente nella propria abitazione, mentre in Piemonte poco più di una famiglia su

due (57%) è raggiunta dalla fibra ottica direttamente dalla centrale di trasmissione, con, in questo caso, quattro province che mostrano dati in linea con il dato nazionale (Torino 61,5%; Vercelli 63%; Biella 67,4%; Verbano-Cusio-Ossola 63,9%), mentre le altre registrano performance ben al di sotto della media italiana (Cuneo 49,3%; Asti 44,8%; Alessandria 49,3%; Novara 48,2%).

Passando alle connessioni mobili, si osserva che la copertura delle connessioni internet a banda larga mobili in tutte le province del Piemonte è aumentata nel periodo 2012-2021. Nel 2021, la copertura delle connessioni mobili a banda larga sembra essere in media intorno all'80% in tutte le province del Piemonte. Le province che registrano la copertura più alta sono Asti (85,7%), Alessandria (85,3%) e Cuneo (84,3%). Anche in questo caso, alcune province come Vercelli (73,4%) e Verbano-Cusio-Ossola (76,6%) registrano ancora una copertura inferiore rispetto alla media provinciale.

In generale, i dati suggeriscono che la copertura delle connessioni internet a banda larga fisse e mobili sia in costante aumento nelle province del Piemonte. Tuttavia, persistono ancora alcune differenze tra le province. Le province che registrano una copertura inferiore rispetto alla media provinciale potrebbero avere maggiori difficoltà nell'offrire servizi digitali ai cittadini e alle imprese locali, e potrebbero aver bisogno di maggiori investimenti nella digitalizzazione delle infrastrutture.

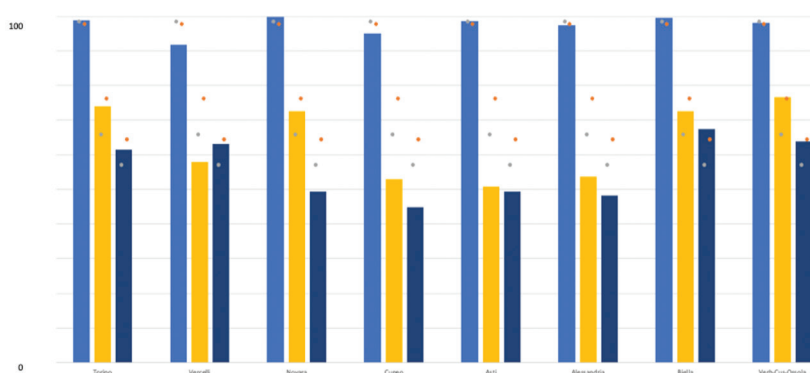


Fig. 6.6. Copertura rete fissa ADSL, FTTC, FTTH – (% famiglie servite).

Note: La figura mostra la percentuale di nuclei familiari serviti da tecnologie ADSL, FTTC e FTTH calcolate con metodologia approssimata (l'area servita è definita come selezione delle aree di campionamento censuarie ISTAT in cui esiste la tecnologia FTTC). Elaborazione degli autori su dati AGCOM.

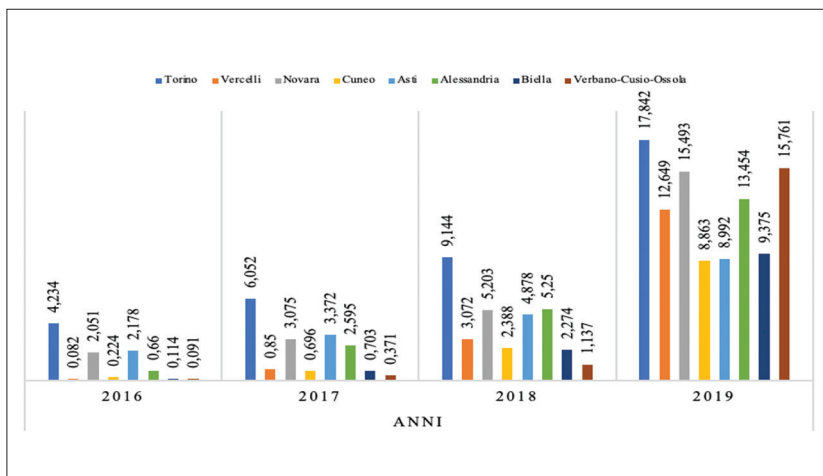


Fig. 6.7. Penetrazione della banda ultra-larga per Provincia.

Fonte: Elaborazione degli autori su dati AGCOM.

6.1.3. Banda ultra-larga

La penetrazione della banda ultralarga è espressa come percentuale della popolazione e suddivisa per tipo di tecnologia, ovvero FTTH/B, FWA e FTTx.

In base ai dati AGCOM, si osserva che la penetrazione della banda ultralarga è in costante aumento in tutte le province del Piemonte dal 2016 al 2019 (Fig. 6.7). In particolare, la tecnologia FTTH/B sembra essere quella con la penetrazione più alta in tutte le province del Piemonte, seguita dalla tecnologia FTTx e poi dalla tecnologia FWA.

Nel 2021, la penetrazione della banda ultralarga risulta essere più alta nelle province di Cuneo, Asti e Vercelli, con percentuali di penetrazione comprese tra il 44,9% e il 47,5%. Le province che registrano la penetrazione più bassa sono Biella, Novara e Verbania-Cusio-Ossola, con percentuali di penetrazione inferiori al 30%.

In generale, i dati suggeriscono che la penetrazione della banda ultralarga sia in costante aumento in tutte le province del Piemonte, anche se si registrano ancora alcune differenze tra le province. Le province che mostrano una penetrazione inferiore rispetto alla media provinciale potrebbero aver bisogno di maggiori investimenti nella digitalizzazione delle infrastrutture per migliorare l'accesso ai servizi digitali per i propri cittadini e imprese locali.

6.2. Risultati dell’indagine campionaria

Nei paragrafi successivi vengono presentati i risultati dell’indagine campionaria presentata ad inizio capitolo. L’obiettivo della survey è indagare i benefici percepiti dal tessuto produttivo Piemontese (manifattura, servizi e PA) relativi alla realizzazione di una seconda, nuova Cloud Region sul territorio italiano (a Torino). Il questionario, come illustrato all’inizio del capitolo, è stato somministrato nel periodo tra il 20 marzo e il 30 aprile 2023.

I risultati ottenuti dalla survey sono presentati nel seguito e sono suddivisi in tre parti:

- 1. le caratteristiche strutturali delle imprese nel campione,
- 2. l'utilizzo del cloud e le intenzioni future,
- 3. l'analisi dell'attitudine delle imprese verso il cloud.

Tab. 1. Localizzazione geografica delle imprese rispondenti.

Provincia	Freq	%
Torino	206	20.52%
Novara	125	12.45%
Alessandria	124	12.35%
Cuneo	117	11.65%
Biella	115	11.45%
Asti	113	11.25%
Vercelli	111	11.06%
Verbania-Cusio-Ossola	93	9.26%

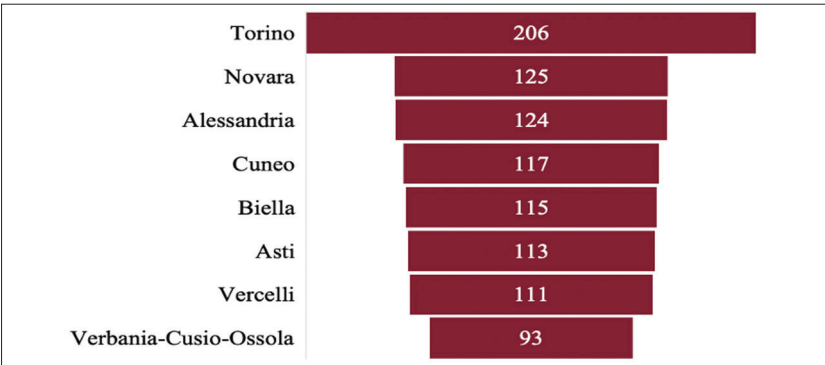
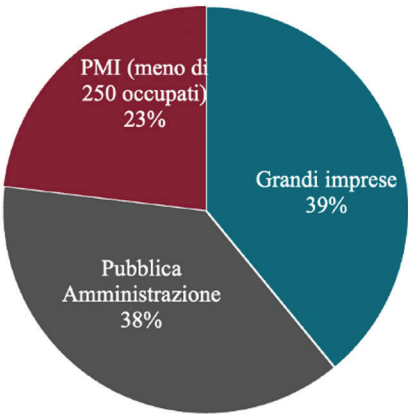


Fig. 1. Localizzazione geografica delle imprese rispondenti.

Tab. 2. Distribuzione delle imprese intervistate secondo la dimensione.

Dimensione	Freq	%
Grandi imprese	392	39.04%
PMI (meno di 250 occupati)	380	37.85%
PA	232	23.11%

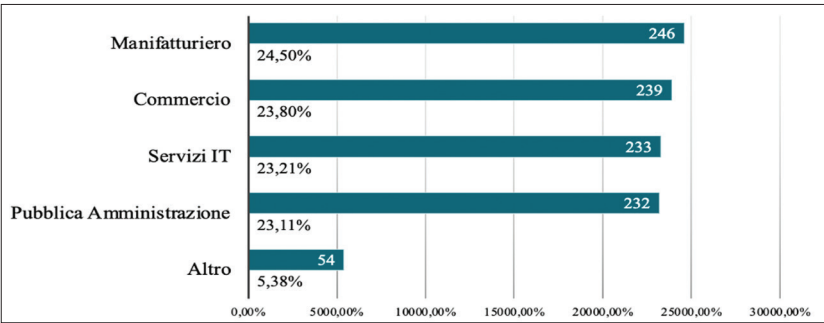
Fig. 2. Distribuzione delle imprese intervistate secondo la dimensione.



Tab. 3. Distribuzione delle imprese intervistate secondo il settore produttivo.

Settore	Freq	%
Manifatturiero	246	24.50%
Commercio	239	23.80%
Servizi IT	233	23.21%
Pubblica Amministrazione	232	23.11%
Altro	54	5.38%

Fig. 3. Distribuzione delle imprese intervistate secondo il settore produttivo.



6.2.1. Le caratteristiche strutturali delle imprese all'interno del campione

Sulla base dei risultati ottenuti, circa un quinto delle imprese rispondenti è localizzato in provincia di Torino (Tab. e Fig 1). Circa il 39% del campione è composto da grandi imprese (Tab e Fig.2) e le imprese sono approssimativamente equi-ripartite tra i quattro settori di attività (Commercio, Manifattura, Servizi IT e Pubblica amministrazione) (Tab e Fig 3).

Per consentire una corretta inferenza, ciascuna unità statistica nel campione è stata pesata opportunamente, facendo in modo di ricostruire il totale dell'universo delle imprese attive per ciascuna provincia. Per costruire tali pesi, è stato necessario acquisire informazioni sull'universo delle imprese attive in ciascuna provincia piemontese. Il database utilizzato è AIDA, che consente l'analisi e l'elaborazione delle informazioni economico-finanziarie, anagrafiche e commerciali di tutte le società di capitali che operano in Italia. L'universo è riferito all'anno 2022, l'ultimo disponibile in AIDA.

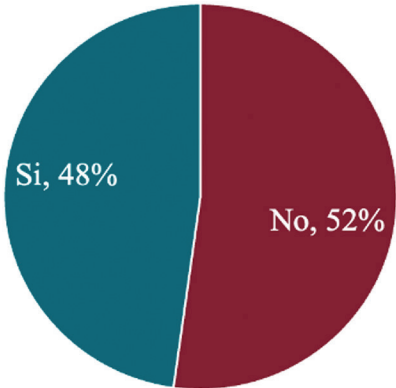
6.2.2. Utilizzo del cloud e intenzioni future

Con riferimento all'utilizzo dei servizi cloud (Tab e Fig 4), il campione è approssimativamente diviso a metà tra chi lo usa e chi non lo usa.

Tab. 4. Domanda: State già utilizzando servizi cloud?

	%
No	51.46%
Si	48.54%

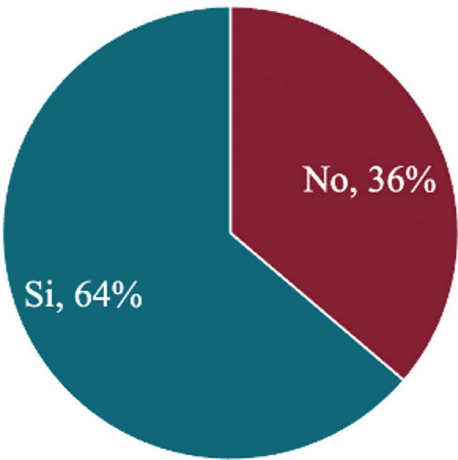
Fig. 4. Domanda: State già utilizzando servizi cloud?



Tab. 5. Domanda: Se sì, state pensando di incrementarne l'adozione?

	%
No	35.28%
Si	64.72%

Fig. 5. Domanda: Se sì, state pensando di incrementarne l'adozione?



Tab. 6. Domanda: Se sì su quali di questi servizi cloud pensate di incrementare? (Risposta multipla)

	%
Archiviazione / Database	26.34%
Analisi di Dati	24.69%
Artificial Intelligence & Machine Learning	21.91%
Computing	17.55%
Strumenti di Collaborazione (e.g. Google Workspace, Microsoft Teams)	9.51%

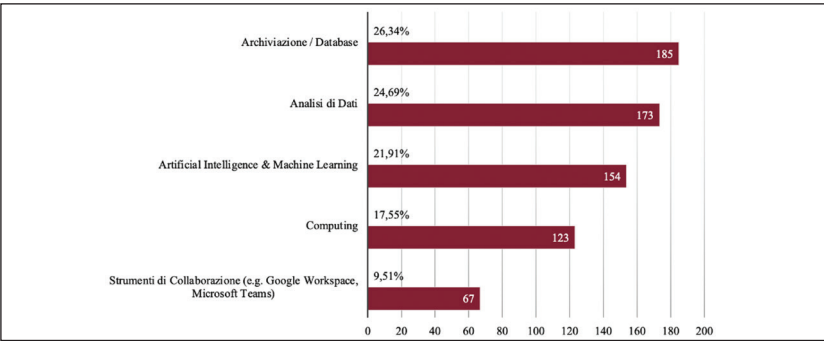


Fig. 6. Domanda: Se sì su quali di questi servizi cloud pensate di incrementare? (Risposta multipla)

Tra coloro che usano già servizi cloud, il 63.75% pensa di incrementare la loro adozione (Tab. e Fig. 5) per utilizzare maggiormente servizi di tipo Archiviazione/database, Analisi dei dati e Artificial Intelligence & Machine Learning (Tab. e Fig. 6).

Tab. 7. Domanda: Se sì, state utilizzando servizi cloud per soluzioni/processi che voi ritenete mission critical per il vostro business?

	%
No	26.46%
Si	73.54%

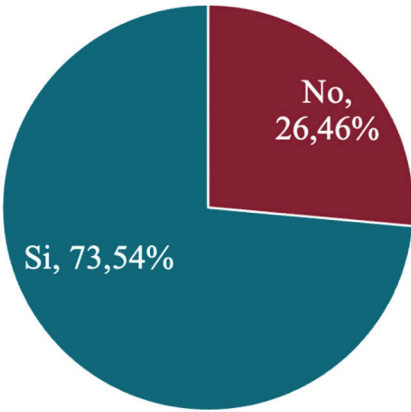


Fig. 7. Domanda: Se sì, state utilizzando servizi cloud per soluzioni/processi che voi ritenete mission critical per il vostro business?

Dalla Tab 7 e dal Fig. 7, si evince che una ampia maggioranza di imprese – il 73.54% – ritiene cruciali per le attività aziendali i servizi cloud utilizzati.

Tab. 8. Domanda: Se sì, quale/i modello/i di servizio/i state utilizzando?

	%
Una combinazione dei due modelli precedenti	39.90%
Multi-cloud: un'applicazione o servizio su un public cloud è combinato con un'applicazione o servizio su un altro public cloud	31.94%
Hybrid-cloud: un'applicazione o servizio installato presso i vostri data center o la vostra sede aziendale è combinato con un'applicazione o servizio sul public cloud	25.04%
Non so	3.11%

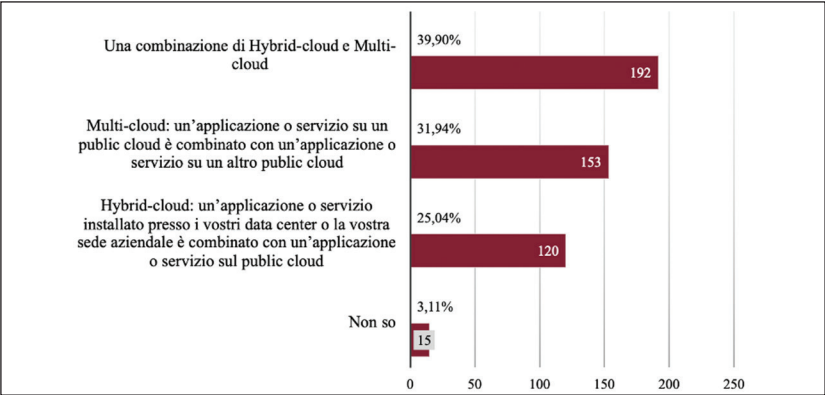


Fig. 8. Domanda: Se sì, quale/i modello/i di servizio/i state utilizzando?

Il modello di servizio cloud prevalentemente utilizzato è una combinazione dell'Hybrid cloud e del Multi cloud. Infatti, poco meno del 40% delle imprese che utilizzano già il cloud, fa uso di tale tipologia di servizi (Tab e Fig. 8).

Tab. 9. Domanda: Se no, quando prevedete di adottare servizi cloud?

	%
Non prevediamo di adottarne	12.77%
Seconda metà 2023	43.50%
Prima metà 2024	36.92%
Seconda metà 2024	6.54%
Dal 2025 in avanti	0.28%

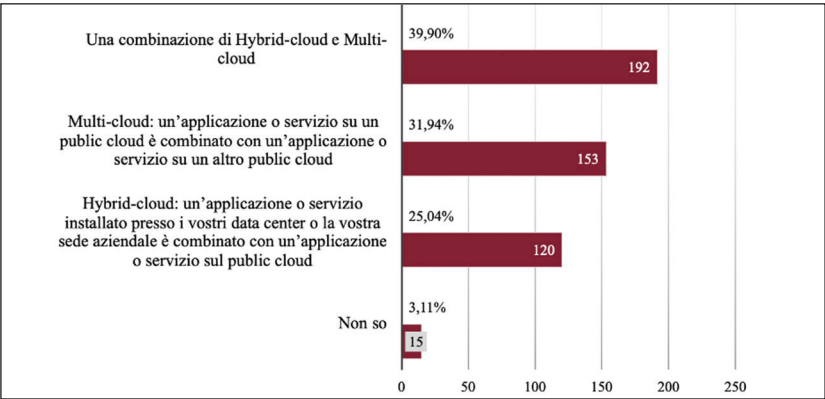


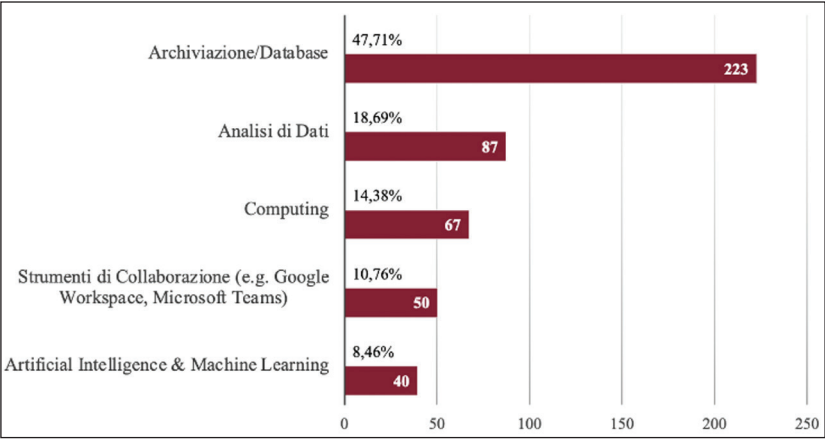
Fig. 9. Domanda: Se no, quando prevedete di adottare servizi cloud?

Per quanto riguarda le imprese che hanno dichiarato di non utilizzare servizi cloud, appare evidente dai risultati riportati nella Tab e Fig 9 che si tratta di una situazione destinata a cambiare molto presto.

Tab. 10. Domanda: Se no, quali servizi cloud prevedete di utilizzare in futuro?

	%
Archiviazione / Database	47.71%
Analisi di Dati	18.69%
Computing	14.38%
Strumenti di Collaborazione (e.g. Google Workspace, Microsoft Teams)	10.76%
Artificial Intelligence & Machine Learning	8.46%

Fig. 10. Domanda: Se no, quali servizi cloud prevedete di utilizzare in futuro?



Infatti, circa l’80% dei rispondenti dichiara che adotterà servizi cloud tra la seconda metà del 2023 e la prima metà del 2024. Solo un esiguo 12% di imprese dice che non intende adottare tali servizi.

Tab. 11. Domanda: Se no, quale/i modello/i di servizio/i prevede di utilizzare in futuro?

	%
Una combinazione dei due modelli precedenti	43.33%
Multi-cloud: un’applicazione o servizio su un public cloud è combinato con un’applicazione o servizio su un altro public cloud	28.59%
Hybrid-cloud: un’applicazione o servizio installato presso i vostri data center o la vostra sede aziendale è combinato con un’applicazione o servizio sul public cloud	28.08%

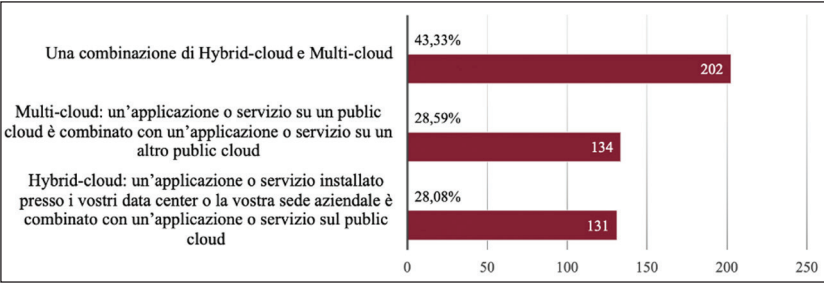


Fig. 11. Domanda: Se no, quale/i modello/i di servizio/i prevede di utilizzare in futuro?

Come riportato in Tab e Fig. 10, i servizi cloud di maggior interesse per le imprese che ancora non ne fanno uso sono: l’archiviazione/database (47.71%) e l’analisi dei dati (18.69%).

Anche per le imprese che ancora non utilizzano servizi cloud, il modello di servizio più interessante è una combinazione tra hybrid e multi cloud (Tab e Fig. 11).

Tab. 12. Indicare l’interesse per ciascuno dei seguenti servizi cloud?

	Computing	Archiviazione / Database	Analisi di Dati	AI&Machine learning	Strumenti di Collaborazione
1	1.32%	0.57%	1.10%	4.70%	3.95%
2	6.83%	3.43%	4.09%	11.62%	7.09%
3	17.68%	10.39%	15.54%	23.42%	14.10%
4	38.37%	22.56%	31.76%	29.83%	30.26%
5	35.80%	63.05%	47.51%	30.44%	44.60%

1= nessun interesse; 5=massimo interesse

6.2.3. Attitudine delle imprese

Dall'analisi dell'attitudine delle imprese verso il cloud emerge chiaramente che tutti i servizi di cloud riscuotono molto interesse: in particolare,

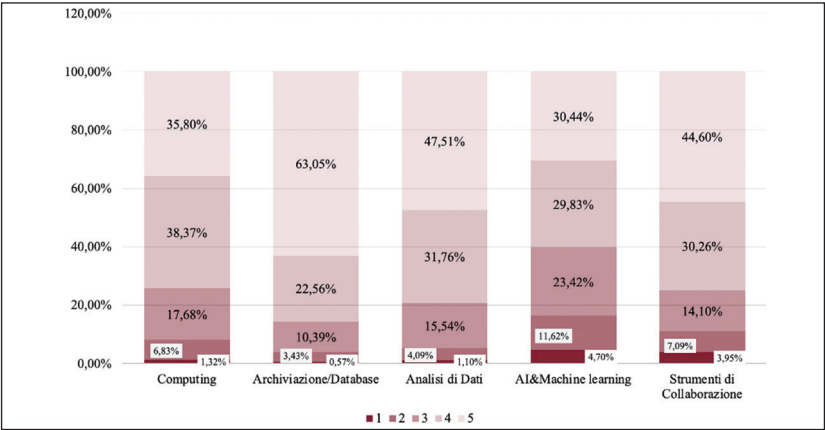


Fig. 12. Indicare l’interesse per ciascuno dei seguenti servizi cloud.

Tab. 13. Domanda: Qual è l’attuale grado di competenza/conoscenza dei servizi cloud all’interno della vostra azienda?

	%
1	6.10%
2	21.79%
3	28.39%
4	30.95%
5	12.77%

1=nessuna conoscenza; 5=massima conoscenza

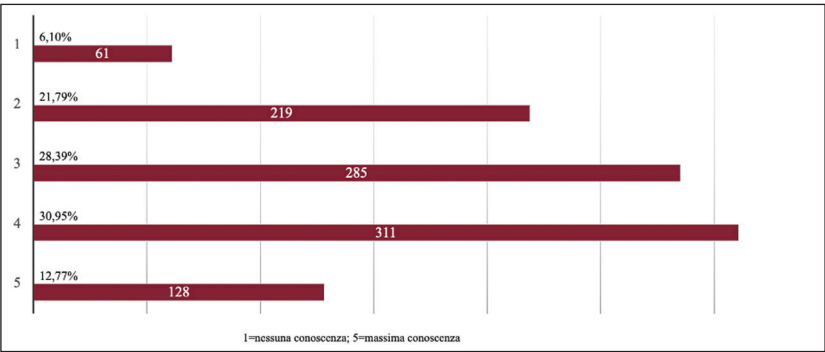


Fig. 13. Domanda: Qual è l’attuale grado di competenza/conoscenza dei servizi cloud all’interno della vostra azienda?

quello di maggior interesse è certamente il servizio di archiviazione/data-base che vede il 63.05 dei rispondenti assegnare il massimo punteggio (Tab. e Fig. 12), seguito dall’analisi dei dati e dagli strumenti collaborazione.

Tab. 13a. Grado di competenza /conoscenza dei servizi cloud all’interno dell’azienda per provincia di localizzazione.

	Torino	Alessandria	Asti	Biella	Cuneo	Novara	Verbania-Cusio-Ossola	Vercelli
1	5.34%	9.68%	7.08%	4.35%	6.84%	7.20%	3.23%	5.41%
2	18.45%	26.61%	20.35%	17.39%	30.77%	28.00%	20.43%	20.72%
3	32.52%	16.13%	23.01%	33.04%	23.08%	27.20%	25.81%	22.52%
4	29.61%	33.06%	38.05%	39.13%	30.77%	27.20%	34.41%	37.84%
5	14.08%	14.52%	11.50%	6.09%	8.55%	10.40%	16.13%	13.51%

1=nessuna conoscenza; 5=massima conoscenza

Le imprese rispondenti, però, hanno coscienza del fatto di non disporre di competenze molto esperte al loro interno. Infatti, solo il 12.77% dei rispondenti dichiara di ritenere di possedere personale con conoscenze massime (Tab e Fig 13).

Entrando nel dettaglio di questo importante aspetto, il comportamento delle imprese è leggermente diverso quando lo esaminiamo anche con riguardo alla diversa localizzazione (Tab 13a). Cuneo e Alesandria sono le province con maggiori deficit percepiti di competenza,

Tab. 13b. Grado di competenza /conoscenza dei servizi cloud all’interno dell’azienda per dimensione.

	Grandi imprese	PMI (meno di 250 occupati)	PA
1	3.12%	8.19%	6.92%
2	12.60%	24.21%	30.33%
3	29.05%	20.60%	39.11%
4	36.26%	34.27%	18.99%
5	18.97%	12.72%	4.65%

1=nessuna conoscenza; 5=massima conoscenza

nelle quali rispettivamente 37.61 e il 36.29 delle imprese assegna un punteggio pari a 1 oppure 2.

Interessanti sono pure le differenze riscontrate in base alla dimensione di impresa (Tab. 13b) e al settore (Tab 13c).

La pubblica amministrazione è di gran lunga il comparto con i maggiori deficit conoscitivi in ambito cloud e che beneficerebbe molto di una alfabetizzazione in tal senso.

Tab. 13b. Grado di competenza /conoscenza dei servizi cloud all'interno dell'azienda per settore

	Commercio	Manifatturiero	Pubblica Amministrazione	Servizi IT	Altro
1	4.74%	8.27%	6.92%	1.17%	15.13%
2	17.59%	25.64%	30.33%	7.65%	33.21%
3	32.76%	31.61%	39.11%	7.31%	27.66%
4	39.28%	29.95%	18.99%	45.03%	9.87%
5	5.63%	4.53%	4.65%	38.85%	14.13%

1=nessuna conoscenza; 5=massima conoscenza

Tab. 14. Domanda: Quale importanza attribuite alla prossimità geografica dei data center cloud alla vostra azienda?

	%
1	1.66%
2	7.55%
3	13.58%
4	30.36%
5	46.86%

1= nessuna e 5 massima importanza

Tab. 15a. Domanda: Quale è il beneficio più importante derivante dall'adozione di servizi cloud da parte della vostra azienda?

	%
Possibilità di accedere ai servizi ovunque ci si trovi	34.05%
Possibilità di aumentare e ridurre le risorse di prodotti e servizi in base alla richiesta	28.64%
Avere garanzie di elevata sicurezza e affidabilità delle risorse su cui i prodotti e servizi sono sviluppati	12.48%
Possibilità di sviluppare e lanciare rapidamente nuovi prodotti e servizi sul mercato	11.75%
Flessibilità dei costi in base al consumo effettivo delle risorse	9.87%
Assenza di investimenti anticipati	3.21%

Circa i $\frac{3}{4}$ dei rispondenti assegna una grossa importanza alla prossimità geografica dei data center (Tab 14), misurata come la percentuale di coloro che assegna un punteggio pari a 4 oppure 5 in scala Likert.

Tab. 15b. Domanda: Quale è il secondo beneficio più importante derivante dall'adozione di servizi cloud da parte della vostra azienda?

	%
Avere garanzie di elevata sicurezza e affidabilità delle risorse su cui i prodotti e servizi sono sviluppati	29.87%
Possibilità di accedere ai servizi ovunque ci si trovi	24.55%
Flessibilità dei costi in base al consumo effettivo delle risorse	18.36%
Possibilità di aumentare e ridurre le risorse di prodotti e servizi in base alla richiesta	11.83%
Possibilità di sviluppare e lanciare rapidamente nuovi prodotti e servizi sul mercato	8.10%
Assenza di investimenti anticipati	7.29%

Il principale beneficio proveniente dai servizi cloud ed indicato dal 34.05% dei rispondenti è la possibilità di accedere ai servizi ovunque ci si trovi, seguito dalla possibilità di aggiustare le risorse di prodotti e servizi in base alla richiesta (28.64% come mostrato in Tab 15a).

Il secondo beneficio è la garanzia di sicurezza e affidabilità delle risorse (Tab. 15b), indicato da poco meno del 30% delle imprese.

Il terzo beneficio è la flessibilità dei costi (Tab 15c).

Il tema della sicurezza è indicato da circa il 31% dei rispondenti come il principale ostacolo all’adozione di servizi cloud (Tab. 16a).

I costi è il tema che emerge quando i rispondenti sono chiamati ad indicare la seconda principale difficoltà nel ricorrere a servizi cloud (Tab. 16b).

Molto sentito è il tema della sinergia tra cloud provider e rete nazionale: circa il 77% dei rispondenti assegna un punteggio almeno pari a 4 a tale aspetto (Tab. e Fig. 17).

Tale sinergia continua a rimanere un tema molto sentito allorché lo si declina in termini tematici: tra il 70 e l’85% dei rispondenti assegna un punteggio almeno pari a 4 quando ci si riferisce esplicitamente ai

Tab. 16a. Domanda: Quale è la prima principale difficoltà di adozione di servizi cloud da parte della vostra azienda?

	%
Sicurezza (es. nuovi rischi di cybersicurezza)	31.18%
Efficienza (es. difficoltà ad adattare il modello di business)	27.31%
Costi (es. incertezza del ritorno dell’investimento)	20.79%
Processi interni (es. migrazione complessa di applicazioni legacy)	16.22%
Competenze esterne (es. necessità di competenze specifiche)	4.51%

Tab. 16b. Quale è la seconda principale difficoltà di adozione di servizi cloud da parte della vostra azienda?

	%
Costi (es. incertezza del ritorno dell’investimento)	37.38%
Sicurezza (es. nuovi rischi di cybersicurezza)	30.86%
Efficienza (es. difficoltà ad adattare il modello di business)	18.44%
Processi interni (es. migrazione complessa di applicazioni legacy)	7.97%
Competenze esterne (es. necessità di competenze specifiche)	5.35%

servizi integrati, alla semplificazione amministrativa e alla adesione di direttive comunitarie (Tab. e Fig. 18).

Anche il tema della sostenibilità economica ed energetico-ambientale è un tema rilevante per i rispondenti: circa il 90% delle imprese ha assegnato a tale aspetto un punteggio almeno pari a 4 (Tab. e Fig. 19).

Tab. 17. Domanda: Quanto è determinante la sinergia tra cloud provider e rete nazionale in fibra nella scelta di adozione di servizi cloud?

	%
1	1.43%
2	8.60%
3	12.19%
4	44.12%
5	33.66%

1= per niente e 5= altamente

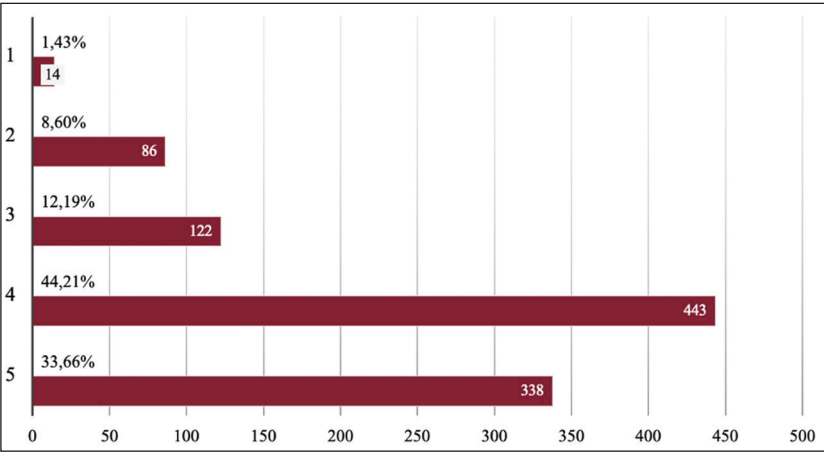


Fig. 17 – Domanda: Quanto è determinante la sinergia tra cloud provider e rete nazionale in fibra nella scelta di adozione di servizi cloud?

6.3. Cluster Analysis

In questo paragrafo si riepilogano i principali risultati di un’analisi cluster avente come finalità la identificazione di gruppi omogenei di imprese.

Tab. 18. Domanda: Quanto ritenete sia di beneficio la sinergia tra cloud provider e rete nazionale in fibra nella scelta di adozione di servizi cloud in termini di

	Servizi integrati (servizi cloud e fibra)	Semplificazione amministrativa (e.g. unico interlocutore)	Adesione direttive UE (es. GDPR, sovranità del dato)
1	1.03%	0.95%	0.99%
2	9.10%	3.43%	3.71%
3	13.26%	11.06%	11.61%
4	38.64%	26.02%	30.19%
5	37.96%	58.54%	53.50%

1= nessun beneficio, 5 = massimo beneficio

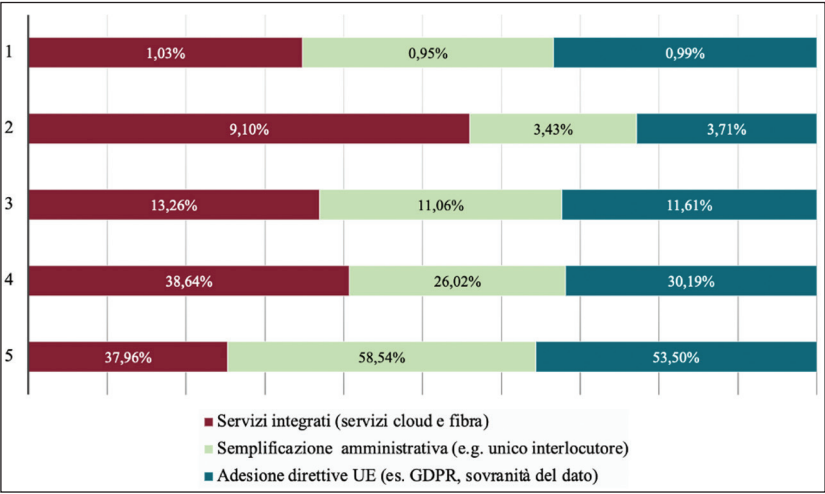


Fig. 18. Domanda: Quanto ritenete sia di beneficio la sinergia tra cloud provider e rete nazionale in fibra nella scelta di adozione di servizi cloud in termini di:

I gruppi individuati dall’analisi sono omogenei al loro interno con riferimento alle 5 domande sul grado di interesse per ciascuno dei seguenti servizi cloud: Computing, Archiviazione / Database, Analisi di

Tab. 19. Domanda: Quanto reputate importante che un cloud data center localizzato in Italia riesca a generare una effettiva riduzione dei costi energetici, un’energia più pulita, e in generale, un miglioramento nella sostenibilità?

	%
1	0.54%
2	0.82%
3	8.87%
4	40.42%
5	49.34%

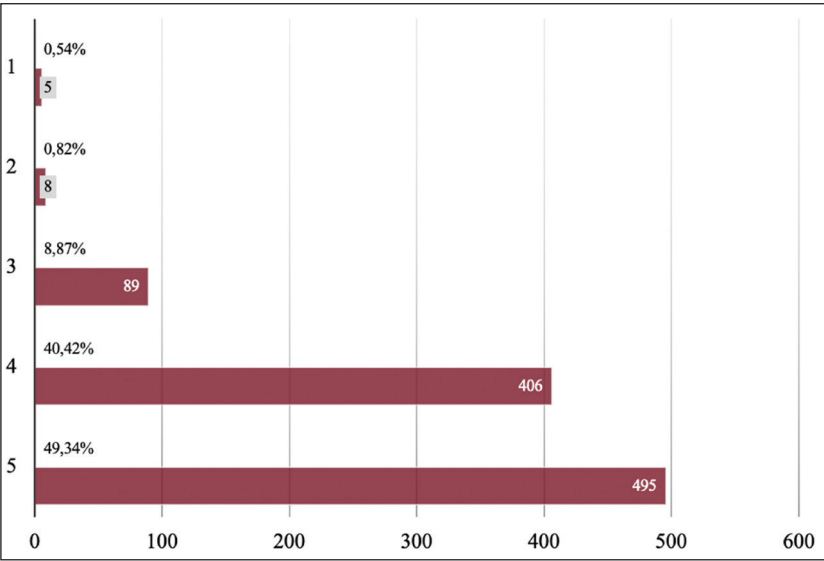


Fig. 19. Domanda: Quanto reputate importante che un cloud data center localizzato in Italia riesca a generare una effettiva riduzione dei costi energetici, un’energia più pulita, e in generale, un miglioramento nella sostenibilità?

Dati, AI & Machine learning, Strumenti di Collaborazione. Il rispondente doveva esprimere, per ognuna di esse, un punteggio in scala Likert da 1 a 5 (1= nessun interesse; 5=massimo interesse). L’utilità dei risultati di tale analisi risiede nel consentire di meglio identificare le diverse tipologie di imprese in base al livello di interesse dimostrato e fornire, quindi, servizi mirati.

I gruppi identificati sono:

- 1. *Giurassico*, costituito da imprese più restie all’adozione di tali servizi innovativi e costituito essenzialmente da imprese della PA;
- 2. *Futurista*, costituito da imprese con un fortissimo interesse verso tutti i servizi cloud e composto soprattutto da PMI che operano a Torino nel settore IT e del Commercio;
- 3. *Neoclassico*, si tratta di imprese con livelli abbastanza elevati di interesse verso i servizi cloud, anche se in modo differenziato a seconda del servizio.

I tre gruppi identificati e le loro caratteristiche sono riportate nella Tab 20.

Il cluster 1, che abbiamo denominato *Futurista*, è costituito da imprese con un fortissimo interesse verso tutti i servizi cloud. Si tratta, pertanto, di imprese particolarmente reattive e sensibili sull’argomento.

Tab. 20. Statistiche descrittive dei tre gruppi di imprese emersi dalla cluster analysis sul grado di interesse per i 5 servizi cloud.

		Computing	Archiviazione / Database	Analisi di Dati	AI&Machine learning	Strumenti di Collaborazione
Cluster 1 (Futurista)	median	4	5	5	5	5
	mean	4.424	4.672	4.561	4.506	4.480
	SE.mean	0.023	0.023	0.023	0.023	0.028
	CI.mean.0.95	0.045	0.044	0.046	0.046	0.055
	var	0.295	0.285	0.307	0.308	0.432
	std.dev	0.543	0.534	0.554	0.555	0.657
	coef.var	0.123	0.114	0.122	0.123	0.147
Cluster 2 (Giurassico)	median	3.5	3	4	3	2.5
	mean	3.621	3.529	3.598	3.006	2.356
	SE.mean	0.086	0.079	0.085	0.088	0.065
	CI.mean.0.95	0.171	0.156	0.168	0.173	0.128
	var	1.300	1.083	1.259	1.335	0.728
	std.dev	1.140	1.041	1.122	1.156	0.853
	coef.var	0.315	0.295	0.312	0.384	0.362

Tab. 20. Statistiche descrittive dei tre gruppi di imprese emersi dalla cluster analysis sul grado di interesse per i 5 servizi cloud.

Cluster 3 (Neoclassico)	median	4	5	4	3	5
	mean	3.448	4.789	3.854	2.498	4.590
	SE.mean	0.058	0.037	0.061	0.043	0.039
	CI.mean,0.95	0.113	0.073	0.120	0.084	0.077
	var	0.864	0.359	0.963	0.474	0.397
	std.dev	0.929	0.599	0.981	0.689	0.630
	coef.var	0.270	0.125	0.255	0.276	0.137

Il cluster 2, invece, è stato denominato *Giurassico* ed è costituito da imprese più restie all’adozione di tali servizi innovativi.

In mezzo si collocano le imprese appartenenti al cluster 3, denominato *Neoclassico*, che presentano livelli abbastanza elevati di interesse verso i servizi cloud con una marcata eterogeneità comportamentale a seconda del servizio. In particolare, le imprese del terzo gruppo sono molto interessate ai servizi di archiviazione /database e agli strumenti di collaborazione, ma lo sono molto meno sugli aspetti di avanguardia come l’intelligenza artificiale e il machine learning.

Le Tabelle 21 dettagliano la distribuzione geografica, dimensionale e settoriale delle imprese nei cluster identificati. Questo include la percentuale di imprese in ciascun cluster per provincia, dimensione (PMI, grandi imprese, PA), e settore di attività (Servizi IT, Commercio, Manifatturiero, Pubblica Amministrazione, e altri). Questa segmentazione aiuta a comprendere meglio la varietà di imprese che compongono ciascun cluster e le loro caratteristiche specifiche. In particolare, dalle tabelle 21a, b, c è possibile ottenere un quadro più preciso della tipologia di imprese che appartengono a ciascuno dei tre cluster. In particolare, il cluster futurista è composto soprattutto da PMI che operano a Torino nel settore IT e del Commercio. Il cluster Giurassico è composto essenzialmente da imprese della PA.

Tab. 21a. Distribuzione di frequenza della provincia di residenza nei tre cluster.

Provincia	Futurista	Giurassico	Neoclassico
Torino	65.98%	49.44%	53.87%
Alessandria	8.73%	10.68%	10.66%
Asti	2.97%	2.87%	4.69%
Biella	2.79%	4.45%	3.70%
Cuneo	8.99%	13.01%	12.67%
Novara	6.57%	11.72%	8.64%
Verbania-Cusio-Ossola	2.18%	4.06%	2.77%
Vercelli	1.79%	3.77%	2.99%

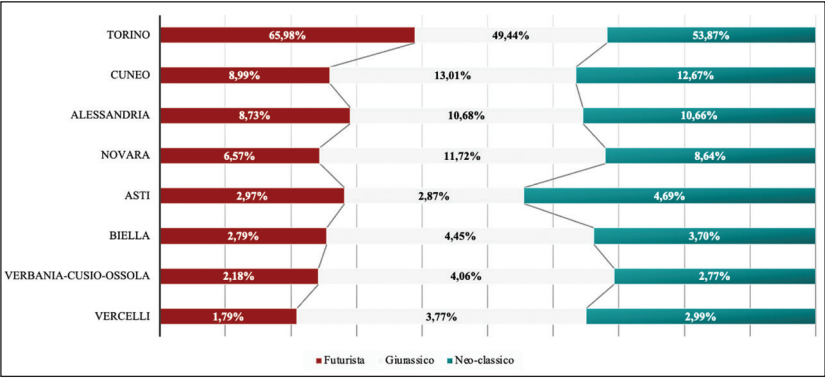


Fig. 21a. Distribuzione di frequenza della provincia di residenza nei tre cluster.

Tab. 21b. Distribuzione di frequenza della dimensione di impresa nei tre cluster.

Dimensione	Futurista	Giurassico	Neoclassico
Grandi imprese	27.72%	30.87%	39.31%
PMI (< 250 occupati)	52.31%	27.08%	38.71%
PA	19.96%	42.06%	21.98%

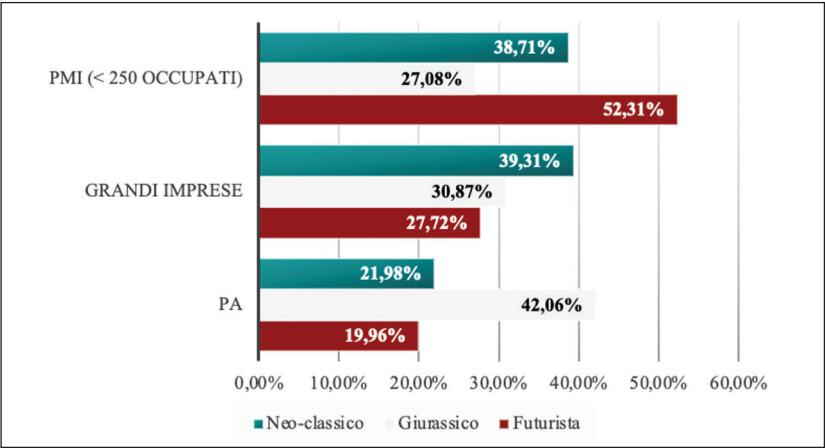


Fig. 21b. Distribuzione di frequenza della dimensione di impresa nei tre cluster.

Tab. 21c. Distribuzione di frequenza del settore nei tre cluster.

Settore	Futurista	Giurassico	Neoclassico
Servizi IT	33.39%	5.97%	27.68%
Commercio	22.00%	17.22%	20.19%
Manifatturiero	16.30%	25.53%	25.15%
Pubblica Amministrazione	19.96%	42.06%	21.98%
Altro	8.35%	9.22%	4.99%

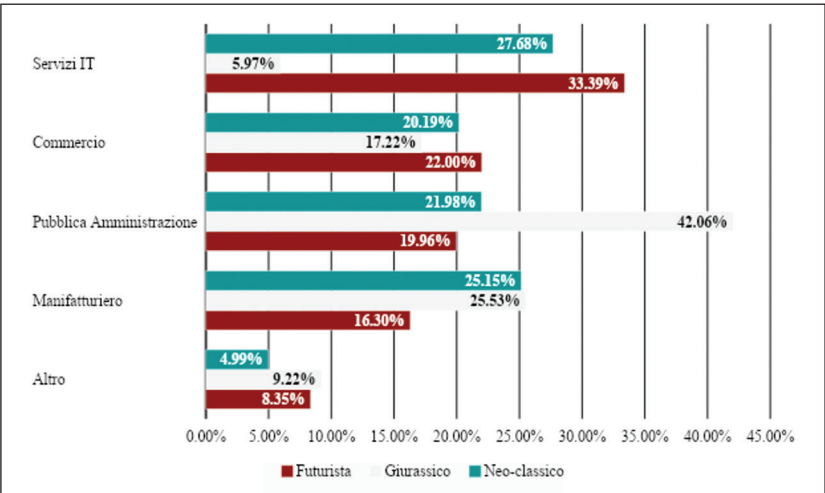


Fig. 21c. Distribuzione di frequenza del settore nei tre cluster.

6.4. Discussione dei risultati

Dai risultati emersi dalle analisi presentate in precedenza, emergono alcuni risultati significativi. Sulla base delle risposte ottenute, si segnala che circa la metà del campione già usa i servizi cloud e intende estendere il loro utilizzo soprattutto a servizi di Archiviazione/database, Analisi dei dati e Artificial Intelligence & Machine Learning. Inoltre, circa i 3/4 delle imprese che usa servizi cloud, li ritiene cruciali per le attività aziendali indicando chiaramente che una volta adottato il servizio questo diventa essenziale. Le imprese che hanno dichiarato di non utilizzare servizi cloud hanno anche affermato che si tratta di una condizione temporanea. Infatti, circa l'80% dei rispondenti dichiara che adotterà servizi cloud tra la seconda metà del 2023 e la prima metà del 2024. Solo un esiguo 12% di imprese dice che non intende adottare tali servizi. I servizi cloud di maggior interesse per le imprese che ancora non ne fanno uso sono l'archiviazione/database e l'analisi dei dati. Nonostante un diffuso interesse per tutti i servizi di cloud tra i rispondenti, si evidenzia una più elevata preferenza nei confronti del servizio di archiviazione/database, seguito dall'analisi dei dati e dagli strumenti di collaborazione. Tuttavia, le imprese rispondenti sono consapevoli di non disporre di competenze molto esperte al loro interno. Tale comportamento è differenziato tra le province (Cuneo e Alessandria le meno esperte) e tra settore (la Pubblica Amministrazione riporta i risultati peggiori). I benefici principali che le imprese vedono nell'adozione dei servizi cloud sono: la possibilità di accedere ai servizi ovunque ci si trovi, la possibilità di aumentare e ridurre le risorse di prodotti e servizi in base alla richiesta, l'avere garanzie di elevata sicurezza e affidabilità delle risorse su cui i prodotti e servizi sono sviluppati e la flessibilità dei costi in base al consumo effettivo delle risorse. La sicurezza è il fattore di rischio più sentito dalle imprese: una maggioranza significativa lo annovera come il principale o il secondo principale ostacolo all'adozione dei servizi cloud. Seguono i temi della efficienza e dei costi. I risultati ottenuti dall'indagine mettono in luce una crescente accettazione e integrazione dei servizi cloud tra le imprese piemontesi. Circa la metà del campione analizzato attualmente utilizza questi servizi e manifesta l'intenzione di espandere ulteriormente il loro uso in futuro. Questa tendenza è particolarmente evidente nell'interesse mostrato verso servizi specifici quali l'archiviazione e l'analisi dei dati. Questi risultati suggeriscono una maturazione nel modo in cui

le tecnologie cloud sono percepite e impiegate nel contesto aziendale regionale, indicando un'evoluzione significativa nell'adozione di queste tecnologie. La crescente diffusione del cloud è confermata anche dall'interesse verso tecnologie avanzate come l'Artificial Intelligence e il Machine Learning, che rappresentano un cambio significativo nelle strategie di digitalizzazione delle imprese piemontesi. In sintesi, questi risultati non solo confermano l'ipotesi di una diffusione crescente del cloud, ma mostrano anche un cambio significativo verso l'adozione di tecnologie avanzate come l'Artificial Intelligence e il Machine Learning. La chiara inclinazione verso l'adozione di tecnologie cloud tra le imprese piemontesi suggerisce che vi sia un'opportunità significativa per le organizzazioni di migliorare le loro operazioni e la loro efficienza attraverso l'integrazione del cloud. Questa tendenza indica che i responsabili delle decisioni aziendali possono sfruttare questi risultati per promuovere strategie di digitalizzazione più aggressive, focalizzandosi su settori specifici come l'archiviazione dati e l'analisi, che mostrano il maggiore interesse. Tali settori, infatti, emergono come aree prioritarie in cui il cloud può offrire vantaggi tangibili in termini di efficienza operativa e capacità analitica.

6.5. Limitazioni e conclusioni

La ricerca effettuata rivela importanti insight sull'adozione delle tecnologie cloud nelle organizzazioni piemontesi; tuttavia, presenta anche alcune limitazioni che potrebbero influenzare la portata e l'interpretazione dei risultati. Anzitutto, il campione è limitato a organizzazioni piemontesi, il che limita la possibile generalizzabilità dei risultati a contesti regionali o nazionali diversi. In secondo luogo, essendo basati su dati auto-segnalati, i risultati potrebbero risentire di un *bias* legati anche, tra l'altro, alla effettiva conoscenza specifica delle tecnologie e delle soluzioni cloud presenti nel questionario. A ciò si aggiunge che la comprensione delle domande può variare significativamente tra i rispondenti, potenzialmente alterando l'interpretazione dei dati raccolti.

Future ricerche potrebbero estendere lo studio a un campione più ampio e geograficamente più vario di regioni in Italia, per testare la robustezza dei risultati ottenuti e esplorare ulteriormente le dinamiche di adozione del cloud in diversi contesti economici e culturali. Ciò

consentirebbe anche di effettuare analisi spaziali. Allo stesso modo, future ricerche potrebbero estendere l'analisi ad altri contesti territoriali non italiani, simili per caratteristiche alla regione Piemonte, in modo da ampliare l'analisi anche ad altre tipologie di considerazioni. Infine, gli approcci quantitativi utilizzati in questa ricerca potrebbero essere arricchiti da analisi qualitative sullo stesso campione (interviste in profondità, focus group), in modo da analizzare più nel dettaglio gli elementi di rilievo emersi da questo studio.

Nonostante queste limitazioni, i risultati dell'indagine evidenziano un significativo interesse e adozione delle tecnologie cloud tra le imprese piemontesi, soprattutto nei settori dell'archiviazione dati e dell'analisi. Ciò indica una marcata tendenza verso la digitalizzazione che offre alle organizzazioni l'opportunità di migliorare le loro operazioni e la loro efficienza.

Concludendo, questo studio sottolinea l'importanza crescente delle tecnologie cloud e l'urgenza di comprendere meglio come queste possono essere integrate efficacemente nelle strategie aziendali per massimizzare i benefici operativi e strategici. L'adozione del cloud è destinata a giocare un ruolo cruciale nel futuro della digitalizzazione in Piemonte e oltre, rendendo fondamentale per le imprese rimanere aggiornate e competitivamente attive nel sfruttare queste tecnologie emergenti.

7. L'integrazione intelligente nei sistemi produttivi

Maria Virginia Sirolli, Andrea Rocchi, Fabrizio D'Ascenzo

7.1. Introduzione

Questo capitolo conclusivo sposta l'attenzione sull'evoluzione più avanzata dei modelli produttivi, analizzando come le tecnologie emergenti stiano contribuendo a ridefinire le logiche industriali tradizionali e proponendo una lettura integrata delle tecnologie emergenti come leve per trasformare in profondità processi, strutture e capacità decisionali, aprendo nuove prospettive per l'industria del futuro.

Se fino a oggi l'adozione del digitale è stata guidata da obiettivi di efficienza e automazione, l'attuale fase evolutiva si caratterizza per un salto di paradigma: l'impresa diventa un sistema intelligente, in grado di apprendere, adattarsi e interagire in tempo reale con l'ambiente circostante. Lungo questa traiettoria, evolvono rapidamente nuove tecnologie come i digital twin, l'intelligenza artificiale generativa e l'edge computing che assumono un ruolo centrale nella costruzione di quella che sarà l'impresa 5.0.

7.2. L'evoluzione delle tecnologie digitali: dall'Industria 4.0 agli ecosistemi connessi

Negli ultimi decenni, le tecnologie emergenti hanno profondamente trasformato i processi industriali, incidendo sia sulla struttura produttiva sia sulla capacità delle imprese di adattarsi a un contesto competitivo globale in rapida evoluzione. L'evoluzione digitale dei sistemi produttivi è un processo in atto da tempo, ma l'adozione combinata di strumenti avanzati come l'Intelligenza Artificiale (IA), l'Internet of Things (IoT) e i Big Data continua a rappresentare un fattore decisivo per incrementare efficienza, reattività e sostenibilità delle imprese (Feroz & Stines, 2024).

L'intelligenza artificiale, già descritta nei capitoli precedenti per il suo ruolo nell'automazione intelligente, non si limita a replicare schemi di ragionamento umano: introduce capacità adattive che rendono i processi decisionali dinamici e contestualizzati. In ambienti produttivi ad alta variabilità, l'IA consente analisi in tempo reale e ottimizzazione autonoma delle attività operative, andando oltre la semplice esecuzione automatizzata (McCarthy, 2007; Kok et al., 2009; Demchenko, de Laat & Membrey, 2014; Sheikh, Prins & Schrijvers, 2023).

I Big Data, in questo contesto, non solo alimentano i sistemi di IA ma costituiscono essi stessi uno strumento strategico. La capacità di elaborare grandi volumi di dati eterogenei e ad alta velocità permette di identificare pattern nascosti, prevedere scenari futuri e adattare in modo proattivo le decisioni operative e strategiche (Sagiroglu & Sinanc, 2013; Bourany, 2015). La rilevanza di questi strumenti è confermata anche dai dati di mercato: il settore ha raggiunto 0,3 trilioni di dollari nel 2023 e si prevede possa superare 1,1 trilioni entro il 2032 (Allied Market Research, 2024).

Analogamente, l'IoT – già trattato come elemento abilitante per la raccolta e la trasmissione dei dati – costituisce l'infrastruttura di connettività che mette in rete asset, impianti e prodotti, rendendo possibile il monitoraggio continuo, la manutenzione predittiva e la tracciabilità lungo tutta la filiera. L'interazione costante tra oggetti intelligenti consente alle imprese di reagire tempestivamente a malfunzionamenti, variazioni ambientali o richieste di mercato (Rose, Eldridge & Chapin, 2015).

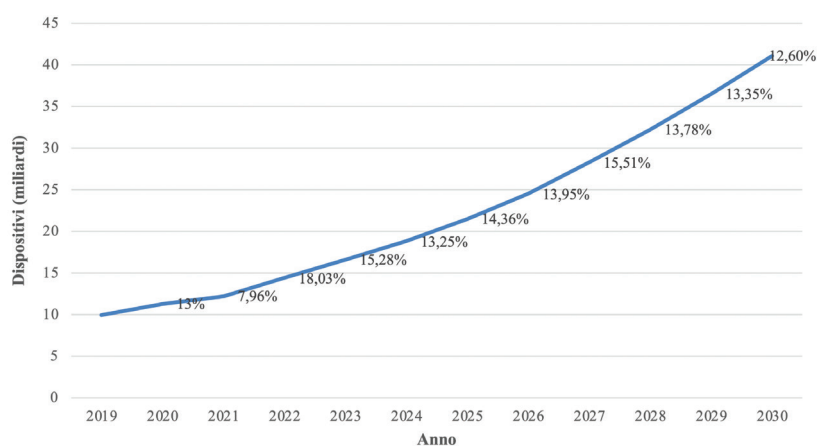


Fig. 7.1. Evoluzione stimata dei dispositivi IoT (2019 – 2030).

Fonte: elaborazione degli autori su dati IoT Analytics.

Attualmente si stima che il numero di dispositivi IoT connessi nel mondo abbia superato i 18 miliardi e possa raggiungere i 40 miliardi entro il 2030. L'andamento di questa crescita, rappresentato nel grafico della figura 7.1, evidenzia un trend complessivamente positivo, pur mostrando un lieve rallentamento nel 2024 rispetto al 2023, dovuto a fattori macroeconomici come inflazione, aumento dei tassi d'interesse e carenza di semiconduttori (IoT Analytics, 2024).

Nonostante queste oscillazioni congiunturali, le previsioni indicano una nuova accelerazione nella seconda metà del decennio. La diffusione crescente dell'IoT in settori chiave come manifattura, agricoltura e logistica risponde alla necessità di incrementare l'efficienza e automatizzare processi sempre più complessi, trasformando profondamente il modo in cui le imprese monitorano, gestiscono e ottimizzano le proprie operazioni. Sensori intelligenti e sistemi interconnessi permettono la raccolta e l'analisi in tempo reale di grandi quantità di dati, generando insight più accurati, riducendo sprechi e aumentando la produttività.

Con l'aumento esponenziale dei dispositivi connessi, l'integrazione dell'IoT con l'intelligenza artificiale, i Big Data e le tecnologie di automazione diventa sempre più intensa, aprendo la strada a scenari produttivi realmente "intelligenti". Questa convergenza si estende inoltre a tecnologie complementari come la robotica avanzata, la blockchain e i sistemi di manifattura additiva (*Additive Manufacturing* – AM), che contribuiscono a rendere l'ecosistema industriale più interconnesso, efficiente e sostenibile. Ognuna di queste innovazioni è parte di un ecosistema tecnologico più ampio, in cui robot intelligenti operano in sinergia con reti IoT, algoritmi di IA e strumenti analitici avanzati per ottimizzare i processi, ridurre gli scarti e migliorare le performance aziendali (Loukides, 2025). Nei paragrafi che seguono vedremo come, in questo contesto, robot collaborativi e autonomi operano in sinergia con reti IoT e algoritmi di IA, mentre la blockchain garantisce sicurezza e trasparenza lungo la supply chain e la manifattura additiva abilita modelli produttivi più flessibili e personalizzati.

L'adozione su larga scala di queste tecnologie emergenti non rappresenta soltanto un progresso tecnico, ma si configura come un vero e proprio fattore strategico di competitività: le imprese che le implementano sono in grado di rispondere con maggiore agilità alle sfide del mercato globale e di sviluppare modelli di produzione più resilienti, responsabili e orientati alla sostenibilità.

In tale scenario, il cloud computing rappresenta un elemento imprescindibile per sostenere l'intero ecosistema digitale. Le infrastrutture cloud forniscono la potenza di calcolo e la capacità di archiviazione necessarie a gestire i flussi crescenti di dati provenienti dall'IoT e a supportare algoritmi di IA sempre più complessi. Grazie alla loro scalabilità e alla possibilità di distribuire risorse in tempo reale, le soluzioni cloud permettono di integrare rapidamente nuovi dispositivi e applicazioni, facilitando la collaborazione tra reparti e tra partner della filiera produttiva. Inoltre, l'adozione di piattaforme cloud ibride e multi-cloud consente alle imprese di bilanciare esigenze di sicurezza, conformità e prestazioni, ponendo le basi per una trasformazione digitale più resiliente e sostenibile (Marinescu, 2023).

7.3. Le tecnologie digitali nei sistemi produttivi

L'integrazione di queste tecnologie, già avviata in numerosi contesti industriali, non rappresenta solo un'evoluzione tecnica ma segna un vero cambio di paradigma nella gestione della produzione, aprendo la strada a modelli di business più agili, sostenibili e orientati al valore. La combinazione di questi strumenti, infatti, abilita veri e propri ecosistemi di fabbricazione intelligenti, nei quali i dati vengono raccolti in tempo reale dai sensori IoT, analizzati da algoritmi di IA avanzati e tradotti in insight strategici. Questa architettura consente di automatizzare processi complessi, ridurre i costi operativi e incrementare la produttività, facendo leva anche su robot autonomi e collaborativi (cobot) in grado di interagire dinamicamente con operatori umani e ambiente circostante (El Zaatari et al., 2019). L'automazione rappresenta oggi una delle applicazioni più diffuse dell'IA in ambito industriale, con impatti significativi sulla riduzione dei costi, sulla qualità e sulla velocità dei processi produttivi. Questa trasformazione non si limita alle linee di assemblaggio ma coinvolge anche funzioni trasversali come la logistica e il controllo qualità, contribuendo a creare filiere sempre più integrate e reattive.

Proseguendo su questa traiettoria, un altro ambito cruciale di applicazione è la manutenzione predittiva, che sfrutta i dati provenienti dai sensori IoT per monitorare le condizioni operative delle macchine e prevedere guasti tramite algoritmi predittivi di IA (Keleko et al., 2019). Secondo il World Economic Forum (2023), l'adozione combinata di IA, IoT e Big Data può ridurre i tempi di fermo del 40%, assicurando maggiore continuità operativa e ottimizzazione delle risorse. Parallelamente,

robot autonomi dotati di IA stanno trasformando la logistica interna, l'assemblaggio e il controllo qualità grazie a sistemi di *computer vision* e algoritmi di apprendimento adattivo.

Anche la gestione della supply chain beneficia di questa sinergia: l'analisi dei dati in tempo reale consente di anticipare la domanda, ottimizzare i livelli di stock e snellire le operazioni logistiche (Soori et al., 2024). I robot autonomi per la movimentazione dei materiali, integrati con sistemi di IA, riducono gli errori e migliorano l'efficienza nei centri di distribuzione, mentre algoritmi predittivi ottimizzano la gestione delle scorte, minimizzano gli sprechi e accelerano i tempi di immissione sul mercato (World Economic Forum, 2025). L'integrazione di IA, IoT e Big Data offre inoltre vantaggi in termini di scalabilità: l'IoT facilita l'aggiunta di nuovi dispositivi e macchinari, mentre l'IA supporta le imprese nell'adattarsi rapidamente alle fluttuazioni del mercato e ai cambiamenti della domanda (Google Cloud, 2024).

Oltre agli aspetti operativi, queste tecnologie hanno un ruolo cruciale per la sostenibilità ambientale. L'IoT consente di monitorare costantemente l'uso delle risorse, mentre algoritmi di IA avanzata individuano inefficienze e suggeriscono strategie per ottimizzare i consumi energetici e ridurre le emissioni di carbonio. Nell'agroalimentare, per esempio, IA e IoT sono impiegate per gestire in modo più efficiente acqua e fertilizzanti, minimizzare gli sprechi e migliorare le rese produttive (World Economic Forum, 2024). Robot agricoli autonomi, equipaggiati con sensori avanzati, possono eseguire attività di semina, irrigazione e raccolta con precisione senza precedenti, contribuendo all'agricoltura di precisione e riducendo l'impatto ambientale.

Questo impatto positivo delle tecnologie emergenti sui processi produttivi è confermato dalla loro adozione crescente su larga scala. L'intelligenza artificiale, l'IoT e i Big Data non si limitano a rivoluzionare il funzionamento delle imprese, ma costituiscono ormai una componente essenziale della trasformazione digitale. Gli investimenti in queste tecnologie sono cresciuti in modo significativo negli ultimi anni, a conferma del loro ruolo strategico nell'ottimizzazione delle risorse, nell'automazione e nella sostenibilità dei processi di produzione. Sebbene l'andamento del mercato possa variare in base ai settori e alle condizioni economiche, le proiezioni elaborate negli ultimi anni indicano una tendenza di crescita costante. La figura 2 riporta una stima formulata nel 2020 sull'evoluzione prevista degli investimenti in IA, IoT e Big Data, offrendo un quadro indicativo della traiettoria di sviluppo attesa.

Le proiezioni elaborate negli anni precedenti indicavano già una crescita sostenuta, confermata dai dati più recenti: ad esempio, il mercato dell'IA generativa ha raggiunto 22,4 miliardi di dollari nel 2023, quasi nove volte rispetto al 2022 e circa venticinque volte rispetto al 2019 (Our World in Data, 2024). Il mercato dei Big Data ha toccato i 349,40 miliardi di dollari nel 2023 e dovrebbe superare i 1.194 miliardi entro il 2032, con un CAGR del 14,8%, mentre quello dell'IoT è passato da 595,73 miliardi nel 2023 a una stima di 4.062,34 miliardi per il 2032, con un CAGR del 24,3% (Fortune Business Insights, 2024). Questi dati confermano il ruolo strategico di IA, IoT e Big Data nell'ottimizzazione delle risorse, nell'automazione e nella sostenibilità dei processi produttivi.

Tuttavia, il loro impatto ambientale solleva nuove sfide: se da un lato l'IA può contribuire a ridurre le emissioni e mitigare il cambiamento climatico, dall'altro la sua implementazione richiede notevoli quantità di energia per l'elaborazione e l'archiviazione dei dati, incidendo significativamente sull'impronta di carbonio (Gaur et al., 2023). Inoltre, la crescente diffusione di IA e IoT comporta un aumento esponenziale dei flussi di dati e quindi dei fabbisogni energetici per la loro gestione (Masanet et al., 2020). La relazione tra IA e sostenibilità è dunque complessa e bidirezionale: da un lato rappresenta una leva chiave per la transizione ecologica, dall'altro impone lo sviluppo di modelli e infrastrutture a basso impatto. Investire in soluzioni di IA sostenibile e in architetture digitali più efficienti sarà determinante per coniugare innovazione ed equilibrio ambientale.

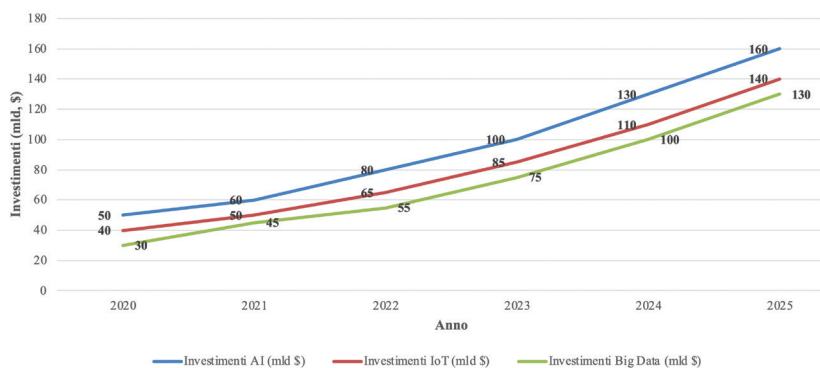


Fig. 7.2. Crescita degli investimenti in AI, IoT e Big Data (2020 – 2025).

Fonte: elaborazione degli autori su dati Research and Markets.

7.4. Le nuove tecnologie: digital twin, GenAI, robotica collaborativa ed edge computing

Negli ultimi anni, la progressiva integrazione di IA, IoT, Big Data e cloud computing ha gettato le basi per una profonda trasformazione dei sistemi industriali. Su questo terreno già digitalizzato, sta emergendo una nuova generazione di tecnologie capaci di spingersi oltre l'automazione e la connettività tradizionali, ridefinendo in modo ancora più radicale le architetture produttive, i processi decisionali e le interazioni uomo-macchina. Queste innovazioni non si limitano a potenziare l'efficienza operativa, ma danno vita a ecosistemi digitali integrati, nei quali i dati provenienti da sensori, macchinari e piattaforme convergono in sistemi predittivi e adattivi. In questo scenario evolutivo, un ruolo di primo piano è svolto dai digital twin, dall'intelligenza artificiale generativa e dalla robotica collaborativa, sostenuti da infrastrutture di cloud ed edge computing che consentono di elaborare le informazioni direttamente vicino alla fonte, abilitando risposte in tempo reale alle esigenze del processo produttivo. Questa convergenza si fonda ancora su infrastrutture cloud consolidate, essenziali per l'archiviazione e l'elaborazione su larga scala, ma sta evolvendo verso modelli edge e distribuiti. L'edge computing consente infatti di spostare l'elaborazione dei dati in prossimità delle fonti – come sensori e robot lungo le linee produttive – riducendo latenza e costi di trasmissione, alleggerendo il carico sulle architetture cloud e permettendo risposte in tempo reale e cicli di prototipazione più rapidi.

7.2.1. Digital twin

I *digital twin* (DT) rappresentano una delle tecnologie chiave nella transizione digitale dei sistemi industriali avanzati. Definiti come repliche virtuali dinamiche di entità fisiche, i DT consentono la sincronizzazione in tempo reale tra componente fisica e digitale grazie a un'infrastruttura che integra sensoristica IoT, piattaforme cloud, sistemi di controllo distribuito, cosiddetti DCS (*Distributed Control Systems*) e architetture SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), utilizzate per monitorare e controllare da remoto impianti fisici e raccogliere dati operativi in tempo reale (Kang et al., 2016; Al-Ali et al., 2020). Questo flusso bidirezionale di dati consente non solo il monitoraggio continuo, ma anche il controllo attivo e l'ottimizzazione predittiva dei

processi industriali, supportando processi di manutenzione predittiva, ottimizzazione continua e presa di decisioni autonoma (Sajadieh & Noh, 2024; Guerra-Zubiaga et al., 2025).

I digital twin estendono la loro funzione dalla semplice rappresentazione all'intera gestione del ciclo di vita degli asset, abilitando simulazioni avanzate, manutenzione predittiva, controllo autonomo e adattamento dinamico ai cambiamenti contestuali (Schluse et al. 2018; Kritzinger et al., 2018). In ambito manifatturiero, l'integrazione di DT con sistemi robotici collaborativi ha dimostrato un notevole potenziale nel migliorare l'efficienza operativa (Sharma et al., 2022), mentre in ecosistemi più complessi – come le smart factory o le infrastrutture urbane – i DT agiscono come piattaforme centrali per la gestione di dati provenienti da sistemi ERP, reti IoT e ambienti cloud, garantendo coerenza, resilienza e capacità decisionale distribuita (Qi & Tao, 2018).

Un'evoluzione cruciale nella maturità di questa tecnologia è rappresentata dalla sua crescente integrazione con l'intelligenza artificiale. L'adozione di modelli di machine learning e di analisi predittiva consente ai digital twin di superare la funzione descrittiva e assumere un ruolo proattivo, supportando decisioni autonome, simulazioni di scenari futuri e processi auto-ottimizzanti (Grieves & Vickers, 2017; Aheleroff et al., 2021). Tale convergenza tecnologica tra intelligenza artificiale e digital twin è oggetto di crescente attenzione nella letteratura scientifica, che da tempo ne indaga le potenzialità applicative lungo l'intero ciclo di vita del gemello digitale. Tuttavia, la capacità di questi modelli rimane prevalentemente descrittiva e predittiva: analizzano e anticipano scenari, ma non generano soluzioni nuove. È in questo contesto che si inserisce l'intelligenza artificiale generativa (GenAI), la quale supera l'approccio analitico dell'AI tradizionale introducendo funzionalità creative e progettuali. Integrata nei flussi dei DT, la GenAI consente di creare configurazioni alternative, testare design innovativi e proporre strategie operative ottimizzate in risposta a variabili dinamiche di produzione e mercato, abilitando così una fabbrica realmente adattiva e personalizzata. In questo modo, i gemelli digitali non si limitano a fornire strumenti per la simulazione o per la manutenzione predittiva, ma diventano vere e proprie piattaforme attraverso cui coordinare e ottimizzare l'interazione dinamica tra macchine autonome e operatori umani. L'integrazione consente di simulare scenari operativi complessi, testare in anticipo le modalità di collaborazione uomo-macchina e individuare i parametri più sicuri ed efficienti prima

Tab. 7.1. IA Tradizionale vs IA Generativa nei sistemi produttivi.

	IA Tradizionale	IA Generativa
Funzione principale	Analizza dati e identifica pattern	Crea nuovi contenuti e soluzioni progettuali
Tipo di output	Previsioni e classificazioni	Testi, immagini, modelli 3D, scenari simulati
Applicazioni chiave	Controllo qualità, manutenzione predittiva, ottimizzazione dei processi	Design automatizzato, personalizzazione prodotti, simulazioni avanzate
Esempi di modelli	Random Forest, SVM, reti neurali standard	GAN, VAE, Transformer (es. GPT, Vision Transformer)
Vantaggi per la produzione	Riduzione dei difetti, ottimizzazione dei flussi produttivi	Supporto a fabbriche adattive, miglioramento innovazione e personalizzazione
Limiti principali	Dipendenza da dati storici, limitata capacità creativa	Richiede grandi risorse computazionali, rischi di bias nei dati generati

Fonte: elaborazione degli autori.

dell’implementazione fisica. Questa sinergia, che combina simulazione avanzata, sensoristica IoT e robotica intelligente, rappresenta una leva strategica per lo sviluppo di ambienti produttivi più flessibili, sicuri e adattivi, gettando le basi per la fabbrica interconnessa del futuro.

7.2.2. Intelligenza Artificiale Generativa

Se i digital twin forniscono una rappresentazione dinamica e predittiva del sistema fisico, la GenAI ne amplifica il potenziale generando nuove soluzioni progettuali e scenari di ottimizzazione, aprendo così una nuova fase di evoluzione per i sistemi produttivi intelligenti. L’intelligenza artificiale generativa (GenAI) rappresenta un punto di svolta rispetto ai paradigmi di AI tradizionale, superando la mera analisi di pattern per abilitare la creazione autonoma di contenuti e soluzioni. Questa tecnologia si basa su modelli addestrati su vasti dataset multimodali che, invece di limitarsi a fornire previsioni, sono in grado di generare nuovi output originali – che spaziano da testi e immagini a modelli tridimensionali, scenari progettuali e dati sintetici. Nel contesto industriale, questo significa poter passare dalla semplice ottimizzazione dei processi esistenti alla creazione di soluzioni completamente

nuove, aprendo la strada a fabbriche adattive, capaci di rispondere in tempo reale a esigenze specifiche del mercato e del cliente (Badini et al., 2023; Alexiadis & Ghiassi, 2024).

Dal punto di vista applicativo, la GenAI sta trovando impiego in più fasi del ciclo produttivo. Un primo ambito riguarda la progettazione automatica (*generative design*), dove algoritmi generativi elaborano migliaia di alternative progettuali per ottimizzare parametri complessi come rapporto resistenza/peso, aerodinamicità o costi di produzione. Nei settori automotive, aerospaziale e medicale, queste capacità hanno già portato alla realizzazione di componenti reticolari e geometrie ottimizzate, difficilmente concepibili con i metodi tradizionali (Yüksel et al., 2024). Parallelamente, l'integrazione tra GenAI e digital twin consente la creazione di repliche virtuali ad alta fedeltà, utili per simulazioni predittive e scenari di manutenzione avanzata, migliorando la precisione delle previsioni e riducendo tempi e costi di testing.

I Generative Adversarial Networks (GAN) vengono utilizzati per espandere dataset con immagini sintetiche, colmando carenze di dati reali e migliorando la rilevazione dei difetti nei sistemi di visione industriale. Ad esempio, l'ISU GAN ha mostrato un incremento di circa 2,8% nell'accuratezza di rilevazione dei difetti rispetto a modelli supervisionati (Chen et al., 2022), mentre pipeline come DG2GAN hanno mostrato miglioramenti tra il 2,5 % e il 10 % (Hu et al., 2024). In applicazioni critiche come il taglio di wafer nei semiconduttori, i GAN hanno aumentato la balanced accuracy dal 65 % all'88 %, con un miglioramento fino al 23 % (Zhang et al., 2024). I Variational Auto-encoders (VAE) si sono dimostrati particolarmente efficaci nella diagnostica predittiva e nell'individuazione di anomalie operative. Studi recenti mostrano che le architetture semisupervisionate basate su VAE hanno raggiunto *precision* e *recall* superiori al 90% nell'identificazione di eventi anomali. Inoltre, approcci più generici di *machine learning* per la manutenzione predittiva – che includono *autoencoder* e reti neurali profonde – riportano una precisione di previsione dei guasti vicina al 90%, associata a una riduzione fino al 25% dei costi di manutenzione e del *downtime* non pianificato (Elahi et al., 2023; NilG AI, 2025).

I modelli basati su architettura Transformer, come ChatGPT o i Vision Transformer (ViT), stanno emergendo come strumenti fondamentali per la digitalizzazione avanzata dei processi manifatturieri. Essi sono impiegati per automatizzare simulazioni fisiche, generare codice specializzato per la stampa 3D e ottimizzare parametri critici di pro-

cesso – come velocità di deposizione, temperatura o pattern degli strati – riducendo difetti tipici della produzione additiva e migliorando la ripetibilità del processo (Badini et al., 2023). Un esempio significativo riguarda l'uso dei Vision Transformer per il monitoraggio in tempo reale della qualità nella stampa 3D: questi modelli riescono a individuare difetti di produzione con un livello di precisione molto superiore rispetto alle tradizionali reti convoluzionali, permettendo interventi immediati durante il processo di stampa (Wang et al., 2025). Tecnologie simili vengono impiegate anche nell'analisi delle immagini termiche durante processi di additive manufacturing avanzato, dove consentono di rilevare micro-difetti strutturali e ottimizzare i parametri di produzione con elevata affidabilità (Era et al., 2024). La loro applicazione si estende inoltre alla previsione delle proprietà fisiche dei componenti metallici stampati, come densità e resistenza magnetica, migliorando la qualità complessiva dei manufatti (Horng et al., 2024). Inoltre, l'integrazione di questi modelli con i digital twin apre nuove possibilità di manutenzione evoluta, controllo qualità e collaborazione uomo-macchina, contribuendo alla realizzazione di sistemi produttivi più predittivi, flessibili e orientati all'uomo (Guerra-Zubiaga et al., 2025).

Oltre agli impatti su produttività e qualità, GenAI contribuisce in modo sostanziale a sostenibilità e resilienza dei sistemi produttivi. L'ottimizzazione automatizzata dei processi riduce consumi energetici e scarti di materiale fino al 20%, mentre la capacità di personalizzazione su larga scala permette di adattare la produzione alle esigenze dei clienti senza sacrificare efficienza e costi (Shafiee, 2025). Queste caratteristiche rendono l'AI generativa una tecnologia abilitante per la transizione verso modelli di industria 5.0, incentrati sull'uomo, sull'integrazione intelligente delle risorse e sulla flessibilità come vantaggio competitivo.

7.2.3. Robotica collaborativa

La robotica collaborativa (*cobotics*) rappresenta un'evoluzione sostanziale rispetto alla robotica industriale tradizionale, introducendo sistemi progettati per operare in spazi condivisi con l'uomo senza necessità di barriere fisiche di sicurezza. I cobot sono dotati di sensori avanzati, algoritmi di controllo adattivi e funzionalità di rilevamento della forza che consentono interazioni sicure e fluide con gli operatori, riducendo al minimo il rischio di incidenti e migliorando l'ergonomia delle attività produttive (Hentout et al., 2024).

A differenza dei robot tradizionali, tipicamente programmati per compiti ripetitivi e altamente strutturati, i cobot si distinguono per flessibilità e capacità di apprendimento: possono essere riprogrammati rapidamente, adattarsi a varianti di processo e collaborare dinamicamente in attività di assemblaggio, ispezione o movimentazione. La crescente integrazione con intelligenza artificiale e digital twin ne amplifica le potenzialità: i modelli DT permettono di simulare scenari di interazione uomo-macchina e ottimizzare i parametri operativi prima dell'implementazione fisica, mentre l'IA fornisce capacità predittive per riconoscere intenzioni e movimenti umani in tempo reale, migliorando sicurezza e performance (Weidemann et al., 2023; Guerra-Zubiaga et al., 2025).

Secondo la letteratura recente, l'adozione dei *cobot* sta crescendo rapidamente grazie alla riduzione dei costi hardware, alla modularità dei sistemi e alla facilità di integrazione nelle linee produttive esistenti. Studi evidenziano come l'approccio collaborativo consenta incrementi di produttività tra il 10% e il 20% e riduzioni fino al 30% dei tempi di setup rispetto alle celle robotizzate tradizionali (IFR, 2024). Inoltre, la possibilità di impiego in ambienti non tradizionalmente robotizzati – come PMI – amplia notevolmente il bacino applicativo, aprendo a scenari di automazione diffusa e adattiva (Schnell & Holm, 2022).

Dal punto di vista tecnologico, i cobot stanno evolvendo verso maggiore autonomia e capacità decisionali distribuite. L'integrazione con reti IoT e infrastrutture *edge computing* consente loro di elaborare dati sensoriali direttamente in prossimità della fonte, riducendo la latenza e permettendo reazioni immediate a variazioni operative. Le nuove generazioni sfruttano algoritmi di machine learning online per affinare il comportamento in tempo reale e adattarsi ai pattern specifici degli operatori, passando da semplici modalità reattive a forme di cooperazione predittiva (Rozo et al., 2016). In prospettiva, si prevede che l'evoluzione dei *cobot* includerà maggiore "intelligenza sociale" per comprendere il contesto, gestire comunicazioni multimodali e operare in team uomo-macchina altamente dinamici (Djuric et al., 2016).

L'emergere dell'industria 5.0 orientata all'uomo vede quindi nei *cobot* un elemento chiave: la loro capacità di adattarsi alle competenze umane, potenziandole anziché sostituirle, li rende strumenti strategici per realizzare ambienti di lavoro inclusivi, sicuri e altamente personalizzati, dove la collaborazione uomo-macchina non è solo funzionale ma anche co-creativa. Le applicazioni coprono un ampio spettro di settori: dall'au-

tomotive (assemblaggi collaborativi su linee flessibili) all'aerospaziale (manipolazione di materiali compositi), fino alla logistica avanzata (picking collaborativo e co-navigazione in magazzini 4.0) e al settore sanitario (assistenza alla riabilitazione e supporto in sala operatoria). Tuttavia, la diffusione su larga scala incontra ancora barriere, tra cui standard di sicurezza non omogenei, necessità di formazione del personale e difficoltà di integrazione nei processi legacy (Aaltonen & Salmi, 2019).

7.2.4. Edge Computing

L'edge computing rappresenta un'evoluzione fondamentale nelle architetture digitali dei sistemi produttivi avanzati, spostando parte dell'elaborazione dei dati dalle infrastrutture cloud centralizzate verso nodi periferici situati in prossimità delle macchine, dei sensori e delle linee di produzione. Questo approccio distribuito consente di ridurre in maniera significativa la latenza e la dipendenza dalla connettività continua, permettendo risposte quasi in tempo reale e una gestione più resiliente delle operazioni critiche (Shi et al., 2016; Satyanarayanan, 2017).

In ambito industriale, l'edge computing funge da elemento trasversale che abilita e potenzia le altre tecnologie emergenti: aggiorna i digital twin con dati real-time provenienti dai sensori, supporta i modelli di intelligenza artificiale – inclusa la GenAI – nell'eseguire inferenze localizzate senza sovraccaricare il cloud e garantisce ai cobot capacità decisionali più rapide e sicure. Questa integrazione è particolarmente rilevante nelle smart factory, dove la continuità operativa e la precisione dei processi richiedono che il sistema possa adattarsi dinamicamente anche in condizioni di rete non ottimali (Varghese et al., 2016; Mouradian et al., 2017; Lin et al., 2021).

Dal punto di vista operativo, i vantaggi sono molteplici: la riduzione del traffico verso il cloud comporta un'ottimizzazione dei costi di rete e di elaborazione; la latenza inferiore a 10 millisecondi in scenari di controllo industriale consente di implementare sistemi di manutenzione predittiva e monitoraggio qualità in tempo reale; e la natura distribuita dell'architettura garantisce continuità delle operazioni anche in caso di interruzioni della connessione centrale (Sodiya et al., 2024). Inoltre, l'edge facilita la scalabilità modulare delle infrastrutture, permettendo di aggiungere o riconfigurare nodi senza riprogettare l'intero sistema (Pan & McElhannon, 2017).

L'uso combinato di edge computing e machine learning, supportato da framework specializzati come TensorFlow Lite o EdgeTPU, consente inoltre di eseguire modelli predittivi complessi direttamente sul bordo, migliorando la capacità di risposta immediata ai cambiamenti di processo e favorendo l'ottimizzazione locale delle risorse (Grzesik & Mrozek, 2024).

Un aspetto emergente è l'integrazione dell'edge computing con soluzioni di sicurezza AI-driven per l'Internet of Things: questo approccio consente il rilevamento proattivo delle minacce, la crittografia distribuita e la risposta immediata agli attacchi, ma richiede strategie avanzate di gestione delle vulnerabilità in ambienti eterogenei e distribuiti (Rupanetti & Kaabouch, 2024). Parallelamente, l'edge computing viene identificato come uno degli abilitatori chiave dell'Industria 5.0, dove la produzione iper-personalizzata, resiliente e centrata sull'uomo si realizza attraverso l'integrazione sinergica di AI, robotica collaborativa e architetture distribuite (Sharma et al., 2024).

Nonostante il potenziale, permangono sfide rilevanti: la mancanza di standard condivisi per l'interoperabilità tra dispositivi e piattaforme, la complessità nella gestione della sicurezza in ambienti distribuiti e la necessità di competenze specialistiche per l'orchestrazione di architetture ibride cloud-edge. Di conseguenza, l'adozione di queste tecnologie si colloca ancora in una fase iniziale, con una quota limitata di aziende che le utilizza per migliorare le operazioni e generare nuovo valore (UiPath & Bain & Company, 2023). Tuttavia, la poggessiva convergenza tra edge computing, intelligenza artificiale e robotica collaborativa delinea una traiettoria chiara verso modelli di produzione 5.0, basati su intelligenza distribuita, resilienza e centralità dell'uomo nel processo decisionale.

7.5. Prospettive future: verso modelli produttivi adattivi e human-centric

Guardando al futuro, i sistemi produttivi stanno evolvendo verso modelli adattivi e flessibili, in cui l'interazione uomo-macchina diventa sempre più fluida e naturale, supportata da architetture distribuite e da processi di automazione cognitiva capaci di apprendere e rispondere in tempo reale a scenari mutevoli. Questa trasformazione, tuttavia, non è priva di sfide: orchestrare tecnologie eterogenee richiede di affrontare

questioni cruciali legate a interoperabilità, affidabilità degli algoritmi e resilienza delle architetture, garantendo che l'innovazione si traduca in valore senza compromettere sicurezza e stabilità operativa.

L'adozione combinata delle tecnologie emergenti promette di trasformare in profondità i sistemi produttivi, ma pone sfide significative dal punto di vista dell'orchestrazione tecnologica. Uno degli ostacoli principali riguarda l'interoperabilità: molte soluzioni industriali operano su protocolli proprietari e standard eterogenei, creando frammentazione nei flussi di dati e rendendo complessa la comunicazione tra dispositivi e piattaforme (Kokkonen et al., 2022). Questa eterogeneità rallenta l'integrazione delle tecnologie emergenti e richiede framework di orchestrazione agnostici rispetto al fornitore, capaci di coordinare in modo unitario i diversi livelli della catena del valore.

A questa criticità si aggiunge la gestione dei dati: l'edge computing, pur consentendo elaborazioni localizzate e a bassa latenza, introduce sfide relative alla capacità di storage, alla sincronizzazione tra nodi periferici e cloud e alla governance dei dati. Combinare flussi in tempo reale provenienti da sensori, sistemi ERP e digital twin richiede strategie di gestione robuste, in grado di garantire accuratezza e tracciabilità anche in contesti distribuiti (Wevolver, 2024).

Un altro nodo è la resilienza delle architetture distribuite. Per mantenere la continuità operativa in scenari complessi, i sistemi devono implementare meccanismi di failover automatico e ridondanza, così da minimizzare i rischi produttivi legati a guasti o interruzioni di rete (Kokkonen et al., 2022). In parallelo, l'elaborazione di dati sensibili vicino alla fonte amplia la superficie di attacco e rende prioritaria l'adozione di protocolli avanzati di cifratura, autenticazione e isolamento dei nodi edge per proteggere informazioni critiche (Wang et al., 2024).

Infine, la diffusione su larga scala di queste architetture è frenata dalla carenza di competenze specialistiche e dalla mancanza di standard condivisi per integrare sistemi legacy e nuove tecnologie. Senza linee guida e percorsi di formazione adeguati, molte aziende rischiano di non riuscire a sfruttare appieno il potenziale di queste innovazioni (Rane et al., 2024). Secondo la letteratura più recente, l'evoluzione verso piattaforme di *AI orchestration* intelligenti, capaci di gestire flussi di lavoro ibridi cloud-edge e decisioni autonome in tempo reale, è la chiave per superare tali barriere e realizzare ecosistemi produttivi 5.0 resilienti e adattivi (Ramamoorthi, 2023; Pal, 2024; Alberti et al., 2024).

Il paradigma dell'Impresa 5.0 si inserisce in questa traiettoria come modello che supera la logica dell'automazione spinta dell'Industria 4.0 per approdare a una visione in cui tecnologia, intelligenza distribuita e centralità dell'uomo si fondono in maniera sinergica. In questo scenario, digital twin, intelligenza artificiale generativa, robotica collaborativa ed edge computing non agiscono più come soluzioni isolate, ma convergono in ecosistemi intelligenti capaci di apprendere, evolvere e personalizzare processi in tempo reale. L'Impresa 5.0 non è un punto di partenza ma un approdo evolutivo: un modello in cui la co-creazione uomo-macchina diventa leva per innovazione, sostenibilità e competitività in un contesto post-digitale.

Riferimenti Bibliografici

- Aaltonen, I., & Salmi, T. (2019). Experiences and expectations of collaborative robots in industry and academia: Barriers and development needs. *Procedia Manufacturing*, 38, 1151-1158.
- Aheleroff, S., Xu, X., Zhong, R. Y., & Lu, Y. (2021). Digital twin as a service (DTaaS) in industry 4.0: An architecture reference model. *Advanced Engineering Informatics*, 47, 101225. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101225>
- Al-Ali, A. R., Gupta, R., Zaman Batool, T., Landolsi, T., Aloul, F., & Al Nabulsi, A. (2020). Digital twin conceptual model within the context of Internet of Things. *Future Internet*, 12, 163.
- Alberti, E., Alvarez-Napagao, S., Anaya, V., Barroso, M., Barrué, C., Beecks, C., Bergamasco, L., Chala, S. A., Gimenez-Abalos, V., Graß, A., Hínjos, D., Holtkemper, M., Jakubiak, N., Nizamis, A., Pristeri, E., Sánchez-Marrè, M., Schlake, G., Scholz, J., Scivoletto, G., & Walter, S. (2024). AI lifecycle zero-touch orchestration within the edge-to-cloud continuum for Industry 5.0. *Systems*, 12(2), 48. <https://www.mdpi.com/2079-8954/12/2/48>
- Alexiadis, A., & Ghiassi, M. (2024). Generative AI in manufacturing: Bridging design and process optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109-127.
- Allied Market Research. (2024, August). Big data analytics market size, share, competitive landscape and trend analysis report, by component, by application, by end user: Global opportunity analysis and industry forecast, 2024-2032. Available at <https://www.alliedmarketresearch.com/big-data-analytics-market-A189561>
- Amigoni, F., Schiaffonati, V., & Somalvico, M. (2008). *Intelligenza artificiale. Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*. Treccani.
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R. H., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D. A., Rabkin, A. S., Stoica, I., & Zaharia, M. A. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53, 50-58.
- Arslan, A., Ruman, A., Naughton, S., & Tarba, S. Y. (2021). Human dynamics of automation and digitalisation of economies: Discussion on the challenges

- and opportunities. In S. H. Park, M. A. Gonzalez-Perez, & D. E. Floriani (Eds.), *The Palgrave Handbook of Corporate Sustainability in the Digital Era* (pp. 613-629). Springer Nature.
- Arthur, W. B. (2009). *The nature of technology: What it is and how it evolves*. Simon and Schuster.
- Awad, E., Dsouza, S., Kim, R., Schulz, J., Henrich, J., Shariff, A., Bonnefon, J.-F., & Rahwan, I. (2018). The Moral Machine experiment. *Nature*, 563(7729), 59–64. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0637-6>
- Babbage, C. (1832). *On the economy of machinery and manufactures*.
- Badini, L., Rossi, A., Ghidoni, S., et al. (2023). Transformer-based generative models for additive manufacturing: Opportunities and challenges. *Journal of Manufacturing Systems*, 68, 320-334.
- Badini, S., Regondi, S., Frontoni, E., & Pugliese, R. (2023). Assessing the capabilities of ChatGPT to improve additive manufacturing troubleshooting. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 6, 278-287. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.03.003>
- Balalaie, A., Heydarnoori, A., & Jamshidi, P. (2016). Microservices architecture enables DevOps: Migration to a cloud-native architecture. *IEEE Software*, 33(3), 42-52. <https://doi.org/10.1109/MS.2016.64>
- Bauman, Z. (2000). *Living in the era of liquid modernity*. Cambridge Anthropology, 1-19.
- Benanti, P. (2019). *Le macchine sapienti: Intelligenze artificiali e decisioni umane*. Marietti 1820.
- Benanti, P. (2023). The urgency of an algorethics. *Discover Artificial Intelligence*, 3(1), 11.
- Bianchi, P. (2018). 4.0. La nuova rivoluzione industriale. Il Mulino.
- Bianchi, P., & Labory, S. (2018). The fourth industrial revolution. In *Industrial Policy for the Manufacturing Revolution* (pp. 49-78). Edward Elgar Publishing.
- Bourany, T. (2018). Les 5V du big data. *Regards croisés sur l'économie*, 23(2), 27-31. <https://doi.org/10.3917/rce.023.0027>
- Brynjolfsson, E. (2022). The turing trap: The promise & peril of human-like artificial intelligence. *Daedalus*, 151(2), 272-287.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W.W. Norton & Company.
- Buytendijk, F., Brethenoux, E., Hare, J., & Sicular, S. (2022). AI ethics: Use 5 common principles as your starting point. Gartner. Retrieved from <https://www.gartner.com/document/3947359>
- Buyya, R., Broberg, J., & Goscinski, A. (Eds.). (2011). *Cloud computing*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470940105>
- Camera dei Deputati – Servizio Studi. (2023). *L'economia dei dati e il ruolo del cloud computing*. Disponibile su: <https://www.camera.it/temiap/documentazione/temi/pdf/1253627.pdf>

- Carayannis, E. G., & Morawska-Jancelewicz, J. (2022). The futures of Europe: Society 5.0 and industry 5.0 as driving forces of future universities. *Journal of the Knowledge Economy*, 1-27. <https://doi.org/10.1007/s13132-021-00848-2>
- Castells, M. (2006). *Galassia internet*. Feltrinelli Editore.
- Castells, M. (2014). *Technopoles of the world: The making of 21st century industrial complexes*. Routledge.
- Chen, Y., Xu, B., Liu, Z., et al. (2022). ISU-GAN: An unsupervised generative adversarial network for industrial surface defect detection. *Scientific Reports*, 12, 12154. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15855-7>
- Chiriatti, M. (2019). *# Humanless: L'algoritmo egoista*. Hoepli Editore.
- Chiriatti, M. (2021). *Incoscienza artificiale: Come fanno le macchine a prevedere per noi*. Luiss University Press.
- Ciasullo, M. V., Calabrese, M., & La Sala, A. (2024). Surfing across industrial revolutions: A resilient sensemaking perspective on innovation. *Global Business and Organizational Excellence*, 43(2), 27-42.
- Commissione Europea (2022). *Digital Economy and Society Index (DESI) 2022. Nota Metodologica*.
- Commissione Europea. (2022). *Indice di digitalizzazione dell'economia e della società (DESI) 2022 – Italia*. Bruxelles. Disponibile su: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-italy>
- Commissione Europea. (2023). *Digital Economy and Society Index (DESI)*. Disponibile su: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>
- Corriere Comunicazioni. (2023, 2 ottobre). *Cloud, l'Italia continua la sua corsa: giro d'affari a 4,5 miliardi, +18% in un anno*. Disponibile all'indirizzo: <https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/cloud/cloud-litalia-continua-la-sua-corsa-giro-daffari-a-45-miliardi-18-in-un-anno>
- Coupe, T. (2019). Automation, job characteristics and job insecurity. *International Journal of Manpower*, 40(7), 1288-1304.
- D.J. Anderson. (2010). *Kanban: Successful evolutionary change for your technology business*. Blue Hole Press. Retrieved from <http://kanbantool.com/kanban-library/books/kanban-successful-evolutionary-change-for-your-technology-business>
- David, P. A. (1993). Intellectual property institutions and the panda's thumb: Patents, copyrights, and trade secrets in economic theory and history. In *Global dimensions of intellectual property rights in science and technology* (pp. 19-29).
- David, P. A. (2004). Understanding the emergence of 'open science' institutions: Functionalist economics in historical context. *Industrial and Corporate Change*, 13(4), 571-589.
- De Simone, E. (2018). *Storia economica: Dalla rivoluzione industriale alla rivoluzione informatica*. FrancoAngeli.

- Demchenko, Y., de Laat, C., & Membrey, P. (2014). Defining architecture components of the big data ecosystem. 2014 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS), Minneapolis, MN, USA, 104-112. <https://doi.org/10.1109/CTS.2014.6867550>
- Digital skills and jobs coalition. (n.d.). Shaping Europe's digital future. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digital-skills-coalition>
- Djuric, A. M., Urbanic, R. J., & Rickli, J. L. (2016). A framework for collaborative robot (CoBot) integration in advanced manufacturing systems. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 9(2), 457-464.
- Docker overview. (n.d.). Docker Docs. Retrieved October 11, 2023, from <https://docs.docker.com/get-started/overview/>
- Does Location Matter In Cloud Computing? (n.d.). Ridge Cloud. Retrieved from <https://www.ridge.co/blog/location-in-cloud-computing/>
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11(3), 147-162.
- Dosi, G. (1985). Paradigmi tecnologici e traiettorie tecnologiche. *Prometeus*, 2, 119-154.
- Dosi, G. (1988). Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, 1120-1171.
- Dosi, G., & Nelson, R. (2014). La natura della tecnologia ei processi di innovazione tecnologica. *Parolechiave*, 22(1), 25-56.
- Dynatrace. (2025) What is DevOps?. Waltham (MA). Disponibile a: <https://www.dynatrace.com/news/blog/what-is-devops/>
- El Zaatari, S., Marei, M., Li, W., & Usman, Z. (2019). Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview. *Robotics and Autonomous Systems*, 116, 162-180. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.03.003>
- Elahi, M., Afolaranmi, S. O., Martinez Lastra, J. L., & Perez Garcia, J. A. (2023). A comprehensive literature review of the applications of AI techniques through the lifecycle of industrial equipment. *Discover Artificial Intelligence*, 3. <https://doi.org/10.1007/s44163-023-00089-x>
- Engage. (2023, 7 febbraio). *Intelligenza artificiale, il mercato in Italia vale 500 milioni di euro nel 2022*. Disponibile all'indirizzo: <https://www.engage.it/dati-e-ricerche/intelligenza-artificiale-il-mercato-in-italia-vale-500-milioni-di-euro-nel-2022.aspx>
- Epstein, J., & Klinkenberg, W. D. (2001). From Eliza to Internet: A brief history of computerized assessment. *Computers in Human Behavior*, 17(3), 295-314.
- Era, I. Z., Zhou, F., Raihan, A. S., Ahmed, I., Abul-Haj, A., Craig, J., et al. (2024). In-situ melt pool characterization via thermal imaging for defect detection in directed energy deposition using vision transformers. *arXiv [preprint]*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.12028>

- EU Monitor. (2022). Digital Decade policy programme 2030 – legislative train schedule. Disponibile su: <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vli6iyjgcqxh?ctx=vg9pj7ufwbwe>
- Feijóo, C., Kwon, Y., Bauer, J. M., Bohlin, E., Howell, B., Jain, R., ... & Xia, J. (2020). Harnessing artificial intelligence (AI) to increase wellbeing for all: The case for a new technology diplomacy. *Telecommunications Policy*, 44(6), 101988. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.101988>
- Feroz, A. K., & Stines, A. (2024). Utilization of AI, big data, and internet of things (IoT) in sustainable innovation and their role in the emergence of novel business models. *Issues in Information Systems*, 25(1).
- Floridi, L. (2022). *Etica dell'intelligenza artificiale: Sviluppi, opportunità, sfide*. Raffaello Cortina Editore.
- Flowers, J. C. (2019). Strong and weak AI: Deweyan considerations. In *AAAI Spring Symposium: Towards Conscious AI Systems* (Vol. 2287, No. 7).
- Fondo per la Repubblica Digitale. (2022). Fondo per la Repubblica Digitale. Disponibile su: <https://www.fondorepubblicadigitale.it/>
- Fortune Business Insights. (2024). Big data technology market size, share & COVID-19 impact analysis, by offering (hardware, software, and services), by deployment (on-premises and cloud), by application, by end-user, and regional forecast, 2024-2032. Retrieved from <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/big-data-technology-market-100144>
- Freeman, C. (1977). The Kondratiev long waves, technical change and unemployment. In *Structural Determinants of Employment and Unemployment* (OECD).
- Freeman, C. (1982). Innovation and long cycles of economic development. *SEMINÁRIO INTERNACIONAL*. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1-13.
- Freeman, C. (1994). Innovation and growth. In *The Handbook of Industrial Innovation* (Eds. Mark Dodgson & Roy Rothwell) (pp. 78-93). Aldershot: Elgar.
- Freeman, C., & Perez, C. (1988). Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour. In *Technical Change and Economic Theory* (Eds. G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, & L. Soete) (pp. 38-66). London.
- Ganne, A. (2022). Emerging business trends in cloud computing. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology*, 4(12).
- Gaur, L., Afaq, A., Arora, G. K., & Khan, N. (2023). Artificial intelligence for carbon emissions using system of systems theory. *Ecological Informatics*, 76, 102165. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102165>
- Ghahramani, Z. (2015). Probabilistic machine learning and artificial intelligence. *Nature*, 521(7553), 452-459.
- Gholson, B., & Barker, P. (1985). Kuhn, Lakatos, and Laudan: Applications in the history of physics and psychology. *American Psychologist*, 40(7), 755.

- GitHub Inc. (n.d.). GoogleCloudPlatform/microservices-demo: Sample cloud-first application with 10 microservices showcasing Kubernetes, Istio, and gRPC. GitHub. Retrieved October 11, 2023, from <https://github.com/GoogleCloudPlatform/microservices-demo>
- Google Cloud. (2024). AI business trends 2025. Available at <https://cloud.google.com/resources/ai-trends-report>
- Google. (2023). Google Cloud apre la seconda region in Italia: da oggi disponibile l'infrastruttura di Torino. Disponibile su: <https://blog.google/intl/it-it/prodotti/cloud/google-cloud-apre-la-seconda-region-in-italia-da-oggi-disponibile-linfrastruttura-di-torino/>
- Greenwood, J. (1997). The third industrial revolution: Technology, productivity, and income inequality (No. 435). American Enterprise Institute.
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In *Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches* (pp. 85–113). Springer.
- Grzesik, P., & Mrozek, D. (2024). Combining machine learning and edge computing: Opportunities, challenges, platforms, frameworks, and use cases. *Electronics*, 13(3), 640.
- Guerra-Zubiaga, D. A., Aksu, M., Richards, G., & Kuts, V. (2025). Integrating digital twin software solutions with collaborative industrial systems: A comprehensive review for operational efficiency. *Applied Sciences*, 15(13), 7049. <https://doi.org/10.3390/app15137049>
- Hall, B. H., Lotti, F., & Mairesse, J. (2009). Innovation and productivity in SMEs: Empirical evidence for Italy. *Small Business Economics*, 33(1), 13–33. <https://doi.org/10.1007/s11187-009-9184-8>
- Hentout, A., Aouache, M., Maoudj, A., & Akli, I. (2019). Human–robot interaction in industrial collaborative robotics: A literature review of the decade 2008–2017. *Advanced Robotics*, 33(15–16), 764–799.
- Hmoud, B., & Laszlo, V. (2019). Will artificial intelligence take over human resources recruitment and selection. *Network Intelligence Studies*, 7(13), 21–30.
- Hofmann, M., Schnabel, E., & Stanley, K. (2017). Microservices best practices for Java. IBM Redbooks. <https://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg248357.pdf>
- Horng, M.-H., Chang, L.-K., Chen, P.-C., Tsai, M.-C., Lee, R.-M., Huang, J.-C., & Chang, T.-W. (2024). Enhancing prediction of magnetic properties in additive manufacturing products through a 3D convolutional vision transformer model. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5317796/v1>
- Hornor, M. S. (2022). Diffusion of innovation theory. In *The SAGE Encyclopedia of Research Design*.
- Hu, H., Zhang, X., Liu, W., et al. (2024). DD-Aug: A knowledge-to-image synthetic data augmentation pipeline for industrial defect detection. *Scientific Reports*, 14, 64716. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64716-y>

- Il decennio digitale dell'Europa. (n.d.). Shaping Europe's digital future. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digital-skills-coalition>
- International Federation of Robotics. (2024). World Robotics Report 2024. Frankfurt: IFR. Retrieved from https://ifr.org/img/worldrobotics/Press_Conference_2024.pdf
- IoT Analytics. (2024). The number of connected IoT devices globally 2015-2030. Retrieved February 27, 2025, from <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/>
- Istat (2022). Rapporto annuale 2022: La situazione del paese. Istituto Nazionale di Statistica.
- Ivanov, S., & Webster, C. (Eds.). (2019). Robots, artificial intelligence, and service automation in travel, tourism and hospitality. Emerald Publishing Limited.
- Jänicke, M., & Jacob, K. (2013). A third industrial revolution? In Long-term governance for social-ecological change (pp. 47-70). Routledge.
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H., & Noh, S. D. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3, 111–128. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>
- Keleko, A. T., Kamsu-Foguem, B., & Ngouna, R. H. (2022). Artificial intelligence and real-time predictive maintenance in Industry 4.0: A bibliometric analysis. *AI Ethics*, 2, 553–577. <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00132-6>
- Ken Schwaber & Mike Beedle. (2002). Agile software development with Scrum. Prentice Hall. ISBN 0-13-067634-9.
- Kok, J. N., Boers, E. J., Kusters, W. A., Van der Putten, P., & Poel, M. (2009). Artificial intelligence: Definition, trends, techniques, and cases. *Artificial Intelligence*, 1(270-299), 51.
- Kokkonen, H., Lovén, L., Motlagh, N. H., Kumar, A., Partala, J., Nguyen, T., Casamayor Pujol, V., Kostakos, P., Leppänen, T., González-Gil, A., Sola, E., Angulo, I., Liyanage, M., Bennis, M., Tarkoma, S., Dustdar, S., Pirttikangas, S., & Riekki, J. (2022). Challenges and solutions in orchestrating distributed AI systems. *arXiv* [preprint]. <https://arxiv.org/abs/2205.01423>
- Kondratiev, N. D. (1935). The long waves in economic life. *Review of Economic Statistics*, 17, 105-115.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- Kubernetes.io. (n.d.). *Che cos'è Kubernetes?* Retrieved from <https://kubernetes.io/it/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/>
- Kumar, R. (2011). Research methodology.

- Kwilinski, A., Vyshnevskyi, O., & Dzwigol, H. (2020). Digitalization of the EU economies and people at risk of poverty or social exclusion. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(7), 142. <https://doi.org/10.3390/jrfm13070142>
- Landes, D. S. (1994). *La favola del cavallo morto ovvero la rivoluzione industriale rivisitata*. Donzelli Editore.
- Landes, D. S. (2017). *Prometeo liberato*. Giulio Einaudi Editore.
- Lee, J. (2020). An overview of the European Commission's digital package: Digital strategy, data strategy, and white paper on AI. *Korea Law Review*.
- Lin, C. C., Tsai, C. T., Liu, Y. L., Chang, T. T., & Chang, Y. S. (2023). Security and privacy in 5G-IIoT smart factories: Novel approaches, trends, and challenges. *Mobile Networks and Applications*, 28(3), 1043-1058.
- Liu, F., Tong, J., Mao, J., Bohn, R., Messina, J., Badger, L., & Leaf, D. (2011). NIST cloud computing reference architecture. NIST Special Publication, 500(2011), 1-28.
- Loukides, M. (2025, January 10). Technology trends for 2025: What O'Reilly Learning Platform usage tells us about where the industry is headed. *O'Reilly Media*. <https://www.oreilly.com/radar/technology-trends-for-2025/>
- Mahdi, O. R. (2021). The business model of sustainable competitive advantage through strategic leadership capabilities and knowledge management processes to overcome COVID-19 pandemic. *Sustainability*.
- Marinescu, D. C. (2023). *Cloud computing: Theory and practice* (3rd ed.). Elsevier.
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481), 984-986. <https://doi.org/10.1126/science.aba3758>
- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2017). *Machine, platform, crowd: Harnessing our digital future*. W.W. Norton & Company.
- McCarthy, J. (2007). What is AI? / Basic questions. Professor John McCarthy.
- Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing. *National Institute of Standards and Technology*, 53(6), 50.
- Microsoft. (2023). Microsoft announces its first Cloud Region in Italy, accelerating innovation and economic opportunity. Disponibile su: <https://news.microsoft.com/europe/2023/06/05/microsoft-announces-its-first-cloud-region-in-italy-accelerating-innovation-and-economic-opportunity/>
- Misselhorn, C. (2018). Artificial morality. Concepts, issues and challenges. *Society*, 55, 161-169.
- Mokyr, J. (2002). Innovation in an historical perspective: Tales of technology and evolution. *Technological Innovation and Economic Performance*, 23, 36.
- Mokyr, J. (2010). The contribution of economic history to the study of innovation and technical change: 1750-1914. *Handbook of the Economics of Innovation*, 1, 11-50.

- Mokyr, J., Vickers, C., & Ziebarth, N. L. (2015). The history of technological anxiety and the future of economic growth: Is this time different? *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 31-50.
- Mouradian, C., Naboulsi, D., Yangui, S., Glitho, R. H., Morrow, M. J., & Polakos, P. A. (2017). A comprehensive survey on fog computing: State-of-the-art and research challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(1), 416-464.
- Mowery, D. C. (2009). Plus ça change: Industrial R&D in the “third industrial revolution”. *Industrial and Corporate Change*, 18(1), 1-50.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1977). In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6(1), 36-76.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). The Schumpeterian tradeoff revisited. *The American Economic Review*, 72(1), 114-132.
- Nida-Rumelin, J., & Weidenfeld, N. (2019). *Umanesimo digitale: Un’etica per l’epoca dell’intelligenza artificiale*. FrancoAngeli.
- NilG AI. (2025). Machine learning for predictive maintenance: How ML predicts failures before they happen. Retrieved from <https://nilg.ai/202505/machine-learning-for-predictive-maintenance>
- Pal, S. (2024). Artificial intelligence-based IoT-edge environment for Industry 5.0. In S. Pal, C. Savaglio, R. Minerva, & F. C. Delicato (Eds.), *IoT edge intelligence. Internet of Things*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-58388-9_4
- Pan, J., & McElhannon, J. (2018). Future edge cloud and edge computing for internet of things applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(1), 439-449. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2767608>
- Pavitt, K. (1987). The objectives of technology policy. *Science and Public Policy*, 14(4), 182-188.
- Pavitt, K. (1999). *Technology, management and systems of innovation*. Edward Elgar Publishing.
- Pellitteri, G. (2020). Il paradigma del Cloud Computing e i vantaggi competitivi: Il caso TIM = The Cloud Computing paradigm and competitive advantages: TIM’s case.
- Politecnico di Milano – Osservatorio Artificial Intelligence. (2023). *Artificial Intelligence 2022: a che punto siamo?*. Retrieved from https://www.osservatori.net/it_it/pubblicazioni/artificial-intelligence-2022-a-che-punto-siamo-report
- Politecnico di Milano – Osservatorio Cloud Transformation. (2022). *La Cloud Transformation in Italia nel 2022*. Retrieved from https://www.osservatori.net/it_it/pubblicazioni/cloud-transformation-italia-2022-report
- Polo Strategico Nazionale. (2023). PNRR Misura 1.1: oltre 230 Amministrazioni aderenti al PSN. Disponibile su: <https://www.polostrategiconazionale.it/amministrazioni-che-hanno-aderito-a-psn/>
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento per la Trasformazione Digitale. (2021). *Strategia Cloud Italia*. Roma: PCM. Disponibile su: <https://docs.italia.it/italia/cloud-italia/strategia-cloud-italia-docs/it/stabile/index.html>

- Qi, Q., & Tao, F. (2018). Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. *IEEE Access*, 6, 3585–3593. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2793265>
- Ramamoorthi, V. (2023). Exploring AI-driven cloud-edge orchestration for IoT applications. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology (IJSRCSEIT)*, 9(5), 385–393.
- Rana, G., & Sharma, R. (2019). Emerging human resource management practices in Industry 4.0. *Strategic HR Review*, 18(4), 176–181.
- Rane, N., Desai, P., & Choudhary, S. (2024). Challenges of implementing artificial intelligence for smart and sustainable industry: Technological, economic, and regulatory barriers. In *Artificial Intelligence and Industry in Society 5.0* (Cap. 5). Deep Science Publishing. https://doi.org/10.70593/978-81-981271-1-2_5
- Research and Markets. (2020). Artificial intelligence in big data analytics and IoT: Market for data capture, information and decision support services 2020–2025. *Business Wire*. <https://www.businesswire.com/news/home/20201103005372/en>
- Ridge. (2023). Location in Cloud Computing: Why It Matters. Disponibile su: <https://www.ridge.co/blog/location-in-cloud-computing/>
- Rifkin, J. (2011). La terza rivoluzione industriale. Edizioni Mondadori.
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). The Internet of Things: An overview. *The Internet Society (ISOC)*, 80(15), 1–53.
- Rozo, L., Calinon, S., Caldwell, D. G., Jimenez, P., & Torras, C. (2016). Learning physical collaborative robot behaviors from human demonstrations. *IEEE Transactions on Robotics*, 32(3), 513–527.
- Runtime metrics. (n.d.). Docker Docs. Retrieved October 11, 2023, from <https://docs.docker.com/config/containers/runmetrics/#control-groups>
- Rupanetti, D., & Kaabouch, N. (2024). Combining edge computing-assisted internet of things security with artificial intelligence: Applications, challenges, and opportunities. *Applied Sciences*, 14(16), 7104.
- Rymarczyk, J. (2020). Technologies, opportunities and challenges of the Industrial Revolution 4.0: Theoretical considerations. *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 8(1), 185–198. <https://doi.org/10.15678/EBER.2020.080110>
- Sagiroglu, S., & Sinanc, D. (2013, May). Big data: A review. *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 42–47. IEEE.
- Sajadieh, S. M. M., & Noh, S. D. (2024). Towards sustainable manufacturing: A maturity assessment for urban smart factory. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 11(3), 909–937.
- Schluse, M., Priggemeyer, M., Atorf, L., & Rossmann, J. (2018). Experimentable digital twins—Streamlining simulation-based systems engineering for Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14, 1722–1731.

- Schnell, M., & Holm, M. (2022). Challenges for manufacturing SMEs in the introduction of collaborative robots. In *SPS2022* (pp. 173–183). IOS Press.
- Schumpeter, J. A. (1939). *Business cycles: A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process*. New York: McGraw Hill.
- Shafiee, S. (2025). Generative AI in manufacturing: A literature review of recent applications and future prospects. *Procedia CIRP*, 132, 1–6.
- Shaping the digital transformation: EU strategy explained. (n.d.). EU Monitor. Retrieved from <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vli6iyjgcqxh?ctx=vg9pj7ufwbwe>
- Sharma, A., Kosasih, E., Zhang, J., Brintrup, A., & Calinescu, A. (2022). Digital twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. *Journal of Industrial Information Integration*, 30, 100383.
- Sharma, M., Tomar, A., & Hazra, A. (2024). Edge computing for industry 5.0: Fundamentals, applications, and research challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(11), 19070–19093.
- Sheikh, H., Prins, C., & Schrijvers, E. (2023). Artificial intelligence: Definition and background. In *Mission AI: The new system technology* (pp. 15–41). Cham: Springer International Publishing.
- Skare, M., de las Mercedes de Obesso, M., & Ribeiro-Navarrete, S. (2023). Digital transformation and European small and medium enterprises (SMEs): A comparative study using digital economy and society index data. *International Journal of Information Management*, 68, 102594. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102594>
- Sodiya, E. O., Umoga, U. J., Obaighena, A., Jacks, B. S., Ugwuanyi, E. D., Daraojimba, A. I., & Lottu, O. A. (2024). Current state and prospects of edge computing within the Internet of Things (IoT) ecosystem. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(1), 1863–1873.
- Somalvico, M. (1987). *Intelligenza artificiale*. Scienza & vita nuova.
- Soori, M., Jough, F. K. G., Dastres, R., & Arezoo, B. (2024). AI-based decision support systems in Industry 4.0: A review. *Journal of Economy and Technology*.
- Sorko, S. R., Rabel, B., & Richter, H. M. (2016). The future of employment—challenges in human resources through digitalization. *Industry 4.0*, 1(2), 128–131.
- Spence, M. (2022). Automation, augmentation, value creation & the distribution of income & wealth. *Daedalus*, 151(2), 244–255.
- Strategia Cloud Italia. (n.d.). Dipartimento per la trasformazione digitale. Retrieved from <https://innovazione.gov.it/dipartimento/focus/strategia-cloud-italia/>
- Szabó-Szentgróti, G., Végvári, B., & Varga, J. (2021). Impact of Industry 4.0 and digitization on labor market for 2030—verification of Keynes' prediction. *Sustainability*, 13(14), 7703. <https://doi.org/10.3390/su13147703>.
- Taddeo, M. (2019). Three ethical challenges of applications of artificial intelligence in cybersecurity. *Minds and machines*, 29, 187–191.

- Taylor, F. W. (1914). *The principles of scientific management*.
- Tegmark, M. (2018). *Vita 3.0: Being human in the age of artificial intelligence*. Raffaello Cortina Editore.
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59, 433-460.
- UiPath & Bain & Company. (2023). *The state of AI-powered automation*. UiPath.
- Ure, A. (1835). *The philosophy of manufactures; or, an exposition of the scientific, moral, and commercial economy of the factory system of Great Britain*. With illustrations. Charles Knight.
- Varghese, B., Wang, N., Barbhuiya, S., Kilpatrick, P., & Nikolopoulos, D. S. (2016, November). Challenges and opportunities in edge computing. In *2016 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud)* (pp. 20-26). IEEE.
- Varghese, B., Wang, N., Barbhuiya, S., Kilpatrick, P., & Nikolopoulos, D. S. (2016, November). Challenges and opportunities in edge computing. In *2016 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud)* (pp. 20-26). IEEE.
- Vrontis, D., Christofi, M., Pereira, V., Tarba, S., Makrides, A., & Trichina, E. (2022). Artificial intelligence, robotics, advanced technologies and human resource management: A systematic review. *The International Journal of Human Resource Management*, 33(6), 1237-1266.
- Wang, X. Q., Jin, Z., Zheng, B., & Gu, G. (2025). Transformer-based approach for printing quality recognition in fused filament fabrication. *NPJ Advanced Manufacturing*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s44334-025-00025-0>
- Wang, X., Wang, B., Wu, Y., Ning, Z., Guo, S., & Yu, F. R. (2023). A survey on trustworthy edge intelligence: From security and reliability to transparency and sustainability. *arXiv [preprint]*. <https://arxiv.org/abs/2310.17944>
- Weber, E. (2016). Industry 4.0: Job-producer or employment-destroyer? *Aktuelle Berichte*.
- Weidemann, C., Mandischer, N., van Kerkom, F., Corves, B., Hüsing, M., Kraus, T., & Garus, C. (2023). Literature review on recent trends and perspectives of collaborative robotics in Work 4.0. *Robotics*, 12, 84.
- Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Review Press.
- Wevolver. (2024). *2024 state of edge AI report: Exploring the dynamic world of edge AI applications across industries*. Wevolver. <https://www.wevolver.com/article/2024-state-of-edge-ai-report>
- Wickremasinghe, B., Calheiros, R. N., & Buyya, R. (2010). CloudAnalyst: A CloudSim-based visual modeler for analysing cloud computing environments and applications. In *2010 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications* (pp. 446-452). Perth, WA, Australia. <https://doi.org/10.1109/AINA.2010.32>
- Wiggins, A. (2017a). The Twelve-Factor App. Retrieved October 11, 2023, from <https://12factor.net/it/codebase>

- Wójcicki, T. (2012). Application of the CAWI method for the holistic support of innovation transfer to business practice. *Problemy Eksploatacji*, (4), 175-186.
- World Economic Forum. (2023). *State of the connected world 2023 edition*. <https://www.weforum.org/publications/state-of-the-connected-world-2023-edition>
- World Economic Forum. (2024). *Agritech: Shaping agriculture in emerging economies, today and tomorrow*. <https://www.weforum.org/publications/agritech-shaping-agriculture-in-emerging-economies-today-and-tomorrow>
- Xiong, W., Fan, H., Ma, L., & Wang, C. (2022). Challenges of human-machine collaboration in risky decision-making. *Frontiers of Engineering Management*, 9(1), 89-103.
- Young, A. (2019). Digital transformation and the impact on organizations. *Technology Analysis & Strategic Management*, 31(3), 122-133.
- Yüksel, K. A., & Sawaf, H. (2024). A multi-AI agent system for autonomous optimization of agentic AI solutions via iterative refinement and LLM-driven feedback loops. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 38(5), 5120–5128. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.17149>
- Zawadzki, M. J., & Lazowska, E. D. (2020). Cybersecurity in the age of AI: From protection to prevention. *Computers & Security*, 88, Article 101614. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101614>
- Zhang, W., Li, Q., Sun, T., et al. (2024). Wafer defect detection with GAN-based synthetic data augmentation: Balanced accuracy improvement in semiconductor manufacturing. *arXiv [preprint]*. arXiv:2407.20268

CONSIGLIO SCIENTIFICO-EDITORIALE
SAPIENZA UNIVERSITÀ EDITRICE

Presidente

AUGUSTO ROCA DE AMICIS

Membri

MARCELLO ARCA

ORAZIO CARPENZANO

MARIANNA FERRARA

CRISTINA LIMATOLA

ENRICO ROGORA

FRANCESCO SAITTO

Opera sottoposta a peer review. Il Consiglio scientifico-editoriale, anche attraverso i comitati scientifici di serie, assicura una valutazione trasparente e indipendente delle opere sottoponendole in forma anonima a due valutatori ignoti agli autori e ai curatori. Per ulteriori dettagli si rinvia al sito: www.editricesapienza.it

This work has been subjected to a peer review. The Scientific-editorial Board, also through the scientific committees of series, ensures a transparent and independent evaluation of the works by subjecting them anonymously to two reviewers, unknown to the authors and editors. For further details please visit the website: www.editricesapienza.it

COLLANA STUDI E RICERCHE

Per informazioni sui volumi precedenti della collana, consultare il sito:
www.editricesapienza.it | *For information on the previous volumes included
in the series, please visit the following website: www.editricesapienza.it*

171. Percorsi in Civiltà dell'Asia e dell'Africa IV
Quaderni di studi dottorali alla Sapienza
a cura di Mario Casari
172. Tecniche Sapienti
Storie di architetture e ingegnere in Sapienza 1910-1968
a cura di Claudia Mattogno e Chiara Belingardi
173. Tracciare la comprensione
L'eye tracking nella ricerca linguistica
Maria Roccaforte e Veronica D'Alesio
174. "Las palabras que pienso"
Escrituras transnacionales de los Andes al Mediterráneo, entre
testimonio y ficción
Elena Ritondale
175. Toolkit for Post-Graduate and PhD Supervisors.
Utilising Digitalisation to Support Training and Supervision
Hassan Zaiter, Francesca Giofrè, Niccolò Busca, Elisa Gigliarelli
176. Oltre foreste e vulcani
Racconti dal Guatemala
a cura di Stefano Tedeschi, Viviana Annessi, Alice Piccone
177. La poesia in Curia da Avignone a Roma (1334-1513)
a cura di Lorenzo Geri
178. Temi di economia e politica economica
Scritti per Luciano Marcello Milone
a cura di Nicola Acocella e Gian Cesare Romagnoli
179. La Relazione segreta di Sava Vladislavić
La percezione della Cina nella Russia del primo Settecento
Alessandro Leopardi
180. Voci del tardo modernismo ungherese
L'universo narrativo di Sándor Márai e Magda Szabó
Edit Rózsavölgyi
181. Futuro digitale: strategie e strumenti
Come il Cloud Computing e l'Intelligenza Artificiale
stanno ridisegnando il business
a cura di Andrea Rocchi e Francesca Iandolo



Il manuale propone un inquadramento critico-operativo della trasformazione digitale nelle organizzazioni, con particolare attenzione all'evoluzione dei paradigmi tecnologici, dei modelli organizzativi e delle culture progettuali. Attraverso un approccio modulare e interdisciplinare, fornisce strumenti concettuali e operativi per comprendere e governare l'innovazione, evidenziando le interconnessioni tra architetture digitali e processi aziendali che stanno ridefinendo il modo di produrre, collaborare e creare valore.

Andrea Rocchi, PhD, è Professore Associato di Scienze Merceologiche presso Sapienza Università di Roma e Presidente del Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria. Esperto di innovazione nei sistemi organizzativi, ha svolto attività di ricerca e consulenza per istituzioni italiane ed europee, tra cui Presidenza del Consiglio, Parlamento Europeo e Commissione Europea. È stato Direttore di Impre-Sapiens, Coordinatore nazionale di Euroguidance Italia e del progetto Campus Mentis.

Francesca Iandolo, PhD, è Professoressa Associata presso Sapienza Università di Roma, dove coordina il Business Innovation Hub e presiede il CdLM in Economia e Comunicazione. Esperta di sistemi, sostenibilità e innovazione, è stata Visiting Researcher alla Queen Mary University, PI di progetti internazionali, revisore per riviste scientifiche, e responsabile della mobilità internazionale della Facoltà di Economia.

ISBN 978-88-9377-413-0



9 788893 774130

