



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Collegio di Ingegneria Gestionale – Classe LM 31 (DM270)

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Anno Accademico 2024/2025

Sessione di Laurea Luglio 2025

Il ruolo dell'AI nelle organizzazioni: competenze e formazione

Relatrice:

Prof. Alessandra Colombelli

Candidato:

Gabriele Luzzi

INDICE

| | |
|---|----|
| 0) Abstract..... | 5 |
| 1) Introduzione..... | 6 |
| 1.1) Definizione e contesto dell'Intelligenza Artificiale (AI) nelle organizzazioni..... | 6 |
| 1.2) Tecniche sottostanti all'Intelligenza Artificiale..... | 7 |
| 1.2.1) Machine Learning | |
| 1.2.2) Deep Learning | |
| 1.2.3) Elaborazione del Linguaggio Naturale | |
| 1.2.4) Visione Artificiale | |
| 1.3) Obiettivi e struttura della tesi..... | 21 |
| 2) L'AI e la trasformazione del lavoro nelle organizzazioni..... | 21 |
| 2.1) L'introduzione dell'AI nel contesto organizzativo: automazione, nuovi paradigmi e trasformazione digitale..... | 21 |
| 2.1.1) La trasformazione digitale e i nuovi paradigmi organizzativi | |
| 2.1.2) Automazione strategica e logiche data-driven | |
| 2.1.3) L'introduzione dell'AI nei settori ad alta intensità cognitiva | |
| 2.1.4) La democratizzazione dell'AI e l'evoluzione organizzativa nelle PMI | |
| 2.1.5) Le implicazioni nei processi formativi e nelle funzioni HR | |
| 2.2) Cambiamenti nei ruoli professionali e nelle strutture organizzative: analisi dei settori più impattati..... | 29 |
| 2.2.1) La riconfigurazione dei ruoli professionali nei contesti AI-driven | |
| 2.2.2) L'evoluzione delle strutture organizzative e della leadership | |
| 2.2.3) Settori ad alta trasformazione: sanità, giornalismo, cybersecurity, HR | |
| 2.2.4) Le nuove professioni nei contesti globali e nei Paesi in via di sviluppo | |
| 2.2.5) Disuguaglianze e barriere nella trasformazione dei ruoli | |
| 2.3) Impatto su produttività, efficienza e nuove modalità di lavoro..... | 37 |
| 2.3.1) Ridefinizione della produttività e dell'efficienza nei contesti AI-driven | |
| 2.3.2) Trasformazioni nei flussi operativi: asincronia, automazione e nuovi modelli decisionali | |
| 2.3.3) AI come moltiplicatore di produttività nei settori ad alta intensità cognitiva | |

| | |
|---|----|
| 2.3.4) Asimmetrie globali e implicazioni economiche della produttività AI-driven | |
| 2.3.5) Efficienza pubblica e digitalizzazione della Pubblica Amministrazione | |
| 3) Evoluzione delle competenze richieste nell'era dell'AI..... | 43 |
| 3.1) Competenze tecniche e trasversali necessarie per lavorare con l'AI..... | 43 |
| 3.1.1) Fondamenti tecnici e processi decisionali | |
| 3.1.2) Formazione ibrida, upskilling e soft-skill | |
| 3.1.3) Collaborazione uomo-AI, metacognizione e agency | |
| 3.1.4) Etica, governance e profili ibridi settoriali | |
| 3.2) Il divario di competenze: confronto tra le richieste del mercato e le competenze attuali.. | 48 |
| 3.2.1) Mismatch organizzativo e competenze emergenti | |
| 3.2.2) Dinamiche di upskilling e strumenti di misurazione | |
| 3.2.3) Gap socio-geografici e macro-strategie | |
| 3.2.4) Applicazioni settoriali e modelli previsionali | |
| 3.3) Strategie per colmare il gap di competenze nelle organizzazioni..... | 53 |
| 3.3.1) Progettazione e implementazione di programmi di upskilling e reskilling interni | |
| 3.3.2) Strategie multilivello, misurazione e politiche inclusive | |
| 3.3.3) Dimensione etica, manageriale e sviluppo di framework di competenze | |
| 3.3.4) Casi applicativi settoriali e modelli previsionali per l'upskilling | |
| 4) Formazione e riqualificazione del personale in relazione all'AI..... | 58 |
| 4.1) Modelli di apprendimento e formazione continua per l'AI..... | 58 |
| 4.1.1) Modelli teorici e approcci interdisciplinari | |
| 4.1.2) Framework sistemici e didattica inclusiva | |
| 4.1.3) Applicazioni pratiche, motivazione e panoramiche settoriali | |
| 4.1.4) Miglioramento continuo e metodologie settoriali | |
| 4.1.5) Task-technology fit, competenze organizzative ed etica | |
| 4.2) Approcci aziendali alla formazione e alla riqualificazione..... | 63 |
| 4.2.1) Leadership strategica e governance formativa | |
| 4.2.2) Strumenti personalizzati e ruolo dell'HR | |
| 4.2.3) Analisi predittiva, fabbisogni di competenze e upskilling | |

| | |
|--|----|
| 4.2.4) Etica, sostenibilità e co-evoluzione umano-macchina | |
| 4.3) Strumenti e tecnologie basate su AI per la formazione..... | 67 |
| 4.3.1) Tutor generativi e motivazione all'apprendimento | |
| 4.3.2) Ambienti immersivi, assistive tech e sicurezza formativa | |
| 4.3.3) Analisi predittiva, ottimizzazione e scenari applicativi | |
| 4.4) Sfide e opportunità della formazione per l'AI: resistenze, costi, efficacia..... | 70 |
| 4.4.1) Resistenze psicologiche e culturali | |
| 4.4.2) Costi, infrastrutture e disuguaglianze formative | |
| 4.4.3) Gap di competenze e modelli di upskilling | |
| 4.4.4) Sfide operative e organizzative dei programmi formativi | |
| 4.4.5) Valutazione dell'efficacia e sostenibilità dei percorsi formativi | |
| 5) Strategie e sfide per l'implementazione dell'AI nelle organizzazioni..... | 75 |
| 5.1) Esempi di implementazione di successo..... | 75 |
| 5.1.1) Panoramica occupazionale e soluzioni HR | |
| 5.1.2) Trasformazioni settoriali e sostenibilità | |
| 5.1.3) Analytics, DevOps e governance | |
| 5.1.4) Edge computing e supply chain | |
| 5.1.5) Formazione continua e casi nel settore pubblico | |
| 5.2) Difficoltà e barriere nell'integrazione dell'AI..... | 79 |
| 5.2.1) Barriere legate a dati, costi e infrastrutture | |
| 5.2.2) Ostacoli organizzativi e formativi | |
| 5.2.3) Sfide tecnologiche e di governance | |
| 5.2.4) Impatti settoriali e complessità etico-regolatorie | |
| 5.2.5) Barriere culturali e comunicative | |
| 5.3) Proposte per un'adozione efficace dell'AI nella formazione e nella gestione delle competenze..... | 84 |
| 5.3.1) Modelli formativi integrati e innovativi | |
| 5.3.2) Framework e playbook per la governance AI | |
| 5.3.3) Sviluppo competenze e ruoli delle risorse umane | |

| | |
|---|-----|
| 5.3.4) Collaborazioni e approcci multilivello | |
| 5.3.5) Roadmap settoriali per l'adozione dell'AI | |
| 5.4) Etica e governance nell'adozione dell'AI: analisi delle questioni etiche, impatti sociali e proposte di governance responsabile..... | 88 |
| 5.4.1) Framework teorici e modelli per una governance etica | |
| 5.4.2) Fiducia, trasparenza e responsabilità nei processi professionali | |
| 5.4.3) Diversità, inclusione e governance etica | |
| 5.4.4) Implicazioni settoriali e applicative per un'AI etica | |
| 5.4.5) Supervisione, regolamentazione e responsabilità pubblica | |
| 6) Bibliografia e sitografia..... | 93 |
| 7) Ringraziamenti..... | 100 |

0) Abstract (ITA)

Questa tesi esplora l'impatto trasformativo dell'intelligenza artificiale (AI) sui processi organizzativi, sui modelli formativi e sulle competenze professionali. Attraverso una revisione della letteratura strutturata, che include una vasta gamma di fonti accademiche e industriali internazionali, lo studio analizza come l'integrazione di sistemi AI stia ridefinendo paradigmi decisionali, ruoli manageriali e strategie di upskilling e reskilling. L'indagine mette in luce le sfide e le opportunità legate all'adozione su larga scala dell'AI, evidenziando le tensioni tra automazione e lavoro umano, tra efficienza tecnologica e sostenibilità sociale, e tra innovazione settoriale e governance etica. I risultati contribuiscono a delineare un framework interpretativo utile per comprendere le dinamiche della trasformazione digitale in corso, proponendo indicazioni concrete per il design di strategie formative, politiche organizzative e modelli di governance in grado di valorizzare l'interazione uomo-AI.

Abstract (ENG)

This thesis offers a comprehensive and critical review of the integration of artificial intelligence (AI) in organizational settings, with a particular focus on its impact on work organization, learning processes, skills development, and governance practices. Through the systematic analysis of over sixty international scholarly contributions, the research examines how AI reshapes decision-making, transforms professional roles, and redefines the competencies required across various sectors.

The work highlights both the opportunities offered by AI, such as operational efficiency, hybrid collaboration between humans and machines, and personalized training pathways, and the challenges, including ethical dilemmas, governance complexities, and socio-economic inequalities in access to innovation. By mapping the barriers and enablers of AI adoption, the thesis develops an integrated framework that connects organizational, technological, and educational dimensions, providing a multidimensional interpretive model.

The findings contribute to the international debate by offering practical insights and strategic directions for policymakers, managers, and educators aiming to foster responsible, inclusive, and sustainable AI-driven transformation.

1) Introduzione

1.1) Definizione e contesto dell'Intelligenza Artificiale (AI)

L'Intelligenza Artificiale (AI) si può definire come l'insieme di tecnologie capaci di simulare capacità cognitive tipiche degli esseri umani, tra cui il ragionamento, l'apprendimento, la percezione e il processo decisionale. Attraverso l'uso di algoritmi e modelli matematici, queste tecnologie, che comprendono il machine learning, il deep learning, l'elaborazione del linguaggio naturale e la visione artificiale, sono in grado di migliorare autonomamente le proprie prestazioni attraverso l'esperienza. Questo consente di collocare l'AI non solo come un supporto operativo per compiti ripetitivi o strutturati, ma anche come uno strumento strategico capace di influenzare profondamente il processo decisionale, la gestione delle operazioni e l'interazione con i clienti.

L'evoluzione dell'Intelligenza Artificiale all'interno del contesto aziendale è stata caratterizzata da una crescita esponenziale negli ultimi decenni, favorita principalmente dal progresso tecnologico e dalle pressioni competitive. Da un lato, l'aumento della potenza di calcolo e la disponibilità di enormi quantità di dati, spesso definiti come big data, hanno permesso lo sviluppo di modelli più accurati e complessi. Dall'altro, il bisogno delle aziende di migliorare l'efficienza operativa, ridurre i costi e mantenere un vantaggio competitivo sostenibile ha spinto molte organizzazioni ad adottare queste tecnologie. Oggi l'AI non è più considerata una tecnologia di nicchia, bensì un elemento centrale e integrato nei processi aziendali. Secondo alcune stime recenti, una percentuale significativa di imprese sta già implementando o pianificando l'adozione di soluzioni basate sull'AI nei prossimi anni, rendendola un pilastro essenziale della trasformazione digitale.

L'adozione dell'AI comporta cambiamenti significativi per le organizzazioni. Uno degli aspetti più rilevanti è rappresentato dall'automazione dei processi, che consente di gestire attività complesse in modo più rapido ed efficiente, riducendo gli errori e i tempi di esecuzione. Parallelamente, l'AI si è rivelata uno strumento di supporto decisionale estremamente utile, grazie all'utilizzo di tecniche di analisi predittiva che permettono alle aziende di anticipare scenari futuri, ottimizzare l'allocatione delle risorse e pianificare strategie più mirate. Inoltre, le interazioni con i clienti stanno subendo una profonda trasformazione grazie all'introduzione di chatbot e assistenti virtuali, in grado di garantire risposte rapide e personalizzate, migliorando significativamente l'esperienza complessiva degli utenti. Tuttavia, questi cambiamenti richiedono anche una trasformazione delle competenze richieste ai lavoratori, sempre più orientate verso abilità analitiche, tecniche e trasversali, accompagnate da un impegno costante verso la formazione continua.

Nonostante i numerosi vantaggi offerti, l'adozione dell'AI comporta anche diverse sfide che le organizzazioni devono affrontare. Tra queste, una delle più comuni è la resistenza al cambiamento, spesso generata dalla percezione che l'AI possa rappresentare una minaccia per i ruoli tradizionali dei lavoratori. A ciò si aggiunge la complessità tecnologica delle soluzioni AI, che richiede infrastrutture adeguate e competenze altamente specializzate per la loro implementazione. Inoltre, le implicazioni etiche, come la trasparenza degli algoritmi, la privacy dei dati e la responsabilità decisionale, sollevano interrogativi importanti che le aziende non possono ignorare.

Nonostante queste difficoltà, l'Intelligenza Artificiale si sta affermando come un elemento chiave per l'innovazione organizzativa. Più che un semplice strumento per migliorare l'efficienza, l'AI rappresenta un vero e proprio fattore abilitante per lo sviluppo di nuovi prodotti, servizi e modelli di business. Le aziende innovative stanno già dimostrando come queste tecnologie possano essere

utilizzate per creare soluzioni personalizzate e scalabili, aprendo la strada a strategie più audaci e a nuovi mercati da esplorare. L'AI non si limita dunque a ottimizzare ciò che esiste, ma spinge le organizzazioni a ripensare il proprio modo di operare, ponendosi come catalizzatore della trasformazione digitale.

Il ruolo dell'AI nelle organizzazioni sembra essere destinato a crescere, offrendo opportunità senza precedenti ma richiedendo al contempo un approccio consapevole e strategico. Le organizzazioni che sapranno affrontare con successo le sfide associate all'adozione di queste tecnologie saranno quelle meglio equipaggiate per prosperare in un ambiente in continua evoluzione.

1.2) Tecniche sottostanti all'Intelligenza Artificiale

Tra le tecniche più note che compongono l'AI troviamo il machine learning, il deep learning, l'elaborazione del linguaggio naturale e la visione artificiale: essi sono strumenti che permettono ai sistemi di apprendere dall'esperienza e migliorare le proprie prestazioni nel tempo.

1.2.1) Machine Learning

Il Machine Learning (ML) rappresenta una delle principali aree di sviluppo dell'Intelligenza Artificiale (AI) e gioca un ruolo fondamentale nel trasformare il modo in cui le organizzazioni operano e innovano. Si tratta di un insieme di tecniche che consentono ai sistemi di apprendere automaticamente da dati e di migliorare le loro prestazioni senza essere esplicitamente programmati. Il ML può essere definito come l'abilità di un sistema informatico di identificare pattern e relazioni all'interno di dataset, utilizzandoli per fare previsioni o decisioni. Per funzionare, si basa su alcuni principi fondamentali. Innanzitutto, i dati rappresentano la risorsa principale: la qualità e la quantità dei dati disponibili sono essenziali per addestrare modelli efficaci. Inoltre, gli algoritmi di ML utilizzano modelli matematici e statistici che apprendono dai dati, con l'obiettivo di generalizzare e fare previsioni accurate anche su dati non visti in precedenza.

Categorie di Machine Learning

Il Machine Learning si divide principalmente in tre categorie:

- **Apprendimento supervisionato:** è un approccio in cui il sistema viene addestrato su un dataset etichettato, dove ogni esempio è associato a una risposta corretta. Questo metodo utilizza algoritmi come la regressione lineare e la regressione logistica, i cui obiettivi sono rispettivamente formalizzare una relazione funzionale tra variabili e stimare la probabilità che si verifichi un evento, sulla base di un dataset.

Un esempio di algoritmo non parametrico basato sull'apprendimento supervisionato è l'albero decisionale, il quale presenta una struttura gerarchica ad albero costituita da nodo radice, rami, nodi interni e nodi foglia. È utilizzato sia per attività di classificazione che di regressione.

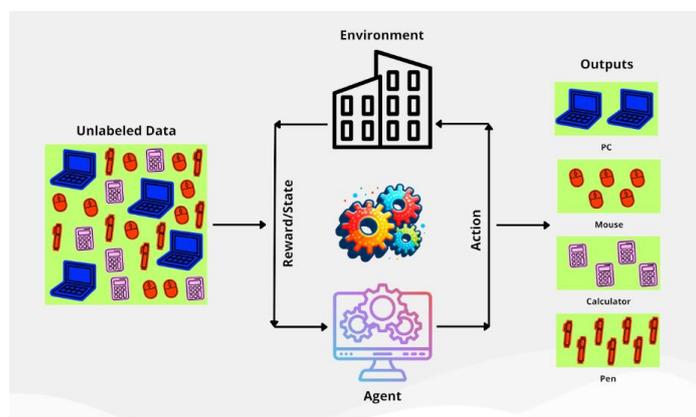
È altresì importante menzionare la rete neurale, cioè un modello di machine learning che prende decisioni in modo simile al cervello umano, utilizzando processi che imitano il modo in cui i neuroni biologici lavorano insieme per identificare fenomeni, pesare le opzioni e arrivare alle conclusioni.

- Apprendimento non supervisionato: viene utilizzato quando i dati non sono etichettati, con l'obiettivo di scoprire pattern nascosti o strutture sottostanti nei dati, attraverso tecniche come il clustering (ad esempio *K-means*) e l'analisi delle componenti principali (PCA).

Il *K-means clustering* si basa su una procedura iterativa: inizialmente si definisce un numero "k" di cluster e si scelgono in modo casuale i punti centrali, detti centroidi, per ogni cluster. Successivamente, ogni punto del dataset viene assegnato al cluster il cui centroide risulta più vicino, calcolando la distanza (ad esempio, utilizzando la distanza euclidea). Una volta effettuata l'assegnazione, i centroidi vengono aggiornati calcolando la media dei punti appartenenti a ciascun cluster. Questo processo di assegnazione e aggiornamento viene ripetuto fino a quando i centroidi non cambiano più significativamente o fino al raggiungimento di un numero massimo di iterazioni. Questa tecnica è particolarmente utile in applicazioni come la segmentazione del mercato o il raggruppamento di immagini. Tra i suoi vantaggi spiccano la semplicità e la rapidità di esecuzione su dataset di dimensioni moderate, mentre tra i limiti va segnalata la necessità di specificare il numero di cluster in anticipo, oltre alla sensibilità ai valori iniziali dei centroidi che possono influire sul risultato finale.

La *PCA (Principal Component Analysis)* è, invece, una tecnica di riduzione della dimensionalità molto utilizzata per semplificare dataset complessi, preservando il più possibile le informazioni maggiormente rilevanti. Il primo passo consiste nella standardizzazione dei dati, cioè nell'assicurarsi che tutte le variabili abbiano media pari a 0 e varianza unitaria, in modo da eliminare l'influenza di eventuali scale diverse tra le variabili. Successivamente, si calcola la matrice di covarianza per capire come le variabili sono correlate tra loro. Da questa matrice si estraggono autovalori e autovettori: gli autovalori indicano quanta varianza viene spiegata da ciascuna componente principale, mentre gli autovettori definiscono le direzioni lungo cui i dati verranno trasformati. Le componenti principali vengono poi ordinate in base all'importanza (cioè alla varianza spiegata) e i dati vengono proiettati su queste nuove dimensioni ridotte. PCA è spesso utilizzata per ridurre il rumore nei dati, semplificare il carico computazionale o facilitare la visualizzazione di dataset complessi. Tuttavia, presenta anche alcuni limiti: ad esempio, le componenti principali non sono sempre facilmente interpretabili in relazione alle variabili originali, e una parte delle informazioni viene inevitabilmente persa.

- Apprendimento per rinforzo: si basa sull'interazione tra un agente autonomo e l'ambiente.



Un agente autonomo è qualsiasi sistema in grado di prendere decisioni e agire in risposta al suo ambiente, indipendentemente dall'istruzione diretta da parte di un utente umano. Affronta in particolare i problemi decisionali sequenziali per tentativi ed errori in ambienti incerti: il

modello riceve ricompense o penalità in base alle sue azioni, risultando particolarmente utile in ambiti come i giochi e la robotica.

Applicazioni del Machine Learning nelle organizzazioni

Il Machine Learning è diventato un elemento chiave per guidare l'innovazione nelle organizzazioni, con numerose applicazioni pratiche. Un esempio è l'analisi predittiva, utilizzata per prevedere tendenze di mercato, comportamento dei clienti e performance aziendali. Inoltre, il ML consente di automatizzare processi ripetitivi, migliorando l'efficienza operativa, come nella gestione delle operazioni o nel customer service.

In settori come l'e-commerce e i media trovano applicazione i *sistemi di raccomandazione personalizzati*. Essi sono strumenti di Intelligenza Artificiale che aiutano a suggerire prodotti, contenuti o servizi su misura per ogni utente. Questi sistemi si basano sull'analisi dei comportamenti passati, delle preferenze personali e, in alcuni casi, sui dati di utenti con gusti simili. Sono utilizzati per migliorare l'esperienza degli utenti e, al contempo, incentivare l'engagement e le vendite.

Il funzionamento di questi sistemi può seguire diversi approcci. Un metodo comune è il "collaborative filtering", che confronta i comportamenti di più utenti. Ad esempio, se altri utenti con gusti simili al tuo hanno acquistato un determinato prodotto, è probabile che venga suggerito anche a te. Un altro approccio è il "content-based filtering", che analizza le caratteristiche degli articoli che ti sono già piaciuti, suggerendone di simili. Infine, molti sistemi combinano entrambi i metodi per offrire suggerimenti ancora più precisi, seguendo un modello ibrido.

Questi sistemi sono ovunque nella nostra vita quotidiana. Si pensi ad Amazon, che suggerisce prodotti in base a ciò che hai cercato, acquistato o messo nel carrello. Oppure Netflix e Spotify, che analizzano ciò che l'utente ha guardato o ascoltato per proporre film, serie o brani musicali analoghi che potrebbero risultare graditi. Anche piattaforme social come Instagram e TikTok funzionano allo stesso modo, proponendo contenuti personalizzati in base ai personali interessi e alle interazioni con altri post.

I vantaggi sono evidenti: da un lato, gli utenti beneficiano di un'esperienza più personalizzata, ricevendo suggerimenti pertinenti che migliorano la loro soddisfazione; dall'altro, le aziende ottengono un incremento delle vendite, delle conversioni o del tempo trascorso sulle loro piattaforme. Tuttavia, ci sono anche dei limiti. Ad esempio, i sistemi di raccomandazione possono creare la cosiddetta "filter bubble", ovvero una situazione in cui l'utente viene esposto solo a contenuti simili a quelli che già conosce, limitando la possibilità di scoprire qualcosa di nuovo. Inoltre, per funzionare bene, questi sistemi hanno bisogno di raccogliere e analizzare grandi quantità di dati, il che può sollevare questioni legate alla privacy.

Altre applicazioni includono il rilevamento delle frodi, con algoritmi avanzati che identificano transazioni sospette, e l'ottimizzazione della supply chain, che migliora la logistica e la gestione delle scorte.

Nonostante il suo enorme potenziale, il ML affronta alcune sfide. La qualità dei dati è un aspetto cruciale: dati rumorosi, incompleti o non rappresentativi possono compromettere i risultati. Un'altra problematica riguarda i bias nei dati di addestramento, che possono amplificare pregiudizi esistenti.

Infine, l'addestramento di modelli complessi richiede risorse computazionali significative, il che può rappresentare un ostacolo per alcune organizzazioni.

Il Machine Learning rappresenta una delle tecnologie più promettenti e rivoluzionarie dell'era digitale. La sua implementazione nelle organizzazioni non solo migliora l'efficienza, ma favorisce anche lo sviluppo di nuovi prodotti, servizi e modelli di business. Tuttavia, è fondamentale affrontare le sfide associate per garantire un uso etico e sostenibile della tecnologia.

1.2.2) Deep Learning

Il Deep Learning (DL) rappresenta una delle evoluzioni più significative nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale, distinguendosi per la sua capacità di affrontare problemi complessi con un livello di accuratezza senza precedenti. Questa disciplina si basa sull'utilizzo di reti neurali artificiali profonde (*deep neural networks*), strutture computazionali ispirate al funzionamento del cervello umano.

Le reti neurali profonde sono organizzate in strati gerarchici, dove ciascun livello elabora i dati in modo sempre più astratto e complesso. Questa stratificazione consente al DL di affrontare compiti come il riconoscimento vocale, la visione artificiale e la traduzione automatica, con risultati che hanno rivoluzionato il panorama tecnologico.

Un esempio emblematico è il riconoscimento di immagini, in cui modelli come le reti convoluzionali (*Convolutional Neural Networks*, CNN) sono in grado di rilevare caratteristiche visive come bordi, texture e oggetti con una precisione sorprendente. Sviluppate ispirandosi alla struttura e al funzionamento della corteccia visiva umana, le CNN hanno rivoluzionato il modo in cui i computer interpretano e analizzano dati visivi.

Un modello di Deep Learning: Convolutional Neural Networks (CNN)

Una CNN è un'architettura di rete per il DL, caratterizzata da un processo di apprendimento gerarchico che avviene direttamente dai dati. L'architettura tipica di una rete convoluzionale si compone di tre tipi principali di strati:

- 0) Strati Convoluzionali: questi strati applicano filtri (o kernel) all'immagine di input, generando mappe di caratteristiche (*feature maps*). Ogni filtro è progettato per rilevare caratteristiche specifiche come bordi, texture o forme. La convoluzione consente di ridurre la dimensionalità dell'immagine, mantenendo le informazioni essenziali.
- 1) Strati di Attivazione: dopo ogni operazione convoluzionale, uno strato di attivazione applica una funzione non lineare alle mappe di caratteristiche. Questo passaggio è fondamentale per introdurre non linearità nel modello, permettendo alla rete di apprendere rappresentazioni complesse dei dati.

La funzione di attivazione più comunemente utilizzata nelle CNN è la "ReLU" (Rectified Linear Unit), che mappa tutti i valori negativi a zero e lascia invariati quelli positivi. La sua semplicità ed efficienza computazionale la rendono particolarmente adatta per reti profonde. Altre funzioni di attivazione, come la sigmoide o la tangente iperbolica (*tanh*), trovano applicazione in contesti specifici, ma tendono a essere meno comuni per via del rischio di saturazione dei gradienti, ovvero il rischio che i valori di input della funzione di attivazione si trovino in regioni in cui il gradiente è prossimo allo zero, rallentando o bloccando il processo di apprendimento, in quanto i pesi non sono aggiornati efficacemente a seguito di variazioni trascurabili.

- 2) Strati di Pooling: gli strati di *pooling* riducono ulteriormente la dimensionalità delle mappe di caratteristiche, aggregando informazioni locali in modo da rendere meno numerosi i

parametri che la rete deve apprendere. Il pooling più comune è il *max pooling*, che seleziona il valore massimo in una finestra di dati, preservando le caratteristiche più significative e riducendo il rischio di sovradimensionamento (*overfitting*).

- 3) Strati Fully Connected: nella fase finale, le mappe di caratteristiche vengono "appiattite" e passate attraverso strati completamente connessi. Questo processo traduce le caratteristiche apprese in una rappresentazione utile per la classificazione o il riconoscimento.

Il successo del deep learning è strettamente legato alla disponibilità di grandi quantità di dati (*big data*) e all'aumento della capacità computazionale, grazie a tecnologie come le GPU (*Graphics Processing Units*). Tuttavia, ciò ha anche sollevato interrogativi sull'efficienza energetica e sull'accessibilità di queste risorse, rendendo necessario un bilanciamento tra progresso tecnologico e sostenibilità.

Un aspetto distintivo del DL è la sua capacità di apprendere in modo non supervisionato, ovvero senza la necessità di etichettare manualmente grandi quantità di dati. Questo approccio, combinato con tecniche avanzate come il trasferimento di apprendimento (o *transfer learning*), ha reso il deep learning un pilastro fondamentale per applicazioni innovative in campi come la medicina, i trasporti e la finanza.

Una tecnica del Deep Learning: Il Transfer Learning

Il trasferimento di apprendimento è una tecnica fondamentale nel deep learning che consente di utilizzare le conoscenze acquisite da un modello addestrato su un compito per affrontarne un altro, spesso con risultati eccellenti. Questa strategia si basa sull'idea che le caratteristiche apprese da un modello su un dataset ampio e generico possano essere riutilizzate per compiti simili, anche quando si dispone di pochi dati per l'addestramento.

In pratica, questa tecnica è particolarmente utile nel deep learning, dove i modelli tendono a essere molto complessi e richiedono enormi quantità di dati e risorse per essere addestrati da zero. Grazie al trasferimento di apprendimento, è possibile partire da un modello già pre-addestrato, risparmiando tempo e migliorando l'efficienza del processo.

Il trasferimento di apprendimento nel deep learning segue due approcci principali.

Il primo è l'estrazione delle caratteristiche (*feature extraction*), in cui si utilizza un modello pre-addestrato per estrarre rappresentazioni significative dei dati. In questo caso, i pesi degli strati pre-addestrati vengono "congelati" e si addestra solo l'ultimo strato, adattandolo al nuovo compito.

La tecnica della *feature extraction* si rivela particolarmente utile in contesti specifici: è indicata soprattutto quando il dataset a disposizione è relativamente piccolo e non offre una quantità sufficiente di dati per addestrare un modello complesso da zero. Inoltre, risulta efficace quando il compito da svolgere è simile a quello per cui il modello è stato originariamente pre-addestrato.

Tra i principali vantaggi di questo approccio spicca l'efficienza computazionale: la maggior parte della rete rimane invariata, riducendo significativamente il tempo e le risorse richiesti per l'addestramento. Inoltre, la *feature extraction* offre un'elevata adattabilità, poiché sfrutta caratteristiche generiche apprese dai primi strati del modello, che spesso risultano utili per compiti correlati.

Tuttavia, esistono anche alcuni limiti. La rigidità di questo approccio è uno degli svantaggi principali: congelare i pesi degli strati pre-addestrati impedisce di adattare il modello a compiti troppo diversi da quello originale. Di conseguenza, le prestazioni possono risultare limitate se le caratteristiche apprese non sono sufficientemente rappresentative per il nuovo contesto applicativo.

Il secondo approccio è il *fine-tuning*, che consiste nel riaddestrare l'intero modello o parte di esso sul nuovo dataset, con un tasso di apprendimento basso. Questo metodo è utile quando il nuovo compito è simile, ma non identico, a quello originale, e si vuole consentire al modello di adattarsi gradualmente.

Il *fine-tuning* si presta ad essere utilizzato in contesti specifici, soprattutto quando il compito target è diverso, ma comunque correlato, rispetto a quello per cui il modello è stato pre-addestrato. Ad esempio, un caso tipico potrebbe essere il passaggio da una classificazione generica di oggetti a un riconoscimento mirato di strumenti industriali specifici.

Tra i principali vantaggi, il *fine-tuning* offre un'elevata flessibilità, consentendo di adattare il modello anche a compiti significativamente diversi rispetto a quelli originali. Inoltre, aggiornando i pesi, è possibile migliorare sensibilmente le prestazioni del modello, ottimizzandolo per il compito specifico da svolgere.

Non mancano, però, alcuni limiti. Per poter utilizzare il *fine-tuning*, è necessario disporre di un dataset più ampio rispetto a quello richiesto dalla *feature extraction*, altrimenti si rischia l'*overfitting*. Un altro svantaggio è rappresentato dalla maggiore complessità computazionale: riaddestrare parti della rete implica un aumento significativo dei requisiti in termini di risorse e di tempo richiesto per il processo di ottimizzazione.

Per comprendere più efficacemente l'utilizzo del transfer learning si riporta un esempio pratico: si immagini di voler costruire un sistema che riconosca le tipologie specifiche di fiori all'interno di un giardino. Addestrare una CNN da zero richiederebbe un ampio dataset di immagini di fiori e molto tempo. Tuttavia, utilizzando un modello pre-addestrato su ImageNet (un dataset contenente milioni di immagini di oggetti generici), possiamo sfruttare le caratteristiche già apprese, come i bordi, le forme e le texture, per riconoscere i fiori. In questo esempio, i primi strati del modello pre-addestrato sono in grado di identificare caratteristiche generiche come linee o curve, mentre gli strati più profondi possono essere riaddestrati per riconoscere dettagli specifici dei fiori. Questo approccio permette di ottenere un modello performante anche con poche immagini disponibili per l'addestramento.

Il trasferimento di apprendimento è evidentemente una delle strategie più potenti nel DL, rendendo possibile affrontare problemi complessi anche con risorse limitate. Questa tecnica non solo consente di ottimizzare i tempi e le risorse, ma apre anche la strada a soluzioni innovative in molti settori. L'integrazione del trasferimento di apprendimento nelle reti neurali profonde rappresenta una svolta per lo sviluppo di modelli scalabili e versatili.

Nonostante i progressi, il DL presenta ancora delle sfide. Tra queste, la mancanza di interpretabilità dei modelli e la loro vulnerabilità agli attacchi avversari sollevano importanti questioni etiche e pratiche. Inoltre, il costo computazionale elevato potrebbe limitare l'accesso equo a queste tecnologie, accentuando il divario tecnologico tra diverse realtà.

Si può dunque considerare il deep learning come un paradigma trasformativo che ha aperto nuove possibilità nell'intelligenza artificiale, pur richiedendo una riflessione attenta sulle sue implicazioni etiche, sociali ed economiche.

1.2.3) *Elaborazione del Linguaggio Naturale*

L'Elaborazione del Linguaggio Naturale (NLP) rappresenta una delle frontiere più stimolanti dell'AI, con l'obiettivo di creare sistemi in grado di comprendere, interpretare e generare il linguaggio umano. Questa disciplina, che unisce le discipline di linguistica, statistica e apprendimento automatico, punta a superare la complessità del linguaggio naturale, rendendo i computer capaci di dialogare con gli esseri umani in modo naturale e intuitivo.

Uno degli aspetti più interessanti del NLP è la sua capacità di affrontare le sfide poste dall'intrinseca ricchezza e complessità del linguaggio umano. Ogni parola può assumere significati diversi in base al contesto, e la varietà sintattica rende ancora più arduo il compito di elaborare frasi che possono essere strutturate in numerosi modi diversi ma che veicolano lo stesso concetto. Inoltre, comprendere emozioni, toni e intenzioni dietro un messaggio è un obiettivo fondamentale per i sistemi di NLP, ma al contempo uno dei più difficili da raggiungere.

Negli ultimi anni, i progressi in questo campo sono stati straordinari grazie all'uso di tecnologie avanzate come il Machine Learning e il Deep Learning. Ad esempio, un passaggio cruciale nell'elaborazione del linguaggio è rappresentato dalla cosiddetta *tokenizzazione*, ossia la suddivisione del testo in unità più piccole, come parole o frasi, per facilitarne l'elaborazione. Successivamente, i modelli si concentrano sull'analisi sintattica e semantica, identificando la struttura grammaticale e il significato delle parole nel contesto.

Tecniche di rappresentazione delle parole: *Word2Vec*, *GloVe*, *BERT* e *GPT*

Un ruolo in questi processi è svolto dalla rappresentazione delle parole attraverso tecniche come *Word2Vec* o *GloVe*. Esse sono fondamentali nel campo del NLP e permettono di rappresentare le parole in formato numerico: ciò risulta essere un aspetto cruciale per la comprensione del significato da parte dei computer.

Sebbene condividano lo stesso obiettivo, ovvero trasformare il linguaggio in vettori numerici in grado di catturare il significato e le relazioni semantiche tra i termini, si basano su approcci molto diversi.

Word2Vec è stato sviluppato da Google nel 2013 ed è diventato rapidamente uno dei modelli più popolari per creare rappresentazioni delle parole. La sua forza risiede nell'utilizzo di una rete neurale poco profonda, addestrata su due modalità principali: il modello *CBOW* (*Continuous Bag of Words*) e il modello *Skip-Gram*.

Nel modello *CBOW*, l'idea è prevedere una parola target dato il contesto circostante. Ad esempio, se si ha la frase "il gatto è sul tappeto", il modello cerca di prevedere la parola "è" basandosi sulle altre parole vicine. Al contrario, il modello *Skip-Gram* funziona in modo opposto: dato un termine (ad esempio "gatto"), prevede le parole che lo circondano, come "il" e "sul".

La caratteristica distintiva di *Word2Vec* è che cattura relazioni semantiche e sintattiche tra le parole in modo molto efficace. Una delle dimostrazioni più affascinanti di questa capacità è rappresentata da operazioni aritmetiche sui vettori: per esempio, sottraendo "man" da "king" e aggiungendo "woman", si ottiene un vettore molto vicino a "queen". Tuttavia, *Word2Vec* si concentra su finestre di contesto locali e non tiene conto delle relazioni globali tra le parole, il che può limitare la comprensione di connessioni più ampie tra concetti.

GloVe (*Global Vectors for Word Representation*), sviluppato dall'Università di Stanford nel 2014, affronta proprio questa limitazione di *Word2Vec*. A differenza di quest'ultimo, *GloVe* non utilizza una

rete neurale, ma si basa sull'analisi delle co-occorrenze delle parole in un corpus. Ossia esamina quante volte le parole appaiono insieme in un determinato contesto su tutto il corpus, costruendo una matrice di co-occorrenza che rappresenta queste relazioni. Questa matrice viene poi scomposta in modo matematico per produrre i vettori delle parole.

Il vantaggio principale di *GloVe* è la sua capacità di catturare relazioni globali tra le parole, grazie alla natura statistica dell'approccio. Ad esempio, se nel corpus si nota che "Parigi" e "Francia" appaiono spesso insieme e lo stesso vale per "Roma" e "Italia", *GloVe* riesce a rappresentare queste relazioni in modo esplicito nei vettori. Tuttavia, questo metodo richiede maggiore memoria e capacità computazionale rispetto a *Word2Vec*, rendendolo più adatto a corpora di grandi dimensioni.

In sintesi, *Word2Vec* e *GloVe* rappresentano due facce della stessa medaglia: il primo è più orientato al contesto locale e alla predizione, mentre il secondo enfatizza le connessioni globali tra le parole. La scelta tra i due dipende spesso dal tipo di problema e dalle caratteristiche del corpus: se si lavora con un corpus di dimensioni moderate e si ha bisogno di una soluzione veloce, *Word2Vec* è una buona scelta. *GloVe*, invece, è ideale per applicazioni che richiedono l'analisi di grandi quantità di dati e una comprensione profonda delle relazioni globali tra concetti.

Reti neurali: i modelli *BERT* e *GPT*

Modelli pre-addestrati come *BERT* o *GPT* hanno aperto nuovi orizzonti, permettendo di affrontare compiti complessi come la traduzione automatica, il riassunto di testi o la generazione di contenuti con una precisione mai vista prima. Questi progressi sono stati resi possibili dall'aumento della disponibilità di dati e dalla crescita esponenziale della capacità computazionale.

BERT e *GPT* sono due tra i modelli di linguaggio più avanzati e rappresentano pietre miliari nel campo del NLP. Entrambi si basano sull'architettura "Transformer", introdotta nel 2017, ma si distinguono per obiettivi, metodi di addestramento e applicazioni.

BERT, acronimo di *Bidirectional Encoder Representations from Transformers*, è stato sviluppato da Google AI nel 2018. Questo modello ha rivoluzionato il modo in cui i computer leggono il testo, grazie alla sua capacità di analizzare il contesto di una parola considerando sia ciò che la precede sia ciò che la segue. Questo approccio bidirezionale lo rende particolarmente potente per comprendere sfumature linguistiche e significati ambigui.

Il pre-addestramento di *BERT* si basa su due compiti principali. Il primo è il *Masked Language Modeling*, in cui alcune parole in una frase vengono mascherate e il modello deve predirle utilizzando le altre parole come contesto. Per esempio, nella frase "Il gatto [MASK] sul tappeto", *BERT* cerca di indovinare la parola mancante, come "è". Il secondo compito è il *Next Sentence Prediction*, che consiste nel determinare se due frasi sono logicamente consecutive. Ad esempio, date le frasi "Ho fame" e "Vorrei ordinare una pizza", *BERT* valuta se la seconda frase segue naturalmente la prima.

Grazie a questo tipo di addestramento, *BERT* è eccellente per compiti come la classificazione di testi e il riconoscimento di entità. Tuttavia, è importante specificare che *BERT* non genera testo; è un modello progettato per comprendere e analizzare il linguaggio, non per crearne.

GPT, acronimo di *Generative Pre-trained Transformer*, è stato introdotto da OpenAI nel 2018 ed è il principale concorrente di *BERT*. La differenza fondamentale risiede nel suo scopo: *GPT* è un modello generativo, progettato per produrre testo in modo fluido e naturale. Mentre *BERT* analizza

il contesto in modo bidirezionale, GPT utilizza un approccio unidirezionale, leggendo il testo da sinistra a destra e prevedendo la parola successiva in base a quelle precedenti.

Il cuore di *GPT* è il compito di *Language Modeling*, in cui il modello è addestrato a prevedere la parola successiva in una sequenza. Per esempio, data la frase "Il sole splende nel", *GPT* potrebbe predire "cielo". Questo lo rende ideale per compiti come il completamento di frasi, la scrittura di articoli, la generazione di descrizioni o la conversazione in chatbot.

Con il passare degli anni, OpenAI ha rilasciato versioni sempre più potenti di *GPT*, aumentando il numero di parametri e migliorandone le capacità. *GPT-3*, ad esempio, ha 175 miliardi di parametri, una scala senza precedenti che gli consente di produrre testo altamente coerente e realistico. La versione successiva, *GPT-4*, ha introdotto anche capacità multimodali, riuscendo a elaborare sia testo sia immagini.

Anche se *BERT* e *GPT* si basano entrambi sulla medesima architettura, i loro approcci e applicazioni sono molto diversi. *BERT* si concentra sulla comprensione del linguaggio, rendendolo ideale per analisi e classificazione. *GPT*, invece, eccelle nella generazione di contenuti, come la scrittura automatica o la creazione di risposte conversazionali.

Si introduce il concetto di analisi del sentiment con lo scopo di riportare successivamente un esempio pratico per sottolineare le differenze tra i due modelli.

Una tecnica di NLP: l'Analisi del sentiment

L'analisi del sentiment è una tecnica che permette di interpretare il tono emotivo di un testo, identificando se un contenuto trasmette un'emozione positiva, negativa o neutra. Si tratta di uno strumento molto potente, utilizzato in molti settori per comprendere meglio le opinioni espresse dagli utenti, raccogliere feedback e prendere decisioni strategiche basate sui dati. Il suo funzionamento si riflette in un processo a più fasi.

Il primo passo è la pre-elaborazione del testo, una sorta di "pulizia" necessaria per rendere il linguaggio umano comprensibile per i computer. In questa fase si eliminano elementi inutili come punteggiatura, numeri o parole irrilevanti, e si semplificano le parole riducendole alla loro forma base. Ad esempio, "correndo" può essere trasformato in "correre".

Una volta preparato il testo, entra in gioco il modello di analisi, che può funzionare in modi diversi. I metodi più semplici si basano su regole: si può utilizzare un dizionario di parole con sentiment già associati, come "fantastico" per positivo e "terribile" per negativo. Tuttavia, questi approcci hanno dei limiti, perché non riescono a cogliere il contesto o le sfumature più complesse: i modelli come *BERT* o *GPT* sono un rimedio per oltrepassare questa limitazione.

A titolo di esempio si immagini di voler costruire un sistema di analisi del sentiment per recensioni di prodotti: l'utilizzo del modello *BERT* risulterebbe la scelta migliore, perché è progettato per comprendere il testo e classificare il tono emotivo. Se invece si volesse progettare un assistente virtuale con il compito di rispondere alle domande degli utenti o di scrivere un articolo, *GPT* sarebbe più indicato, grazie alla sua capacità di generare frasi coerenti e contestualmente rilevanti.

L'analisi del sentiment trova applicazioni in numerosi campi. Le aziende la usano, ad esempio, per monitorare le opinioni sui loro prodotti nei social media o nelle recensioni online. Questo consente di identificare problemi, migliorare la qualità del servizio e rispondere rapidamente alle critiche. Nel marketing, è uno strumento fondamentale per capire come i consumatori percepiscono un brand o

una campagna pubblicitaria. Anche in politica è molto utile: i leader e i partiti monitorano il sentiment degli elettori per misurare il consenso e orientare le strategie comunicative.

In definitiva, l'analisi del sentiment non è solo un processo tecnico, ma una finestra per comprendere meglio ciò che le persone pensano e sentono. Grazie a strumenti sempre più sofisticati, oggi si possono ottenere informazioni dettagliate e sfruttarle per migliorare prodotti, servizi e strategie.

Applicazioni del NLP

Le applicazioni dell'NLP sono ormai diffuse in molti ambiti della vita quotidiana delle persone. Assistenti virtuali, come Alexa o Siri, sono progettati per interagire con gli utenti in modo naturale, rispondendo a richieste vocali o testuali e fornendo informazioni, servizi o eseguendo comandi.

Il processo che permette agli assistenti virtuali di funzionare può essere suddiviso in diverse fasi principali:

- Riconoscimento vocale (*Automatic Speech Recognition, ASR*):
La prima fase consiste nella conversione del segnale audio in testo. Questo avviene grazie a sistemi di riconoscimento vocale addestrati su grandi dataset di registrazioni audio e trascrizioni. Dopo l'estrazione delle caratteristiche acustiche, il sistema di riconoscimento vocale utilizza un modello acustico per associare i pattern sonori alle unità fondamentali del linguaggio, i fonemi che rappresentano i mattoni sonori che compongono le parole e sono fondamentali per riconoscere la struttura fonetica del parlato. Tuttavia, l'identificazione dei fonemi da sola non è sufficiente, poiché il linguaggio è intrinsecamente ambiguo e una stessa sequenza di fonemi può corrispondere a parole o frasi diverse. Per risolvere questa ambiguità, entra in gioco il modello linguistico, il quale analizza le sequenze di parole probabili sulla base di regole grammaticali e statistiche del linguaggio. Il modello linguistico viene generalmente addestrato su grandi corpus di testi, che consentono al sistema di apprendere le relazioni tra parole, frasi e contesti d'uso. Questi sistemi utilizzano modelli acustici e linguistici per trasformare la voce in parole, superando sfide come accenti diversi, rumori di fondo e variazioni nella pronuncia.
- Comprensione del linguaggio naturale (*Natural Language Understanding, NLU*):
Una volta ottenuto il testo, l'assistente deve comprenderne il significato. Qui entrano in gioco i modelli NLP avanzati, come *BERT* e *GPT*, che analizzano il contesto delle parole e interpretano le intenzioni dell'utente (intent detection) e gli argomenti menzionati (entity recognition). Ad esempio, se un utente chiede "Qual è il meteo oggi?", il sistema identifica l'intenzione di ottenere informazioni meteorologiche e la "data odierna" come entità rilevante.
- Elaborazione e risposta:
Dopo aver compreso la richiesta, l'assistente accede a una serie di database, API o fonti di conoscenza per elaborare la risposta. In molti casi, i modelli generativi come *GPT* sono utilizzati per produrre risposte fluide e naturali, soprattutto in conversazioni più complesse.
- Sintesi vocale (*Text-to-Speech, TTS*):
Infine, il testo della risposta viene trasformato in audio attraverso sistemi di sintesi vocale. Grazie a tecnologie come *WaveNet*, sviluppata da DeepMind, è possibile generare voci sintetiche che suonano naturali e umane, migliorando ulteriormente l'esperienza utente. A differenza dei metodi tradizionali che si basano su vocoder o sulla combinazione di segmenti pre-registrati, *WaveNet* genera il segnale audio una frazione temporale alla volta. La sua architettura si fonda su reti convoluzionali dilatate (*dilated convolutions*), che consentono al modello di catturare dipendenze a lungo termine nel segnale audio senza aumentare significativamente la complessità computazionale. Ogni campione audio è previsto

condizionalmente rispetto ai campioni precedenti, utilizzando una funzione di probabilità appresa dal modello.

Un altro esempio è dato dalla traduzione automatica, dove servizi come Google Translate si avvalgono di sofisticati modelli linguistici per produrre traduzioni sempre più accurate e fluide. Inoltre, il riconoscimento vocale e il rilevamento di fake news sono ulteriori esempi di come l'NLP stia rivoluzionando il modo in cui interagiamo con la tecnologia e l'informazione.

Nonostante questi successi, le sfide per il futuro rimangono numerose. Tra le principali difficoltà vi è il superamento dei bias presenti nei dati di addestramento, che possono influenzare negativamente i risultati, e la capacità di comprendere e processare lingue meno rappresentate, spesso trascurate dai modelli attuali. Anche la gestione del linguaggio figurato o metaforico rappresenta un obiettivo ancora lontano dall'essere pienamente raggiunto. Infine, il consumo energetico legato all'addestramento di modelli così complessi pone interrogativi importanti sull'efficienza e la sostenibilità di queste tecnologie.

Con il continuo avanzamento tecnologico e una disponibilità crescente di dati, l'NLP è destinato a trasformare sempre di più il modo in cui interagiamo con i sistemi intelligenti. Tuttavia, è cruciale che lo sviluppo di queste tecnologie avvenga in modo etico, garantendo un accesso equo e inclusivo e minimizzando gli impatti negativi, sia a livello sociale che ambientale.

1.2.4) Visione artificiale

La visione artificiale, nota anche come *Computer Vision (CV)*, rappresenta una delle discipline più affascinanti e avanzate nel campo dell'Intelligenza Artificiale. Il suo obiettivo principale è consentire ai computer di analizzare, interpretare e comprendere informazioni visive provenienti dal mondo reale, replicando in qualche misura le capacità percettive dell'occhio umano. Grazie all'integrazione di algoritmi complessi, reti neurali profonde e tecniche avanzate di elaborazione dei dati, la visione artificiale ha trovato applicazione in una vasta gamma di settori, dalla medicina all'industria manifatturiera, dalla guida autonoma alla sicurezza.

Il processo di visione artificiale si articola in diverse fasi. In primo luogo, un'immagine digitale o un video viene acquisito attraverso sensori ottici, come telecamere o scanner. Questi dispositivi trasformano il segnale luminoso in dati numerici, rappresentati sotto forma di matrici di pixel, dove ciascun pixel corrisponde a un determinato valore di intensità luminosa o colore. Tuttavia, queste informazioni grezze non sono sufficienti per comprendere il contenuto visivo. È necessario applicare tecniche di elaborazione delle immagini per estrarre caratteristiche rilevanti, come bordi, texture, forme e movimenti.

Una delle innovazioni più significative nel campo della visione artificiale è rappresentata dall'uso delle CNN. Una CNN può rilevare dapprima elementi semplici, come linee o angoli, e successivamente combinare queste informazioni per riconoscere strutture più complesse, come oggetti o scene.

Le CNN hanno rivoluzionato la visione artificiale, permettendo progressi significativi in compiti quali il riconoscimento degli oggetti, la segmentazione delle immagini e la classificazione delle scene.

Algoritmi di Computer Vision

Algoritmi come AlexNet, VGGNet e ResNet hanno segnato un progresso significativo nel campo della visione artificiale.

AlexNet, introdotto nel 2012 da Krizhevsky, Sutskever e Hinton, è stato uno dei primi modelli a dimostrare il potenziale delle *deep neural networks*. La rete, composta da otto strati profondi, ha utilizzato tecniche innovative per l'epoca: oltre all'applicazione delle sopracitate funzioni di attivazione ReLU, si è ricorsi per esempio all'uso di dropout per ridurre l'overfitting. Il dropout funziona spegnendo casualmente alcuni neuroni durante la fase di addestramento, obbligando la rete neurale a trovare modi alternativi per rappresentare i dati. Inoltre l'implementazione su *Graphics Processing Unit (GPU)*, le quali possono eseguire elaborare simultaneamente migliaia di operazioni matematiche, come moltiplicazioni di matrici e convoluzioni, consente di ridurre significativamente i tempi di addestramento, rendendo possibile l'elaborazione di grandi dataset e l'ottimizzazione di modelli complessi come quelli delle *deep neural networks*.

Successivamente, VGGNet, sviluppato nel 2014 dal Visual Geometry Group dell'Università di Oxford, ha perfezionato l'architettura delle reti neurali convoluzionali puntando su una maggiore profondità. VGGNet ha introdotto un design più semplice e modulare grazie a blocchi di piccoli filtri di dimensione uniforme (3x3), aumentando gradualmente il numero di filtri nei livelli successivi. Questa scelta progettuale ha dimostrato che l'aumento della profondità della rete può migliorare significativamente le prestazioni, sebbene a scapito di un maggiore utilizzo di memoria e potenza computazionale.

Infine, ResNet (Residual Network), sviluppata nel 2015, ha affrontato una delle principali limitazioni delle reti profonde: il problema della degradazione delle prestazioni all'aumentare della profondità. Quando le reti diventano molto profonde, il gradiente (il segnale che aggiorna i pesi) può "svanire", rallentando o bloccando l'apprendimento. ResNet ha introdotto un'architettura basata su connessioni residue (*residual connections*), che permettono al gradiente di propagarsi più efficacemente durante l'addestramento. Questo approccio ha consentito la costruzione di reti estremamente profonde, con più di 100 o addirittura 1000 strati, senza perdere in accuratezza. ResNet ha stabilito nuovi standard nelle competizioni di visione artificiale e continua a essere una delle architetture di riferimento per applicazioni avanzate.

Tecniche per la ricostruzione 3D

Oltre al riconoscimento degli oggetti, un altro aspetto fondamentale della visione artificiale è la ricostruzione 3D, che consente di ricavare informazioni sulla profondità e sulla struttura spaziale di una scena partendo da immagini bidimensionali. tra le tecniche fondamentali per raggiungere questo obiettivo figurano la *Stereo Vision* e il *Structure from Motion (SfM)*. Entrambe le metodologie si basano su principi geometrici per estrarre informazioni di profondità e struttura spaziale da immagini bidimensionali, ma si differenziano per approccio e applicazioni.

Stereo Vision si ispira al processo visivo umano, che utilizza le due immagini catturate dagli occhi per percepire la profondità. In termini computazionali, questo metodo sfrutta due fotocamere poste a una distanza nota tra loro (baseline) per acquisire due immagini della stessa scena da prospettive leggermente diverse. Il principio fondamentale è la corrispondenza tra punti omologhi nelle due immagini, ovvero individuare pixel che rappresentano la stessa caratteristica fisica nello spazio reale. Una volta trovate queste corrispondenze, la disparità, ovvero la differenza nella posizione dei punti corrispondenti tra le due immagini, viene calcolata. Dalla disparità è possibile risalire alla profondità tramite triangolazione, un processo che sfrutta le proprietà geometriche della proiezione prospettica. *Stereo Vision* è ampiamente utilizzata in applicazioni come la navigazione di veicoli

autonomi, la robotica e la mappatura urbana, grazie alla sua capacità di fornire informazioni in tempo reale su distanze e relazioni spaziali.

Structure from Motion (SfM), invece, adotta un approccio più generale, partendo da una serie di immagini acquisite da una singola fotocamera in movimento. A differenza della *Stereo Vision*, che richiede una configurazione predeterminata delle fotocamere, *SfM* sfrutta cambiamenti nella posizione della fotocamera per ricostruire la scena tridimensionale. Il principio di base è che, osservando un oggetto da diverse angolazioni, è possibile estrarre informazioni sulla sua struttura tridimensionale analizzando come i punti caratteristici si spostano tra un'immagine e l'altra. *SfM* inizia identificando e tracciando punti salienti comuni tra più immagini attraverso algoritmi come *SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)* o *ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF)*.

SIFT, introdotto nel 1999, è noto per la sua capacità di rilevare punti di interesse che rimangono invarianti rispetto a cambiamenti di scala, rotazione e illuminazione. L'algoritmo opera in più fasi: identifica inizialmente i potenziali punti chiave attraverso la rilevazione di estremi locali in uno spazio di scale costruito mediante il filtro *Difference of Gaussians (DoG)*. Successivamente, attribuisce una direzione dominante a ciascun punto chiave, basandosi sull'orientamento locale dei gradienti, rendendo così i descrittori risultanti robusti alle rotazioni. I punti chiave vengono quindi descritti utilizzando istogrammi dei gradienti locali, generando vettori distintivi che possono essere confrontati tra immagini diverse. Sebbene *SIFT* sia considerato uno degli algoritmi più accurati per la descrizione di caratteristiche, la sua complessità computazionale ne limita l'utilizzo in applicazioni in tempo reale.

ORB, sviluppato come alternativa più veloce e leggera rispetto a *SIFT*, introduce una rotazione basata sull'orientamento locale e un'analisi degli angoli per garantire l'invarianza alla rotazione: è meno costoso computazionalmente, il che lo rende adatto a dispositivi con risorse limitate, come smartphone e droni. Tuttavia, la sua sensibilità ai cambiamenti di illuminazione e scala può rappresentare una limitazione in alcuni contesti.

Successivamente, mediante algoritmi di ottimizzazione, come il *bundle adjustment*, vengono simultaneamente stimati i parametri di posa della fotocamera e le coordinate tridimensionali dei punti osservati. Questa tecnica trova ampio impiego in contesti come l'archeologia digitale, la creazione di modelli 3D per l'industria cinematografica e la fotogrammetria.

Le metodologie *Stereo Vision* e *Structure from Motion* condividono alcune sfide comuni, come la gestione di scene con scarsa texture, dove è difficile trovare punti corrispondenti, o la presenza di superfici riflettenti che possono introdurre errori nei calcoli di profondità. Inoltre, la qualità della ricostruzione dipende fortemente dalla precisione della calibrazione della fotocamera e dalla densità dei punti caratteristici rilevati.

Una delle innovazioni più significative per la CV è l'introduzione del *Gaussian splatting*, una tecnica di cattura 3D sviluppata nel 2023 che utilizza milioni di blob traslucidi per creare modelli 3D fotorealistici.

La scelta di modellare i dati 3D attraverso gaussiane, invece di mesh tradizionali o voxel, consente di ottenere rappresentazioni più continue e leggere, ottimizzando al contempo la qualità visiva e le prestazioni computazionali.

La metodologia si fonda su un principio innovativo: le gaussiane vengono distribuite nello spazio 3D per rappresentare punti chiave della scena, ciascuno caratterizzato da parametri come posizione, dimensione, orientamento e intensità. Durante il rendering, ovvero il processo di generazione di

un'immagine basata su un modello digitale tridimensionale o da una rappresentazione matematica di una scena, con il supporto di un software di grafica computerizzata, queste gaussiane interagiscono tra loro e con le fonti di luce simulate per creare un'immagine finale che si avvicina alla realtà con un livello di dettaglio eccezionale. Questo approccio permette di superare alcune limitazioni dei metodi tradizionali, come le difficoltà nella gestione di superfici complesse o di scene con dettagli intricati.

Un altro aspetto fondamentale del *Gaussian Splatting* è la sua efficienza computazionale. Rispetto alle tecniche precedenti, questa metodologia riduce significativamente il carico computazionale necessario per generare modelli 3D di alta qualità, rendendola particolarmente adatta per applicazioni in tempo reale. Per esempio, aziende come Niantic e Google hanno adottato questa tecnica per la mappatura urbana e per esperienze di realtà aumentata (AR), dove la precisione e la velocità di rendering sono elementi critici.

Le potenziali applicazioni del *Gaussian Splatting* sono numerose. Oltre alla mappatura e alla realtà aumentata, questa tecnica è ideale per la creazione di modelli 3D nell'industria cinematografica, nella progettazione di videogiochi e nella simulazione virtuale. Inoltre, grazie alla sua capacità di operare in modo efficiente su hardware standard, il *Gaussian Splatting* sta aprendo nuove opportunità anche per utenti non esperti, "democratizzando" l'accesso a tecnologie di ricostruzione avanzata.

Infine, questa tecnica si inserisce in un panorama in cui la fusione tra metodologie geometriche e apprendimento automatico sta diventando sempre più rilevante. Ricercatori e sviluppatori stanno già esplorando l'integrazione del *Gaussian Splatting* con reti neurali profonde per migliorare ulteriormente la qualità della ricostruzione e automatizzare processi complessi come la segmentazione e il riconoscimento di oggetti nelle scene 3D.

Un'ulteriore applicazione di rilievo è la visione artificiale per i veicoli autonomi. In questo contesto, i sistemi di visione devono non solo identificare oggetti come pedoni, segnali stradali o veicoli, ma anche interpretare il contesto dinamico in tempo reale. Per farlo, combinano tecnologie di visione artificiale con sensori aggiuntivi, come LIDAR e radar, garantendo così una maggiore affidabilità nella navigazione.

Nonostante i successi, la visione artificiale continua a presentare sfide significative. Una delle principali difficoltà è rappresentata dalla generalizzazione: i sistemi di visione artificiale spesso faticano ad adattarsi a situazioni non previste durante l'addestramento, come condizioni di illuminazione variabile o oggetti mai incontrati prima. Inoltre, l'interpretazione semantica delle immagini rimane un obiettivo complesso, poiché richiede una comprensione profonda del contesto visivo e della sua relazione con il mondo reale.

In conclusione, la visione artificiale rappresenta una delle frontiere più promettenti dell'Intelligenza Artificiale, con un impatto sempre più tangibile sulla società e sull'economia globale. Grazie ai continui progressi nelle reti neurali, nell'elaborazione dei dati visivi e nell'integrazione di sensori avanzati, questa tecnologia sta trasformando il modo in cui percepiamo e interagiamo con il mondo, offrendo soluzioni innovative a problemi complessi. Tuttavia, per raggiungere il pieno potenziale, sarà necessario affrontare le sfide tecniche ed etiche che accompagnano il suo sviluppo e la sua applicazione.

1.3) Obiettivi della Tesi

Questa tesi si propone di esplorare il ruolo trasformativo dell'Intelligenza Artificiale (AI) all'interno delle organizzazioni, focalizzandosi sull'evoluzione delle competenze necessarie e sulle politiche formative adottate per affrontare le sfide e le opportunità generate dall'AI. L'analisi si avvarrà di una combinazione di approcci teorici, studi di settore, report aziendali e casi pratici per ottenere una visione completa e interdisciplinare del fenomeno.

Il lavoro si articola attorno a cinque domande di ricerca principali:

1. **In che modo l'introduzione dell'AI sta modificando l'organizzazione del lavoro?** Verranno analizzate le trasformazioni nei processi, nei ruoli professionali e nelle strutture organizzative in vari settori, con particolare attenzione agli effetti sulla produttività e sull'efficienza.
2. **Quali competenze sono richieste per lavorare in un contesto organizzativo guidato dall'AI?** Si esamineranno le competenze tecniche e trasversali più rilevanti per il lavoro con l'AI, evidenziando il gap tra le competenze attuali e quelle richieste dal mercato del lavoro.
3. **Come le organizzazioni affrontano la formazione per l'AI?** Si esploreranno le strategie aziendali per la formazione continua e la riqualificazione del personale, con un focus sui metodi e gli strumenti utilizzati per facilitare l'adattamento alle nuove tecnologie.
4. **Quali sono le best practices e le sfide emerse nell'adozione dell'AI nelle organizzazioni?** Verranno esaminati esempi concreti di implementazione dell'AI, nonché le principali difficoltà incontrate dalle aziende, con proposte di soluzioni basate sulle evidenze emerse dalla letteratura e dai report.
5. **Quali contributi emergono per la letteratura e la pratica aziendale?** Si fornirà una sintesi critica dei risultati ottenuti, proponendo suggerimenti utili per i manager e i formatori, e indicando possibili direzioni future per la ricerca nel campo delle competenze legate all'AI.

La tesi si sviluppa in cinque capitoli, ognuno dei quali affronta un aspetto specifico del tema, a partire dall'introduzione del fenomeno AI nelle organizzazioni, passando per l'analisi delle competenze richieste e delle politiche formative, fino a giungere alla discussione sui benefici, le sfide e le migliori pratiche emerse. Al fine dell'elaborazione del testo sono stati esaminati 147 paper affini ai suddetti temi presenti in letteratura e ne sono stati selezionati 91, da cui si è preso spunto per le argomentazioni proposte. Le conclusioni offriranno in ogni capitolo una sintesi dei risultati e proporranno direzioni future per la ricerca.

Capitolo 2 - L'AI e la trasformazione del lavoro nelle organizzazioni

2.1) L'introduzione dell'AI nel contesto organizzativo: automazione, nuovi paradigmi e trasformazione digitale

2.1.1) La trasformazione digitale e i nuovi paradigmi organizzativi

L'intelligenza artificiale sta ridefinendo profondamente le dinamiche organizzative, superando il concetto tradizionale di automazione e influenzando anche i processi decisionali e strategici. L'integrazione di modelli di machine learning e analisi predittiva sta trasformando la gestione dei dati in un elemento essenziale per la competitività aziendale, favorendo un miglioramento dell'efficienza operativa e una maggiore capacità di adattamento ai cambiamenti del mercato. Questa transizione segna un passaggio dai modelli organizzativi tradizionali a sistemi più dinamici e adattivi, in cui le decisioni sono sempre più supportate da algoritmi avanzati in grado di apprendere e ottimizzare i processi aziendali.

Un contributo rilevante a questa riflessione è offerto dal paper *AI-driven business analytics and decision making* (2024), che analizza come l'adozione di sistemi intelligenti consenta di automatizzare processi ripetitivi, ridurre l'intervento umano nelle decisioni operative e ridefinire le logiche tradizionali di analisi e gestione. In particolare, l'integrazione tra AI e strumenti di Business Intelligence rappresenta una discontinuità rispetto ai modelli precedenti: la capacità di analizzare in tempo reale grandi volumi di dati trasforma il processo decisionale da reattivo a proattivo. L'automazione non è solo tecnica, ma strategica: la combinazione tra analisi predittiva e prescrittiva introduce nuovi paradigmi organizzativi, in cui l'AI diventa agente attivo nella costruzione del vantaggio competitivo.

Sullo stesso filone si collega lo studio *Investigating the Influence of Artificial Intelligence on Business Value in the Digital Era of Strategy: A Literature Review* (2023), che amplia la riflessione sull'impatto organizzativo dell'AI osservando come la sua adozione non debba essere considerata un semplice aggiornamento tecnologico, bensì una leva per la riconfigurazione strategica dell'impresa. In particolare, l'analisi del concetto di ambidexterity mostra come l'AI possa essere impiegata tanto per migliorare l'efficienza quanto per stimolare l'innovazione, permettendo alle organizzazioni di sviluppare una flessibilità strategica superiore. La necessità di integrare competenze, cultura dell'innovazione e governance all'interno di un ecosistema coeso si inserisce coerentemente nella logica della Resource-Based Theory (RBT), che interpreta la tecnologia come parte di un insieme articolato di risorse complementari.

In linea con questa visione sistemica, il paper *AI Revolutionizing Industries Worldwide* (2024) introduce una cornice evolutiva che distingue tra Industry 4.0 e Industry 5.0, sottolineando il passaggio da modelli orientati all'efficienza e all'automazione a configurazioni che mettono al centro la collaborazione uomo-macchina, il benessere e la sostenibilità. L'AI, in questo contesto, non è più soltanto uno strumento di ottimizzazione, ma diventa una tecnologia abilitante capace di innescare una trasformazione socio-tecnica, in cui le dimensioni umane, tecnologiche e organizzative co-evolvono.

Questa esigenza di bilanciamento tra potenzialità automatizzate e supervisione umana è al centro anche del contributo di *Sociotechnical Envelopment of Artificial Intelligence* (2021), che propone il paradigma dell'"envelopment sociotecnico" per gestire i rischi associati ai sistemi AI opachi, i cui modelli decisionali non sono ricostruibili e appaiono come black box. L'integrazione di misure tecniche e sociali consente di mantenere l'efficienza dei modelli senza compromettere i principi di trasparenza e responsabilità, offrendo un modello operativo in cui l'intelligenza artificiale è contenuta entro margini progettati per garantire affidabilità e sicurezza.

A rafforzare questa interpretazione si aggiunge il concetto di *AI capability*, sviluppato nel quadro della RBT, secondo cui il vantaggio competitivo sostenibile non deriva dalla sola disponibilità tecnologica, ma dalla capacità dell'organizzazione di selezionare, orchestrare e integrare risorse complementari, tra cui competenze, strutture e cultura. Questo approccio è approfondito nel paper *Artificial Intelligence Capability: Conceptualization, Measurement Calibration, and Empirical Study* (2021), che chiarisce come le AI capability possano trasformare l'AI in un asset strategico, capace di abilitare una vera innovazione organizzativa.

In continuità con questa lettura, il lavoro *Artificial Intelligence in Enterprises: How Staff Competencies Requirements of Business Organizations are Evolving through the Integration of Artificial Intelligence* (2024) mostra come l'adozione dell'AI stia modificando in profondità la natura del lavoro organizzativo. Non si tratta soltanto di inserire tecnologie avanzate, ma di ripensare i modelli operativi e le dinamiche del lavoro quotidiano in una logica di complementarità tra capacità umane e strumenti intelligenti. L'intelligenza artificiale, in questo senso, si inserisce come elemento trasformativo che richiede anche un rinnovamento delle competenze e delle pratiche manageriali.

Una declinazione concreta di questo nuovo equilibrio tra automazione e intelligenza umana è proposta da *On the Effectiveness of Portable Models versus Human Expertise under Continuous Active Learning* (2021), che analizza l'applicazione di modelli di transfer learning nel processo di revisione documentale. I risultati evidenziano che, pur migliorando il seeding iniziale, i modelli AI non riescono a eguagliare l'efficacia dell'expertise umana nel lungo periodo. Questo caso suggerisce che l'efficienza derivante dall'automazione cognitiva deve essere bilanciata da forme di supervisione e intervento umano, confermando la centralità della collaborazione uomo-macchina anche nelle attività ad alta intensità cognitiva.

Nel complesso, questa sottosezione evidenzia che la trasformazione digitale non consiste in una semplice transizione tecnologica, ma in una profonda ridefinizione socio-organizzativa, in cui il successo dipende dall'armonizzazione tra capacità umane, intelligenza artificiale e strategie manageriali capaci di governarne l'integrazione in modo lungimirante.

2.1.2) Automazione strategica e logiche data-driven

La trasformazione digitale innescata dall'AI si riflette in modo evidente nella ridefinizione delle logiche operative aziendali, sempre più orientate verso modelli data-driven. L'automazione non è più confinata alla sfera tecnica: diventa leva strategica per la generazione di valore e per il ripensamento complessivo dei modelli di business. Un primo esempio è offerto dal paper *Innovative Business Models Driven by AI Technologies: A Review* (2023), che analizza in che modo l'integrazione delle tecnologie AI stia trasformando le architetture organizzative. L'introduzione di logiche data-driven, processi agili e strategie customer-centric ha ridefinito i concetti di competitività e valore, spostando il baricentro dell'organizzazione verso l'analisi predittiva e l'adattamento continuo.

Esso si collega strettamente a quanto emerso nello studio *Artificial Intelligence and Knowledge Sharing: Contributing Factors to Organizational Performance* (2022), che evidenzia come l'adozione dell'AI, per essere realmente efficace, debba essere accompagnata da strategie di knowledge management. L'AI, da sola, non basta a migliorare la performance organizzativa: è necessario costruire un ambiente integrato in cui le tecnologie intelligenti dialoghino con le competenze umane, generando e condividendo conoscenza in modo strategico. In questa direzione, l'automazione non è più soltanto strumento di efficienza, ma fattore abilitante di un'intelligenza organizzativa distribuita.

Un'ulteriore evoluzione di questo paradigma è resa evidente con l'affermazione dell'AI generativa. Il paper *Human Resource Management in the Age of Generative Artificial Intelligence* (2023) mostra come strumenti come ChatGPT e GPT-4 stiano trasformando non solo i processi HR, ma l'intero assetto organizzativo. La capacità di generare contenuti, supportare decisioni e personalizzare le interazioni in tempo reale apre nuove prospettive di automazione avanzata. Tuttavia, questa potenzialità si accompagna a sfide emergenti legate alla gestione della privacy, dei bias algoritmici e della sicurezza informativa, che impongono un ripensamento delle modalità di implementazione tecnologica.

Nel contesto di questi cambiamenti, il ruolo del top management diventa cruciale. Il contributo offerto da *Artificial Intelligence Enabled Business Model Innovation: Competencies and Roles of Top Management* (2024) approfondisce come l'adozione dell'AI richieda una trasformazione culturale e strutturale guidata dalla leadership. Non è sufficiente possedere conoscenze tecniche: i vertici

aziendali devono adottare una visione sistemica, capace di integrare l'AI nei processi decisionali e nei valori dell'organizzazione. L'innovazione, in questo senso, non può essere episodica: deve essere continua, etica e orientata alla costruzione di nuove identità organizzative.

Una dimostrazione concreta dell'impatto trasformativo dell'AI sui modelli operativi arriva dal settore IT. Lo studio *Integrating AI into DevOps Pipelines (2024)* illustra come l'integrazione dell'intelligenza artificiale nelle pipeline DevOps consenta un'automazione continua delle fasi di sviluppo software, monitoraggio e gestione infrastrutturale. Questo processo rompe con la sequenzialità tradizionale delle attività IT, introducendo un'organizzazione del lavoro più adattiva e standardizzata. Il risultato è una maggiore reattività operativa e una riduzione dei colli di bottiglia, dimostrando che anche contesti privi di infrastrutture avanzate possono essere ottimizzati se dotati di strategie intelligenti.

Questa traiettoria evolutiva trova un'estensione naturale nel framework MLOps descritto nel paper *Decoding MLOps: Bridging the Gap Between Data Science and Operations for Scalable AI Systems (2024)*. Il lavoro sottolinea come l'adozione sistematica di pipeline CI/CD (Continuous Integration/Continuous Delivery), strumenti di versioning e sistemi di monitoraggio automatizzato consenta di superare le tradizionali frizioni tra sviluppo e produzione. Il modello MLOps non si limita a migliorare l'efficienza: promuove una nuova cultura organizzativa basata sulla trasparenza, la tracciabilità e la collaborazione continua tra data scientist e team operativi. È proprio questa sinergia a trasformare l'AI in asset scalabile e sostenibile.

Questa logica iterativa, basata su cicli di sperimentazione e apprendimento continuo, viene ulteriormente consolidata dal framework proposto in *Towards an AI-Driven Business Development Framework (2023)*. Il paper propone un approccio al business development che abbandona la linearità per abbracciare un modello dinamico, costruito su feedback ciclici tra sviluppo di use case, validazione dei dati e deployment operativo. Ispirato ai principi di DevOps, DataOps e MLOps, questo modello consente di allineare l'innovazione tecnologica alle esigenze strategiche, facilitando una trasformazione digitale agile e contestuale. L'AI, da fattore di supporto, si trasforma così in motore adattivo dell'intero sistema organizzativo.

In sintesi, i contributi analizzati convergono nel delineare un'evoluzione dell'automazione che non si esaurisce nella sostituzione di attività manuali, ma si configura come leva di riorganizzazione sistemica. Le logiche data-driven, la sinergia tra capitale umano e tecnologico, l'adozione di framework agili e la centralità del management nella guida del cambiamento rappresentano i pilastri di un nuovo paradigma organizzativo, in cui l'intelligenza artificiale agisce come forza trasversale di trasformazione.

2.1.3) L'introduzione dell'AI nei settori ad alta intensità cognitiva

La trasformazione digitale guidata dall'intelligenza artificiale si manifesta con particolare forza nei settori ad alta intensità cognitiva, come la sanità, il farmaceutico, la supply chain e la cybersecurity. In questi ambiti, l'AI non si limita ad automatizzare compiti ripetitivi, ma interviene in profondità nella riconfigurazione dei paradigmi organizzativi, modificando ruoli, flussi operativi e modelli decisionali.

A sottolineare questa trasformazione interviene lo studio *Examining How AI Capabilities Can Foster Organizational Performance in Public Organizations (2023)*, che distingue tre principali dimensioni delle AI capabilities: la *process automation*, che incrementa l'efficienza attraverso la meccanizzazione delle attività ripetitive; il *cognitive insight*, che consente di estrarre conoscenze da grandi moli di dati; e il *cognitive engagement*, che rafforza l'interazione tra organizzazione e stakeholder. L'efficacia di queste capacità, tuttavia, dipende dalla loro integrazione con strategie organizzative coerenti: senza un disegno sistemico, l'adozione dell'AI rischia di rimanere isolata, con impatti marginali sulla performance complessiva.

Un'applicazione concreta e paradigmatica di questa trasformazione si osserva nel settore sanitario, in particolare nel campo della telemedicina. Il paper *Addressing the Challenges of AI-Based*

Telemedicine: Best Practices and Lessons Learned (2023) documenta come la crisi pandemica abbia accelerato l'adozione di soluzioni AI-driven per la cura a distanza. Il caso del sistema CLEW di tele-ICU, introdotto in Israele nel 2020, rappresenta un esempio emblematico: la gestione remota dei pazienti critici ha permesso non solo di migliorare la sicurezza del personale, ma anche di riorganizzare la logistica ospedaliera e ridefinire i flussi decisionali in ottica predittiva. Di conseguenza, l'intelligenza artificiale assume un ruolo abilitante di un nuovo paradigma operativo, fondato sull'integrazione sinergica tra algoritmi e capitale umano.

Questa evidenza si collega alle riflessioni sistematizzate da Esmailzadeh nel paper *Challenges and Strategies for Wide-Scale Artificial Intelligence (AI) Deployment in Healthcare Practices* (2024), che propone una tassonomia articolata delle applicazioni AI in sanità. Lo studio distingue otto aree operative, dalla diagnosi alla chirurgia robotica, delineando una trasformazione capillare che investe non solo le tecnologie, ma l'intero impianto organizzativo. L'intelligenza artificiale, allo stesso modo, diventa infrastruttura strategica per la ridefinizione di ruoli, competenze e flussi informativi.

A rafforzare questa visione interviene anche il contributo del paper *Securing AI-Based Healthcare Systems Using Blockchain Technology* (2023), che esplora il passaggio verso modelli decentralizzati supportati da tecnologie distribuite e federated learning. L'integrazione tra AI e blockchain abilita architetture ibride, in grado di garantire al tempo stesso robustezza diagnostica e sicurezza dei dati. Il risultato è un'organizzazione della sanità digitale fondata su nuove logiche collaborative, dove la tracciabilità delle decisioni e la responsabilità condivisa diventano elementi chiave della governance dei sistemi intelligenti.

Il settore farmaceutico rappresenta un altro ambito in cui la trasformazione digitale assume un carattere sistemico. Il paper *Revolutionizing Drug Discovery: The Impact of Artificial Intelligence on Advancements in Pharmacology and the Pharmaceutical Industry* (2024) illustra come l'intelligenza artificiale stia ridefinendo i processi lungo tutto il ciclo di vita del farmaco. Dalla progettazione molecolare ai trial clinici, fino alla produzione e alla farmacovigilanza, l'AI consente di sostituire la linearità dei modelli tradizionali con strutture data-driven e predittive, riducendo tempi e costi di sviluppo. In questo scenario, l'innovazione tecnologica si intreccia con l'expertise umana, dando origine a un paradigma organizzativo basato su automazione intelligente e alta specializzazione.

Un'evoluzione analoga si osserva nella logistica. Il paper *AI-Powered Ensemble Machine Learning to Optimize Cost Strategies in Logistics Business* (2024) propone un framework predittivo che sfrutta algoritmi ensemble su dati simulati, per anticipare dinamiche di mercato e ottimizzare i costi. Questo approccio consente di trasformare le decisioni operative in processi adattivi, aggiornabili in tempo reale, rafforzando la capacità delle organizzazioni di rispondere con prontezza alla complessità ambientale.

Questa traiettoria trova un'estensione particolarmente innovativa nel contributo del paper *A Continuous Training Approach for Risk-Informed Supplier Selection and Order Allocation* (2025), che affronta il tema della selezione dei fornitori e dell'allocazione degli ordini (SSOA). L'integrazione tra machine learning (CatBoost) e programmazione matematica (MILP), supportata da un ciclo continuo di training, permette di adattare dinamicamente le decisioni alle variazioni delle performance. L'approccio introduce un nuovo paradigma gestionale, basato su resilienza operativa, previsione accurata e adattamento iterativo, che trasforma una funzione tradizionalmente statica in un processo intelligente e proattivo.

Anche il settore della cybersecurity sta vivendo un processo di riconfigurazione guidato dall'intelligenza artificiale. Il paper *Cybersecurity Workforce Development: Bridging the Skills Gap in the Age of Automation* (2024) evidenzia come l'integrazione di tecnologie avanzate abbia mutato radicalmente la gestione della sicurezza informatica, passando da un approccio reattivo a uno predittivo. L'adozione di sistemi intelligenti consente un rilevamento proattivo delle minacce e una

risposta automatizzata, ridefinendo le strutture organizzative e la distribuzione delle responsabilità operative.

In sintonia con questa trasformazione, il paper *Prevention of Phishing Attacks Using AI-Based Cybersecurity Awareness Training* (2022) documenta l'efficacia di soluzioni basate su analisi comportamentali e machine learning nella prevenzione dei tentativi di phishing. L'adozione di questi strumenti non solo automatizza le attività di monitoraggio, ma promuove una cultura della sicurezza che coinvolge attivamente i dipendenti. L'AI, anche in questo ambito, non si limita al supporto tecnico, ma diventa componente strategica della governance del rischio.

Nel complesso, i casi analizzati confermano che l'introduzione dell'AI nei settori ad alta intensità cognitiva non genera soltanto un incremento di efficienza, ma avvia processi di ristrutturazione profonda delle logiche organizzative. L'intelligenza artificiale si configura come infrastruttura abilitante di un nuovo paradigma, in cui capitale umano e sistemi intelligenti co-evolvono per affrontare la complessità, rafforzare la resilienza e generare valore in contesti caratterizzati da alta specializzazione e pressione informativa.

2.1.4) La democratizzazione dell'AI e l'evoluzione organizzativa nelle PMI

La diffusione dell'intelligenza artificiale nei contesti aziendali sta avvenendo in modo disomogeneo, con differenze marcate tra grandi imprese e PMI. Il *PwC AI Jobs Barometer* (2024) evidenzia che le aziende che hanno integrato in maniera significativa l'AI nei propri processi stanno registrando incrementi di produttività fino a cinque volte superiori rispetto ai settori a bassa adozione. Tuttavia, secondo il report *Use of Artificial Intelligence in Enterprises* (2024), nell'Unione Europea l'adozione dell'AI rimane ancora limitata: nel 2023 solo l'8% delle imprese utilizzava tecnologie intelligenti, con un tasso di penetrazione che raggiungeva il 30,4% tra le grandi aziende ma si fermava al 6,4% tra le piccole imprese. Questo divario mette in luce una frattura strutturale nell'accesso all'innovazione digitale, che rischia di accentuare le disuguaglianze competitive all'interno del tessuto economico europeo.

Una risposta a questa dinamica è offerta dal paper *Role and Challenges of ChatGPT and Similar Generative Artificial Intelligence in Business Management* (2023), che individua nei modelli generativi pre-addestrati, come ChatGPT, uno strumento di democratizzazione tecnologica. L'accessibilità e l'usabilità di queste soluzioni permettono anche alle imprese con risorse limitate di avviare processi di automazione e innovazione, abbassando significativamente la soglia di ingresso all'AI. In particolare, si osserva l'emergere di configurazioni organizzative più snelle e decentralizzate, nelle quali la collaborazione tra operatori umani e agenti intelligenti diventa parte integrante dei flussi operativi. Questa trasformazione non si limita a replicare le logiche delle grandi imprese in scala ridotta, ma introduce modelli adattivi e agili, capaci di rispondere in modo rapido e flessibile ai cambiamenti ambientali.

Tuttavia, l'accesso alla frontiera dell'AI non è distribuito in modo equo. Il paper *The Rising Costs of Training Frontier AI Models* (2024) sottolinea come l'addestramento dei modelli più avanzati sia ormai prerogativa esclusiva delle grandi multinazionali dotate di risorse multimiliardarie. Questo fenomeno accentua la concentrazione del potere tecnologico, alimentando una nuova forma di disuguaglianza competitiva fondata sull'accesso privilegiato alle capacità computazionali. In tale contesto, le imprese di piccole e medie dimensioni, ma anche le organizzazioni tradizionali, sono chiamate a ripensare le proprie strategie di adozione: l'utilizzo di modelli più leggeri, la partecipazione a reti di collaborazione o il ricorso a pratiche di open innovation diventano leve fondamentali per rimanere competitivi in uno scenario dominato da barriere tecnologiche crescenti.

A rafforzare questa lettura interviene il contributo del paper *Mediating Role of AI Adoption Between Leadership Vision, Change Management Capability, Competitive Pressure, Trading Partnerships, and SME Performance* (2024), che analizza il ruolo trasformativo dell'AI nelle PMI manifatturiere dei

paesi in via di sviluppo. Lo studio evidenzia come l'adozione dell'AI non si configuri come semplice aggiornamento tecnico, ma come un vero e proprio fattore abilitante di trasformazione sistemica. In particolare, emerge con forza il ruolo delle partnership commerciali e della capacità interna di gestione del cambiamento, che si rivelano più determinanti della sola pressione competitiva. L'AI, in questo scenario, agisce come mediatore tra fattori organizzativi interni ed esterni, favorendo la transizione verso modelli data-driven, interconnessi e flessibili. L'adozione efficace non dipende solo dalla disponibilità tecnologica, ma dalla presenza di un ecosistema abilitante che comprenda visione strategica, alleanze e competenze dinamiche.

Sullo stesso filone si connettono le considerazioni sviluppate nel paper *Artificial Intelligence in Developing Countries: Bridging the Gap Between Potential and Implementation* (2023), che analizza l'introduzione dell'AI nei contesti emergenti. Lo studio mostra come, pur in presenza di vincoli infrastrutturali e operativi, l'AI stia cominciando a trasformare settori chiave come la sanità, l'agricoltura e l'istruzione. Sebbene l'implementazione risulti ancora frammentata e rallentata rispetto ai paesi industrializzati, il potenziale trasformativo dell'intelligenza artificiale si conferma anche in questi scenari, aprendo la strada a modelli organizzativi innovativi e adattati ai contesti locali. L'efficacia dell'adozione, tuttavia, resta condizionata dalla capacità di costruire condizioni abilitanti solide, in grado di sostenere la diffusione dell'AI oltre i confini delle economie avanzate.

Nel complesso, l'insieme dei contributi analizzati mostra come la democratizzazione dell'AI non sia un processo lineare né garantito. Pur aprendo nuove possibilità per le PMI e le economie in via di sviluppo, l'introduzione dell'intelligenza artificiale impone scelte strategiche consapevoli e investimenti mirati in competenze, infrastrutture e governance. La sfida non è solo tecnologica, ma profondamente organizzativa: si tratta di costruire modelli flessibili, cooperativi e sostenibili che rendano l'innovazione accessibile anche al di fuori dei grandi centri del potere digitale.

2.1.5) Le implicazioni nei processi formativi e nelle funzioni HR

L'introduzione dell'intelligenza artificiale sta generando profonde trasformazioni nelle funzioni HR e nei processi formativi, contribuendo a ridefinire il perimetro operativo e cognitivo del lavoro organizzativo. Lo studio *AI-Driven Transformation of HR Managers Role in Training of Employees* (2024) mostra come l'automazione di attività ripetitive consenta una riduzione del carico cognitivo dei lavoratori e, al contempo, favorisca la nascita di una nuova architettura aziendale. In particolare, il paper evidenzia che questa evoluzione riguarda non solo le attività tradizionalmente legate alla formazione, ma si estende anche all'ambito del marketing, dove l'AIM (Artificial Intelligence Marketing) ridefinisce i flussi informativi e decisionali attraverso modelli predittivi e automatizzati. L'intelligenza artificiale, in questo scenario, non si limita a supportare l'attività umana, ma si configura sempre più spesso come sostituto di interi segmenti operativi, inaugurando un paradigma organizzativo data-driven.

A conferma di questa traiettoria evolutiva, il paper *Using Artificial Intelligence to Augment and Enhance Human Resource Strategy, Planning, Job/Work Design, Staffing, Learning and Development, and Performance Management* (2023) amplia la riflessione sulle trasformazioni in atto nella gestione delle risorse umane. L'AI è descritta come leva di cambiamento strutturale, capace di automatizzare fasi complesse come la selezione dei curriculum, la pianificazione dei turni e la gestione della performance, liberando tempo e risorse da destinare ad attività strategiche. Questo spostamento dalla dimensione amministrativa a quella decisionale riflette una più ampia trasformazione digitale della funzione HR, in cui la tecnologia diventa catalizzatore di una cultura organizzativa fondata sull'analisi dei dati e sull'adattamento continuo.

Questa prospettiva trova ulteriore approfondimento nel paper *Navigating the Future: Integrating AI and Machine Learning in HR Practices for a Digital Workforce* (2024), che documenta l'evoluzione delle pratiche HR verso strutture digitali, flessibili e proattive. L'integrazione di AI e machine learning consente non solo di automatizzare compiti ripetitivi, ma anche di ottimizzare i processi attraverso

strumenti predittivi e chatbot intelligenti. Lo studio riporta casi concreti in cui l'adozione di tecnologie AI-driven ha migliorato l'efficienza e la personalizzazione dei servizi HR, ridefinendo la gestione del capitale umano come processo adattivo e integrato. In questo senso, la trasformazione digitale delle risorse umane si presenta come un'evoluzione sistemica, che coinvolge tanto le tecnologie quanto i modelli organizzativi sottostanti.

Allo stesso modo il paper *AI-Based Human Resource Management Tools and Techniques; A Systematic Literature Review (2023)* offre una panoramica sistematica sulle tecnologie AI applicate all'HRM, rafforzando la visione di un paradigma organizzativo in trasformazione. L'analisi mostra come strumenti conversazionali, sistemi di analisi facciale, algoritmi di previsione del turnover e piattaforme di feedback continuo contribuiscano a riorganizzare le attività HR in chiave predittiva e reattiva. Questo approccio non solo riduce l'onere amministrativo, ma valorizza le competenze strategiche degli operatori HR, che da gestori di processi diventano facilitatori di decisioni supportate da intelligenza artificiale. L'automazione intelligente si configura come motore di un cambiamento profondo, capace di investire tanto la sfera operativa quanto quella cognitiva delle organizzazioni. L'impatto dell'AI si estende con forza anche alla formazione, come evidenziato nel paper *Artificial Intelligence - Virtual Trainer: Innovative Didactics Aimed at Personalized Training Needs (2023)*. L'introduzione di tutor virtuali, sistemi di micro-learning e feedback predittivi consente di superare i limiti della didattica tradizionale, rendendo l'apprendimento aziendale più flessibile, personalizzato e adattivo. Questa ristrutturazione dei processi formativi rappresenta un'estensione naturale della logica data-driven anche al knowledge management, segnando una continuità tra trasformazione organizzativa e innovazione didattica.

Una conferma di questa direzione arriva anche dal paper *AI-Based Equipment Optimization of the Design on Intelligent Education Curriculum System (2022)*, che pur concentrandosi sul contesto accademico, dimostra come l'AI stia abilitando la transizione da modelli educativi sequenziali a sistemi dinamici e interattivi. L'uso di feedback adattivi e algoritmi di clustering consente la costruzione di percorsi personalizzati, prefigurando una trasformazione organizzativa che investe sia la funzione formativa interna che l'erogazione dell'apprendimento nel suo complesso. L'intelligenza artificiale, in questo senso, non potenzia semplicemente i processi esistenti, ma ne riorganizza le logiche sottostanti.

Non mancano, tuttavia, riflessioni critiche sul grado di automazione. Il paper *With Less AI Makes Perfect: Partially Automated AI During Training Leads to Better Worker Motivation, Engagement, and Skill Acquisition (2024)* evidenzia che un uso eccessivo dell'AI, soprattutto nella formazione, può compromettere l'engagement dei lavoratori, riducendo la loro autonomia decisionale. Al contrario, un approccio basato sull'automazione parziale, che mantenga un ruolo attivo per l'individuo, favorisce non solo l'acquisizione delle competenze, ma anche lo sviluppo di nuove modalità collaborative tra uomo e macchina. Questo risultato conferma l'importanza di progettare interventi di trasformazione digitale capaci di bilanciare automazione e agency umana.

A supporto di una visione storica e concettualmente articolata dell'evoluzione in corso, il paper *Competencies for the artificial intelligence age: visualisation of the state of the art and future perspectives (2023)* analizza trent'anni di letteratura sulle trasformazioni digitali nel campo HR. Il lavoro mostra come, a partire dagli anni Novanta, si sia verificato un passaggio progressivo dalla formazione tradizionale alla valorizzazione delle competenze digitali, con una crescente attenzione verso la data literacy e l'analisi predittiva come nuove leve della performance organizzativa. Questo contesto fornisce un quadro utile per interpretare l'attuale trasformazione come parte di un'evoluzione più ampia, che investe tanto le tecnologie quanto la cultura aziendale.

Queste considerazioni trovano un ulteriore sviluppo teorico nel paper *The Symbiotic Evolution: Artificial Intelligence (AI) Enhancing Human Intelligence (HI) (2024)*, che propone il paradigma dell'Intelligenza Aumentata. Secondo quanto proposto, l'AI non è destinata a sostituire il lavoro umano, ma a potenziarne le capacità decisionali, creative e operative, attraverso un rapporto di co-

evoluzione. Le applicazioni analizzate nei settori della sanità, dell'istruzione e dei servizi confermano che l'integrazione sinergica tra AI e intelligenza umana può produrre modelli organizzativi più agili e intelligenti.

In chiusura, il paper *Directions in Hybrid Intelligence: Complementing AI Systems with Human Intelligence* (Kamar, 2016) offre un modello teorico solido per interpretare questa complementarità. Il concetto di "intelligenza ibrida" suggerisce un'architettura socio-tecnica in cui AI e operatori umani co-decidono all'interno di un ecosistema collaborativo, orientato alla responsabilità condivisa. L'efficacia dell'AI, in questo quadro, non dipende dalla sua autonomia assoluta, ma dalla capacità di operare in equilibrio con l'intelligenza umana, integrando logiche algoritmiche e sensibilità contestuale. In termini organizzativi, questa visione implica la riorganizzazione dei ruoli, dei flussi decisionali e dei meccanismi di controllo, avviando una transizione verso un paradigma post-automazione centrato sulla cooperazione uomo-macchina.

In sintesi, questa sezione mette in luce come l'integrazione dell'intelligenza artificiale nei processi HR e formativi non rappresenti soltanto un'innovazione tecnica, ma delinei un vero e proprio cambiamento culturale e organizzativo, dove il successo dipende dalla capacità di bilanciare automazione e agency umana per costruire modelli di lavoro più agili, collaborativi e sostenibili.

2.2) Cambiamenti nei ruoli professionali e nelle strutture organizzative: analisi dei settori più impattati

2.2.1) La riconfigurazione dei ruoli professionali nei contesti AI-driven

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nelle organizzazioni sta trasformando radicalmente i ruoli professionali, spostando l'attenzione da compiti operativi e routinari verso funzioni strategiche, interpretative e collaborative. Questa trasformazione comporta non solo l'emergere di nuove figure ibride, ma anche la ristrutturazione delle gerarchie organizzative e dei flussi decisionali, con un impatto trasversale su settori, mansioni e competenze richieste.

Uno dei primi segnali di questa evoluzione si ritrova nell'analisi proposta da *Innovative Business Models Driven by AI Technologies* (2023), che mostra come l'integrazione dell'AI nei modelli di business comporti una ridefinizione delle strutture operative e delle responsabilità, soprattutto nei settori ad alta intensità tecnologica. In questi contesti, le figure professionali si spostano sempre più verso ruoli di supervisione e interpretazione dei dati generati dagli algoritmi. Questa osservazione trova un riscontro empirico nello studio *The Rising Costs of Training Frontier AI Models* (2024), che evidenzia la crescita esponenziale dei team R&D, passati da 25 a 284 membri nel passaggio da GPT-3 a GPT-4. Tale ampliamento non è solo numerico, ma qualitativo: le aziende si stanno riorganizzando intorno a team multidisciplinari in cui emergono ruoli specifici come model trainer, data engineer o hardware specialist, a conferma di un cambiamento strutturale nella composizione della forza lavoro.

In continuità con questa linea interpretativa, il paper *Practice With Less AI Makes Perfect* (2024) evidenzia che anche nei contesti formativi aziendali, l'integrazione parziale dell'AI favorisce ruoli professionali orientati alla supervisione attiva, in cui i lavoratori non sono passivi esecutori ma co-decisori nei processi supportati dall'intelligenza artificiale. Questo approccio rafforza l'idea che l'automazione efficace non coincida con la sostituzione dell'uomo, ma con una sua riconfigurazione in chiave aumentativa.

Un caso particolarmente interessante è rappresentato dal settore legale, analizzato da *On the Effectiveness of Portable Models versus Human Expertise under Continuous Active Learning* (2021). Pur mostrando che i modelli automatizzati possono offrire buone prestazioni iniziali, lo studio

dimostra che l'expertise umana resta determinante per la qualità dei risultati, soprattutto in ambienti regolatori complessi. Questo rafforza l'idea di una collaborazione strutturata tra AI e professionalità umana, e invita a ripensare i ruoli non in termini dicotomici (sostituzione vs. conservazione), ma lungo un continuum di complementarità.

In ambito HR, le trasformazioni sono particolarmente evidenti. Secondo *Navigating the Future: Integrating AI and Machine Learning in HR Practices for a Digital Workforce* (2024), i professionisti delle risorse umane stanno evolvendo verso funzioni analitiche e predittive, abbandonando progressivamente attività amministrative a favore di ruoli orientati alla consulenza strategica. Questa dinamica si collega direttamente alle evidenze del paper *Role and Challenges of ChatGPT and Similar Generative Artificial Intelligence in Business Management* (2023), che descrive la nascita di team ibridi in cui i manager diventano "curatori" delle risposte AI, garantendo coerenza e appropriatezza nei processi decisionali automatizzati. Questo passaggio di responsabilità segnala una nuova fase nella gestione delle risorse umane, più focalizzata sull'orchestrazione dei flussi informativi intelligenti che sull'esecuzione delle procedure.

Queste osservazioni sono ulteriormente approfondite da *Using Artificial Intelligence to Augment and Enhance Human Resource Strategy...* (2023), che mostra come l'AI liberi tempo e risorse da attività a basso valore, aprendo spazio per la leadership strategica e la creatività. Tuttavia, in settori altamente regolamentati come quello clinico, la trasformazione assume sfumature più complesse. Il paper *Closing the Translation Gap: AI Applications in Digital Pathology* (2021) rivela che l'automazione di compiti ripetitivi consente ai patologi di concentrarsi su attività diagnostiche più complesse, ma solo a condizione che vengano sviluppate nuove competenze tecniche e relazionali, necessarie per gestire l'interazione con i sistemi intelligenti.

Questa evidenza trova un importante corollario nel crescente bisogno di profili ibridi anche in sanità, come mostrato da diversi studi che documentano l'emergere di AI-informed clinicians e data analyst clinici. In parallelo, anche nel settore educativo si osserva una progressiva riconfigurazione dei ruoli. Il paper *AI and Personalized Learning Bridging the Gap with Modern Educational Goals* (2024) mostra come gli insegnanti siano sempre più chiamati a gestire ambienti adattivi e tecnologicamente integrati, diventando facilitatori della relazione tra tecnologia e apprendimento.

Un punto critico su cui convergono più fonti è che l'adozione dell'AI, pur offrendo nuove opportunità professionali, impone una trasformazione culturale profonda. Non si tratta solo di apprendere nuovi strumenti, ma di accettare una ristrutturazione del lavoro centrata sulla collaborazione uomo-macchina. In questo senso, il paper *L'integrazione di IA e tecnologia assistiva nella didattica speciale* (2024) illustra bene come, anche nei contesti educativi più delicati, l'intelligenza artificiale stia ridefinendo le responsabilità professionali, con l'insegnante che assume il ruolo di guida relazionale e supervisore dei processi adattivi.

Infine, anche il settore della revisione contabile evidenzia dinamiche simili. Lo studio *Emerging Digital Technologies and Auditing Firms* (2024) documenta l'emergere di nuove figure come gli "IT auditor", capaci di combinare competenze contabili e algoritmiche. Interessante è qui il confronto tra due visioni emerse dallo studio: da un lato, la previsione di strutture organizzative "piatte" e flessibili; dall'altro, la possibilità di mantenere assetti tradizionali ma altamente specializzati. Questo confronto sottolinea che la riconfigurazione dei ruoli non segue un'unica direzione, ma dipende dal settore, dalla cultura organizzativa e dal livello di maturità tecnologica.

Nel complesso, questa serie di analisi conferma che la riconfigurazione dei ruoli professionali nei contesti AI-driven non si traduce in un'uniforme sostituzione tecnologica, ma piuttosto in una molteplicità di traiettorie trasformative, modellate dalle specificità settoriali e culturali, che ridisegnano in modo dinamico i confini tra competenze umane e capacità algoritmiche.

2.2.2) L'evoluzione delle strutture organizzative e della leadership

La diffusione dell'intelligenza artificiale sta spingendo le organizzazioni a ripensare le proprie architetture interne e i modelli di leadership, con una transizione che va oltre la digitalizzazione dei processi per investire il modo stesso in cui potere, responsabilità e competenze vengono distribuiti.

Un contributo iniziale alla comprensione di questo mutamento è fornito dal paper *Managerial insights for AI/ML implementation: A playbook for successful organizational integration* (2024), che propone un'analisi della trasformazione del ruolo manageriale in contesti ad alta intensità tecnologica. L'adozione di AI e ML comporta infatti una riallocazione delle responsabilità decisionali: il manager non è più solo un gestore verticale delle risorse, ma diventa un facilitatore del cambiamento, capace di orchestrare ecosistemi collaborativi tra funzioni tecniche e business. Questo spostamento si riflette anche nella necessità di integrare la visione strategica con una comprensione operativa degli strumenti AI, configurando una leadership più distribuita, adattiva e trasversale.

Sulla stessa lunghezza d'onda lo studio *The Role of Upskilling and Reskilling for Talent Transformation in the Era of AI* (2024) rafforza l'idea che il cambiamento organizzativo richiesto dall'intelligenza artificiale sia sistemico e che la creazione di nuovi ruoli e l'aggiornamento di quelli esistenti debbano essere accompagnati da un'evoluzione strutturale. L'articolo sottolinea come le architetture tradizionali, fondate su rigide divisioni funzionali, tendano a cedere il passo a configurazioni più fluide e dinamiche, in cui l'interazione uomo-macchina impone una ridefinizione dei flussi informativi, delle gerarchie e dei meccanismi di coordinamento.

A supporto di questa visione, il paper *AI-Driven Business Analytics and Decision Making* (2024) mostra come l'integrazione dell'AI nei sistemi di business intelligence e nelle piattaforme SAP comporti una trasformazione profonda nei ruoli manageriali e nei flussi decisionali. I manager non sono più meri interpreti dei dati, ma assumono il compito di supervisionare gli output generati dagli algoritmi, validandoli criticamente. Questo cambiamento implica anche una riorganizzazione dei team, sempre più interfunzionali e guidati da una logica dati-centrica. Sebbene il paper non si soffermi direttamente sulla leadership, le implicazioni gestionali derivanti dalla diffusione di sistemi predittivi sono evidenti, in particolare nei comparti più esposti alla pressione competitiva, come marketing, supply chain e finanza.

Un'ulteriore prospettiva è offerta dallo studio *Artificial Intelligence Enabled Business Model Innovation: Competencies and Roles of Top Management* (2024), che pone l'attenzione sulle trasformazioni nei profili del top management. L'adozione dell'AI richiede non solo comprensione tecnologica, ma anche la capacità di costruire ambienti favorevoli alla sperimentazione, decentralizzare il potere decisionale e promuovere una cultura aziendale fondata sull'apprendimento continuo. A differenza dei contributi precedenti, questo paper enfatizza il ruolo strategico del "mindset AI-oriented" come competenza distintiva per i leader, delineando una leadership trasformativa, in grado di agire come ponte tra innovazione e sostenibilità organizzativa.

Questa visione trova riscontro anche nei dati del *PwC AI Jobs Barometer* (2024), secondo cui i settori a maggiore intensità di dati, come sviluppo software, marketing digitale e customer service, stanno sperimentando con maggiore frequenza modelli di leadership distribuita, fondata sull'empowerment dei team e sulla capacità di leggere i segnali deboli provenienti dai sistemi intelligenti.

Per comprendere il quadro più ampio, è utile richiamare il contributo teorico del paper *Directions in Hybrid Intelligence: Complementing AI Systems with Human Intelligence* (Kamar, 2016), che introduce il concetto di intelligenza ibrida come nuovo paradigma organizzativo. In questo modello, l'AI non è un agente autonomo, ma un partner operativo che coopera con l'intelligenza umana in una logica di complementarità. L'effetto organizzativo è duplice: da un lato emergono nuove figure professionali (come orchestratori di crowd, supervisori di AI, trainer algoritmici), dall'altro si impone una revisione dei ruoli tradizionali, che devono adattarsi a logiche operative più distribuite e meno gerarchiche. Il confronto con i paper precedenti rafforza l'idea che la leadership del futuro non si

fondi più su controllo e delega, ma su co-evoluzione tra intelligenze e coordinamento dinamico tra attori umani e digitali.

Infine, anche il settore pubblico non è esente da queste trasformazioni. Lo studio *Examining How AI Capabilities Can Foster Organizational Performance in Public Organizations* (2023) documenta come l'introduzione dell'AI nei comuni europei abbia comportato una ridefinizione delle responsabilità interne, con un impatto sia sui processi decisionali sia sulla natura delle competenze richieste. In particolare, le funzionalità di process automation e cognitive insight hanno prodotto un miglioramento dell'efficienza operativa, mentre il cognitive engagement ha mostrato criticità legate alla scarsa accettazione da parte dei dipendenti. Il confronto con i paper relativi al settore privato suggerisce che, mentre le imprese sembrano meglio attrezzate per adattarsi ai modelli di leadership distribuita, le amministrazioni pubbliche devono affrontare sfide culturali e operative più complesse, soprattutto in termini di change management.

In modo complementare, l'articolo *The Impact of Artificial Intelligence Adoption Intensity on Corporate Sustainability Performance: The Moderated Mediation Effect of Organizational Change* (2024) approfondisce il legame tra adozione dell'AI, cambiamento organizzativo e performance sostenibile. Il paper sottolinea che le trasformazioni richieste non possono essere esclusivamente tecniche: per garantire un'adozione efficace e sostenibile dell'AI, le aziende devono ristrutturare le proprie architetture interne, sviluppare nuove competenze e promuovere una cultura dell'innovazione distribuita. Questa visione, in linea con quanto emerso finora, conferma che la leadership efficace in epoca AI non è definita da ruoli formali, ma dalla capacità di gestire la complessità, favorire la collaborazione uomo-macchina e trasformare la struttura organizzativa in modo proattivo e inclusivo.

Un'applicazione concreta di questo approccio emerge dal framework proposto in *Towards an AI-Driven Business Development Framework* (2023), che mostra come le aziende più avanzate stiano già sperimentando modelli di lavoro basati su team multidisciplinari, composti da data scientist, sviluppatori, esperti di dominio e business owner, per integrare in modo coerente AI e obiettivi operativi. La struttura organizzativa che ne deriva è meno verticale, più interconnessa, e orientata a una logica iterativa di sviluppo e validazione delle soluzioni AI.

In definitiva, l'analisi dei paper afferenti a questa sottosezione mostra chiaramente che l'evoluzione delle strutture organizzative e della leadership nell'era dell'AI non può essere ridotta a un semplice aggiornamento tecnologico, ma deve essere intesa come un processo trasformativo profondo, in cui la capacità delle organizzazioni di ripensare ruoli, poteri e architetture diventa la vera leva di successo per affrontare la complessità crescente.

2.2.3) Settori ad alta trasformazione: sanità, giornalismo, cybersecurity, HR

Alcuni comparti produttivi e professionali risultano particolarmente esposti alla trasformazione dei ruoli e delle strutture organizzative, a causa dell'integrazione dell'AI nei processi core. In questi settori, l'intelligenza artificiale non si limita ad automatizzare attività, ma ristruttura profondamente le funzioni, le competenze richieste e le gerarchie interne.

Nel settore giornalistico, il paper *Dungeons & deepfakes: Using scenario-based role-play to study journalists' behavior towards using AI-based verification tools for video content* (2024) offre un esempio paradigmatico di questa trasformazione. L'introduzione di strumenti di rilevamento dei deepfake basati su AI ha modificato in modo sostanziale il processo di verifica delle informazioni e il ruolo stesso del giornalista. Mentre i professionisti più esperti tendono a integrare criticamente tali strumenti nel proprio workflow, quelli meno esperti mostrano una maggiore propensione all'automazione, con un rischio di overreliance. Questo spostamento suggerisce una nuova configurazione organizzativa, in cui l'autonomia decisionale del singolo operatore è sostituita da una collaborazione tra agenti umani e sistemi intelligenti.

Una dinamica analoga si osserva nel settore della cybersecurity, dove il paper *Cybersecurity Workforce Development: Bridging the Skills Gap in the Age of Automation* (2024) documenta l'emergere di nuove figure professionali, orientate alla gestione di sistemi predittivi, alla sorveglianza algoritmica e alla risposta automatizzata agli incidenti. La crescente sofisticazione delle minacce ha reso obsolete molte mansioni tradizionali, spingendo verso una maggiore specializzazione e una ridefinizione delle strutture operative. In continuità con quanto osservato nel giornalismo, anche in questo caso la trasformazione non si limita a un'evoluzione tecnologica, ma implica una riconfigurazione profonda delle competenze e dei ruoli.

Il settore delle risorse umane costituisce un altro ambito di profondo cambiamento, come evidenziato dal paper *AI-based Human Resource Management Tools and Techniques: A Systematic Literature Review* (2023). L'adozione di strumenti basati su AI per la selezione, la formazione e la valutazione dei dipendenti ha comportato un passaggio da funzioni prevalentemente amministrative a ruoli più analitici e strategici. I professionisti HR sono oggi chiamati a interpretare dati complessi, gestire percorsi di carriera personalizzati e assumere decisioni supportate da analytics predittivi. Questo spostamento si collega direttamente alle trasformazioni osservate nei settori ad alta intensità informativa, rafforzando l'idea che l'intelligenza artificiale favorisca l'ibridazione delle competenze e la ridefinizione delle mansioni.

Una dinamica simile è riscontrabile anche nel comparto farmaceutico. Il paper *Revolutionizing Drug Discovery: The Impact of Artificial Intelligence on Advancements in Pharmacology and the Pharmaceutical Industry* (2024) mostra come l'integrazione dell'AI nei processi di scoperta, sperimentazione e produzione dei farmaci stia generando la domanda di ruoli ibridi, capaci di coniugare competenze biologiche e digitali. Bioinformatici, esperti di machine learning applicato alla farmacologia e analisti di dati clinici diventano figure centrali, mentre le strutture organizzative si adattano con l'introduzione di team interfunzionali. Questo esempio conferma quanto l'adozione dell'AI imponga non solo l'inserimento di nuove tecnologie, ma un ripensamento complessivo delle configurazioni operative.

Una linea di sviluppo affine emerge anche nel campo della telemedicina. Il paper *Addressing the Challenges of AI-Based Telemedicine: Best Practices and Lessons Learned* (2023) mostra come l'adozione dell'AI nelle sue varie declinazioni cliniche (es. telecardiologia, telestroke, teleoncologia) stia spostando il ruolo del personale medico da esecutori clinici a supervisor strategici. L'AI diventa uno strumento di supporto alla decisione, richiedendo una nuova articolazione delle competenze e una riorganizzazione dei flussi di lavoro. In particolare, si affermano nuove figure professionali come operatori clinici remoti, coordinatori tecnologici ed esperti di AI in ambito sanitario. Analogamente con il settore farmaceutico, anche in questo caso emerge la necessità di un'integrazione profonda tra dominio clinico e competenze tecnologiche.

Nel settore manifatturiero, l'articolo *The Future of Automotive Manufacturing: Integrating AI, ML, and Generative AI for Next-Gen Automatic Cars* (2024) documenta come l'automazione dei processi produttivi implichi una ridefinizione dei ruoli nei reparti di progettazione, controllo qualità e supply chain. L'adozione di AI e ML impone nuove forme di collaborazione uomo-macchina, con conseguenti esigenze di upskilling per la forza lavoro. Il rischio di dequalificazione, soprattutto nei ruoli ripetitivi, è esplicitamente discusso, sollevando il tema della sostenibilità occupazionale della trasformazione in atto.

Un'analisi convergente è proposta dal paper *Artificial Intelligence in Logistics and Supply Chain Management: A Primer and Roadmap for Research* (2023), che conferma la necessità di riconfigurare i processi decisionali nei settori operativi ad alta complessità. L'introduzione dell'AI nei flussi logistici implica l'emergere di nuove professionalità, come gli analisti predittivi della supply chain e i supervisor di sistemi di demand forecasting automatizzati. A differenza del settore sanitario, in cui prevale una logica di supporto clinico, in logistica l'AI assume una funzione più strettamente

operativa, imponendo una standardizzazione dei processi e una ristrutturazione delle responsabilità decisionali.

In ambito HR, l'adozione di AI generativa amplia ulteriormente le trasformazioni in atto, come documentato dal paper *Human Resource Management in the Age of Generative Artificial Intelligence* (2023). La selezione automatizzata, la valutazione delle performance tramite NLP e l'erogazione personalizzata della formazione comportano sia un incremento dell'efficienza, sia nuove tensioni legate alla trasparenza e alla qualità delle decisioni. Mentre alcuni studi mettono in luce i vantaggi in termini di personalizzazione e velocità, altri, in linea con quanto osservato nel settore giornalistico, segnalano il rischio di eccessiva delega alle macchine, con effetti potenzialmente negativi sulla responsabilità decisionale.

Nel confronto tra settori, risulta evidente che la natura delle trasformazioni dipende fortemente dal tipo di attività automatizzata: nei comparti ad alta intensità cognitiva, l'AI tende a promuovere l'ibridazione delle competenze; nei settori operativi, prevale invece una logica di sostituzione funzionale che impone un ripensamento profondo dell'organizzazione del lavoro. In entrambi i casi, tuttavia, la trasformazione dei ruoli professionali e delle strutture organizzative si configura come un processo sistemico e trasversale, che richiede strategie di adattamento su più livelli.

2.2.4) Le nuove professioni nei contesti globali e nei Paesi in via di sviluppo

L'impatto dell'intelligenza artificiale sulla trasformazione dei ruoli professionali si manifesta in modo disomogeneo a livello globale, con effetti profondamente diversi tra economie avanzate e paesi in via di sviluppo. In questi ultimi, le opportunità offerte dall'AI si intrecciano con criticità strutturali, producendo esiti ambivalenti sul piano occupazionale e organizzativo.

Un primo segnale di questa asimmetria è offerto dal paper *How Artificial Intelligence Could Widen the Gap Between Rich and Poor Nations* (2020), che analizza gli effetti dell'automazione nei contesti a bassa intensità tecnologica. Secondo il modello proposto, l'aumento di produttività generato dai robot comporta una sostituzione del lavoro non qualificato nei settori tradizionali, con effetti depressivi sui salari e un aumento della disoccupazione tra le fasce meno istruite della popolazione. Questo impatto si traduce in una polarizzazione del mercato del lavoro: mentre le economie avanzate vedono crescere i ruoli ad alta qualificazione, i paesi in via di sviluppo rischiano una marginalizzazione progressiva. La riflessione proposta evidenzia come, in assenza di investimenti in formazione e innovazione, l'adozione dell'AI possa amplificare le disuguaglianze globali piuttosto che colmarle.

Questa visione è integrata dal paper *Artificial Intelligence in Developing Countries: Bridging the Gap Between Potential and Implementation* (2023), che offre uno sguardo empirico su come l'AI stia comunque generando nuove professionalità in contesti emergenti. In Kenya, ad esempio, l'impiego di strumenti diagnostici intelligenti ha favorito la creazione di ruoli focalizzati sull'analisi dei dati clinici nelle aree remote. In India, l'agricoltura di precisione ha portato alla nascita di figure capaci di interpretare dati meteorologici e satellitari per fornire supporto decisionale ai piccoli coltivatori. In Rwanda, invece, l'integrazione dell'AI nei sistemi educativi ha spinto verso la formazione di nuovi profili didattici, in grado di gestire piattaforme adattive. Questi casi mostrano come l'adozione dell'intelligenza artificiale, se accompagnata da politiche mirate, possa favorire una transizione positiva anche nei contesti meno avanzati. Tuttavia, rispetto alle evidenze più pessimistiche del paper del 2020, emerge qui un potenziale di trasformazione costruttiva, che dipende in larga parte dalla governance istituzionale e dalla capacità di investimento nei sistemi formativi locali.

Una conferma di questa tensione tra rischi e opportunità si ritrova nel paper *AI Revolutionizing Industries Worldwide: A Comprehensive Overview of its Diverse Applications* (2024), che analizza trasversalmente diversi settori nei paesi a diverso livello di sviluppo. Lo studio evidenzia come, nei settori agricolo, sanitario, educativo e manifatturiero, l'AI stia accelerando il passaggio da mansioni

esecutive a funzioni strategiche, rafforzando i ruoli ad alta qualificazione. Tuttavia, l'effetto positivo si manifesta soprattutto dove le infrastrutture digitali e le competenze sono già presenti, mentre in contesti deboli persiste il rischio di esclusione. In questo senso, l'AI agisce come fattore moltiplicatore delle capacità già disponibili, contribuendo a rafforzare o indebolire i sistemi esistenti a seconda della resilienza locale.

Un contributo particolarmente utile alla comprensione degli effetti differenziati dell'AI sul mercato del lavoro globale è offerto dal paper *Economics of ChatGPT: A Labor Market View on the Occupational Impact of Artificial Intelligence* (2023). Lo studio propone una classificazione delle occupazioni in tre fasce: a impatto completo, parziale o nullo da parte dell'AI generativa. Secondo l'analisi, circa il 32,8% dei ruoli è a rischio di automazione totale, mentre il 36,5% subirà modifiche parziali e solo il 30,7% resterà sostanzialmente inalterato. Questo schema permette di comprendere come l'adozione di strumenti come ChatGPT non comporti una sostituzione indifferenziata del lavoro, ma piuttosto una sua riconfigurazione selettiva. Se nei paesi industrializzati questa ristrutturazione può essere accompagnata da politiche di reskilling, nei paesi emergenti essa rischia di generare fratture occupazionali laddove manchino le condizioni per una transizione sostenibile.

In linea con quanto detto in precedenza, il paper di Matthew Chan *Analyzing the Impacts of AI on Employment and More in the Primary, Secondary, and Tertiary Sectors* (2024) approfondisce l'impatto differenziato dell'AI nei tre settori economici principali. Nel settore primario, l'intelligenza artificiale assume un ruolo assistivo, contribuendo a migliorare sicurezza ed efficienza senza necessariamente eliminare l'intervento umano. L'agricoltura e l'estrazione mineraria, ad esempio, beneficiano di tecnologie predittive che riducono i rischi operativi. Nel secondario, invece, si osserva una correlazione positiva tra diffusione dell'AI e incremento dell'occupazione qualificata, a fronte della scomparsa di mansioni ripetitive. Anche nel terziario, soprattutto nei comparti digitali, si conferma una tendenza verso l'espansione dei ruoli tecnici. Tuttavia, lo studio sottolinea che questi effetti sono condizionati dal grado di maturità tecnologica dei diversi sistemi economici: laddove prevale una struttura produttiva poco digitalizzata, l'introduzione dell'AI può generare più disoccupazione che valore.

Nel complesso, i paper analizzati convergono su un punto centrale: la trasformazione dei ruoli professionali nei paesi in via di sviluppo non è un processo lineare, né univocamente positivo o negativo. Essa dipende da variabili strutturali come il capitale umano, l'accesso alle tecnologie, la qualità delle istituzioni e la capacità di implementare strategie di adattamento. Il potenziale dell'AI è indubbio, ma perché si traduca in uno sviluppo inclusivo è necessaria una governance consapevole, capace di orientare la transizione digitale in chiave equa e sostenibile.

2.2.5) Disuguaglianze e barriere nella trasformazione dei ruoli

La trasformazione dei ruoli professionali indotta dall'intelligenza artificiale non avviene in modo neutro né uniforme. Essa tende a riprodurre, e in alcuni casi ad amplificare, disuguaglianze preesistenti legate al genere, all'accesso alle competenze e alla distribuzione del potere nelle organizzazioni.

Una prima evidenza in questa direzione emerge dal paper *Mind the Gender Gap: Inequalities in the Emergent Professions of Artificial Intelligence (AI) and Data Science* (2023), che documenta come le professioni emergenti legate all'AI siano tutt'altro che esenti da dinamiche discriminatorie. Nonostante la novità dei contesti lavorativi, i ruoli tecnici di maggiore prestigio e le posizioni apicali sono ancora largamente occupati da uomini, mentre le donne risultano concentrate in ruoli di supporto, meno pagati e meno visibili. La segregazione orizzontale e verticale osservata riflette dunque una trasformazione solo parziale delle strutture organizzative, che finiscono per perpetuare schemi di disuguaglianza consolidati. L'innovazione tecnologica, in questo caso, non si traduce automaticamente in innovazione sociale.

Segue questa riflessione il paper *AI in the Workplace: A Systematic Review of Skill* (2024), il quale evidenzia come la trasformazione delle mansioni richieda una combinazione crescente di competenze tecniche e soft skill, ma sottolinea che l'accesso a questi percorsi di aggiornamento non è ugualmente distribuito tra i lavoratori. L'introduzione di sistemi intelligenti porta a un ridimensionamento delle attività routinarie e a un'espansione di ruoli più versatili, ma le organizzazioni sono spesso impreparate a garantire che tutti i dipendenti possano acquisire le competenze necessarie per adattarsi. In questo quadro, le disuguaglianze non si manifestano solo in termini di genere, ma anche in relazione all'età, alla provenienza geografica, al livello di istruzione e al tipo di contratto lavorativo.

Un esempio emblematico dell'asimmetria degli impatti si ritrova nel paper *More than a Digital System: How AI is Changing the Role of Bureaucrats in Different Organizational Contexts* (2024), che analizza due casi comparativi nella pubblica amministrazione: il sistema MiDAS negli Stati Uniti e l'indennità per l'infanzia nei Paesi Bassi. Nel primo caso, l'introduzione dell'AI ha avuto effetti drammatici, con il licenziamento di circa un terzo dei dipendenti e l'automatizzazione di processi decisionali critici, spesso con risultati errati. Nel secondo, il cambiamento è stato più graduale, con un impatto minore sull'occupazione, ma con una riduzione della discrezionalità dei funzionari pubblici. Il confronto tra i due contesti suggerisce che le conseguenze dell'AI dipendono fortemente dalle scelte istituzionali e dai modelli di governance: laddove prevale un approccio top-down e basato sulla riduzione dei costi, le implicazioni occupazionali possono essere severe; al contrario, in modelli più consensuali, l'AI può accompagnare trasformazioni progressive senza distruggere i ruoli esistenti.

In parallelo, il report *The Impact of Artificial Intelligence on Workers' Skills: Upskilling and Reskilling in Organisations* (2023) sottolinea la centralità della formazione continua per affrontare le sfide poste dall'adozione dell'AI. Secondo le stime contenute nel documento, circa il 40% delle competenze richieste nei prossimi cinque anni subirà cambiamenti significativi, imponendo strategie proattive di reskilling sia nel settore privato che in quello pubblico. Tuttavia, lo studio evidenzia che le imprese spesso faticano a strutturare percorsi di aggiornamento inclusivi, con il rischio di lasciare indietro proprio quei lavoratori che avrebbero maggior bisogno di supporto per affrontare la transizione digitale.

Questa preoccupazione viene ribadita nel paper *A Multilevel Review of Artificial Intelligence in Organizations: Implications for Organizational Behavior Research and Practice* (Bankins, 2023), che esplora le implicazioni dell'AI sulle dinamiche organizzative interne. L'adozione di forme di algorithmic management e di supervisione automatizzata modifica il grado di autonomia dei lavoratori e la loro esperienza soggettiva, spesso generando ambivalenze. In alcuni contesti, l'AI è percepita come strumento di supporto e potenziamento, in altri come meccanismo di controllo e standardizzazione. Il paper evidenzia che l'impatto dell'AI sulle competenze, sulle relazioni di potere e sulle forme di partecipazione varia in funzione della cultura organizzativa, della tipologia di leadership e della predisposizione al cambiamento.

Infine, numerose fonti convergono sul fatto che una delle barriere principali alla trasformazione equa dei ruoli sia rappresentata dalla scarsa capacità di gestire il cambiamento organizzativo. La resistenza culturale, la mancanza di visione strategica e l'assenza di investimenti adeguati in formazione ostacolano una transizione fluida verso assetti più digitali. In questo senso, l'adozione dell'AI non solo impone una riconfigurazione dei profili professionali, ma richiede anche una revisione delle strutture organizzative in chiave agile e inclusiva, capace di valorizzare il contributo umano nel nuovo ecosistema tecnologico.

2.3) Impatto su produttività, efficienza e nuove modalità di lavoro

2.3.1) Ridefinizione della produttività e dell'efficienza nei contesti AI-driven

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nelle organizzazioni ha modificato i parametri con cui si misura la produttività, orientando i processi verso l'efficienza algoritmica e l'ottimizzazione delle risorse. L'intelligenza artificiale non è solo uno strumento tecnico, ma un fattore trasformativo che ristrutturata le modalità operative e i criteri di valutazione delle performance.

Una prima evidenza concreta di questi cambiamenti è fornita dallo studio *Challenges and Strategies for Wide-Scale Artificial Intelligence (AI) Deployment in Healthcare Practices: A Perspective for Healthcare Organizations* di Esmailzadeh (2024), che documenta in modo sistematico gli effetti tangibili dell'adozione dell'AI sull'efficienza operativa nel settore sanitario. I dati quantitativi riportati, tra cui un incremento dell'accuratezza diagnostica fino al 30% e una riduzione del 25% dei tempi di attesa per i referti, non solo illustrano un miglioramento misurabile delle performance, ma mostrano anche come l'AI stia contribuendo a ridisegnare l'equilibrio tra qualità dell'assistenza e velocità di esecuzione. Qui, l'intelligenza artificiale non sostituisce l'expertise clinica, ma la rafforza, trasformando i processi in chiave più predittiva, automatizzata e reattiva.

Questo punto di vista è rafforzato dai dati del *PwC AI Jobs Barometer* (2024), che mostrano come l'84% dei CEO delle aziende che hanno investito in AI si aspetti un aumento dell'efficienza dei dipendenti. Il fatto che tale convinzione provenga direttamente dai vertici strategici delle imprese evidenzia come la produttività, nel nuovo scenario AI-driven, sia sempre più concepita come risultato dell'interazione tra risorse umane e capacità algoritmiche. In tal senso, il ruolo dei lavoratori si evolve da esecutori a supervisor dei processi automatizzati, richiedendo una ridefinizione del concetto stesso di contributo individuale alla performance aziendale.

In continuità con queste evidenze, il paper *AI-driven business analytics and decision making* (2024) conferma che l'adozione di strumenti di business analytics basati su AI permette di raggiungere una significativa ottimizzazione dei processi interni, in particolare grazie alla gestione predittiva del rischio e al miglioramento della supply chain. I dati riportati, tra cui una riduzione dei costi operativi fino al 50%, dimostrano che l'AI sta contribuendo non solo a migliorare l'efficienza economica, ma anche la qualità delle decisioni, che risultano più tempestive e meno soggette a errore umano. A differenza del caso sanitario, dove l'impatto dell'AI è evidente sul piano diagnostico e operativo, qui la trasformazione investe direttamente la sfera strategica, suggerendo che la ridefinizione della produttività si estenda a tutti i livelli decisionali.

Mettendo in relazione questi studi, emerge una tendenza trasversale: l'AI agisce da moltiplicatore di efficienza sia in contesti ad alta standardizzazione (come la logistica o la diagnostica ospedaliera), sia in quelli ad alta intensità decisionale (come la pianificazione aziendale). Tuttavia, come evidenziato anche dalle percezioni contrastanti dei medici riportate da Esmailzadeh, con il 60% che teme una perdita di controllo decisionale, si delinea un nodo critico: l'efficienza garantita dall'AI deve essere bilanciata da un'attenta governance umana, capace di mantenere agency e responsabilità nei processi automatizzati.

2.3.2) Trasformazioni nei flussi operativi: asincronia, automazione e nuovi modelli decisionali

Un ulteriore aspetto rilevante dell'impatto dell'AI sui modelli organizzativi riguarda la trasformazione dei flussi operativi. L'adozione diffusa di strumenti intelligenti ha favorito l'emergere di logiche asincrone, in cui le attività non richiedono più la simultaneità tra gli attori coinvolti, ma possono essere eseguite e monitorate in modo distribuito, automatico e continuo. Questo cambiamento ha ripercussioni profonde sulla flessibilità operativa, sulla reattività delle organizzazioni e sulla struttura temporale del lavoro.

Una prima conferma empirica di questa tendenza è offerta dal paper *Methodological approach to assessing the current state of organizations for AI-based digital transformation* (2024), che propone un framework per valutare la prontezza organizzativa alla trasformazione digitale guidata dall'AI. I dati quantitativi mostrano una riduzione significativa dei tempi operativi (da -20% fino a -40%) e un miglioramento dell'efficienza infrastrutturale (+30%), suggerendo che l'automazione intelligente ridisegna le catene operative in modo più fluido e adattivo. La rilevanza di questo contributo risiede nel fatto che tali benefici si ottengono solo se preceduti da una valutazione accurata dello stato digitale di partenza: l'efficienza, quindi, non è un effetto automatico, ma il risultato di una transizione strutturata.

In maniera concorde il paper *The Rising Costs of Training Frontier AI Models* (2024) introduce una riflessione complementare: se da un lato l'AI abilita flussi asincroni e più efficienti, dall'altro impone nuove sfide sul piano energetico e computazionale. I crescenti costi di addestramento dei modelli frontier suggeriscono che l'efficienza non potrà più essere considerata solo in termini di output organizzativo, ma anche in relazione all'impatto ambientale e infrastrutturale. Questo studio rafforza l'idea che la trasformazione digitale debba essere valutata secondo logiche sistemiche, in cui sostenibilità ed efficienza siano considerate congiuntamente.

Anche il paper *Practice With Less AI Makes Perfect* (2024) contribuisce a questa riflessione da una prospettiva organizzativa centrata sulla formazione. L'evidenza sperimentale mostra che i lavoratori che si formano con strumenti parzialmente automatizzati sviluppano maggiore motivazione e engagement, elementi che incidono direttamente sulla qualità delle performance. In questo caso, il valore dell'automazione non risiede nella completa delega dei compiti all'AI, ma nella costruzione di modelli ibridi in cui l'autonomia decisionale e l'intervento umano restano centrali. Questa osservazione introduce una nota critica rispetto all'entusiasmo per l'automazione totale: l'efficienza operativa può essere massimizzata proprio quando la componente umana è messa in condizione di collaborare attivamente con l'AI, e non sostituita.

Questa stessa logica ibrida emerge chiaramente anche nel settore delle risorse umane, come documentato dal paper *AI-based human resource management tools and techniques: A systematic literature review* (2023). Qui, l'efficienza non deriva dalla sola automazione dei processi HR, ma dalla capacità delle tecnologie intelligenti di migliorare il matching tra candidati e posizioni, ridurre i tempi decisionali e personalizzare la formazione. Il fatto che il 70% degli studi inclusi nella review riporti un miglioramento nelle performance organizzative sottolinea che i benefici non sono marginali. Tuttavia, come già emerso nello studio precedente, l'impatto positivo dipende dall'equilibrio tra automazione e supervisione: gli strumenti AI, se non integrati in un modello che valorizzi la componente relazionale e strategica del lavoro umano, rischiano di produrre efficienza a scapito della qualità decisionale.

Complessivamente, questa serie di contributi evidenzia come le trasformazioni nei flussi operativi non siano un semplice effetto collaterale dell'introduzione dell'AI, ma una delle sue manifestazioni più profonde. L'asincronia, la modularità dei processi e l'automazione decisionale stanno ridisegnando la logica stessa dell'azione organizzativa. Tuttavia, come dimostrano sia i dati quantitativi sull'efficienza, sia le osservazioni critiche sul ruolo umano, la sfida non consiste nel "quanto" automatizzare, ma nel "come" costruire interazioni equilibrate tra intelligenza artificiale e agency umana.

2.3.3) AI come moltiplicatore di produttività nei settori ad alta intensità cognitiva

Sanità, giornalismo, educazione e risorse umane rappresentano contesti in cui l'intelligenza artificiale non solo supporta, ma amplifica il valore delle attività ad alta intensità cognitiva. In questi ambiti, l'AI agisce come moltiplicatore di produttività, riducendo i tempi decisionali, migliorando la qualità delle scelte e liberando risorse umane da compiti ripetitivi per concentrarsi su attività strategiche.

Un esempio emblematico proviene dall'ambito delle risorse umane. Il paper *Navigating the Future: Integrating AI and Machine Learning in HR Practices for a Digital Workforce* (2024) evidenzia come l'introduzione di strumenti AI nei processi HR non si limiti all'automazione, ma favorisca l'emergere di pratiche più agili e proattive nella gestione del capitale umano. L'importanza di questo contributo sta nel mostrare che l'AI consente di anticipare esigenze, personalizzare percorsi e ottimizzare decisioni, in linea con quanto già osservato nella sezione precedente sull'efficienza operativa. Tuttavia, ciò che distingue l'ambito HR è la centralità delle decisioni predittive nella costruzione di nuove modalità organizzative.

Questa prospettiva trova un parallelo nel settore sanitario, dove il paper *Addressing the Challenges of AI-Based Telemedicine: Best Practices and Lessons Learned* (2023) documenta l'impatto della telemedicina AI-driven sulla gestione ospedaliera. I benefici riportati, dall'anticipazione degli eventi acuti alla personalizzazione dei trattamenti, confermano che, anche in contesti complessi e critici, l'AI non sostituisce il professionista, ma ne amplia la capacità di intervento tempestivo. Rispetto all'ambito HR, il settore sanitario aggiunge una dimensione di urgenza e rischio, che rende ancora più evidente l'importanza di un'integrazione fluida tra capacità umane e supporto algoritmico.

Il settore giornalistico offre un'ulteriore prospettiva utile per comprendere i limiti e le potenzialità dell'AI come leva di produttività. Il paper *Dungeons & Deepfakes: Using Scenario-Based Role-Play to Study Journalists' Behavior Towards Using AI-Based Verification Tools for Video Content* (2024) mostra che, in situazioni di alta pressione temporale, gli strumenti AI di verifica video vengono utilizzati per velocizzare i processi di fact-checking. Tuttavia, lo studio segnala anche il rischio di overreliance, ovvero la tendenza ad affidarsi eccessivamente all'AI, rinunciando a una valutazione critica autonoma. Questo dato si pone in tensione con i benefici evidenziati nei settori HR e sanitario: se in quei contesti l'AI potenzia le decisioni umane, nel giornalismo può generare una dipendenza che mina l'autonomia professionale. Il confronto tra questi studi suggerisce che la produttività ottenuta tramite AI non può essere valutata solo in termini di velocità, ma deve tener conto della qualità cognitiva dei processi che la sostengono.

In questo senso, il contributo teorico proposto dal paper *Directions in Hybrid Intelligence: Complementing AI Systems with Human Intelligence* (2016) risulta particolarmente utile. Il lavoro sottolinea l'efficacia delle configurazioni ibride, in cui la collaborazione uomo-macchina è progettata in modo strategico e non occasionale. Gli esempi riportati, come la piattaforma Galaxy Zoo, dimostrano che la qualità decisionale può essere migliorata quando gli esseri umani sono coinvolti in fasi critiche dell'elaborazione algoritmica. Questo approccio rafforza quanto emerso nei settori precedenti: l'AI agisce come moltiplicatore di produttività solo se è incanalata in strutture operative che valorizzino le competenze umane, evitando derive automatistiche.

In ambito educativo, questa sinergia è evidente nel paper *AI-Based Equipment Optimization of the Design on Intelligent Education Curriculum System* (2022), che mostra come l'adozione dell'AI abbia incrementato del 37% la capacità di analisi e migliorato la qualità della didattica universitaria. Questo dato si collega al contributo di *On the Use of AI-Based Tools like ChatGPT to Support Management Research* (2023), in cui l'AI viene utilizzata per accelerare la raccolta e analisi dei dati nei contesti accademici. Entrambi gli studi confermano che l'AI può ridurre drasticamente i tempi operativi nei contesti di produzione della conoscenza, ma evidenziano anche la necessità di mantenere strategie di supervisione critica. In particolare, il secondo articolo sottolinea l'importanza di approcci metodologici trasparenti e di una riflessione epistemologica sull'uso dell'AI nella ricerca.

Queste osservazioni trovano un'ulteriore conferma nel paper *Role and Challenges of ChatGPT in Business Management* (2023), che analizza l'adozione di strumenti AI conversazionali nei modelli organizzativi. Il lavoro introduce un elemento chiave nella trasformazione dei flussi operativi: l'affermazione di modalità asincrone di lavoro. In questo nuovo paradigma, l'interazione uomo-macchina non avviene in tempo reale, ma in differita, permettendo una maggiore flessibilità

gestionale. Questo aspetto si ricollega direttamente alle riflessioni precedenti sul lavoro HR e sulla formazione, ma ne amplia l'impatto sul piano temporale e organizzativo.

Anche nella formazione alla cybersecurity, l'AI si configura come strumento per aumentare la resilienza e migliorare l'efficienza. Il paper *A Quantitative Study of Risk Scores and the Effectiveness of AI-Based Cybersecurity Awareness Training Programs* (2022) dimostra che l'adozione di moduli formativi adattivi AI-driven permette di ridurre il rischio operativo, rafforzando la consapevolezza individuale. In modo complementare rispetto agli esempi precedenti, qui la produttività si misura in termini di prevenzione e risposta proattiva, anziché di velocità esecutiva.

In coerenza con queste dinamiche, il paper *Artificial Intelligence in Enterprises* (2024) sottolinea che l'adozione dell'AI porta le aziende a riconfigurare le modalità operative verso modelli agili, decentralizzati e tecnologicamente supportati. Questo cambiamento si allinea ai risultati osservati nei settori sanitario, HR e giornalistico, confermando che l'AI agisce come forza sistemica di trasformazione, capace di ristrutturare non solo i compiti, ma anche le architetture decisionali.

Tuttavia, non mancano segnali di cautela. Il paper *On the Effectiveness of Portable Models versus Human Expertise* (2021) mostra che, in contesti cognitivamente complessi come la document review legale, i modelli AI portatili non superano sistematicamente l'expertise umana. Anzi, l'assenza di supervisione può generare rischi di errore sistematico e perdita di qualità. Questo studio offre un contrappunto critico rispetto agli altri, sottolineando che l'efficienza algoritmica deve essere sempre accompagnata da una validazione esperta, pena il compromesso degli standard professionali.

Infine, il paper *Artificial Intelligence Marketing and Customer Satisfaction* (2024) conferma che l'AI può migliorare la produttività anche nel marketing, aumentando la personalizzazione e la velocità di risposta. Tuttavia, lo studio evidenzia che questi benefici possono essere annullati da ansia lavorativa e resistenze interne, se non accompagnati da adeguati interventi formativi. Questa osservazione, coerente con quanto visto in ambito HR e cybersecurity, sottolinea che l'adozione dell'AI come moltiplicatore di produttività richiede un investimento non solo tecnologico, ma anche culturale e organizzativo.

Nel complesso, emerge con chiarezza che l'AI, per funzionare realmente come moltiplicatore di produttività nei settori ad alta intensità cognitiva, deve essere inserita in ecosistemi organizzativi capaci di valorizzare le competenze umane, bilanciare rischi e benefici e accompagnare l'innovazione tecnologica con un adeguato supporto culturale, metodologico e gestionale.

2.3.4) Asimmetrie globali e implicazioni economiche della produttività AI-driven

L'intelligenza artificiale, pur generando notevoli benefici in termini di produttività ed efficienza, non distribuisce i suoi effetti in modo uniforme. A livello globale, emergono profonde asimmetrie che rischiano di amplificare le disuguaglianze esistenti, soprattutto tra economie avanzate e paesi in via di sviluppo.

Il paper *How Artificial Intelligence Could Widen the Gap Between Rich and Poor Nations* (2020) rappresenta un punto di partenza fondamentale per questa riflessione. Lo studio mostra come l'incremento della produttività robotica stimoli gli investimenti e l'espansione del PIL nei paesi avanzati, mentre nei paesi a basso reddito produce effetti opposti: riduzione degli investimenti esteri, perdita di competitività nei settori a bassa qualificazione e rischi di disoccupazione tecnologica. Questo squilibrio deriva in parte dalla diversa capacità di adottare e integrare tecnologie avanzate, ma anche dall'assenza di politiche educative e infrastrutturali adeguate a sostenere la transizione digitale.

A rafforzare questo focal point, si colloca il paper *Revolutionizing Drug Discovery: The Impact of Artificial Intelligence on Advancements in Pharmacology and the Pharmaceutical Industry* (2024), che documenta come l'integrazione dell'AI nei processi di ricerca farmaceutica abbia prodotto una

netta accelerazione nella scoperta di farmaci e nella gestione dei trial clinici. Tuttavia, tali benefici sono limitati quasi esclusivamente alle economie dotate di infrastrutture digitali avanzate e capacità di investimento in AI. In continuità con quanto evidenziato dallo studio precedente, questo lavoro conferma che l'AI agisce come leva di produttività solo dove esistono condizioni sistemiche favorevoli. Inoltre, il paper introduce una dimensione ulteriore: la trasformazione delle modalità operative, con l'emergere di modelli collaborativi uomo-macchina che riducono sprechi, migliorano l'accuratezza delle decisioni e favoriscono la flessibilità organizzativa.

Un impatto analogo si riscontra anche nella formazione aziendale. Il paper *Artificial Intelligence-Virtual Trainer: Innovative Didactics Aimed at Personalized Training Needs* (2023) mostra come l'adozione di strumenti AI nella formazione generi un ritorno positivo in termini di engagement e ROI formativo, grazie alla personalizzazione dei percorsi e all'impiego di feedback automatizzati. Anche in questo caso, però, i benefici si concentrano in realtà organizzative che hanno già investito in cultura digitale e infrastrutture formative, suggerendo che l'AI può rafforzare le performance ma anche amplificare il divario tra chi è in grado di adottarla efficacemente e chi resta indietro.

Questa osservazione trova ulteriore conferma nel paper *Impact of AI Involvement Affect the Work Efficiency of the Staff in the Organization* (Ansari & Ahmed, 2024), che evidenzia una relazione positiva tra adozione dell'AI e miglioramento dell'efficienza lavorativa, ma sottolinea che tale relazione è mediata dalla soddisfazione e dalla motivazione dei dipendenti. L'efficienza non dipende solo dalla tecnologia, ma anche da fattori psicologici e culturali, come la percezione del controllo, il pensiero creativo e il comportamento lavorativo. In coerenza con gli studi precedenti, emerge che la produttività abilitata dall'AI non può essere letta come effetto automatico dell'automazione, ma come risultato di un ecosistema organizzativo favorevole.

Una prospettiva sperimentale più sistematica è proposta dal paper *Navigating the Jagged Technological Frontier* (2024), che introduce il concetto di "frontiera tecnologica frastagliata". Lo studio mostra che l'AI incrementa la produttività (+12,2%) e la qualità del lavoro (+40%) nei compiti all'interno delle sue capacità, ma peggiora la performance nei compiti che restano fuori dal suo raggio d'azione. Questo dato si collega direttamente alla questione delle asimmetrie: non solo tra paesi, ma anche all'interno delle stesse organizzazioni, tra compiti, team e funzioni. Il paper suggerisce che solo una governance consapevole può garantire che i benefici dell'AI siano equamente distribuiti, attraverso strategie di collaborazione.

Nel settore educativo, il paper *A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education during the Digital Era* (2022) amplia la discussione sull'efficienza operativa. L'adozione dell'AI ha migliorato l'erogazione didattica e alleggerito il carico cognitivo dei docenti, in particolare grazie a strumenti di valutazione automatica e tutor intelligenti. Tuttavia, il paper non ignora le barriere strutturali: l'efficacia dell'AI in ambito educativo dipende fortemente dalla disponibilità di infrastrutture, dalla formazione dei docenti e dalla compatibilità con i paradigmi pedagogici esistenti. In particolare, laddove manca un investimento sistemico, l'AI può accentuare la polarizzazione tra scuole avanzate e realtà meno attrezzate.

Un esempio specifico dei rischi di una produttività non sostenuta da adeguati presidi qualitativi è fornito dal paper *Human Resource Management in the Age of Generative Artificial Intelligence* (2023). L'uso dell'AI generativa può ridurre drasticamente i tempi di esecuzione e aumentare la produttività, ma introduce rischi legati alla qualità degli output, alla perdita di controllo e alla necessità di supervisione continua. Questo dato si collega direttamente al tema del "doppio effetto" dell'AI: capace di generare efficienza, ma solo se accompagnata da pratiche organizzative adeguate.

L'insieme di contributi analizzati confermano che l'AI, pur essendo un potente fattore abilitante di produttività, agisce in modo diseguale. Le sue potenzialità si concretizzano pienamente solo in presenza di infrastrutture, competenze, modelli organizzativi e cultura digitale. In loro assenza, non solo i benefici si riducono, ma emergono rischi di esclusione, inefficienza e disparità. Per questa

ragione, ogni discussione sull'impatto dell'AI sulla produttività deve essere accompagnata da una riflessione critica sulla sua distribuzione equa e sostenibile.

2.3.5) Efficienza pubblica e digitalizzazione della Pubblica Amministrazione

La trasformazione digitale abilitata dall'intelligenza artificiale non si limita al settore privato, ma coinvolge sempre più anche la pubblica amministrazione, modificando in profondità le modalità operative, i flussi decisionali e le forme di interazione tra cittadino e istituzioni. Tuttavia, se da un lato si registrano significativi miglioramenti in termini di performance organizzativa, dall'altro emergono nuove sfide legate all'integrazione tecnologica e all'accettazione da parte dei dipendenti pubblici.

Un primo contributo rilevante in questa direzione è offerto dal paper *Examining How AI Capabilities Can Foster Organizational Performance in Public Organizations* (2023), che analizza l'introduzione dell'AI nelle amministrazioni comunali europee. Lo studio evidenzia come l'automazione dei processi e l'uso di strumenti di cognitive insight abbiano portato a un aumento sensibile dell'efficienza operativa. In particolare, il modello sviluppato spiega il 41,3% della varianza della performance organizzativa, indicando che la capacità di analisi e gestione dei dati fornita dall'AI può potenziare in modo significativo l'efficacia del settore pubblico.

Tuttavia, in continuità con quanto emerso nelle sezioni precedenti riguardo ai limiti organizzativi dell'AI, lo stesso studio rileva che non tutte le applicazioni producono effetti altrettanto positivi. In particolare, le soluzioni di *cognitive engagement*, ovvero quelle che mirano a facilitare l'interazione tra lavoratori pubblici e tecnologie AI, presentano criticità legate a un basso livello di maturità e a una limitata accettazione da parte del personale. Questa evidenza si collega ai risultati di *Human Resource Management in the Age of Generative Artificial Intelligence* (2023), che sottolinea come la diffusione dell'AI, pur aumentando la produttività, possa generare disorientamento e perdita di controllo tra i dipendenti, specialmente in assenza di strategie di coinvolgimento e formazione mirata.

Il tema dell'equilibrio tra efficienza tecnologica e sostenibilità organizzativa è centrale anche nel report *Impact of Artificial Intelligence on Employees Working in Industry 4.0 Led Organizations* (2024), che analizza l'impatto dell'AI sul lavoro in ambienti fortemente digitalizzati. I risultati mostrano che il 17% dei rispondenti ha percepito un miglioramento della creatività e dell'innovazione, mentre una parte consistente del campione segnala vantaggi nella gestione del carico di lavoro e nella riduzione delle attività ripetitive. Questi dati si collegano al contesto della pubblica amministrazione in quanto suggeriscono che l'introduzione di strumenti intelligenti, come i sistemi di gestione documentale automatizzati o i chatbot per i servizi ai cittadini, può favorire una maggiore efficienza anche in ambito pubblico, soprattutto nelle attività a basso valore aggiunto.

Tuttavia, l'adozione dell'AI in contesti pubblici impone una riflessione più ampia sulle modalità di implementazione. Mentre lo studio sulle amministrazioni comunali europee sottolinea l'efficacia delle soluzioni basate su insight cognitivi, lo stesso studio evidenzia che senza un adeguato supporto al cambiamento organizzativo, le tecnologie rischiano di rimanere sotto-utilizzate o, peggio, rigettate dai dipendenti. In linea con quanto affermato, il report appena citato insiste sull'importanza di approcci inclusivi e partecipativi per accompagnare la transizione verso modelli di lavoro più digitalizzati.

In sintesi, l'intelligenza artificiale rappresenta una leva di trasformazione anche per la pubblica amministrazione, ma la sua efficacia dipende dalla capacità di affrontare le sfide culturali, organizzative e formative che ne accompagnano l'adozione. Solo attraverso un approccio sistemico e inclusivo sarà possibile coniugare l'aumento di efficienza con il benessere lavorativo e la qualità dei servizi pubblici.

Capitolo 3 - Evoluzione delle competenze richieste nell'era dell'AI

3.1) Competenze tecniche e trasversali necessarie per lavorare con l'AI

3.1.1) Fondamenti tecnici e processi decisionali

L'integrazione dell'intelligenza artificiale nei processi organizzativi ha reso imprescindibile il possesso di competenze tecniche avanzate e di capacità decisionali consapevoli. Le organizzazioni che adottano strumenti AI-driven devono contare su lavoratori in grado non solo di comprendere il funzionamento dei modelli algoritmici, ma anche di interpretarli criticamente e integrarli nei processi decisionali. Il paper *AI-driven Business Analytics and Decision Making (2024)* evidenzia come l'efficacia delle decisioni supportate dall'AI dipenda strettamente dalla padronanza di competenze in machine learning, data mining, modelli predittivi e natural language processing, ma anche da abilità trasversali come l'adattabilità e il pensiero critico.

In continuità con questa introduzione, lo studio *Practice With Less AI Makes Perfect: Partially Automated AI During Training Leads to Better Worker Motivation, Engagement, and Skill Acquisition (2024)* sottolinea l'effetto positivo di una formazione iniziale con sistemi parzialmente automatizzati, che stimola nei lavoratori un coinvolgimento attivo, una migliore motivazione e un'acquisizione più solida di competenze operative. Questo approccio rafforza la necessità di combinare l'esposizione alla tecnologia con il mantenimento di agency e controllo umano, per evitare forme passive di interazione con l'AI.

Questa attenzione all'interazione consapevole tra essere umano e tecnologia è centrale anche nello studio *L'integrazione di IA e tecnologia assistiva nella didattica speciale: un cambio di paradigma nella formazione degli insegnanti e nel supporto agli studenti (2024)*, il quale propone un cambio di paradigma nella formazione degli insegnanti di sostegno. L'utilizzo dell'AI in contesti inclusivi richiede infatti competenze tecniche specifiche legate alle tecnologie assistive, ma anche una capacità interpretativa e relazionale elevata, per garantire un uso etico e personalizzato degli strumenti intelligenti. L'insegnante assume così un ruolo ibrido, tra facilitatore pedagogico e mediatore tecnologico.

Anche nei contesti aziendali, il cambiamento è profondo. Il paper *Navigating the Future: Integrating AI and Machine Learning in HR Practices for a Digital Workforce (2024)* mostra come i professionisti delle risorse umane siano sempre più chiamati a interpretare output analitici, utilizzare strumenti predittivi e prendere decisioni basate sui dati. L'evoluzione del ruolo HR implica una combinazione tra capacità tecniche e soft skill gestionali, che rende centrale la formazione continua.

Lo stesso tema emerge in *AI-based Human Resource Management Tools and Techniques: A systematic literature review (2023)*, dove l'adozione di strumenti AI nei processi HR è analizzata come leva per la trasformazione delle competenze professionali. Oltre alle abilità nell'uso di piattaforme intelligenti per selezione, performance management e engagement, il paper evidenzia la necessità di skill critiche e relazionali per interpretare correttamente i dati e gestire i processi automatizzati in modo etico e consapevole.

In linea con questa analisi, *The Role of Upskilling and Reskilling for Talent Transformation in the Era of AI (2024)* sottolinea la centralità di strategie formative che combinino competenze tecniche (machine learning, AI engineering, data management) con capacità trasversali quali pensiero critico, apprendimento continuo e leadership adattiva. L'equilibrio tra hard e soft skill rappresenta una condizione abilitante per una trasformazione sostenibile del capitale umano.

Questa esigenza di aggiornamento costante è confermata anche dal *Avanade AI Readiness Report (2023)*, secondo cui il 79% dei lavoratori riconosce la necessità di acquisire nuove competenze per sfruttare appieno le potenzialità dell'AI generativa. Il report rafforza l'idea che l'introduzione dell'AI nei luoghi di lavoro stia cambiando non solo le attività operative, ma anche le aspettative formative e le traiettorie professionali.

Dal punto di vista tecnico più avanzato, il paper *Corun: Concurrent Inference and Continuous Training at the Edge for Cost-Efficient AI-Based Mobile Image Sensing* (2024) introduce una riflessione sulle competenze richieste nei contesti edge-based. La gestione simultanea di inferenze e training su dispositivi a risorse limitate implica una padronanza di concetti come il parallel computing, il performance tuning e la modellazione di architetture efficienti. Si tratta di competenze ingegneristiche ad alta specializzazione, sempre più centrali nei contesti produttivi distribuiti.

Un ulteriore approfondimento tecnico è offerto dal contributo *A Continuous Training Approach for Risk-Informed Supplier Selection and Order Allocation* (2025), che evidenzia l'importanza di competenze integrate per lo sviluppo e la manutenzione di sistemi AI nei processi decisionali industriali. In particolare, emerge la necessità di team interdisciplinari che sappiano gestire simultaneamente aspetti di machine learning, ottimizzazione e modellazione dei rischi, confermando la crescente complessità cognitiva dei profili professionali richiesti.

Infine, *Towards an AI-Driven Business Development Framework* (2023) propone un modello iterativo di integrazione dell'AI nei processi di business, che richiede competenze tecniche nella selezione e tuning degli algoritmi, ma anche abilità trasversali fondamentali per favorire la collaborazione tra i team tecnici e i decision-maker aziendali. Il successo dei progetti AI dipende infatti dall'efficace mediazione tra domini disciplinari diversi, rendendo necessario un nuovo tipo di professionalità "ponte" tra tecnologia e strategia.

Nel complesso, i contributi analizzati mostrano come la transizione verso organizzazioni AI-driven richieda una profonda ridefinizione delle competenze tecniche e decisionali. La padronanza degli strumenti non è sufficiente: diventa necessario saperli governare in modo critico, integrando conoscenze analitiche, consapevolezza etica e capacità di visione sistemica.

3.1.2) Formazione ibrida, upskilling e soft-skill

La trasformazione dei contesti lavorativi guidata dall'intelligenza artificiale richiede un ripensamento profondo delle strategie formative. Non è più sufficiente acquisire competenze tecniche isolate: l'adozione dell'AI implica la costruzione di percorsi di apprendimento ibridi, capaci di integrare hard skill e soft skill, adattabilità e riflessività. L'upskilling diventa così non solo un processo tecnico, ma anche un'evoluzione cognitiva e culturale dell'identità professionale.

In questa direzione, *The Role of Upskilling and Reskilling for Talent Transformation in the Era of AI* (2024) rappresenta un punto di riferimento teorico fondamentale. Il paper sottolinea la necessità di strategie formative flessibili, adattive e orientate al lifelong learning, in grado di preparare i lavoratori ad affrontare la crescente automazione e l'interazione con sistemi intelligenti. Non si tratta solo di trasferire competenze tecniche, ma di costruire contesti in cui il pensiero critico, la capacità di apprendere e la consapevolezza etica siano stimolati e valorizzati.

Anche nel contesto educativo, la sfida dell'upskilling richiede un'attenzione alla formazione iniziale dei docenti. Il paper *Preservice Teachers' Readiness Towards Integrating AI-Based Tools in Education: A TPACK Approach* (2024) analizza il divario tra preparazione teorica e competenze pratiche nell'uso dell'AI da parte degli insegnanti in formazione. La mancanza di esperienze concrete e l'assenza di percorsi formativi interdisciplinari impediscono spesso un utilizzo efficace e critico degli strumenti intelligenti. In questo senso, risulta evidente la necessità di sviluppare una "pedagogia dell'AI" che integri tecnologie, contenuti disciplinari e competenze didattiche.

Una proposta concreta per colmare questo divario è offerta dal paper *Artificial Intelligence in Higher Education: Proposal for a Transversal Curricular Unit* (2025), che suggerisce l'introduzione di un'unità curricolare trasversale sull'AI nei corsi universitari. Il modello proposto si fonda su metodologie attive come il problem-based learning, i project work e lo sviluppo di casi studio, con l'obiettivo di formare studenti capaci di usare l'AI in modo riflessivo e contestualizzato. Ciò

contribuisce a superare l'idea che l'AI sia solo una competenza tecnica, riconoscendole un ruolo trasformativo nella formazione della cittadinanza digitale.

Infine, lo studio *AI-Based Equipment Optimization of the Design on Intelligent Education Curriculum System* (2022) contribuisce a rafforzare questa visione ibrida della formazione, sottolineando l'importanza di formare i docenti anche dal punto di vista analitico e interpretativo. L'uso dei big data educativi e dei sistemi di raccomandazione personalizzati richiede infatti non solo competenze tecniche, ma anche la capacità di leggere criticamente gli output, di contestualizzarli rispetto agli obiettivi didattici e di integrarne le indicazioni con sensibilità pedagogica.

L'insieme di questi contributi conferma che l'upskilling nell'era dell'AI non può essere ridotto a una mera trasmissione di conoscenze tecniche. Occorre costruire una cultura formativa fondata su competenze integrate, in cui la padronanza degli strumenti si accompagna alla consapevolezza critica, alla capacità di adattamento e alla riflessività pedagogica. La formazione ibrida emerge come condizione necessaria per un'interazione efficace e sostenibile tra esseri umani e sistemi intelligenti, tanto nei contesti produttivi quanto in quelli educativi.

3.1.3) Collaborazione uomo–AI, metacognizione e agency

L'adozione dell'intelligenza artificiale nei contesti professionali e formativi ha evidenziato la necessità di sviluppare nuove modalità di interazione tra esseri umani e sistemi intelligenti. Oltre alla competenza tecnica, diventa centrale la capacità metacognitiva di comprendere, guidare e riflettere criticamente sull'interazione uomo–macchina. Questo implica non solo il saper usare gli strumenti AI, ma il saperli interrogare, valutare e controllare, mantenendo un ruolo attivo e consapevole nei processi decisionali mediati dalla tecnologia.

Una delle evidenze empiriche più significative in questo ambito è fornita dal paper *Navigating the Jagged Technological Frontier* (2024), che analizza l'effetto dell'adozione di GPT-4 tra i knowledge worker di Boston Consulting Group. Lo studio mette in luce due modelli emergenti di collaborazione uomo–AI: il modello *Centaur*, in cui il lavoro è suddiviso tra le parti umane e artificiali, e il modello *Cyborg*, che prevede una profonda integrazione tra i due. I risultati dimostrano che i lavoratori che avevano ricevuto un training specifico sul prompt engineering hanno ottenuto performance superiori, suggerendo che l'efficacia dell'interazione AI dipende dalla qualità dell'engagement cognitivo umano. Questa evidenza sottolinea l'importanza di sviluppare capacità di controllo, supervisione critica e adattamento dinamico, in un contesto in cui la frontiera tecnologica è definita come "frastagliata" e non omogeneamente prevedibile.

In continuità con questa analisi, il paper *Dungeons & Deepfakes: Using Scenario-Based Role-Play to Study Journalists' Behavior Towards Using AI-Based Verification Tools for Video Content* (2024) esplora il comportamento dei giornalisti alle prese con strumenti AI per l'identificazione dei deepfake. Lo studio rivela un rischio concreto di *overreliance*, ovvero la tendenza a delegare in modo acritico la valutazione dell'autenticità ai sistemi automatici. I giornalisti più esperti, invece, mostrano comportamenti metacognitivamente più raffinati, integrando l'AI con pratiche giornalistiche consolidate. L'aspetto più rilevante di questo studio risiede nella sua capacità di mettere in discussione l'idea che l'uso dell'AI sia neutro o automaticamente efficiente: senza adeguate competenze critiche e riflessive, l'interazione rischia di diventare meccanica, passiva e persino distorsiva.

Questa riflessione trova ulteriore supporto nel paper *On the Use of AI-Based Tools like ChatGPT to Support Management Research* (2023), che propone una guida metodologica per l'uso consapevole dell'AI generativa nella ricerca manageriale. Gli autori sottolineano che l'efficacia dell'interazione con strumenti come ChatGPT dipende dalla capacità di strutturare *prompt* coerenti, interpretare criticamente gli output e integrare i risultati nel processo cognitivo umano. In quest'ottica, la competenza chiave non è solo tecnica, ma anche metacognitiva: si tratta di sviluppare una *agency*

riflessiva nella gestione degli strumenti, che consenta di mantenerne il controllo semantico e l'allineamento con gli obiettivi cognitivi del ricercatore.

Questa evidenza si collega in modo coerente con quanto emerso dallo studio *The Effect of Generative AI-Based Tool Use on Students' Computational Thinking Skills, Programming Self-Efficacy and Motivation* (2023), in cui l'interazione con ChatGPT ha mostrato effetti positivi sullo sviluppo di competenze computazionali tra gli studenti. L'aspetto più interessante riguarda il rafforzamento simultaneo di competenze tecniche (come la programmazione e il pensiero algoritmico) e trasversali (come la motivazione, la riflessione e l'autoefficacia). Il contatto guidato con strumenti generativi si rivela un acceleratore cognitivo, capace di stimolare la riflessione critica e la consapevolezza dei propri processi mentali, confermando così l'importanza della metacognizione nella formazione professionale del futuro.

Nel loro insieme, questi studi convergono verso un quadro teorico in cui la collaborazione uomo–AI non può essere interpretata come una semplice distribuzione di compiti, ma come un processo relazionale e cognitivo complesso. Per interagire efficacemente con sistemi intelligenti, i lavoratori devono saper interpretare gli output, valutare i limiti dell'automazione, integrare la propria intuizione e riflessione con le risposte generate dall'AI, e soprattutto mantenere la propria agency nelle scelte. La metacognizione, intesa come riflessione critica sui propri processi di pensiero, diventa quindi una competenza fondamentale per garantire un'interazione simbiotica e responsabile con l'intelligenza artificiale.

3.1.4) Etica, governance e profili ibridi settoriali

Nel contesto dell'adozione diffusa dell'intelligenza artificiale, si afferma una duplice esigenza: da un lato, sviluppare competenze etiche e di governance in grado di garantire un uso responsabile della tecnologia; dall'altro, promuovere profili ibridi capaci di integrare saperi tecnici, gestionali e relazionali nei diversi settori applicativi. Questa sezione esplora entrambe le dimensioni, mettendo in luce le competenze richieste per governare sistemi AI in contesti complessi e per valorizzare le sinergie tra umano e macchina.

Analogamente il paper *The Era of AI: Upholding Ethical Leadership* (2023) sottolinea il ruolo strategico delle competenze etiche nei contesti organizzativi digitalizzati. L'autore evidenzia come la leadership etica debba saper coniugare responsabilità sociale, mediazione interpersonale e pensiero critico, per guidare l'adozione dell'AI in modo sostenibile e inclusivo. Questo approccio rafforza l'idea che le competenze etiche non siano un accessorio, ma una componente imprescindibile delle professionalità richieste nell'era dell'intelligenza artificiale.

Una visione ancora più ampia è offerta dal paper *Competencies for the artificial intelligence age: visualisation of the state of the art and future perspectives* (2023), che, attraverso un'analisi bibliometrica, mostra l'evoluzione delle competenze richieste nel tempo. L'autore evidenzia un passaggio progressivo dalle competenze orientate al cambiamento, a quelle centrate sulla data science, fino alla crescente enfasi sulle soft skill come self-efficacy, adattabilità e pensiero critico. In questo quadro, le competenze relazionali diventano il "fattore chiave" per un'adozione sostenibile dell'AI, contribuendo a ridurre il gap tra progresso tecnologico e capacità umane di adattamento.

Questa evidenza si collega alle considerazioni emerse nel settore sanitario. Il paper *Addressing the Challenges of AI-Based Telemedicine: Best Practices and Lessons Learned* (2023) dimostra come, accanto a competenze tecniche avanzate per l'utilizzo di strumenti diagnostici intelligenti, sia indispensabile possedere abilità comunicative, culturali ed etiche. I professionisti sanitari devono essere in grado di gestire la relazione con il paziente in ambienti digitalizzati, comprendendo le implicazioni delle decisioni automatizzate. La qualità del servizio dipende, in ultima analisi, dalla capacità di integrare competenze tecnologiche e relazionali.

Una riflessione analoga si estende al settore delle risorse umane. Il paper *Navigating the Future: Integrating AI and Machine Learning in HR Practices for a Digital Workforce* (2024) evidenzia la trasformazione del ruolo HR, sempre più orientato verso funzioni strategiche e data-driven. Gli specialisti devono saper interpretare output analitici, comunicare insight complessi e gestire processi di cambiamento organizzativo. L'integrazione tra competenze tecniche e abilità relazionali diventa così cruciale per accompagnare efficacemente la transizione verso modelli di gestione supportati dall'AI.

Questa tendenza è ulteriormente confermata dal paper *AI-Driven Transformation of HR Managers' Role in Training of Employees* (2024), che sottolinea l'emergere di profili ibridi nei team HR. I manager sono chiamati a supervisionare sistemi intelligenti, facilitare l'upskilling continuo e promuovere un ambiente di apprendimento personalizzato, basato su feedback automatizzati. Il valore umano si sposta dalla mera esecuzione alla guida strategica dei processi formativi e decisionali.

Una figura ibrida particolarmente rilevante è quella dell'ingegnere MLOps, descritta nel paper *Decoding MLOps: Bridging the Gap Between Data Science and Operations for Scalable AI Systems* (2024). Questo profilo professionale connette le attività di sviluppo e operatività, gestendo modelli AI in ambienti complessi e garantendo l'efficienza dei sistemi attraverso competenze di versioning, CI/CD e monitoraggio continuo. Il successo dei progetti AI dipende dalla capacità di questi attori di integrare skill ingegneristiche e relazionali in team multidisciplinari.

In maniera analoga, il paper *Integrating AI into DevOps Pipelines: Continuous Integration, Continuous Delivery, and Automation in Infrastructural Management* (2024) conferma che la piena adozione dell'AI in ambito DevOps richiede non solo competenze avanzate in machine learning e automazione, ma anche la capacità di adattare i processi operativi in base agli output predittivi. La collaborazione uomo-AI assume qui una configurazione simbiotica, in cui la capacità di lettura critica degli insight diventa tanto importante quanto la loro generazione.

Il settore della cybersecurity offre un ulteriore esempio della centralità dei profili ibridi. Il paper *Cybersecurity Workforce Development: Bridging the Skills Gap in the Age of Automation* (2024) evidenzia che, accanto alla padronanza di strumenti di difesa intelligenti, i professionisti devono possedere capacità analitiche e decisionali elevate, nonché un'elevata resilienza cognitiva. In contesti ad alta intensità di rischio, il contributo umano resta imprescindibile, e la formazione deve abilitare un'interazione critica e consapevole con i sistemi automatici.

Mantenendo un focus con questa analisi, il paper *Prevention of Phishing Attacks Using AI-Based Cybersecurity Awareness Training* (2022) mostra come la formazione degli utenti finali sia centrale per costruire una difesa efficace contro le minacce digitali. L'efficacia dei training AI-driven dipende dalla capacità di combinare alfabetizzazione tecnica e competenze cognitive, come la consapevolezza situazionale e la capacità di valutare segnali ambigui.

Anche nel marketing emergono esigenze di riqualificazione. Il paper *Artificial Intelligence Marketing and Customer Satisfaction: An Employee Job Security Threat Review* (2024) evidenzia la crescente necessità, da parte dei lavoratori, di acquisire competenze specifiche per l'analisi dei customer insights, la gestione predittiva e la lettura critica dei dati generati dagli algoritmi. In un contesto in cui l'AI modifica radicalmente le modalità di interazione con i clienti, il valore umano risiede nella capacità di contestualizzare e mediare le informazioni automatizzate.

Il settore farmaceutico, invece, richiede una combinazione di bioinformatica, deep learning e sensibilità clinica. Il paper *Revolutionizing Drug Discovery: The Impact of Artificial Intelligence on Advancements in Pharmacology and the Pharmaceutical Industry* (2024) mostra che, per sfruttare pienamente l'AI nella scoperta di farmaci e nella personalizzazione delle terapie, è necessario formare figure professionali capaci di interagire criticamente con i dati clinici, comprendere le logiche

dei modelli e comunicarne efficacemente i risultati. La convergenza tra competenze scientifiche e relazionali è qui particolarmente evidente.

Nella pubblica amministrazione, il paper *Examining How AI Capabilities Can Foster Organizational Performance in Public Organizations* (2023) evidenzia che, mentre l'automazione e l'analisi predittiva hanno portato benefici significativi, l'engagement tra AI e personale rimane un'area critica. Per realizzare appieno il potenziale dell'AI, è necessario sviluppare competenze gestionali e comunicative, capaci di mediare tra le soluzioni tecnologiche e il capitale umano delle organizzazioni pubbliche.

La riflessione trova una sistematizzazione nel paper *AI in the Workplace: A Systematic Review of Skills* (2024), che offre una mappatura delle competenze richieste nei diversi settori. Lo studio evidenzia la centralità di skill trasversali, come cooperazione interfunzionale, pensiero critico e apprendimento continuo, nel garantire una collaborazione efficace tra esseri umani e sistemi intelligenti.

Questa evidenza si collega al paper *AI-Employee Collaboration and Business Performance* (2022), che propone un modello basato sull'integrazione della Knowledge-Based View e della teoria dei sistemi socio-tecnici. I risultati mostrano che la performance aziendale dipende non solo dalla qualità dei sistemi AI, ma dalla capacità dei dipendenti di collaborare consapevolmente con essi, grazie a competenze specifiche, fiducia e condivisione della conoscenza.

Un caso paradigmatico di formazione ibrida è offerto dal paper *Integration of Architecture and Communication: A Transversal Learning Methodology Empowered by Artificial Intelligence Tools* (2024), che mostra come l'adozione di strumenti AI in ambito accademico stimoli la cooperazione tra studenti di discipline diverse. Il lavoro evidenzia la necessità di competenze tecniche come il prompt engineering e di abilità trasversali, come la comunicazione e la creatività, per tradurre concetti astratti in soluzioni visive concrete.

Infine, il contributo concettuale offerto dal paper *Directions in Hybrid Intelligence: Complementing AI Systems with Human Intelligence* (2016) amplia il quadro tradizionale delle competenze, sottolineando l'importanza della metacognizione e dell'interazione uomo-macchina. L'autore propone approcci come il *student-teacher training* e l'apprendimento interattivo, che richiedono competenze non solo tecniche, ma anche riflessive e adattive, confermando la centralità del capitale umano nella gestione dell'AI.

In definitiva, il panorama tracciato da questi studi mostra che l'adozione dell'intelligenza artificiale nei settori applicativi non può prescindere da una ridefinizione profonda delle competenze: non si tratta solo di padroneggiare tecnologie avanzate, ma di costruire un equilibrio dinamico tra sapere tecnico, capacità relazionale ed etica operativa, per garantire che l'interazione uomo-macchina sia davvero un motore di innovazione sostenibile.

3.2) Il divario di competenze: confronto tra le richieste del mercato e le competenze attuali

3.2.1) Mismatch organizzativo e competenze emergenti

Il divario tra le competenze richieste e quelle effettivamente presenti all'interno delle organizzazioni costituisce una delle prime criticità emerse nell'adozione dell'intelligenza artificiale. Questo disallineamento non riguarda solo le capacità tecniche, ma si estende anche alla dimensione strategica, gestionale e culturale delle imprese, compromettendo la possibilità di integrare efficacemente l'AI nei processi produttivi e decisionali.

Il paper *AI-Driven Transformation of HR Managers' Role in Training of Employees* (2024) affronta direttamente il tema del mismatch, sottolineando l'urgenza di supportare i dipendenti nell'identificare

le competenze ormai superate e nel riconoscere le nuove abilità necessarie per operare in ambienti digitalizzati. Questo contributo è particolarmente rilevante perché evidenzia come anche i ruoli HR debbano evolvere, diventando catalizzatori della trasformazione e promotori di percorsi di upskilling mirati. La questione è rafforzata dai dati del *PwC AI Jobs Barometer (2024)*, secondo cui le competenze richieste nei settori più esposti all'AI cambiano a un ritmo superiore al 25% annuo. Tale rapidità implica che le organizzazioni non possano più affidarsi a cicli formativi statici, ma debbano adottare approcci di apprendimento continuo e adattivo.

Questa evidenza si collega allo studio *Methodological Approach to Assessing the Current State of Organizations for AI-Based Digital Transformation* (Aldoseri, Al-Khalifa & Hamouda, 2024), che denuncia la mancanza di una visione strutturata sulle competenze esistenti e sui fabbisogni futuri. In molte realtà aziendali, la difficoltà di reperire profili come data scientist o ingegneri AI è aggravata dall'assenza di strumenti per identificare le lacune formative, rendendo inefficaci o disallineate le strategie di digital transformation. Questo limite organizzativo si traduce in un rallentamento dell'adozione dell'AI e in un uso subottimale delle tecnologie disponibili.

Il paper *Artificial Intelligence in Enterprises: How Staff Competencies Requirements of Business Organizations are Evolving through the Integration of Artificial Intelligence* (2024) rafforza questa diagnosi, evidenziando come l'accelerazione tecnologica stia amplificando il gap di competenze, in particolare in contesti geografici e settori industriali meno digitalmente maturi. Nonostante l'investimento in sistemi intelligenti, molte organizzazioni non riescono a sfruttarne il pieno potenziale a causa dell'inadeguata preparazione della forza lavoro. Ne emerge l'immagine di un'innovazione "strozzata" dall'insufficienza del capitale umano, che agisce come vincolo strutturale alla valorizzazione delle tecnologie AI.

In aggiunta a questa riflessione, il contributo *Cybersecurity Workforce Development: Bridging the Skills Gap in the Age of Automation* (2024) propone un caso paradigmatico: quello della sicurezza informatica. La domanda di professionisti in cybersecurity avanzata supera di gran lunga l'offerta, aggravata dalla lentezza con cui i programmi educativi si aggiornano rispetto alle nuove minacce e tecnologie. Il paper suggerisce che il mismatch non sia solo una questione di volume, ma anche di aggiornamento qualitativo dei contenuti formativi, che spesso restano ancorati a modelli pre-digitali.

Un'ulteriore prospettiva è offerta da *The Role of Upskilling and Reskilling for Talent Transformation in the Era of AI* (2024), che propone un'interpretazione teorica del divario di competenze fondata sulla Human Capital Theory, sulla Resource-Based View e sulle Dynamic Capabilities. L'originalità del contributo risiede nell'analisi integrata di queste tre cornici, che consentono di interpretare il mismatch non solo come una mancanza tecnica, ma come un sintomo di una debolezza strategica più profonda, legata all'incapacità di valorizzare il capitale umano come risorsa competitiva dinamica.

Infine, il paper di Vankevich e Kalinouskaya (2020) – *Ensuring Sustainable Growth Based on the Artificial Intelligence Analysis and Forecast of In-Demand Skills* – propone un approccio quantitativo innovativo per analizzare il mismatch: l'uso dell'AI per mappare, attraverso scraping e analisi semantica, le competenze richieste nei job posting e confrontarle con i CV dei candidati. Il valore aggiunto dello studio risiede nella sua capacità di superare le distorsioni tipiche dei sondaggi e delle rilevazioni amministrative, offrendo una fotografia più dinamica e realistica della domanda di lavoro. Il risultato è un'indicazione chiara: molte delle competenze richieste, ad esempio nel caso del business analyst, sono scarsamente rappresentate nei curricula, a riprova dell'asimmetria tra sistema formativo e bisogni reali del mercato.

Nel complesso, questa prima serie di contributi mette in luce un problema sistemico: il disallineamento tra organizzazioni, tecnologie e competenze. L'adozione dell'AI non può essere efficace senza un ripensamento radicale delle strategie formative e delle pratiche di gestione del capitale umano, capaci di colmare in modo proattivo il mismatch emergente.

3.2.2) Dinamiche di upskilling e strumenti di misurazione

L'evoluzione delle tecnologie intelligenti non si limita a creare nuove esigenze professionali: impone anche una riconfigurazione dei criteri con cui vengono valutate e sviluppate le competenze. In questo quadro, il tema dell'upskilling assume un rilievo centrale, ma risulta efficace solo se supportato da strumenti in grado di misurare in modo dinamico e accurato la distanza tra le capacità richieste e quelle effettivamente disponibili.

L'articolo *Skills or Degree: The Rise of Skill-Based Hiring for AI and Green Jobs* (2024) evidenzia come nei settori ad alta intensità tecnologica, in particolare AI e green economy, stia emergendo una nuova logica selettiva: il valore delle competenze pratiche prevale su quello dei titoli di studio. L'analisi condotta su oltre 11 milioni di annunci di lavoro nel Regno Unito mostra che il premio salariale associato a master e PhD tende a ridursi, mentre aumenta significativamente (+23%) quello legato al possesso di skill specifiche. Questo cambiamento evidenzia un disallineamento strutturale tra i sistemi formativi tradizionali e le esigenze del mercato, rendendo urgente un aggiornamento delle offerte educative.

In continuità con questa riflessione, il paper *The Digital Skills Gap: Is it Time to Rethink the Needs of Tourism and Hospitality* (2024) focalizza l'attenzione su un settore spesso trascurato nei dibattiti tecnologici: quello dell'ospitalità e del turismo. L'indagine condotta nel Regno Unito rivela un'evidente vulnerabilità del comparto, legata all'incapacità di integrare competenze digitali avanzate, come realtà aumentata e robotica, nelle PMI del settore. Il gap risulta tanto più critico in quanto compromette direttamente la competitività e la capacità di innovazione delle imprese coinvolte.

Il tema della polarizzazione delle competenze è ulteriormente sviluppato nel paper *Effects of AI Feedback on Learning, the Skill Gap, and Intellectual Diversity* (2024), che evidenzia un effetto controintuitivo: l'utilizzo di feedback AI, anziché ridurre le disparità, tende ad amplificarle. I lavoratori più competenti riescono a trarre maggiore beneficio dai suggerimenti automatici, mentre quelli meno preparati non solo migliorano poco, ma possono addirittura peggiorare le proprie performance. Questa dinamica conferma che le soluzioni digitali, se non accompagnate da strategie formative mirate, rischiano di aumentare il divario anziché colmarlo.

A questa evidenza si collega il contributo *AI-Employee Collaboration and Business Performance* (2022), che sposta l'attenzione sulle condizioni organizzative necessarie per valorizzare la collaborazione uomo-macchina. L'articolo mostra che l'assenza di formazione interna, chiarezza nei ruoli e fiducia nei sistemi intelligenti può ostacolare gravemente l'adozione dell'AI, generando una frattura tra il potenziale tecnologico disponibile e le reali capacità del personale. Questo suggerisce che il problema del mismatch non è solo tecnico, ma anche relazionale e sistemico.

Un approccio metodologico più avanzato è proposto dal paper *A Cross-View Hierarchical Graph Learning Hypernetwork for Skill Demand-Supply Joint Prediction* (2024), che affronta direttamente il problema della misurazione del gap tra domanda e offerta di competenze. Il modello CHGH, basato su grafi gerarchici e tecniche di attenzione, consente di mappare in modo dinamico le interazioni tra skill emergenti e mercati del lavoro. Rispetto ai metodi tradizionali, questa soluzione permette una previsione congiunta più accurata, utile per orientare strategie di workforce planning e definire priorità formative.

Una prospettiva critica viene infine offerta dal paper *AI and Personalized Learning Bridging the Gap with Modern Educational Goals* (2024), che mette in discussione l'efficacia dei sistemi di apprendimento personalizzato basati su AI. Sebbene tali strumenti siano efficienti nella trasmissione dei contenuti, spesso trascurano lo sviluppo di competenze trasversali essenziali, come autoregolazione, collaborazione e pensiero critico. Il rischio è che, nel tentativo di ottimizzare le

performance individuali, venga sacrificata la formazione integrale necessaria per affrontare le sfide del lavoro digitale.

Complessivamente, emerge dunque un quadro sfaccettato in cui il vero nodo non è soltanto acquisire nuove skill, ma disporre di strumenti adeguati per misurarle, valorizzarle e integrarle strategicamente: solo così l'upskilling potrà trasformarsi da esigenza teorica a leva concreta di competitività e inclusione.

3.2.3) Gap socio-geografici e macro-strategie

Il divario di competenze legato all'intelligenza artificiale non si distribuisce in modo uniforme tra settori e territori, ma riflette diseguaglianze strutturali di natura socioeconomica, geografica e culturale. Questa sottosezione approfondisce come tali disallineamenti incidano sulle dinamiche di adozione dell'AI, evidenziando l'urgenza di strategie sistemiche per superare gli squilibri esistenti.

Il paper *How Artificial Intelligence Could Widen the Gap Between Rich and Poor Nations* (2020) introduce una prospettiva macroeconomica cruciale, sottolineando come i paesi in via di sviluppo si trovino in una condizione di vulnerabilità strutturale rispetto all'adozione dell'AI. I lavoratori di questi contesti risultano mediamente meno preparati a interagire con tecnologie avanzate, a causa della mancanza di competenze digitali di base e di una minore disponibilità di infrastrutture formative. Questo gap, oltre a compromettere la competitività economica, rischia di amplificare le disuguaglianze globali, ponendo un limite concreto alla capacità di beneficiare delle opportunità offerte dall'AI.

Seguendo questo approccio, lo studio *Artificial Intelligence in Developing Countries: Bridging the Gap Between Potential and Implementation* (2023) mostra come nei paesi emergenti il potenziale trasformativo dell'AI sia ostacolato non solo dalla carenza di competenze tecniche, ma anche dall'assenza di politiche coordinate di formazione, investimento in capitale umano e sostegno infrastrutturale. I settori chiave come sanità, agricoltura ed educazione soffrono di una cronica scarsità di personale qualificato, rendendo difficile implementare soluzioni intelligenti in modo efficace e sostenibile.

Questa evidenza si collega alla riflessione proposta da *AI Revolutionizing Industries Worldwide: A Comprehensive Overview of its Diverse Applications* (2024), che pur adottando una prospettiva settoriale, sottolinea come l'introduzione dell'AI stia rafforzando la polarizzazione del mercato del lavoro. In molti settori, la nascita di nuovi ruoli ad alta qualificazione si accompagna alla marginalizzazione di mansioni routinarie e scarsamente digitalizzate. Il risultato è un'accresciuta distanza tra chi possiede competenze avanzate e chi rischia di rimanere escluso dal mercato, accentuando il mismatch e le diseguaglianze esistenti.

Il contributo di *Emerging Digital Technologies and Auditing Firms: Opportunities and Challenges* (2024) conferma come anche nei contesti professionali più regolamentati, come quello delle società di revisione, il divario di competenze sia reso evidente dall'introduzione di tecnologie digitali. La carenza di skill in ambito IT e data analytics è particolarmente critica nelle fasi iniziali dell'adozione, costringendo le organizzazioni a cercare nuovi profili professionali o a riformulare le pratiche di assunzione. Questo cambiamento richiama la necessità di un ripensamento sistemico della formazione universitaria, ancora troppo ancorata a paradigmi tradizionali.

In parallelo, il paper *Artificial Intelligence-Enabled Business Model Innovation: Competencies and Roles of Top Management* (2024) amplia il raggio dell'analisi includendo anche i ruoli dirigenziali nel dibattito sul mismatch. Gli autori sostengono che i top manager, sebbene non chiamati a padroneggiare tecnicamente le tecnologie AI, debbano comunque acquisire una comprensione strategica delle loro potenzialità e limiti. Le competenze richieste oggi per guidare l'innovazione organizzativa richiedono una mentalità data-driven e la capacità di astrarre i meccanismi delle

tecnologie intelligenti per prendere decisioni informate: aspetti che, secondo il paper, sono ancora largamente assenti nei profili manageriali attuali.

Questo ragionamento trova ulteriore supporto nel contributo di *A Competency Framework for Training of AI Projects Managers in the Digital and AI Era (2023)*, che mette in luce la persistente distanza tra offerta formativa e bisogni reali del mercato in relazione alla figura del project manager AI. L'analisi evidenzia la scarsità di percorsi educativi che sappiano integrare competenze tecniche, etiche e relazionali, indispensabili per la gestione efficace di progetti complessi. L'assenza di un approccio interdisciplinare lascia scoperti ruoli chiave, rallentando l'adozione dell'AI e aumentando il rischio di implementazioni inefficaci.

Infine, il report *The Impact of Artificial Intelligence on Workers' Skills: Upskilling and Reskilling in Organisations (2023)* rafforza questa diagnosi prospettica, stimando che entro il 2030 circa il 50% dei lavoratori dovrà essere riqualficato per rispondere alle trasformazioni indotte dall'AI. L'impatto occupazionale della tecnologia, secondo gli autori, sarà dirimpente: oltre 375 milioni di persone potrebbero dover cambiare professione. Questa proiezione richiama l'urgenza di politiche pubbliche e aziendali che vadano oltre l'adeguamento tecnico, promuovendo una vera cultura del lifelong learning.

Si può affermare come il superamento dei gap socio-geografici richieda un cambio di paradigma: non bastano interventi localizzati o soluzioni tecniche puntuali, ma servono strategie multilivello capaci di armonizzare politiche educative, investimenti infrastrutturali e innovazione organizzativa su scala globale.

3.2.4) Applicazioni settoriali e modelli previsionali

Il divario di competenze legato all'intelligenza artificiale non si manifesta in modo uniforme, ma assume caratteristiche peculiari nei diversi settori produttivi e nelle relative strategie di trasformazione. Molti comparti industriali stanno affrontando una transizione che non può prescindere da una riconfigurazione sistemica delle skill richieste. Le analisi di settore, insieme ai modelli previsionali basati su intelligenza artificiale, offrono un quadro articolato delle competenze emergenti e delle criticità da affrontare.

Il paper *How AI Revolutionizes Innovation Management – Perceptions and Implementation Preferences of AI-Based Innovators (2022)* identifica tra le principali barriere all'adozione dell'AI la mancanza di competenze tecniche e la difficoltà nel reperire talenti specializzati. Questo limite emerge come elemento trasversale nei processi di innovazione manageriale, dove l'insufficienza di competenze adeguate frena le potenzialità trasformative dell'intelligenza artificiale all'interno delle organizzazioni.

In continuità con questa analisi, lo studio *Artificial Intelligence in Logistics and Supply Chain Management: A Primer and Roadmap for Research (2023)* mette in luce la carenza di figure esperte in machine learning, data science e automazione operativa come una delle principali barriere all'adozione dell'AI nel settore logistico e della supply chain. L'articolo sottolinea come le tecnologie intelligenti richiedano un cambiamento radicale nei modelli operativi, reso difficoltoso dalla mancanza di competenze specifiche. Questo scenario evidenzia la necessità di strategie formative mirate e di una nuova progettazione delle funzioni aziendali.

L'articolo *Analyzing the Impacts of A.I. on Employment and More in the Primary, Secondary, and Tertiary Sectors (2024)* amplia il discorso a livello intersettoriale, illustrando come il mismatch tra le competenze disponibili e quelle richieste sia particolarmente critico nei contesti ad alta routinarietà. L'adozione dell'AI comporta una polarizzazione del mercato del lavoro: mentre crescono le professioni ad alta qualificazione, si riducono le opportunità per i ruoli a basso contenuto cognitivo.

Questa tendenza, se non accompagnata da politiche formative efficaci, rischia di amplificare le disuguaglianze sociali e occupazionali.

Un'analisi più teorica ma non meno rilevante è proposta dal paper *A Multilevel Review of Artificial Intelligence in Organizations: Implications for Organizational Behavior Research and Practice* (Bankins, 2023), che distingue tra tecnologie labor-displacing e labor-reinstating. Le prime sostituiscono compiti ripetitivi e aumentano il rischio di obsolescenza per i lavoratori meno qualificati, mentre le seconde generano nuove mansioni ad alta intensità cognitiva. Questo dualismo rende evidente la necessità di riqualificare ampie fasce della popolazione attiva, soprattutto nei settori più esposti all'automazione.

L'analisi si collega al contributo di *Artificial Intelligence-Driven Sustainable Development: Examining Organizational, Technical, and Processing Approaches to Achieving Global Goals* (2023), che sottolinea l'importanza di sviluppare il capitale umano per garantire un'implementazione efficace dell'AI. Il paper ribadisce che senza un piano strategico di formazione e riqualificazione, l'introduzione di tecnologie intelligenti rischia di rimanere confinata a un'élite di organizzazioni già digitalmente mature, ampliando il divario tra chi può innovare e chi resta indietro.

Nel settore manifatturiero, il paper *The Future of Automotive Manufacturing: Integrating AI, ML, and Generative AI for Next-Gen Automatic Cars* (2024) evidenzia come l'adozione di tecnologie avanzate implichi una crescente domanda di skill in ambiti come la progettazione assistita, la simulazione virtuale e il machine learning. Anche in questo caso, il gap tra le competenze richieste e quelle effettivamente disponibili costituisce un ostacolo rilevante alla transizione digitale e richiede un ripensamento dei percorsi formativi.

In modo coerente, il report *Impact of Artificial Intelligence on Employees Working in Industry 4.0 Led Organizations* (2024) mette in luce una barriera di tipo culturale e cognitivo: il 12% degli intervistati dichiara difficoltà nel comprendere le tecnologie AI più avanzate. Questo dato segnala l'urgenza di progettare interventi educativi accessibili, in grado di facilitare l'integrazione dei lavoratori nei nuovi contesti tecnologici e ridurre il senso di esclusione che può accompagnare i cambiamenti radicali.

Chiude la sezione il paper *Artificial Intelligence Capability: Conceptualization, Measurement Calibration, and Empirical Study* (2021), che evidenzia come il valore dell'AI non dipenda solo dalla tecnologia adottata, ma dalla capacità di integrarla con competenze organizzative e strumenti di condivisione della conoscenza. Senza questo supporto, gli investimenti in AI rischiano di non produrre i benefici attesi, alimentando il divario tra le organizzazioni capaci di innovare e quelle che restano ferme per mancanza di capitale umano adeguato.

Nel complesso, l'analisi settoriale e l'evidenza empirica suggeriscono che il successo delle strategie AI dipende non solo dall'adozione tecnologica, ma dalla capacità delle organizzazioni di orchestrare competenze, culture e modelli previsionali in un ecosistema dinamico e interconnesso.

3.3) Strategie per colmare il gap di competenze nelle organizzazioni

3.3.1) Progettazione e implementazione di programmi di upskilling e reskilling interni

Per affrontare in modo strutturato il divario di competenze generato dall'adozione dell'intelligenza artificiale, le organizzazioni stanno sempre più orientandosi verso la progettazione di programmi di upskilling e reskilling interni, capaci di integrare competenze tecniche e trasversali sin dalle prime fasi della trasformazione digitale. La letteratura converge sulla necessità di un approccio intenzionale e sistemico, in cui la formazione diventa un elemento abilitante della strategia AI e non un intervento correttivo a valle.

In questa direzione, *The Role of Upskilling and Reskilling for Talent Transformation in the Era of AI* (2024) propone una visione flessibile e partecipativa, in cui i lavoratori sono attivamente coinvolti

nella ridefinizione delle proprie competenze, attraverso ambienti di apprendimento continuo, inclusivo e resiliente. La costruzione di un capitale umano adattivo richiede, secondo gli autori, interventi mirati non solo alla chiusura del gap esistente, ma alla preparazione proattiva ai cambiamenti futuri.

Il quadro descritto si integra con quanto emerso in *Managerial Insights for AI/ML Implementation (2024)*, che evidenzia come la formazione debba essere pianificata fin dalle fasi iniziali di adozione dell'AI, con un allineamento strategico tra lo sviluppo delle competenze e gli obiettivi di business. Il paper suggerisce che l'identificazione dei KPI, la definizione di team ibridi e l'allocatione delle risorse formative siano elementi essenziali per rafforzare la readiness organizzativa e per attivare un'effettiva sinergia tra trasformazione tecnologica e crescita professionale.

In linea con queste evidenze, *The Effect of Generative AI-Based Tool Use on Students' Computational Thinking Skills (2023)* offre un contributo interessante, pur provenendo dal contesto accademico. Lo studio mostra che l'introduzione intenzionale di strumenti generativi come ChatGPT può rappresentare una leva formativa potente, purché guidata da un disegno didattico strutturato e orientato allo sviluppo di capacità critiche e riflessive. La costruzione di una competenza autentica passa, quindi, attraverso percorsi formativi che responsabilizzano l'utente e ne rafforzano l'auto-efficacia.

In ambito organizzativo, il paper *AI-Based Human Resource Management Tools and Techniques; A Systematic Literature Review (2023)* sottolinea la necessità di strategie formative mirate per i professionisti HR, chiamati a evolvere verso ruoli strategici e data-driven. L'articolo evidenzia come solo un investimento specifico nella formazione possa abilitare una trasformazione sostenibile delle pratiche HR, rafforzando l'allineamento tra innovazione tecnologica e cultura aziendale. La capacità di leggere criticamente gli output generati dai sistemi intelligenti e di gestire le nuove dinamiche etiche e decisionali emerge come competenza cruciale.

Questa evidenza si collega direttamente a quanto proposto in *AI and AI-Powered Tools for Pronunciation Training (2023)*, che, seppur focalizzato sul settore educativo, propone strategie facilmente trasferibili alla formazione aziendale. L'integrazione dell'AI in logiche di microlearning, il potenziamento degli istruttori e il miglioramento degli algoritmi in ottica inclusiva sono elementi che possono migliorare significativamente l'efficacia dei percorsi formativi in contesti organizzativi eterogenei.

Anche *AI-Driven Transformation of HR Managers' Role in Training of Employees (2024)* insiste sulla necessità di percorsi personalizzati, adattivi e tracciabili. La mappatura sistematica delle competenze trasversali, così come l'adozione di strumenti intelligenti per la formazione continua, viene interpretata come leva strategica per la valorizzazione delle risorse umane e la costruzione di ambienti organizzativi resilienti.

Un ulteriore approfondimento proviene da *Artificial Intelligence–Virtual Trainer: Innovative Didactics Aimed at Personalized Training Needs (2023)*, che propone un approccio graduale all'introduzione dell'AI nei contesti formativi. Secondo gli autori, la definizione chiara delle nuove competenze richieste a formatori e professionisti HR è una condizione necessaria per ridurre le resistenze culturali e promuovere un equilibrio sostenibile tra automazione e supervisione umana. In coerenza con le evidenze precedenti, il paper suggerisce l'adozione di politiche di change management e il rafforzamento delle strutture formative come precondizioni per un'efficace trasformazione.

Questa visione trova ulteriore riscontro nel paper *L'integrazione di IA e tecnologia assistiva nella didattica speciale (2024)*, che, analizzando le implicazioni del Decreto-legge 71/2024, sottolinea i limiti di approcci normativi generici, in assenza di programmi formativi realmente strutturati. Il 43% degli insegnanti intervistati manifesta infatti incertezza rispetto all'efficacia dei moduli obbligatori. Il paper propone quindi una visione integrata, transdisciplinare e sistemica della formazione, che includa aspetti pedagogici, tecnologici ed etici.

Infine, *Using Artificial Intelligence to Augment and Enhance Human Resource Strategy, Planning, Job/Work Design, Staffing, Learning and Development, and Performance Management* (2023) consolida questa traiettoria. Il paper propone un modello formativo interno, radicato in una cultura AI-first, in grado di preparare i dipendenti alla collaborazione uomo–macchina, riducendo i rischi di disoccupazione tecnologica e garantendo l’allineamento tra evoluzione digitale e valorizzazione del capitale umano.

Nel complesso, questi contributi convergono su un’idea comune: la formazione interna non può più essere trattata come attività accessoria, ma deve diventare parte integrante della strategia organizzativa. Solo attraverso percorsi strutturati, contestualizzati e partecipativi, le imprese potranno affrontare con successo il cambiamento richiesto dall’intelligenza artificiale.

3.3.2) Strategie multilivello, misurazione e politiche inclusive

Per colmare il divario di competenze in modo efficace, le organizzazioni e le istituzioni devono adottare strategie multilivello fondate su strumenti predittivi, politiche inclusive e approcci formativi flessibili. La formazione non può più essere concepita come un processo standardizzato e lineare, ma deve adattarsi dinamicamente alle evoluzioni del mercato del lavoro, alle specificità settoriali e alle esigenze dei diversi gruppi sociali.

Questa esigenza è ben espressa nel paper *Artificial Intelligence in Developing Countries: Bridging the Gap Between Potential and Implementation* (2023), che propone un approccio multilivello per colmare il divario di competenze nei contesti emergenti, basato su investimenti in formazione specialistica, aggiornamento dei curricula e rafforzamento delle infrastrutture digitali. Mantenendo questa visione sistemica, *Cybersecurity Workforce Development: Bridging the Skills Gap in the Age of Automation* (2024) sottolinea la necessità di una strategia articolata che combini collaborazioni tra università e imprese, percorsi certificativi e politiche di retention dei talenti, suggerendo un modello replicabile anche in altri settori ad alta intensità tecnologica.

L’articolo *AI in the Workplace: A Systematic Review of Skill* (2024) amplia ulteriormente il quadro, evidenziando come le soluzioni efficaci passino per l’aggiornamento dei curricula accademici, l’adozione di piattaforme formative basate su AI e il potenziamento dell’apprendimento esperienziale. In particolare, la centralità della collaborazione tra imprese e mondo accademico emerge come leva per allineare l’offerta formativa alla domanda reale del mercato.

Parallelamente, *Skills or Degree: The Rise of Skill-Based Hiring for AI and Green Jobs* (2024) sposta il focus sul piano delle pratiche di reclutamento. Il paper propone un superamento dei tradizionali percorsi educativi a favore di micro-certificazioni, bootcamp e formazione on-the-job, ritenuti più agili e capaci di rispondere alle esigenze di competenze emergenti nei settori AI e green economy.

Questa evidenza si collega direttamente alle criticità sollevate da *The Digital Skills Gap: Is it Time to Rethink the Needs of Tourism and Hospitality* (2024), dove viene segnalata la fragilità digitale del settore turistico, in particolare nelle PMI e nelle aree rurali. Il paper evidenzia la necessità di politiche pubbliche mirate e corsi flessibili, capaci di garantire inclusione e aggiornamento anche nelle realtà più svantaggiate.

In chiave critica, il contributo di *Effects of AI Feedback on Learning, the Skill Gap, and Intellectual Diversity* (2024) dimostra che l’accesso non bilanciato al feedback AI può amplificare le disuguaglianze tra lavoratori ad alta e bassa competenza. Questo fenomeno di polarizzazione suggerisce che l’introduzione di tecnologie intelligenti, se non accompagnata da strategie formative mirate, rischia di esacerbare il mismatch nel mercato del lavoro, anziché ridurlo.

Anche il paper *AI-employee collaboration and business performance* (2022) contribuisce a questo ragionamento, sottolineando l’importanza di programmi formativi specifici per sviluppare la

collaborazione uomo-macchina, insieme alla costruzione di ambienti organizzativi in grado di valorizzare la condivisione di conoscenza e rafforzare la fiducia nei sistemi intelligenti.

Per supportare decisioni formative più informate, *A Cross-View Hierarchical Graph Learning Hypernetwork for Skill Demand-Supply Joint Prediction* (2024) propone un modello predittivo innovativo, capace di anticipare la domanda e l'offerta di competenze attraverso analisi congiunte dei trend. Questo tipo di approccio consente di orientare i programmi di reskilling con maggiore precisione e tempestività, trasformando i dati in leva strategica per la pianificazione della forza lavoro.

Infine, *AI and Workforce Development: A Comparative Analysis of Skill Gaps and Training Needs in Emerging Economies* (2024) restituisce una prospettiva basata sui bisogni reali dei lavoratori nei contesti emergenti. La preferenza per percorsi pratici e blended learning, insieme alle difficoltà legate a costi e accessibilità, evidenzia la necessità di soluzioni formative adattive, capaci di rispondere concretamente ai vincoli strutturali e culturali presenti in molte realtà. La proposta di strategie multi-stakeholder, che coinvolgano governi, imprese e università, appare in questo senso non solo auspicabile, ma imprescindibile.

A consuntivo emerge con chiarezza che solo l'integrazione coordinata di strumenti predittivi, interventi inclusivi e strategie multilivello può garantire un superamento efficace del divario di competenze, trasformando le sfide dell'AI in opportunità concrete per lavoratori, imprese e istituzioni.

3.3.3) Dimensione etica, manageriale e sviluppo di framework di competenze

Accanto allo sviluppo di competenze tecniche, le strategie di aggiornamento professionale devono integrare anche dimensioni etiche, di governance e manageriali. Solo un approccio sistemico, che includa la cultura organizzativa e il ruolo strategico dei leader, può sostenere l'adozione dell'AI in modo efficace, responsabile e duraturo.

In questa direzione si inserisce il paper *The Era of AI: Upholding Ethical Leadership* (2023), che sottolinea l'importanza di affiancare ai percorsi di upskilling tecnico una formazione continua in etica dell'innovazione. La proposta di istituire comitati etici interni e coinvolgere stakeholder nei processi decisionali rafforza l'idea che la trasformazione digitale richieda anche una riflessione valoriale condivisa. Il paper evidenzia come la leadership etica sia un prerequisito per garantire l'inclusività e la legittimità nell'adozione dell'AI.

Questa prospettiva si collega allo studio *Ensuring Sustainable Growth Based on the Artificial Intelligence Analysis and Forecast of In-Demand Skills* (Vankevich & Kalinouskaya, 2020), che propone l'uso di sistemi predittivi per allineare i percorsi formativi alle competenze effettivamente richieste. Sebbene il paper non offra un framework strategico completo, gli strumenti operativi descritti (classificazioni standardizzate, scraping da job portal, modelli analitici) rappresentano una base concreta per orientare le politiche formative in modo evidence-based.

In continuità con questa attenzione alla coerenza tra evoluzione tecnologica e capitale umano, il contributo *How Artificial Intelligence Could Widen the Gap Between Rich and Poor Nations* (2020) sposta la riflessione su scala macro, ma con implicazioni trasferibili anche al contesto organizzativo. L'articolo evidenzia come l'assenza di investimenti in upskilling rischi di amplificare disuguaglianze preesistenti, rafforzando il ruolo centrale delle politiche formative nel sostenere una crescita equa e sostenibile.

Un'ulteriore conferma di questo approccio viene dal paper *AI Revolutionizing Industries Worldwide* (2024), che include tra le sue raccomandazioni l'adozione di programmi formativi settoriali e multidisciplinari, capaci di tenere conto delle specificità produttive e dei fabbisogni di competenze. L'articolo propone una roadmap che evidenzia come l'integrazione sostenibile dell'AI non possa prescindere da strategie formative coerenti, adattive e orientate allo sviluppo umano.

In ambito industriale, lo studio *The Future of Automotive Manufacturing: Integrating AI, ML, and Generative AI for Next-Gen Automatic Cars* (2024) mette in luce il legame diretto tra innovazione tecnologica e trasformazione del capitale umano. L'articolo suggerisce che il successo dell'adozione dell'AI nel settore automotive dipende dall'investimento continuo nella riqualificazione del personale e da strategie di change management capaci di accompagnare i lavoratori nel cambiamento.

Un focus specifico sulla governance della trasformazione è offerto dal paper *Artificial Intelligence Enabled Business Model Innovation: Competencies and Roles of Top Management* (2024), che propone una mappatura delle otto competenze manageriali chiave per guidare l'adozione dell'AI. La funzione di "garantire l'accesso alla conoscenza AI" e la promozione di contesti favorevoli alla sperimentazione si ricollegano direttamente alla necessità di affiancare formazione, leadership e gestione strategica della conoscenza.

In maniera coerente, il contributo *Emerging Digital Technologies and Auditing Firms* (2024) sottolinea l'urgenza di aggiornare i curricula formativi e i percorsi di apprendimento per i professionisti del settore contabile. L'introduzione della Robotic Process Automation e dell'AI impone un ripensamento delle competenze richieste, soprattutto per le realtà non appartenenti alle Big Four, e rafforza la necessità di una collaborazione strutturata tra università e imprese.

Questa esigenza di competenze manageriali ibride viene affrontata in termini operativi nel paper *A Competency Framework for Training of AI Projects Managers in the Digital and AI Era* (2023). Il framework suggerito prevede microcredential, percorsi interdisciplinari e formazione continua come leve per contrastare l'obsolescenza delle skill. Il focus sulla gestione progettuale evidenzia il bisogno di figure in grado di integrare competenze tecniche, organizzative ed etiche.

Chiude il quadro il paper *Competencies for the Artificial Intelligence Age* (2023), che propone esplicitamente un approccio sistemico alla formazione continua. L'articolo insiste sull'urgenza di sviluppare strategie educative misurabili, aggiornabili e basate su dati, suggerendo una futura agenda di ricerca orientata alla valutazione dell'impatto dei programmi formativi, a conferma dell'importanza di passare da modelli formativi generici a strutture flessibili e specializzate.

In sintesi, il quadro tracciato da questi contributi indica che soltanto un intreccio consapevole tra etica, leadership e progettazione sistemica delle competenze potrà sostenere una trasformazione digitale realmente efficace, capace di integrare dimensioni tecniche, manageriali e valoriali in una prospettiva duratura.

3.3.4) Casi applicativi settoriali e modelli previsionali per l'upskilling

L'adozione di strategie di formazione efficaci per colmare il divario di competenze richiede una declinazione settoriale, fondata su analisi contestuali e modelli predittivi capaci di intercettare in anticipo i bisogni professionali emergenti. In particolare, la conoscenza dei fabbisogni specifici di ciascun comparto produttivo consente di progettare percorsi formativi mirati, sostenendo una trasformazione coerente con le dinamiche tecnologiche e organizzative in atto.

Un contributo rilevante in questa direzione è offerto dal paper *How AI Revolutionizes Innovation Management – Perceptions and Implementation Preferences of AI-Based Innovators* (2022), che esplora il legame tra cultura dell'innovazione e investimenti formativi nelle imprese più avanzate nell'adozione dell'AI. Lo studio mostra come le aziende definite "AI Frontrunners" si distinguano per l'adozione strutturata di programmi di aggiornamento e di hiring mirato, a sostegno di una gestione proattiva del cambiamento tecnologico. La rilevanza di questo contributo risiede nell'evidenziare che l'investimento nella formazione non è un'attività ancillare, ma un elemento strategico per sostenere la competitività e la capacità di innovazione.

Questa evidenza si collega direttamente al settore della logistica e del supply chain management, analizzato nel paper *Artificial Intelligence in Logistics and Supply Chain Management: A Primer and*

Roadmap for Research (2023). L'autore propone un approccio adattivo e contestualizzato alla formazione, coerente con le teorie del Task-Technology Fit (TTF) e della Resource-Based View (RBV). In questo contesto, la costruzione di capacità interne e la promozione dell'apprendimento continuo rappresentano leve fondamentali per accompagnare l'adozione dell'AI, soprattutto in settori complessi e dinamici come la logistica.

Nel quadro descritto il paper *Analyzing the Impacts of A.I. on Employment and More in the Primary, Secondary, and Tertiary Sectors* (2024) rafforza l'idea che la capacità di adattare le competenze interne sia un fattore critico per sostenere l'occupazione nei diversi settori economici. Lo studio evidenzia come la perdita di posti di lavoro nel settore primario, a fronte della crescita registrata nel secondario e terziario, sia legata anche alla diversa velocità e qualità dei programmi di riqualificazione professionale. Ne deriva la necessità di strategie formative differenziate e coerenti con le specificità produttive, soprattutto per i settori più esposti all'automazione.

A livello organizzativo, il paper *A Multilevel Review of Artificial Intelligence in Organizations: Implications for Organizational Behavior Research and Practice* (Bankins, 2023) sottolinea l'importanza di progettare interventi formativi secondo un approccio multilivello, che tenga conto delle esigenze delle diverse categorie professionali. L'integrazione tra formazione, cultura dell'innovazione e leadership risulta cruciale per favorire una transizione sostenibile verso modelli uomo-macchina, superando le resistenze culturali e massimizzando il potenziale dell'AI nei contesti aziendali.

Questa prospettiva è ulteriormente rafforzata dal contributo *Artificial Intelligence-Driven Sustainable Development: Examining Organizational, Technical, and Processing Approaches to Achieving Global Goals* (2023), che propone un framework per integrare formazione e sostenibilità nell'adozione dell'AI. Il paper evidenzia come le strategie di change management e la promozione di ambienti favorevoli alla sperimentazione siano condizioni essenziali per la riuscita delle iniziative di upskilling, soprattutto laddove le sfide organizzative e culturali sono più marcate.

Infine, il paper *Artificial Intelligence and Knowledge Sharing: Contributing Factors to Organizational Performance* (2022) mette in luce un aspetto trasversale, ma essenziale, per l'efficacia dei percorsi formativi: la gestione della conoscenza. Secondo lo studio, l'adozione di sistemi AI deve essere accompagnata da politiche attive di knowledge sharing, in grado di trasformare il capitale cognitivo dei dipendenti in un vantaggio competitivo sostenibile. Concordamente la formazione non può essere concepita come un processo unidirezionale, ma deve diventare parte integrante di una strategia organizzativa che valorizzi l'apprendimento informale, la collaborazione e la capacità riflessiva dei lavoratori.

Questi contributi dimostrano come la costruzione di percorsi di upskilling realmente efficaci richieda un intreccio calibrato di analisi settoriale, modelli previsionali e strategie di knowledge management, capaci di tradurre il potenziale trasformativo dell'AI in un processo inclusivo, sostenibile e orientato al lungo termine.

Capitolo 4 - Formazione e riqualificazione del personale in relazione all'AI

4.1) Modelli di apprendimento e formazione continua per l'AI

4.1.1) Modelli teorici e approcci interdisciplinari

L'evoluzione dell'intelligenza artificiale sta imponendo una ridefinizione strutturale dei modelli formativi, orientata verso approcci teorici flessibili e interdisciplinari. La formazione continua non è più concepita come un'attività episodica, ma come un processo dinamico che accompagna l'intero

ciclo professionale dei lavoratori, richiedendo ambienti di apprendimento capaci di adattarsi alle trasformazioni indotte dall'innovazione tecnologica.

Lo studio *PwC AI Jobs Barometer (2024)* introduce il tema sottolineando la necessità di superare i modelli didattici tradizionali attraverso l'adozione di strategie innovative come l'e-learning, le simulazioni interattive e l'apprendimento esperienziale. Sebbene di natura teorica, il contributo evidenzia l'urgenza di sistemi formativi personalizzabili, capaci di rispondere alle nuove esigenze delle organizzazioni.

Questa introduzione viene arricchita da *The Role of Upskilling and Reskilling for Talent Transformation in the Era of AI (2024)*, che enfatizza l'importanza di modelli di *lifelong learning* proattivi e interdisciplinari. L'articolo propone un framework teorico che integra *Human Capital Theory*, *Resource-Based View* e *Dynamic Capabilities*, fornendo una base interpretativa utile a comprendere il ruolo strategico della formazione nel governo del cambiamento.

Un ulteriore passo verso l'ibridazione dei modelli educativi è rappresentato da *Challenges and Opportunities of Generative AI for Higher Education as Explained by ChatGPT (2023)*, che propone l'utilizzo di ChatGPT come tutor cognitivo personale. Il paper suggerisce che l'AI generativa possa abilitare un apprendimento continuo, asincrono e personalizzato, ridefinendo il concetto stesso di accessibilità educativa.

Una declinazione operativa di queste teorie è offerta dal paper *The Effectiveness of an Educational Environment Based on Artificial Intelligence Techniques Using Virtual Classrooms on Training Development (2022)*, che analizza l'impatto delle classi virtuali potenziate da AI nella formazione degli insegnanti. L'integrazione tra feedback in tempo reale, tracciamento delle attività e personalizzazione dei contenuti rappresenta un esempio concreto di ambiente formativo adattivo, con benefici misurabili sulle competenze pratiche degli studenti.

The Effect of Generative AI-Based Tool Use on Students' Computational Thinking Skills, Programming Self-Efficacy and Motivation (2023) fornisce invece una prospettiva sperimentale: in un corso universitario di programmazione, l'uso di ChatGPT ha migliorato significativamente il pensiero computazionale, l'autoefficacia e la motivazione allo studio. Questo evidenzia come l'adozione di strumenti AI non solo supporti l'apprendimento tecnico, ma stimoli anche dimensioni metacognitive e motivazionali cruciali per la formazione nell'era digitale.

Infine, *Artificial intelligence-virtual trainer: Innovative didactics aimed at personalized training needs (2023)* sintetizza efficacemente le traiettorie emerse, proponendo un modello formativo centrato su tecnologie adattive, tutor virtuali e percorsi modulari. Il contributo mostra come la personalizzazione e l'interattività possano diventare fattori strutturali della didattica continua, aprendo la strada a sistemi educativi più sostenibili, inclusivi e motivanti.

L'analisi dei contributi mostra come l'adozione dell'intelligenza artificiale nei contesti educativi non rappresenti solo un'evoluzione tecnologica, ma una trasformazione pedagogica profonda, che ridefinisce le modalità di erogazione, personalizzazione e valutazione della formazione, valorizzando l'apprendimento come processo continuo, situato e centrato sull'individuo.

4.1.2) Framework sistemici e didattica inclusiva

L'integrazione efficace dell'intelligenza artificiale nei contesti educativi richiede la progettazione di framework sistemici capaci di connettere aspetti tecnologici, pedagogici e disciplinari. Questi modelli non si limitano a introdurre strumenti digitali, ma ridefiniscono il concetto stesso di formazione continua, ponendo al centro l'inclusività, l'adattamento ai bisogni individuali e la coerenza con i contesti organizzativi.

Un contributo teorico fondamentale è fornito dal paper *Preservice Teachers' Readiness Towards Integrating AI-Based Tools in Education: A TPACK Approach* (2024), che propone il framework "Technological Pedagogical Content Knowledge" come base per sviluppare modelli di apprendimento integrati. L'articolo sottolinea che la formazione non può essere concepita come un processo lineare, ma deve evolvere in modo iterativo, favorendo la convergenza tra competenze tecniche, sensibilità pedagogica e conoscenze disciplinari. Per questo motivo il potenziamento delle skill tecnologiche si accompagna alla crescita della consapevolezza etica, con implicazioni rilevanti per l'adozione responsabile dell'AI in ambito scolastico.

Questo approccio sistemico trova un'applicazione concreta nel contributo *L'integrazione di IA e tecnologia assistiva nella didattica speciale: un cambio di paradigma nella formazione degli insegnanti e nel supporto agli studenti* (2024), che descrive un modello ecologico e costruttivista adottato nella scuola italiana. Qui l'AI viene impiegata per promuovere l'autonomia degli studenti con disabilità e per rafforzare il ruolo del docente come facilitatore dell'interazione uomo-macchina. La rilevanza di questo studio è duplice: da un lato, evidenzia l'urgenza di percorsi formativi pratici e contestualizzati; dall'altro, riafferma la centralità dell'inclusione scolastica come principio guida nella progettazione di ambienti educativi potenziati dall'intelligenza artificiale.

A questa visione si collega il paper *AI and AI-powered tools for pronunciation training* (2023), che esplora l'impatto dell'AI sulla didattica linguistica. L'impiego di chatbot, assistenti vocali e app mobili mostra come sia possibile offrire un apprendimento adattivo, personalizzato e fondato su feedback automatici. Sebbene focalizzato su un ambito specifico (la pronuncia), il modello è estendibile a molteplici contesti di lifelong learning, grazie alla sua capacità di rispondere in modo dinamico ai bisogni degli utenti e di rafforzare la motivazione tramite ambienti formativi flessibili e meno ansiogeni.

Quanto precedentemente detto si arricchisce con il contributo *Using Artificial Intelligence to Augment and Enhance Human Resource Strategy, Planning, JobWork Design, Staffing, Learning and Development, and Performance Management* (2023), che estende il discorso ai contesti aziendali. Il paper evidenzia come l'AI possa fungere da abilitatore di percorsi formativi personalizzati e predittivi, supportando l'identificazione dei fabbisogni professionali e la progettazione di ambienti di apprendimento dinamici. L'attenzione si sposta quindi dal "cosa" viene insegnato al "come", con l'obiettivo di integrare l'AI nelle strategie complessive di sviluppo delle risorse umane.

In continuità con questa visione, *AI-Driven Transformation of HR Managers Role in Training of Employees* (2024) esplora l'evoluzione del ruolo dei responsabili HR, sempre più orientati verso la gestione intelligente dei Learning Management System (LMS), del tutoring automatizzato e della valutazione continua. L'AI non è più vista come mero strumento operativo, ma come parte integrante di una strategia formativa orientata al coinvolgimento e alla reattività, capace di adattarsi rapidamente ai bisogni emergenti della forza lavoro.

Infine, il paper *Human Resource Management in the Age of Generative Artificial Intelligence* (2023) completa il quadro sottolineando come l'introduzione dell'AI generativa abbia ampliato le possibilità di personalizzazione nei percorsi di apprendimento aziendale. La generazione automatica di contenuti formativi consente di costruire esperienze adattive su misura per ciascun lavoratore, favorendo una partecipazione più attiva, una maggiore motivazione e una più profonda connessione tra le competenze sviluppate e le sfide operative reali.

Complessivamente questi studi convergono nel definire un nuovo paradigma educativo e organizzativo, basato sull'adozione di modelli sistemici, inclusivi e adattivi, in cui l'AI agisce non solo come tecnologia abilitante, ma come catalizzatore per una trasformazione culturale e professionale profonda. La formazione continua non è più un'opzione, ma una condizione necessaria per operare efficacemente in ecosistemi intelligenti, eterogenei e in continua evoluzione.

4.1.3) Applicazioni pratiche, motivazione e panoramiche settoriali

L'applicazione dell'intelligenza artificiale alla formazione continua non si limita alla dimensione teorica, ma si concretizza in soluzioni operative che impattano direttamente sulla motivazione all'apprendimento, sull'engagement e sull'efficacia dei percorsi educativi. Questa sezione approfondisce come l'AI, attraverso strumenti adattivi e soluzioni settoriali, stia trasformando i modelli formativi tradizionali, generando nuove dinamiche di apprendimento, soprattutto in contesti professionali.

Lo studio *Transforming Learning & Development: The Impact of Artificial Intelligence and Automation on Employee Motivation to Learn* (2023) evidenzia come l'integrazione dell'AI nei processi formativi non solo migliori l'adattamento dei contenuti alle esigenze individuali, ma incida positivamente sulla motivazione autonoma. Il senso di competenza percepita da parte dei lavoratori, stimolato da contenuti più pertinenti e personalizzati, rappresenta una leva psicologica determinante per il successo dei programmi di lifelong learning. Questo contributo è rilevante perché sottolinea che l'efficacia formativa non dipende unicamente dalla qualità tecnica degli strumenti, ma anche dalla loro capacità di attivare dinamiche motivazionali autentiche.

Questa evidenza si collega al contributo più ampio offerto dal paper *AI Revolutionizing Industries Worldwide: A Comprehensive Overview of Its Diverse Applications* (2024), che propone una visione trasversale delle trasformazioni settoriali in atto. In ambito educativo, l'articolo mostra come l'adozione di piattaforme adattive, tutor virtuali e simulazioni immersive potenzi l'efficacia dell'apprendimento continuo, rendendo i contenuti formativi più dinamici e contestualizzati. L'AI non è più un supporto esterno, ma diventa parte integrante dell'ecosistema formativo, ridefinendo le modalità di interazione con la conoscenza.

In maniera analoga rispetto a questo approccio sistemico, *AI-Based Equipment Optimization of the Design on Intelligent Education Curriculum System* (2022) propone un modello educativo basato su feedback dinamici e clustering dei dati, che consente di personalizzare l'esperienza formativa in tempo reale. Il sistema didattico descritto si basa su logiche iterative e adattive, in grado di rispondere ai bisogni specifici degli studenti. Questo studio rappresenta un esempio paradigmatico dell'uso dell'AI per supportare la progettazione di curricula intelligenti, fondati sull'analisi predittiva dei percorsi di apprendimento.

Una proposta fortemente orientata alla dimensione accademica è presentata nel paper *Artificial Intelligence in Higher Education: Proposal for a Transversal Curricular Unit* (2025), che mira a integrare l'AI nei percorsi universitari con un modulo curricolare trasversale. Il modello sviluppato presso l'Università di Porto combina tecnologie generative, metodi didattici attivi e metriche di valutazione innovative, con l'obiettivo di formare studenti capaci non solo di utilizzare l'AI, ma anche di valutarne criticamente gli output. L'equilibrio tra competenze tecniche e soft skill, come il pensiero critico e la collaborazione, ne rafforza la rilevanza come proposta educativa replicabile in più contesti disciplinari.

Un'applicazione settoriale concreta di questi principi è illustrata dal paper *Conversational AI-based VR system to improve construction safety training of migrant workers* (2024), che sperimenta un modello formativo immersivo rivolto a lavoratori vulnerabili nel settore edile. Il sistema iSafeCom, basato sull'integrazione tra ChatGPT e realtà virtuale, ha mostrato un miglioramento significativo della conoscenza (+23%), contribuendo a superare barriere linguistiche e culturali. Questo approccio, centrato sull'utente e sul feedback immediato, evidenzia come l'AI possa abilitare percorsi formativi accessibili, personalizzati e replicabili anche in contesti caratterizzati da elevata eterogeneità.

Infine, il paper *Dungeons & deepfakes: Using scenario-based role-play to study journalists' behavior towards using AI-based verification tools for video content* (2024) rafforza l'idea che l'adozione dell'AI

richieda un accompagnamento formativo continuo. Lo studio mostra come l'efficacia degli strumenti di verifica automatica dipenda dalla qualità della formazione ricevuta, sottolineando l'importanza di sviluppare competenze metacognitive, come la spiegabilità degli algoritmi e la gestione del rischio di overreliance. L'interazione tra giornalisti e AI viene così riletta alla luce di un modello educativo che valorizza l'autonomia decisionale e la consapevolezza critica.

Attraverso questi contributi, emerge un quadro coerente: l'AI non solo rende l'apprendimento più efficace e personalizzato, ma ridefinisce il rapporto tra individuo, conoscenza e contesto lavorativo, favorendo l'emergere di nuovi paradigmi educativi centrati sulla responsabilità, l'interattività e l'inclusività.

4.1.4) Miglioramento continuo e metodologie settoriali

L'evoluzione dell'AI in ambito formativo ha portato alla diffusione di approcci ispirati al miglioramento continuo, con l'obiettivo di rendere i modelli educativi più adattivi, equi e contestualizzati. Questa affermazione trova un fondamento solido nel contributo offerto da *Advancing the Design and Implementation of Artificial Intelligence in Education through Continuous Improvement* (2024), che propone un'integrazione tra strumenti di AI e metodologie ispirate alla Improvement Science, come i cicli Plan-Do-Study-Act (PDSA) e le Networked Improvement Communities. L'adozione di questi modelli consente di costruire percorsi formativi iterativi e collaborativi, in cui l'intelligenza artificiale viene utilizzata non solo come supporto tecnico, ma come leva per migliorare in modo progressivo la qualità e l'equità dell'istruzione, adattandola alle esigenze locali.

Questa visione si riflette anche nel settore sanitario, dove l'efficacia dell'AI dipende fortemente dalla qualità dei programmi formativi. Il paper *Addressing the Challenges of AI based Telemedicine: Best Practices and Lessons Learned* (2023) evidenzia l'importanza di un modello educativo fondato sulla formazione continua, simulazioni pratiche e approfondimenti sugli aspetti etici e normativi. In un ambito ad alta complessità come la telemedicina, la coesistenza di competenze tecniche e riflessione deontologica è fondamentale per evitare un uso meccanico degli strumenti AI e promuovere una reale innovazione.

Il settore dell'ingegneria offre un altro esempio concreto di trasformazione dei modelli educativi. *Future skills for Industry 4.0 integration and innovative learning for continuing engineering education* (2024) propone il framework "ShapingSkills", che promuove la formazione continua come leva strategica per affrontare la transizione tecnologica. Il modello si basa sull'integrazione di tecnologie emergenti come AI, VR e NLP, e si distingue per un approccio modulare e personalizzato, capace di aggiornarsi dinamicamente rispetto alle richieste del mercato del lavoro. Questo si collega direttamente alla prospettiva offerta da *The Symbiotic Evolution: Artificial Intelligence (AI) Enhancing Human Intelligence (HI)* (2024), che rifiuta una visione dell'AI come mera automazione per proporla come strumento di intelligenza aumentata. In questa visione, l'AI amplifica le capacità cognitive e relazionali dell'individuo, creando esperienze formative adattive e stimolanti, fondate su feedback in tempo reale e logiche di miglioramento continuo.

Infine, l'esperienza riportata in *Integration of Architecture and Communication: A Transversal Learning Methodology Empowered by Artificial Intelligence Tools* (2024) offre un esempio concreto di applicazione delle logiche iterative nei contesti universitari. La metodologia adottata, basata su co-creazione, IA generativa e approccio progettuale multidisciplinare, dimostra come l'integrazione dell'AI possa potenziare non solo l'efficacia didattica ma anche la creatività e la capacità di lavorare in gruppo. L'approccio adottato, pur evidenziando alcune criticità tecniche, rappresenta un modello virtuoso di formazione esperienziale e co-evolutiva tra intelligenza umana e artificiale.

Nel complesso, questi contributi confermano che il miglioramento continuo nei contesti formativi supportati dall'AI richiede un approccio sistemico e settorialmente sensibile, in cui innovazione

metodologica, collaborazione interistituzionale e sviluppo delle soft skill costituiscono leve fondamentali per un'evoluzione sostenibile e inclusiva della formazione.

4.1.5) Task-technology fit, competenze organizzative ed etica

L'efficacia dei modelli di apprendimento continua a dipendere in misura crescente dalla coerenza tra strumenti tecnologici adottati, competenze possedute dai lavoratori e bisogni organizzativi. Da questo punto di vista, l'approccio del *task-technology fit* emerge come elemento chiave per garantire che l'introduzione dell'intelligenza artificiale nei processi formativi sia realmente efficace e sostenibile.

Una riflessione particolarmente rilevante in questa direzione è proposta da *Effects of AI Feedback on Learning, the Skill Gap, and Intellectual Diversity* (2024), che mostra come l'impatto del feedback generato da sistemi intelligenti vari in funzione del livello di competenza dell'utente e del contesto in cui tale feedback viene fornito. Il paper sottolinea che il feedback successivo a un fallimento tende a migliorare le performance, mentre quello dopo un successo può avere un effetto controproducente. Questa evidenza rafforza l'idea che la formazione supportata dall'AI debba essere progettata con attenzione alle caratteristiche dei destinatari e agli obiettivi specifici del contesto operativo.

In maniera coerente *The Impact of Artificial Intelligence Adoption Intensity on Corporate Sustainability Performance* (2024) evidenzia che l'integrazione dell'AI nei contesti aziendali richiede modelli formativi dinamici, capaci di sostenere un'interazione efficace tra esseri umani e sistemi intelligenti. L'articolo suggerisce che un'adozione tecnologica efficace non si limita al trasferimento di competenze tecniche, ma include anche lo sviluppo di fiducia nei confronti degli strumenti intelligenti e la promozione della collaborazione uomo-macchina.

Nel tentativo di tradurre questi principi in azioni concrete, il paper *A Competency Framework for Training of AI Projects Managers in the Digital and AI Era* (2023) propone un approccio esperienziale basato sul metodo DACUM. Questo modello consente di costruire percorsi formativi agili, personalizzati e allineati alle esigenze del mercato del lavoro, integrando strumenti visivi come la *Padagogy Wheel* e tassonomie come quella di Bloom. Il valore aggiunto di questo approccio risiede nella capacità di coniugare rigore teorico e rilevanza operativa.

In chiave etica, *The Era of AI: Upholding Ethical Leadership* (2023) sottolinea che i programmi formativi devono includere moduli dedicati alla leadership responsabile, alla giustizia algoritmica e alla governance trasparente dei processi automatizzati. L'articolo propone una visione della formazione non solo come strumento tecnico, ma come leva di responsabilizzazione professionale e culturale, fondamentale per guidare in modo etico l'adozione dell'AI.

Infine, *AI in the Workplace: A Systematic Review of Skill* (2024) conferma la necessità di modelli formativi pratici e ibridi, fondati su esperienze concrete come laboratori, stage e project-based learning. L'articolo evidenzia che la combinazione tra formazione tecnica e sviluppo delle soft skill è essenziale per gestire con successo la complessità dei contesti professionali digitalizzati.

In sintesi, la costruzione di un ecosistema formativo efficace per l'era dell'AI richiede un bilanciamento tra tecnologia, contesto, etica e persone. Solo una progettazione attenta al *task-technology fit*, alla sostenibilità organizzativa e alla crescita umana potrà garantire una trasformazione digitale realmente inclusiva e duratura.

4.2) Approcci aziendali alla formazione e alla riqualificazione

4.2.1) Leadership strategica e governance formativa

In un contesto in cui l'introduzione dell'AI sta ridisegnando le dinamiche organizzative, la leadership assume un ruolo determinante nel promuovere una cultura dell'apprendimento continuo e nel guidare l'adozione consapevole delle tecnologie intelligenti. La gestione efficace del cambiamento non può prescindere da un investimento mirato nella formazione manageriale, nella pianificazione strategica delle competenze e nella prevenzione degli impatti sociali della digitalizzazione.

A questo proposito, il contributo *More than a Digital System: How AI is Changing the Role of Bureaucrats in Different Organizational Contexts* (2024) evidenzia le criticità che emergono nei contesti pubblici in assenza di una governance formativa adeguata. Il caso MiDAS negli Stati Uniti, citato nello studio, mostra come l'adozione di sistemi AI privi di un corrispettivo investimento in competenze abbia generato disfunzioni, licenziamenti e sfiducia diffusa. Il paper sottolinea l'importanza di accompagnare l'innovazione con politiche formative mirate, capaci di tutelare il capitale umano e di evitare derive tecnocratiche.

Questa esigenza di coordinare trasformazione tecnologica e sviluppo delle competenze trova riscontro anche nel paper *The Role of Upskilling and Reskilling for Talent Transformation in the Era of AI* (2024), che propone una visione sistemica dell'aggiornamento professionale. L'articolo chiarisce come le strategie formative debbano essere integrate nella pianificazione organizzativa, in modo da favorire l'agilità delle imprese e sostenere una competitività fondata sulla valorizzazione continua delle persone. L'upskilling non è concepito solo come risposta reattiva all'obsolescenza delle competenze, ma come leva proattiva di sostenibilità e inclusione.

In continuità con questa prospettiva, il paper *Managerial insights for AI/ML implementation* (2024) offre un'analisi originale centrata sulla necessità di formare il top management per un'adozione efficace dell'AI. Lo studio ribalta l'assunto comune secondo cui la priorità formativa debba riguardare principalmente gli operatori tecnici o i data scientist: è invece la capacità dei leader di comprendere le logiche dell'AI, guidarne l'integrazione e interpretarne le implicazioni strategiche che si rivela cruciale per il successo delle trasformazioni digitali. L'inclusione dei dirigenti nei percorsi formativi consente di ridurre le resistenze culturali e di rafforzare la governance dei processi di innovazione.

Nel complesso, questi contributi confermano che il successo dell'adozione dell'AI nelle organizzazioni non dipende soltanto dalla disponibilità di tecnologie avanzate, ma richiede una leadership capace di guidare il cambiamento in modo consapevole. Integrare la formazione nella pianificazione strategica e coinvolgere attivamente i dirigenti nei processi di apprendimento si rivela una condizione imprescindibile per promuovere un'innovazione sostenibile, ridurre le resistenze al cambiamento e costruire una governance dell'AI fondata su competenza, visione e responsabilità.

4.2.2) Strumenti personalizzati e ruolo dell'HR

Le soluzioni formative basate sull'intelligenza artificiale stanno ridefinendo il ruolo delle risorse umane, non solo come gestori di percorsi di apprendimento, ma come protagonisti attivi nell'innovazione strategica dell'organizzazione. In particolare, la possibilità di personalizzare i programmi formativi grazie all'analisi dei dati ha reso le funzioni HR nodi cruciali per l'adattamento continuo delle competenze alle esigenze aziendali.

Questa evidenza è ben illustrata nel paper *AI-based human resource management tools and techniques; A systematic literature review* (2023), che analizza come l'AI possa abilitare percorsi di apprendimento su misura, costruiti sulla base dei profili e delle performance individuali dei lavoratori. Il valore aggiunto di queste soluzioni non risiede solo nella capacità di monitorare in tempo reale i progressi e individuare le aree critiche, ma anche nell'introduzione di un modello adattivo e dinamico che rafforza la centralità del capitale umano nei processi di trasformazione digitale. Questo approccio, oggi considerato best practice, incarna una visione della formazione come leva strategica per la resilienza e la competitività organizzativa.

Di conseguenza, il paper *Towards an AI-driven Business Development Framework (2023)* mostra come l'adozione di strumenti di machine learning per la personalizzazione dei percorsi formativi possa non solo migliorare la soddisfazione dei dipendenti, ma anche ottimizzare l'efficacia degli interventi di upskilling e reskilling. I casi studio analizzati mettono in luce l'importanza di integrare l'AI nei processi di business development attraverso una formazione che non si limiti a colmare gap tecnici, ma accompagni il cambiamento culturale e organizzativo. In tal senso, la formazione non è più un'attività accessoria, ma un elemento strutturale nei progetti di innovazione aziendale.

Questo si riallaccia alle riflessioni sviluppate nel paper *AI-Driven Transformation of HR Managers Role in Training of Employees (2024)*, che attribuisce ai responsabili HR un ruolo strategico nella progettazione di interventi formativi su misura. Lo studio evidenzia come, soprattutto nelle piccole e medie imprese, sia necessario adottare approcci flessibili, capaci di valorizzare le specificità del contesto e di promuovere sia competenze tecniche che soft skill. Il focus non è solo sull'aggiornamento, ma sull'allineamento continuo tra le esigenze operative e gli obiettivi di sviluppo organizzativo, rafforzando il legame tra apprendimento e cambiamento.

In sintesi, emerge con chiarezza che la trasformazione digitale richiede una ridefinizione profonda del ruolo delle risorse umane, sempre più chiamate a gestire percorsi formativi adattivi, personalizzati e tecnologicamente mediati.

4.2.3) Analisi predittiva, fabbisogni di competenze e upskilling

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei contesti aziendali sta spostando l'attenzione verso strategie formative fondate su modelli predittivi e analisi dei fabbisogni. In questo scenario, la capacità di anticipare le competenze richieste, monitorare i gap esistenti e progettare interventi di upskilling mirati si configura come una leva determinante per sostenere l'evoluzione organizzativa.

Il paper *Artificial intelligence marketing and customer satisfaction: An employee job security threat review (2024)* sottolinea la necessità di combinare aggiornamento tecnico, soft skill e change management all'interno di strategie formative integrate. L'obiettivo non è solo sviluppare nuove competenze operative, ma anche mitigare l'insicurezza e le resistenze che l'adozione dell'AI può generare, favorendo ambienti più resilienti. Questa visione olistica della formazione è particolarmente rilevante per gestire le implicazioni psicologiche e relazionali dell'innovazione tecnologica.

Mantenendo la stessa impostazione argomentativa, *Cybersecurity Workforce Development: Bridging the Skills Gap in the Age of Automation (2024)* propone percorsi formativi pratici, realizzati in collaborazione con il mondo accademico, per colmare le lacune in settori tecnologici emergenti. L'articolo valorizza strumenti come certificazioni specialistiche, formazione on-the-job e partnership strategiche come risposte efficaci alla rapida obsolescenza delle competenze, evidenziando il ruolo chiave della dimensione applicativa nell'adattamento al cambiamento.

Su un piano più psicologico, *A Multilevel Review of Artificial Intelligence in Organizations: Implications for Organizational Behavior Research and Practice (Bankins, 2023)* introduce una riflessione sull'impatto delle percezioni dei lavoratori nei confronti dell'AI. Secondo lo studio, la paura del controllo automatizzato e della sostituzione lavorativa può inibire l'efficacia dell'apprendimento. Di conseguenza, l'adozione di strategie formative deve tenere conto del coinvolgimento emotivo, promuovendo trasparenza e fiducia per rafforzare la motivazione e l'engagement.

Questa esigenza di mappatura sistematica delle competenze si ritrova anche nel contributo di *Ensuring sustainable growth based on the artificial intelligence analysis and forecast of in-demand skills (2020)*. Sebbene focalizzato sul livello macro, il paper propone strumenti analitici basati su classificatori standardizzati (come l'European Skills, Competences and Occupations) per monitorare le competenze richieste e pianificare gli interventi formativi. Questa metodologia può essere

trasferita all'ambito aziendale per supportare audit interni, aggiornare le job description e allineare la formazione agli obiettivi strategici.

Un ulteriore aspetto critico è evidenziato da *Effects of AI Feedback on Learning, the Skill Gap, and Intellectual Diversity* (2024), che introduce il concetto di *outcome homogenization*. Secondo lo studio, l'uso estensivo di feedback AI potrebbe ridurre la diversità intellettuale tra i decision-maker, omologando approcci e strategie decisionali. Questo fenomeno, se traslato alle dinamiche formative aziendali, suggerisce la necessità di salvaguardare pluralità di pensiero e approcci critici nei percorsi di apprendimento, come elemento chiave per sostenere l'innovazione.

In linea con questa attenzione alla previsione dei fabbisogni, *A cross-view hierarchical graph learning hypernetwork for skill demand-supply joint prediction* (2024) introduce il framework CHGH, utile per analizzare in modo proattivo l'evoluzione delle competenze nei settori IT, Finance e Consumer. Il paper mostra come una modellazione predittiva avanzata possa guidare le organizzazioni nell'identificazione tempestiva dei gap, orientando le strategie di formazione verso le skill emergenti. L'approccio data-driven si rivela particolarmente utile per rendere più mirati ed efficaci i programmi di upskilling e reskilling.

In conclusione, la crescente disponibilità di strumenti predittivi e sistemi di analisi avanzata consente alle organizzazioni di anticipare i fabbisogni di competenze e di strutturare strategie di formazione data-driven. Tuttavia, l'efficacia di questi approcci dipende dalla capacità di preservare la diversità intellettuale, interpretare in modo critico le indicazioni fornite dall'AI e integrarle all'interno di percorsi di sviluppo professionale flessibili, inclusivi e coerenti con l'evoluzione del contesto lavorativo.

4.2.4) Etica, sostenibilità e co-evoluzione umano-macchina

Nel contesto dell'intelligenza artificiale applicata alla formazione, emerge con forza l'esigenza di un approccio che integri aspetti etici, sostenibilità e valorizzazione della dimensione umana. La co-evoluzione tra sistemi intelligenti e risorse umane richiede non solo strumenti tecnologici avanzati, ma anche visioni inclusive e strategie formative capaci di preservare il ruolo attivo delle persone nei processi di apprendimento e decisione.

Artificial intelligence-virtual trainer: Innovative didactics aimed at personalized training needs (2023) propone un modello formativo centrato sulla personalizzazione e sul monitoraggio continuo dell'apprendimento. L'articolo enfatizza la costruzione di knowledge base condivise e mappe cognitive per valorizzare il capitale umano interno, in un'ottica che supera la semplice automazione per abbracciare una logica di empowerment. Il valore aggiunto risiede nella coerenza tra formazione, esigenze individuali e obiettivi strategici aziendali.

Questa visione trova un'applicazione concreta nel caso Medtronic, descritto in *Addressing the Challenges of AI based Telemedicine* (2023). Il progetto indiano dimostra come sia possibile realizzare ecosistemi formativi scalabili e culturalmente adattivi in contesti a risorse limitate. L'esperienza conferma che l'efficacia dell'AI nella formazione dipende dalla capacità di attivare sinergie tra attori pubblici e privati, promuovendo un accesso equo all'innovazione e al know-how. L'iniziativa è paradigmatica di un approccio etico all'adozione dell'AI, capace di generare impatto sociale sostenibile.

Un ulteriore elemento di riflessione è offerto da *Artificial Intelligence and Knowledge Sharing* (2022), che pone l'accento sull'interazione tra sistemi AI e processi di condivisione della conoscenza. La formazione, in questo quadro, è fondamentale per garantire che il coinvolgimento cognitivo (cognitive engagement) dei lavoratori non venga compromesso, ma potenziato grazie a una progettazione formativa che favorisca l'uso consapevole e collaborativo dell'AI nei processi decisionali e produttivi.

Infine, *Human Resource Management in the Age of Generative Artificial Intelligence* (2023) invita a una riflessione critica sull'etica nell'adozione dell'AI generativa. Il paper evidenzia i rischi di dequalificazione del personale e di marginalizzazione professionale, qualora i percorsi formativi non siano strutturati in modo trasparente e supervisionato. L'articolo propone dunque una governance della formazione che mantenga le competenze umane al centro, ribadendo la necessità di un'AI responsabile e al servizio delle persone.

In sintesi, l'adozione dell'intelligenza artificiale nei contesti aziendali non può prescindere da una visione olistica che valorizzi il ruolo umano, promuova la sostenibilità e tuteli la dimensione etica del cambiamento. Le esperienze analizzate dimostrano che solo attraverso una formazione orientata alla responsabilità, all'inclusione e alla co-progettazione dei saperi è possibile costruire un equilibrio virtuoso tra innovazione tecnologica e sviluppo umano, rendendo la transizione digitale una reale opportunità di crescita condivisa.

4.3) Strumenti e tecnologie basate su AI per la formazione

4.3.1) Tutor generativi e motivazione all'apprendimento

L'impiego di strumenti basati su AI generativa nella formazione sta ridefinendo il ruolo del tutoraggio digitale, promuovendo percorsi di apprendimento più personalizzati e aumentando la motivazione intrinseca degli utenti. L'adozione di modelli conversazionali avanzati consente infatti un'interazione più fluida e un accompagnamento continuo che rafforza l'autoefficacia e l'engagement.

Il contributo *Challenges and Opportunities of Generative AI for Higher Education as Explained by ChatGPT* (2023) inaugura questa affermazione, descrivendo ChatGPT come un tutor didattico capace di offrire supporto personalizzato nella comprensione dei testi accademici e nello sviluppo delle abilità linguistiche. Il paper evidenzia la capacità dell'AI generativa di potenziare le esperienze educative attraverso feedback immediati, risorse supplementari e personalizzazione dei contenuti, con implicazioni significative per l'efficacia dell'apprendimento in ambito universitario.

Analogamente *On the Use of AI-Based Tools like ChatGPT to Support Management Research* (2023) esplora l'impiego di ChatGPT nella formazione alla ricerca, ponendo l'accento sul suo ruolo come tutor cognitivo. Il modello viene utilizzato per attività complesse come la sintesi automatica della letteratura e l'analisi qualitativa, supportando gli studenti nello sviluppo di competenze metacognitive e nell'organizzazione dei contenuti. Questo uso strumentale rafforza l'idea dell'AI come facilitatore nei percorsi formativi avanzati, purché affiancato da un'adeguata guida metodologica.

Lo studio *The Effect of Generative AI-Based Tool Use on Students' Computational Thinking Skills, Programming Self-Efficacy and Motivation* (2023) fornisce evidenze empiriche a sostegno di questi benefici. I risultati mostrano un miglioramento significativo del pensiero computazionale e della self-efficacy negli studenti che hanno utilizzato ChatGPT, confermando che la presenza di un tutor AI può influenzare positivamente la motivazione e l'apprendimento, soprattutto in ambiti tecnici. L'aspetto distintivo di questo paper è la misurazione quantitativa degli effetti, che contribuisce a consolidare il valore pedagogico dell'intelligenza generativa nei contesti formativi.

Questa evidenza si collega al contributo *Human Resource Management in the Age of Generative Artificial Intelligence* (2023), che analizza l'integrazione di ChatGPT in contesti aziendali, dove viene impiegato per creare materiali didattici, offrire assistenza ai dipendenti e supportare la personalizzazione delle simulazioni formative. Pur sottolineando il potenziale trasformativo della tecnologia, il paper mette in guardia contro i rischi di contenuti distorti o fuorvianti, evidenziando la necessità di un monitoraggio costante e di strategie pedagogiche che ne regolamentino l'uso.

Questo approccio bilanciato richiama la responsabilità formativa delle organizzazioni, che devono garantire la qualità e l'affidabilità dell'apprendimento mediato dall'AI.

Infine, *Transforming Learning & Development: The Impact of Artificial Intelligence and Automation on Employee Motivation to Learn (2023)* contribuisce a rafforzare la riflessione sulla motivazione, dimostrando che i sistemi di L&D supportati dall'AI, grazie alla personalizzazione e al feedback mirato, aumentano il coinvolgimento e la predisposizione all'apprendimento continuo. In confronto alle soluzioni puramente automatizzate, le piattaforme intelligenti risultano più efficaci nel sostenere la motivazione autonoma, suggerendo che l'AI, se ben integrata, può agire da leva psicologica oltre che cognitiva.

Nel complesso, i paper analizzati delineano una traiettoria coerente in cui l'AI generativa, se adeguatamente progettata e monitorata, si configura non solo come strumento operativo, ma come vero e proprio alleato nell'apprendimento. L'emergere del tutor cognitivo automatizzato suggerisce una nuova forma di accompagnamento formativo, capace di aumentare motivazione, autoefficacia e qualità della partecipazione, delineando così un paradigma innovativo nella relazione tra tecnologia e apprendimento.

4.3.2) Ambienti immersivi, assistive tech e sicurezza formativa

L'integrazione dell'intelligenza artificiale con ambienti immersivi e tecnologie assistive sta ridefinendo le modalità di erogazione della formazione, favorendo approcci più inclusivi, esperienziali e personalizzati. Le soluzioni basate su AI non solo potenziano l'engagement degli utenti, ma abilitano anche nuove forme di interazione didattica, capaci di adattarsi a contesti eterogenei e a esigenze formative differenziate.

Uno dei primi contributi rilevanti in questa direzione è rappresentato dallo studio *The Effectiveness of an Educational Environment Based on Artificial Intelligence Techniques Using Virtual Classrooms on Training Development (2022)*, che analizza l'impiego di strumenti AI-driven nelle classi virtuali, mostrando un significativo incremento dell'interazione e del coinvolgimento degli studenti grazie a tecnologie come discussion board automatizzati, lavagne elettroniche intelligenti e sistemi di feedback dinamico. L'AI viene qui interpretata come facilitatore dell'apprendimento attivo, confermando il suo ruolo abilitante anche in ambienti digitali sincroni.

Questa evidenza si collega direttamente al contributo sistematico offerto da *Artificial intelligence-virtual trainer: Innovative didactics aimed at personalized training needs (2023)*, che propone una tassonomia degli strumenti formativi basati su AI, tra cui tutor virtuali, moduli di micro-learning e simulazioni AR/VR. Ogni categoria viene associata a specifici benefici didattici, contribuendo a delineare un framework articolato per l'innovazione dei modelli formativi aziendali e accademici. In particolare, la simulazione immersiva si configura come leva chiave per l'apprendimento esperienziale.

In continuità con queste riflessioni, il paper *L'integrazione di IA e tecnologia assistiva nella didattica speciale (2024)* mette in luce l'impatto trasformativo delle applicazioni assistive supportate dall'AI nella didattica inclusiva. Il monitoraggio adattivo e la generazione di feedback personalizzati permettono di migliorare l'interazione e l'autonomia degli studenti con bisogni educativi speciali. Tuttavia, emerge con forza la necessità di rafforzare la preparazione tecnica e pedagogica degli insegnanti, sottolineando che l'efficacia delle tecnologie dipende in larga misura dalla competenza umana che le guida.

Anche nel campo della formazione linguistica, le tecnologie AI stanno dimostrando un forte potenziale. Il paper *AI and AI-powered tools for pronunciation training (2023)* evidenzia come chatbot educativi e app mobili basate su NLP migliorino l'intelligibilità della pronuncia, riducendo l'ansia da parlato e liberando tempo docente. L'implicazione è duplice: da un lato si rafforza il ruolo della

tecnologia come supporto all'apprendimento autonomo, dall'altro si solleva la questione dell'ibridazione crescente tra strumenti educativi e ambienti professionali.

Questa tendenza si estende anche all'ambito della cybersecurity, come mostrano i due contributi *A Quantitative Study of Risk Scores and the Effectiveness of AI-Based Cybersecurity Awareness Training Programs* (2022) e *Prevention of Phishing Attacks Using AI-Based Cybersecurity Awareness Training* (2022). Entrambi propongono strumenti basati su machine learning per simulare attacchi phishing, valutare i comportamenti a rischio e offrire percorsi personalizzati di formazione preventiva. I risultati empirici dimostrano l'efficacia di tali strumenti nel migliorare le capacità di riconoscimento delle minacce digitali e nella riduzione degli incidenti aziendali, validando l'uso dell'AI per la formazione situata e reattiva.

Il paper *Conversational AI-based VR system to improve construction safety training of migrant workers* (2024) rappresenta un esempio particolarmente avanzato di integrazione tra AI conversazionale e realtà virtuale. Il sistema iSafeCom combina ChatGPT e simulazioni che rispettano le normative e gli standard stabiliti dall'Occupational Safety and Health Administration per offrire percorsi esperienziali multilingua e personalizzati. L'approccio si distingue per la capacità di abbattere barriere culturali e linguistiche, facilitando l'apprendimento di soft skill critiche come la gestione del rischio e la comunicazione efficace in contesti ad alta complessità.

Infine, il paper *Preservice Teachers' Readiness Towards Integrating AI-Based Tools in Education: A TPACK Approach* (2024) sposta l'attenzione sul ruolo degli insegnanti, mostrando che, nonostante una buona preparazione teorica, i futuri docenti manifestano difficoltà nell'integrare criticamente le tecnologie AI in chiave pedagogica. Il gap formativo individuato suggerisce che le tecnologie immersive e assistive, per essere realmente efficaci, devono essere accompagnate da processi di formazione docente centrati sullo sviluppo di una consapevolezza metodologica e critica.

Nel complesso, l'integrazione di ambienti immersivi e assistive tech potenziati da AI apre scenari promettenti per la personalizzazione e l'inclusività dell'apprendimento, ma pone al tempo stesso sfide significative in termini di formazione dei formatori, progettazione pedagogica e adattabilità culturale dei sistemi.

4.3.3) Analisi predittiva, ottimizzazione e scenari applicativi

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale nei contesti formativi non si limita alla personalizzazione dei contenuti o al supporto all'apprendimento, ma si estende all'ottimizzazione sistemica dei percorsi educativi e alla previsione dinamica dei fabbisogni di competenze. Questa sottosezione analizza come gli strumenti AI siano impiegati per modellare ecosistemi didattici intelligenti, adattivi e coerenti con le trasformazioni industriali in atto, attraverso una prospettiva che integra analisi predittiva, progettazione intelligente dei curricula e simulazioni applicative.

Il contributo di *AI-Based Equipment Optimization of the Design on Intelligent Education Curriculum System* (2022) fornisce un primo esempio concreto di questo approccio, presentando un sistema che utilizza algoritmi intelligenti per analizzare i comportamenti di apprendimento degli studenti e costruire profili dinamici. Tali profili consentono la generazione automatizzata di percorsi formativi su misura, migliorando l'allineamento tra contenuti educativi e bisogni individuali. La rilevanza del paper risiede nella sua capacità di tradurre l'analisi dei dati in strumenti operativi per l'adattamento continuo dell'offerta formativa, favorendo un apprendimento realmente personalizzato e basato sull'evidenza.

Questa evidenza si collega direttamente alle considerazioni proposte da *AI Revolutionizing Industries Worldwide: A Comprehensive Overview of Its Diverse Applications* (2024), che amplia lo sguardo alle applicazioni settoriali dell'AI, includendo l'education come ambito privilegiato di sperimentazione. Il paper descrive un'ampia varietà di strumenti, tra cui tutor intelligenti, chatbot educativi, piattaforme di apprendimento adattivo e simulazioni immersive. L'analisi mette in luce come l'adozione di queste tecnologie consenta non solo di migliorare la performance formativa, ma

anche di integrare funzionalità avanzate di monitoraggio, valutazione automatica e rimodulazione continua dei contenuti in base ai dati raccolti in tempo reale.

Concordamente il paper *Future skills for Industry 4.0 integration and innovative learning for continuing engineering education* (2024) propone una visione sistemica dell'aggiornamento professionale, particolarmente centrata sul settore ingegneristico. Il contributo analizza la piattaforma ShapingSkills, basata su NLP e AI predittiva, che consente di visualizzare i gap formativi emergenti e di strutturare processi di upskilling e reskilling dinamici. L'integrazione tra esperienze online, laboratori virtuali e progetti industriali connessi garantisce un'offerta formativa coerente con le esigenze reali del mercato, delineando un modello di apprendimento flessibile, adattivo e co-creato tra università, aziende e tecnologie.

Questo modello trova un'ulteriore applicazione trasversale nel paper *Revolutionizing Drug Discovery: The Impact of Artificial Intelligence on Advancements in Pharmacology and the Pharmaceutical Industry* (2024), che, pur concentrandosi sugli strumenti AI applicati alla ricerca clinica e farmaceutica, suggerisce implicazioni formative rilevanti. L'impiego di NLP, sistemi di supporto decisionale e algoritmi predittivi può infatti essere riconvertito per simulazioni didattiche, cliniche e tecniche, particolarmente efficaci per il training dei professionisti della salute. Il contributo amplia dunque l'orizzonte applicativo dell'AI nella formazione, dimostrando come le tecnologie sviluppate per ambiti specialistici possano essere riadattate per potenziare l'apprendimento esperienziale e accelerare il trasferimento delle competenze teoriche alla pratica.

In sintesi, i contributi analizzati mostrano come l'adozione dell'AI nei contesti formativi possa evolvere verso sistemi predittivi e adattivi, capaci di anticipare le necessità del mercato e di rimodulare in tempo reale i contenuti educativi. L'analisi predittiva, l'ottimizzazione delle strutture didattiche e l'applicazione delle tecnologie nate in altri settori rafforzano l'idea che la formazione, nell'era dell'intelligenza artificiale, debba essere progettata come un ecosistema intelligente, interconnesso e continuamente aggiornabile.

4.4) Sfide e opportunità della formazione per l'AI: resistenze, costi, efficacia

4.4.1) Resistenze psicologiche e culturali

Le resistenze psicologiche e culturali rappresentano uno degli ostacoli più complessi all'adozione di programmi formativi basati sull'intelligenza artificiale, poiché affondano le radici in paure, percezioni soggettive e barriere valoriali che non possono essere risolte solo con interventi tecnologici.

Il paper *Practice With Less AI Makes Perfect: Partially Automated AI During Training Leads to Better Worker Motivation, Engagement, and Skill Acquisition* (2024) offre un primo spunto essenziale: l'integrazione completa dell'automazione nei percorsi formativi può ridurre la motivazione e trasformare i lavoratori in soggetti passivi, poco propensi ad apprendere in modo attivo. Al contrario, l'adozione di modelli di automazione parziale appare più efficace nel preservare il senso di agency individuale e nel rafforzare il coinvolgimento, dimostrando che la resistenza psicologica può essere mitigata progettando i percorsi formativi in modo calibrato.

Questa evidenza si collega strettamente ai risultati del paper *AI-Driven Transformation of HR Managers Role in Training of Employees* (2024), che mette in luce come le resistenze psicologiche non siano limitate ai lavoratori, ma riguardino anche i professionisti HR, spesso preoccupati per la sicurezza occupazionale, la privacy e l'erosione del proprio ruolo strategico. Il paper sottolinea che tali paure possono sfociare in un boicottaggio implicito dei progetti formativi, generando tensioni interne che richiedono non solo strumenti tecnologici, ma anche interventi manageriali volti a costruire una cultura condivisa di fiducia e apprendimento continuo.

Sullo stesso filone il paper *Challenges and Opportunities of Generative AI for Higher Education as Explained by ChatGPT* (2023) porta un ulteriore contributo, mostrando come nelle università l'uso di strumenti generativi come ChatGPT sollevi timori di plagio, riduzione delle interazioni umane e perdita di controllo sui processi educativi. Queste paure, anche se legate a fattori concreti come l'affidabilità delle informazioni e l'assenza di linee guida etiche chiare, si traducono in un atteggiamento diffidente che ostacola l'adozione di pratiche innovative, richiedendo interventi normativi e culturali mirati.

In modo complementare, *Artificial intelligence-virtual trainer: Innovative didactics aimed at personalized training needs* (2023) evidenzia come le resistenze culturali non siano solo individuali, ma si radichino anche a livello organizzativo. La percezione di una formazione algoritmica e opaca può infatti generare una perdita di fiducia collettiva, specialmente quando i benefici attesi non vengono chiaramente comunicati e condivisi. Gli autori propongono quindi strategie di change management basate sull'ascolto e sulla gradualità, sottolineando che il superamento delle barriere culturali richiede un lavoro partecipativo e inclusivo.

Infine, *Artificial intelligence marketing and customer satisfaction: An employee job security threat review* (2024) amplia il quadro focalizzandosi sul settore del marketing, dove l'introduzione dell'AIM viene percepita come una minaccia diretta alla sicurezza lavorativa. La paura della sostituzione e del declassamento induce resistenze che non possono essere risolte solo con incentivi economici o aggiornamenti tecnici, ma richiedono una riformulazione dei ruoli e una valorizzazione esplicita del contributo umano all'interno dei processi automatizzati.

Nel complesso, questa sottosezione mostra come le resistenze psicologiche e culturali costituiscano un ostacolo trasversale ai contesti, che può essere superato solo attraverso interventi integrati, capaci di combinare progettazione tecnologica attenta, gestione inclusiva del cambiamento e valorizzazione della componente umana nei percorsi formativi.

4.4.2) Costi, infrastrutture e disuguaglianze formative

I costi elevati di implementazione, le carenze infrastrutturali e le disuguaglianze di accesso rappresentano fattori strutturali che limitano fortemente l'efficacia e la diffusione dei programmi formativi basati sull'intelligenza artificiale, aggravando i divari esistenti tra organizzazioni, settori e contesti geografici.

Il paper *AI-Based Human Resource Management Tools and Techniques; A Systematic Literature Review* (2023) offre un primo quadro delle barriere economiche e infrastrutturali nel settore HR, evidenziando come l'adozione di sistemi formativi intelligenti richieda investimenti significativi non solo in termini tecnologici, ma anche di aggiornamento delle competenze e riorganizzazione dei processi. La mancanza di risorse adeguate può accentuare le disuguaglianze tra grandi imprese e PMI, determinando scenari in cui solo i soggetti più strutturati riescono a sfruttare appieno le potenzialità dell'AI.

Questa evidenza si collega al contributo di *AI and AI-powered tools for pronunciation training* (2023), che mette in luce le difficoltà specifiche nei contesti linguistici, dove gli assistenti vocali non riescono a riconoscere correttamente la pronuncia non nativa, generando esclusione per chi proviene da background diversi. Oltre agli ostacoli tecnici, il paper segnala preoccupazioni etiche legate alla privacy dei dati vocali, che rendono necessarie soluzioni infrastrutturali avanzate e regolamentazioni adeguate per evitare discriminazioni.

Concordamente, *L'integrazione di IA e tecnologia assistiva nella didattica speciale* (2024) amplia la riflessione al contesto scolastico italiano, dove il 70,71% dei docenti individua le carenze infrastrutturali come principale ostacolo all'introduzione dell'AI. La riduzione della durata dei corsi di formazione e la percezione di una digitalizzazione imposta dall'alto acuiscono il senso di distacco

tra innovazione e realtà quotidiana, mostrando che le sfide infrastrutturali non riguardano solo la tecnologia, ma anche la sua sostenibilità e accessibilità nei contesti concreti.

Il paper *AI-Based Equipment Optimization of the Design on Intelligent Education Curriculum System* (2022) rafforza questa prospettiva, sottolineando come l'adozione efficace dell'AI richieda non solo strumenti avanzati, ma anche un investimento parallelo nella formazione dei docenti. Senza un ecosistema abilitante, fatto di risorse materiali e competenze umane, le promesse dell'AI rischiano di rimanere irrealizzate.

Infine, *Artificial Intelligence and Knowledge Sharing: Contributing Factors to Organizational Performance* (2022) evidenzia come le carenze infrastrutturali e le disuguaglianze formative abbiano effetti diretti sulla capacità delle organizzazioni di favorire la collaborazione tra AI e knowledge worker. Le imprese che investono in formazione mirata e in tecnologie accessibili riescono a ridurre il timore della sostituzione lavorativa e a promuovere un approccio più inclusivo all'innovazione, mentre quelle che trascurano questi aspetti finiscono per amplificare le disparità interne e limitare il potenziale trasformativo dell'AI.

In definitiva, emerge chiaramente che affrontare i costi, potenziare le infrastrutture e garantire l'equità di accesso rappresentano condizioni imprescindibili per tradurre le potenzialità della formazione AI in risultati concreti e inclusivi, evitando che l'innovazione tecnologica amplifichi ulteriormente le disuguaglianze esistenti.

4.4.3) Gap di competenze e modelli di upskilling

La sfida di colmare i gap di competenze rappresenta uno dei nodi centrali nella progettazione di strategie formative AI-driven: non si tratta solo di trasmettere abilità tecniche, ma di ridefinire i modelli di apprendimento, garantendo upskilling e reskilling efficaci per lavoratori e professionisti. Questo tema si intreccia con la necessità di sviluppare approcci didattici innovativi, capaci di integrare tecnologie avanzate e metodologie pedagogiche per sostenere la motivazione, la consapevolezza critica e l'adattabilità cognitiva.

Il paper *The Role of Upskilling and Reskilling for Talent Transformation in the Era of AI* (2024) sottolinea come la trasformazione digitale renda imprescindibili strategie di aggiornamento mirato, capaci di sostenere anche le fasce più vulnerabili della popolazione aziendale. L'approccio inclusivo proposto dagli autori si basa sull'idea che la formazione non debba limitarsi a trasmettere conoscenze tecniche, ma debba accompagnare il lavoratore lungo un percorso di empowerment, resilienza e adattamento continuo.

Questa visione si collega al contributo di *On the Use of AI-Based Tools like ChatGPT to Support Management Research* (2023), che evidenzia le sfide formative derivanti dai limiti strutturali degli strumenti AI, come i bias, le allucinazioni algoritmiche e la difficoltà di interpretare criticamente i risultati prodotti. Il paper richiama l'urgenza di formare i knowledge worker a un uso consapevole e responsabile dell'AI, evitando il rischio di una delega cieca all'automazione e promuovendo pratiche di collaborazione aumentata uomo-macchina.

In continuità con queste riflessioni, *The Effect of Generative AI-Based Tool Use on Students' Computational Thinking Skills, Programming Self-Efficacy and Motivation* (2023) offre uno sguardo specifico al contesto educativo, mostrando come l'adozione di strumenti AI generativi possa stimolare l'apprendimento solo se accompagnata da strategie pedagogiche strutturate e da attività collaborative. Senza un supporto adeguato, infatti, l'uso di questi strumenti rischia di trasformarsi in un'esperienza passiva, incapace di rafforzare le competenze metacognitive e la capacità di riflessione critica.

Un quadro analogo emerge nel paper *Conversational AI-based VR system to improve construction safety training of migrant workers* (2024), che analizza l'impatto dell'AI nella formazione dei lavoratori

migranti. I risultati, pur positivi in termini di apprendimento misurabile (+23% nei test), rivelano che la motivazione intrinseca e l'engagement nei compiti cognitivamente complessi non migliorano significativamente, sottolineando la necessità di integrare l'AI con pratiche educative più robuste e partecipative.

Questa esigenza trova conferma anche nello studio *Preservice Teachers' Readiness Towards Integrating AI-Based Tools in Education: A TPACK Approach* (2024), che evidenzia un preoccupante gap pratico tra la preparazione teorica dei futuri insegnanti e la loro capacità operativa di selezionare e integrare efficacemente gli strumenti AI. Il rischio, secondo gli autori, è che l'assenza di un supporto metodologico adeguato si traduca in percorsi di apprendimento superficiali, con un impatto limitato sull'efficacia educativa complessiva.

In linea con queste osservazioni, il paper *Dungeons & deepfakes: Using scenario-based role-play to study journalists' behavior towards using AI-based verification tools for video content* (2024) analizza il comportamento dei giornalisti nei confronti degli strumenti AI, mostrando come l'overreliance e il confirmation bias possano compromettere la qualità del lavoro. Il paper sottolinea che solo attraverso un training specifico orientato alla metacognizione e alla riflessione critica è possibile evitare un apprendimento passivo e mantenere un controllo umano consapevole sui processi decisionali mediati dall'AI.

Infine, lo studio *Transforming Learning & Development: The Impact of Artificial Intelligence and Automation on Employee Motivation to Learn* (2023) amplia ulteriormente la riflessione, mostrando che i sistemi di L&D guidati da AI sono più efficaci nell'incrementare la motivazione autonoma all'apprendimento rispetto alle soluzioni tradizionali. Tuttavia, gli autori avvertono che per massimizzare questi benefici è necessario progettare percorsi formativi che sappiano bilanciare automazione e intervento umano, evitando di cadere nella trappola di un upskilling puramente tecnico e non riflessivo.

Questa analisi complessiva mette in luce che colmare i gap di competenze richiede un impegno multilivello: non basta introdurre tecnologie avanzate nei percorsi di formazione, ma è fondamentale costruire ecosistemi educativi in grado di stimolare la motivazione, la metacognizione e l'uso critico degli strumenti, garantendo così un apprendimento significativo e sostenibile.

4.4.4) Sfide operative e organizzative dei programmi formativi

Un ulteriore livello di complessità emerge analizzando le sfide operative e organizzative che accompagnano la delivery dei programmi formativi basati su AI: la governance, il change management e la gestione della qualità diventano dimensioni imprescindibili per assicurare un'implementazione efficace e sostenibile. Non basta concentrarsi sui contenuti e sulle tecnologie: occorre predisporre strutture organizzative adeguate, pianificare strategie di accompagnamento e costruire modelli di leadership capaci di sostenere il cambiamento.

Il paper *Prevention of Phishing Attacks Using AI-Based Cybersecurity Awareness Training* (2022) offre un esempio paradigmatico: sebbene le soluzioni AI contribuiscano a ridurre gli attacchi informatici, gli autori evidenziano che l'automazione da sola non garantisce una protezione completa. Solo un approccio ibrido, capace di combinare l'intelligenza tecnologica con un training continuo e adattivo, può rafforzare la consapevolezza degli utenti e promuovere una cultura della prevenzione.

Questa evidenza si collega al paper *The Effectiveness of an Educational Environment Based on Artificial Intelligence Techniques Using Virtual Classrooms on Training Development* (2022), che pur mostrando risultati positivi sull'efficacia delle classi virtuali AI-based, segnala limiti metodologici significativi, come l'assenza di confronti diretti con altre tecnologie educative e la ridotta dimensione del campione. Tali criticità sottolineano che l'efficacia percepita dei programmi formativi AI-driven

può essere fortemente condizionata da fattori contestuali e richiede quindi una progettazione accurata, basata su studi longitudinali e comparativi.

Ampliando queste riflessioni, il paper *A Quantitative Study of Risk Scores and the Effectiveness of AI-Based Cybersecurity Awareness Training Programs* (2022) evidenzia che l'impatto dei programmi formativi non dipende solo dalla durata del training, ma soprattutto dalla qualità dei contenuti e dalla capacità di personalizzare l'apprendimento in base alle esigenze specifiche degli utenti. Gli autori mettono in guardia dal rischio di applicare soluzioni standardizzate a contesti complessi, suggerendo la necessità di strategie più flessibili e adattive.

Un'ulteriore prospettiva critica emerge dal paper *On the Effectiveness of Portable Models versus Human Expertise under Continuous Active Learning* (2021), che analizza la document review automatizzata. Lo studio mostra come, nonostante i progressi tecnologici, i modelli AI portatili presentino rischi concreti di data leakage, problemi di proprietà intellettuale e scarsa capacità di generalizzazione, ribadendo l'importanza di affiancare sempre un presidio umano ai processi automatizzati per garantire qualità, sicurezza ed etica.

Questa linea di ragionamento trova riscontro anche nello studio *Addressing the Challenges of AI-based Telemedicine* (2023), che affronta le barriere all'adozione dell'AI nel settore sanitario. Gli autori segnalano come la mancanza di infrastrutture, la formazione inadeguata del personale e i rischi legati alla trasparenza algoritmica non siano ostacoli puramente tecnici, ma sfide organizzative che richiedono una governance multilivello, capace di integrare tecnologie intelligenti senza compromettere il giudizio clinico umano.

Analogamente, il paper *How AI Revolutionizes Innovation Management – Perceptions and Implementation Preferences of AI-based Innovators* (2022) mette in evidenza come la difficoltà principale non risieda solo nell'adozione tecnica dell'AI, ma nell'attivazione di un contesto organizzativo favorevole all'apprendimento continuo e alla sperimentazione. Secondo gli autori, la formazione rappresenta un prerequisito imprescindibile per passare da progetti pilota a implementazioni strategiche su larga scala.

In continuità, lo studio *Impact of AI Involvement Affect the Work Efficiency of the Staff in the Organization* (2024) esplora le resistenze individuali e organizzative generate dall'introduzione dell'AI, evidenziando come la formazione non possa limitarsi a un trasferimento tecnico di competenze, ma debba includere interventi mirati a preservare la creatività, la soddisfazione lavorativa e il benessere del personale.

Infine, *Navigating the Jagged Technological Frontier: Field Experimental Evidence of the Effects of AI on Knowledge Worker Productivity and Quality* (2024) offre un'analisi empirica delle dinamiche operative nei contesti knowledge-intensive. I risultati mostrano che, senza una formazione mirata, l'uso dell'AI nei compiti complessi può peggiorare le performance e incentivare comportamenti di "blind copying" degli output algoritmici, con effetti negativi sulla qualità complessiva del lavoro.

In sostanza questa rassegna evidenzia che le sfide operative e organizzative dei programmi formativi AI-driven non si risolvono solo con soluzioni tecnologiche avanzate, ma richiedono una governance integrata, strategie di change management partecipative e un costante investimento nella formazione continua, per garantire un'adozione responsabile ed efficace delle innovazioni.

4.4.5) Valutazione dell'efficacia e sostenibilità dei percorsi formativi

Un aspetto imprescindibile nell'analisi delle sfide e opportunità legate alla formazione AI-driven riguarda la capacità di misurare con precisione la sua efficacia, la sostenibilità e l'impatto strategico. Non è sufficiente introdurre nuove tecnologie e metodologie didattiche: occorre disporre di metriche affidabili per valutare il ritorno sull'investimento (ROI), la qualità dell'apprendimento e gli effetti sulle performance organizzative e individuali. Questa valutazione diventa centrale per garantire che i

programmi formativi non si traducano in interventi isolati e sperimentali, ma contribuiscano in modo duraturo all'evoluzione delle competenze e alla sostenibilità dei processi innovativi.

In questa direzione, il paper *A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education during the Digital Era* (Limna et al., 2022) mette in luce come la mancanza di formazione adeguata e la resistenza culturale del corpo docente siano fattori che compromettono l'efficacia complessiva dell'integrazione AI nei contesti educativi. Il contributo è rilevante perché evidenzia che, senza una valutazione attenta degli ostacoli umani e sistemici, le tecnologie rischiano di rimanere sottoutilizzate o addirittura percepite come dannose, minando gli obiettivi formativi e generando effetti controproducenti.

Questa evidenza si collega allo studio *Advancing the Design and Implementation of Artificial Intelligence in Education through Continuous Improvement* (2024), che affronta in profondità le sfide FATE (Fairness, Accountability, Transparency, Ethics) nella costruzione di ecosistemi educativi basati su AI. Gli autori sottolineano l'importanza di coinvolgere attivamente gli insegnanti nei cicli di miglioramento continuo (ad esempio attraverso i modelli Plan-Do-Study-Act) per garantire che la valutazione dell'efficacia non sia solo quantitativa, ma anche qualitativa e contestualizzata. Ecco che il paper propone strategie per rendere i percorsi formativi adattivi e responsabili, prevenendo rischi di esclusione, iniquità e sfiducia tecnologica.

Il tema della valutazione viene ulteriormente approfondito da *A Multilevel Review of Artificial Intelligence in Organizations: Implications for Organizational Behavior Research and Practice* (Bankins, 2023), che analizza le tensioni generate dalla mancanza di spiegabilità nei processi decisionali automatizzati. La rilevanza di questo studio risiede nel fatto che l'efficacia della formazione AI non può essere separata dalla capacità di spiegare e comprendere i risultati prodotti: senza strumenti di explainable AI (XAI), gli utenti faticano ad accettare i modelli e a sviluppare fiducia nei confronti della tecnologia. Questo aspetto evidenzia che le metriche di valutazione devono includere anche dimensioni legate alla percezione, alla trasparenza e al coinvolgimento umano.

Infine, il paper *The Impact of Artificial Intelligence Adoption Intensity on Corporate Sustainability Performance* (2024) rafforza ulteriormente la riflessione, mostrando come l'intensità di adozione dell'AI sia strettamente legata a pratiche di change management strutturate e a strategie di monitoraggio degli impatti. Gli autori propongono l'adozione di modelli come quello a otto fasi di Kotter per accompagnare la trasformazione, sottolineando che la valutazione dell'efficacia deve abbracciare non solo l'efficienza tecnica, ma anche la sostenibilità culturale e organizzativa. In questo senso, il monitoraggio continuo e la definizione di indicatori adeguati diventano strumenti indispensabili per misurare se e come i programmi formativi AI-driven generano valore reale per l'impresa.

Nel complesso, questa sottosezione mette in evidenza che la valutazione dell'efficacia formativa non è un semplice esercizio di misurazione, ma un processo articolato che richiede attenzione ai fattori umani, organizzativi, etici e contestuali. Solo attraverso un approccio multilivello e metodologicamente solido è possibile garantire che le strategie di formazione AI non restino meri slogan innovativi, ma si traducano in pratiche sostenibili e generative di valore.

Capitolo 5 – Strategie e sfide per l'implementazione dell'AI nelle organizzazioni

5.1) Esempi di implementazione di successo

5.1.1) Panoramica occupazionale e soluzioni HR

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei contesti occupazionali e nelle pratiche HR sta ridefinendo profondamente i modelli di lavoro, l'organizzazione delle risorse umane e la competitività aziendale. Questo processo non riguarda solo l'automazione di attività routinarie, ma anche la

trasformazione delle modalità decisionali, l'innovazione nei flussi comunicativi e il ripensamento delle strategie di engagement e retention del personale.

Secondo il *PwC AI Jobs Barometer (2024)*, i settori con maggiore penetrazione dell'AI hanno registrato incrementi di produttività fino a 4,8 volte superiori rispetto a quelli meno digitalizzati. Questo dato offre un quadro quantitativo di partenza che evidenzia l'impatto sistemico dell'AI sul mercato del lavoro e ne giustifica l'analisi approfondita nei casi aziendali concreti.

Seguendo con queste evidenze generali, il paper *Navigating the Future: Integrating AI and Machine Learning in HR Practices for a Digital Workforce (2024)* illustra esempi pratici di implementazione AI nei processi HR, come l'uso dei chatbot da parte di IBM per automatizzare richieste interne, gli algoritmi predittivi di Google per monitorare il turnover e i sistemi di Unilever e McDonald's per ottimizzare rispettivamente performance e turni. Queste soluzioni dimostrano come l'adozione di AI non si limiti a una logica di automazione, ma favorisca ambienti di lavoro più reattivi, personalizzati e orientati al benessere del dipendente.

Questa evidenza si collega al contributo di *Human Resource Management in the Age of Generative Artificial Intelligence (2023)*, che analizza l'investimento strategico di Microsoft in OpenAI (10 miliardi di dollari) per integrare modelli generativi nei processi aziendali. L'esempio mostra come l'AI generativa non solo migliori produttività e collaborazione, ma trasformi il tessuto stesso delle interazioni lavorative, indicando che l'innovazione HR non riguarda solo processi interni, ma anche la ridefinizione delle piattaforme tecnologiche di supporto.

Sempre in linea con questa traiettoria, *Innovative Business Models Driven by AI Technologies: A Review (2023)* amplia lo sguardo mettendo in luce come modelli AI-driven abbiano trasformato diversi comparti, incluso quello HR, rendendo le operazioni più flessibili, personalizzate e orientate all'efficienza. Questo studio, pur includendo settori diversificati, rafforza l'idea che il valore strategico dell'AI risieda nella sua capacità di adattarsi a esigenze e contesti variabili.

Infine, lo studio *Artificial Intelligence Applications as a Modern Trend to Achieve Organizational Innovation in Jordanian Commercial Banks (2022)* offre un caso specifico di innovazione organizzativa nel settore bancario, evidenziando l'efficacia dei sistemi basati su logica fuzzy nell'innescare processi innovativi, rispetto a strumenti più tradizionali come gli expert systems. Questa evidenza è cruciale perché mostra come l'efficacia delle soluzioni AI non sia uniforme, ma variabile a seconda delle tecnologie adottate e del contesto operativo, introducendo così una dimensione critica rispetto all'adozione indiscriminata di strumenti automatizzati.

Nel complesso, i contributi analizzati in questa sottosezione mostrano come l'AI stia ridefinendo l'ecosistema HR e occupazionale non solo in termini di efficienza e produttività, ma anche di qualità del lavoro, personalizzazione dei processi e innovazione organizzativa, offrendo una panoramica articolata e critica delle dinamiche in atto.

5.1.2) Trasformazioni settoriali e sostenibilità

La diffusione dell'intelligenza artificiale nei diversi settori produttivi e industriali ha prodotto trasformazioni profonde, non limitate all'efficienza operativa, ma capaci di incidere sulla sostenibilità, sull'innovazione dei modelli di business e sul ripensamento strategico delle filiere. Questa sottosezione analizza casi emblematici di implementazione settoriale dell'AI, mostrando come l'adozione tecnologica possa fungere da motore di crescita e rinnovamento in ambiti eterogenei, dal manifatturiero all'agricoltura, dalla sanità all'automotive.

Il paper *AI Revolutionizing Industries Worldwide: A Comprehensive Overview of Its Diverse Applications (2024)* offre un ampio panorama comparativo delle applicazioni settoriali dell'intelligenza artificiale. Ad esempio, l'agricoltura di precisione basata su sensori e droni ha portato a un incremento dei raccolti del 20–30% e a una riduzione del 25% dell'uso d'acqua, mentre nel

settore manifatturiero l'uso della manutenzione predittiva ha migliorato qualità e continuità produttiva. In sanità, l'AI ha potenziato i sistemi diagnostici, incrementando la precisione e ottimizzando la gestione delle risorse cliniche. Questa varietà applicativa evidenzia che l'AI non è confinata a singoli comparti, ma si presenta come tecnologia abilitante trasversale.

In continuità con questa visione, l'articolo *Artificial Intelligence – Driven Sustainable Development: Examining Organizational, Technical, and Processing Approaches to Achieving Global Goals (2023)* sposta l'attenzione sul contributo dell'AI agli obiettivi di sostenibilità. Il paper sottolinea come l'adozione dell'intelligenza artificiale consenta di ottimizzare risorse, ridurre gli sprechi e migliorare la gestione dei dati, ma rimarca anche che il successo non dipende unicamente dalla tecnologia, bensì dalla capacità delle organizzazioni di gestire il cambiamento e promuovere una cultura orientata all'apprendimento continuo e all'innovazione.

Questa prospettiva si arricchisce ulteriormente con il contributo *Revolutionizing Drug Discovery: The Impact of Artificial Intelligence on Advancements in Pharmacology and the Pharmaceutical Industry (2024)*, che rappresenta un case study avanzato di trasformazione digitale nel settore farmaceutico. Qui l'intelligenza artificiale viene adottata lungo tutta la filiera R&D, dalla scoperta dei composti all'ottimizzazione dei trial clinici, mostrando come l'integrazione tecnologica possa accorciare i tempi di sviluppo dei farmaci, ridurre i costi e favorire una medicina più personalizzata e predittiva.

Infine, il paper *The Future of Automotive Manufacturing: Integrating AI, ML, and Generative AI for Next-Gen Automatic Cars (2024)* illustra come l'adozione combinata di AI, ML e generative AI stia ridefinendo il design e la produzione dei veicoli. L'uso della generative AI per progettazioni leggere ed efficienti, abbinato a tecniche di manutenzione predittiva e ottimizzazione della supply chain, ha determinato miglioramenti tangibili in termini di prestazioni, sostenibilità e sicurezza, rafforzando la competitività del settore.

Questi contributi dimostrano come l'AI, se implementata strategicamente, non solo migliori le performance operative nei diversi settori, ma agisca da leva per una trasformazione più ampia e sostenibile, in grado di ripensare i modelli produttivi, rafforzare la resilienza delle filiere e promuovere innovazioni di lungo termine.

5.1.3) Analytics, DevOps e governance

La terza sottosezione esplora le applicazioni di successo dell'intelligenza artificiale nelle aree dell'analytics, della governance e delle pratiche DevOps, evidenziando come questi ambiti costituiscano il cuore infrastrutturale delle organizzazioni data-driven. L'adozione dell'AI in questi contesti non riguarda solo l'efficienza operativa, ma investe la capacità delle aziende di prendere decisioni informate, governare la complessità dei sistemi e integrare automazione e predittività nei processi tecnologici.

Il paper *AI-driven business analytics and decision making (2024)* apre questa riflessione illustrando come l'integrazione dell'intelligenza artificiale con piattaforme SAP consenta alle organizzazioni di diversa scala di ottenere vantaggi significativi, come l'incremento dell'accuratezza decisionale, l'ottimizzazione delle operazioni e la costruzione di un vantaggio competitivo. Particolarmente rilevante è l'attenzione alle best practice, tra cui la qualità dei dati, l'adozione progressiva delle soluzioni e il coinvolgimento attivo degli utenti finali, aspetti replicabili in altri contesti organizzativi.

In approfondimento con questa analisi, il paper *Artificial Intelligence Trust, Risk and Security Management (AI TRiSM): Frameworks, Applications, Challenges and Future Research Directions (2024)* presenta il framework AI TRiSM, concepito per rafforzare la trasparenza, la sicurezza e l'affidabilità dei sistemi intelligenti. I casi applicativi analizzati – dalla riduzione delle discrepanze decisionali in finanza al miglioramento della precisione diagnostica in sanità, fino alla gestione dei rischi in automazione aziendale – dimostrano come una governance solida sia un prerequisito per la costruzione di sistemi AI resilienti e affidabili.

Questa evidenza si collega al contributo *Integrating AI into DevOps pipelines: Continuous integration, continuous delivery, and automation in infrastructural management: Projections for future (2024)*, che analizza l'introduzione di soluzioni AI nei processi DevOps. Il paper mostra come l'automazione intelligente consenta di ridurre i tempi di rilascio software, minimizzare gli errori umani e ottimizzare i costi operativi, migliorando l'efficienza dei sistemi IT anche senza ricorrere a infrastrutture radicalmente nuove.

Infine, il paper *Decoding MLOps: Bridging the gap between data science and operations for scalable AI systems (2024)* amplia ulteriormente il quadro, focalizzandosi sulle pratiche MLOps. Qui, l'adozione di pipeline automatizzate, sistemi di monitoraggio dei modelli e strategie di versioning ha portato a un incremento medio del 30% nell'efficienza operativa, a una maggiore stabilità predittiva e a una più efficace governance del ciclo di vita dei modelli, generando anche un miglioramento percepito da parte degli stakeholder.

Nel complesso, questi contributi dimostrano che l'integrazione strategica dell'AI nelle infrastrutture analitiche e operative rappresenta una leva imprescindibile per garantire scalabilità, affidabilità e competitività nei mercati attuali, mostrando come analytics, DevOps e governance si configurino come elementi chiave per il successo delle organizzazioni AI-driven.

5.1.4) Edge computing e supply chain

Questa sottosezione si concentra sugli esempi di successo legati all'implementazione dell'intelligenza artificiale nell'edge computing e nella gestione della supply chain, due ambiti dove l'efficienza computazionale e la capacità predittiva assumono un ruolo cruciale per garantire velocità, resilienza e sostenibilità. L'adozione dell'AI in questi settori mostra come sia possibile ottenere performance avanzate anche su infrastrutture standard, a patto di disporre di architetture algoritmiche ottimizzate e di un'efficace integrazione dei modelli decisionali nei flussi operativi.

Il paper *Corun: Concurrent Inference and Continuous Training at the Edge for Cost-Efficient AI-Based Mobile Image Sensing (2024)* costituisce un esempio paradigmatico. Il sistema Corun permette la coesecuzione simultanea di inferenze e training continuo su una singola GPU, ottenendo throughput fino a 4,7 volte superiori senza sacrificare la latenza. Questo caso evidenzia la possibilità di ridurre i costi operativi e ottimizzare l'uso delle risorse hardware, configurandosi come una best practice per l'edge AI, dove scalabilità ed efficienza si fondono in una soluzione economicamente sostenibile.

In continuità, il paper *Artificial Intelligence in Logistics and Supply Chain Management: A Primer and Roadmap for Research (2023)* amplia la riflessione al settore logistico. Tra le applicazioni più efficaci emergono la manutenzione predittiva, l'ottimizzazione della distribuzione e l'uso di chatbot per personalizzare il servizio clienti, tutti strumenti che hanno migliorato la resilienza delle catene di approvvigionamento e la capacità di risposta delle organizzazioni a scenari di crisi.

Questa evidenza si collega al contributo *AI-powered ensemble machine learning to optimize cost strategies in logistics business (2024)*, che presenta un caso avanzato di implementazione AI. L'approccio "d'insieme" adottato ha permesso di raggiungere accuratezze superiori al 99% nella previsione dei costi, rafforzando l'affidabilità predittiva e riducendo i rischi operativi. Particolarmente innovativo è l'uso di dati simulati per l'addestramento dei modelli, che rende il framework replicabile in contesti complessi e ad alta variabilità.

In sintesi, questi contributi dimostrano come l'integrazione intelligente dell'AI nell'edge computing e nella supply chain consenta di ottenere vantaggi significativi in termini di scalabilità, accuratezza e resilienza, trasformando le sfide infrastrutturali in leve strategiche per competere in mercati sempre più dinamici.

5.1.5) Formazione continua e casi nel settore pubblico

Questa sottosezione analizza esempi significativi di implementazione dell'intelligenza artificiale focalizzati sia sulla formazione continua nei processi aziendali sia sull'uso dell'AI nei contesti amministrativi pubblici. L'adozione dell'AI in questi ambiti rivela sfide e opportunità peculiari: da un lato, l'integrazione di sistemi predittivi e di aggiornamento continuo rafforza l'efficienza operativa nelle catene di approvvigionamento; dall'altro, l'uso nei processi burocratici e decisionali pubblici solleva questioni di governance, trasparenza e responsabilità, modificando in profondità ruoli e funzioni del personale.

Il paper *A continuous training approach for risk informed supplier selection and order allocation (2025)* rappresenta un caso emblematico nel campo della supply chain. L'adozione di modelli predittivi con training continuo ha migliorato significativamente l'affidabilità delle consegne e l'allocazione degli ordini, portando a una riduzione tangibile dei costi logistici. L'integrazione tra regressori CatBoost e sistemi MILP aggiornati in tempo reale mostra come l'AI possa rafforzare la resilienza delle catene di approvvigionamento anche in scenari ad alta variabilità.

In contrasto, il paper *More than a Digital System: How AI is Changing the Role of Bureaucrats in Different Organizational Contexts (2024)* offre uno sguardo critico sui processi pubblici, confrontando due casi nazionali. Negli Stati Uniti, l'implementazione del sistema MiDAS per automatizzare le richieste di disoccupazione ha ridotto drasticamente il personale della UIA, generando controversie e impatti sociali rilevanti. Nei Paesi Bassi, invece, l'AI è stata integrata più gradualmente nella gestione delle indennità per l'infanzia, trasformando i compiti dei burocrati senza sostituirli del tutto, ma modificando il contenuto del loro lavoro.

Questa riflessione si amplia con il contributo *Artificial Intelligence and Knowledge Sharing: Contributing Factors to Organizational Performance (2022)*, che evidenzia come l'AI, se applicata strategicamente, possa migliorare la gestione della conoscenza e sostenere processi di trasformazione organizzativa. L'uso di sistemi AI per favorire il knowledge sharing ha non solo ottimizzato le risorse interne, ma anche incrementato la capacità delle aziende di adattarsi ai cambiamenti di mercato, dimostrando che l'AI è un fattore cruciale per promuovere innovazione e apprendimento continuo.

Nel complesso, questi contributi mostrano come l'AI, sia nel settore privato che in quello pubblico, possa trasformare radicalmente le dinamiche organizzative, ma richieda strategie di integrazione attente e responsabili, capaci di bilanciare efficienza, impatti sociali e valorizzazione delle competenze umane.

5.2) Difficoltà e barriere nell'integrazione dell'AI

5.2.1) Barriere legate a dati, costi e infrastrutture

Le barriere legate a dati, costi e infrastrutture rappresentano uno dei primi e più tangibili ostacoli all'integrazione efficace dell'intelligenza artificiale, poiché incidono direttamente sulla fattibilità tecnica e sulla sostenibilità economica dei progetti.

Il paper *Re-Thinking Data Strategy and Integration for Artificial Intelligence: Concepts, Opportunities, and Challenges (2023)* offre un'analisi dettagliata di queste difficoltà, sottolineando come la gestione dei dati sia un nodo cruciale: problemi di qualità, volume, privacy, bias e interpretabilità possono compromettere non solo l'affidabilità dei modelli, ma anche la loro sostenibilità a lungo termine. Questa evidenza si collega strettamente al contributo del *Methodological Approach to Assessing the Current State of Organizations for AI-Based Digital Transformation (2024)*, che identifica ulteriori ostacoli sistemici, come l'assenza di dati strutturati e accessibili, la difficoltà di integrazione con i sistemi legacy e la carenza di competenze specifiche. Entrambi gli studi convergono nell'indicare che, senza un approccio strategico e multidimensionale, le organizzazioni rischiano di rimanere

bloccate nella fase iniziale di sperimentazione, incapaci di evolvere verso un'adozione scalabile dell'AI.

Un aspetto particolarmente critico emerso negli ultimi anni è il fattore economico. Il report *The Rising Costs of Training Frontier AI Models* (2024) denuncia l'aumento esponenziale dei costi di addestramento, che rischia di escludere università, startup e piccole imprese dallo sviluppo o dalla personalizzazione dei modelli avanzati. In linea con i paper precedenti, questo studio evidenzia come le barriere tecnologiche si intreccino con quelle economiche, ponendo questioni di equità di accesso e accentuando il divario tra attori grandi e piccoli nell'ecosistema AI. L'esplorazione di strategie alternative, come il fine-tuning di modelli pre-addestrati o l'adozione di soluzioni open source, emerge come una possibile via per ridurre queste disuguaglianze.

Le difficoltà infrastrutturali non si limitano al settore privato. Il paper *Challenges to implementing artificial intelligence in healthcare: a qualitative interview study with healthcare leaders in Sweden* (2022) porta alla luce le complessità specifiche del contesto sanitario, dove le barriere normative, tecnologiche e organizzative si sovrappongono. In particolare, l'ambiguità legislativa sulla responsabilità decisionale delle AI, le sfide di interoperabilità dei dati sanitari e la mancanza di standardizzazione costituiscono ostacoli difficili da superare senza interventi multilivello. Questa evidenza si collega alle riflessioni di *Challenges and Opportunities of Generative AI for Higher Education as Explained by ChatGPT* (2023), che analizza barriere analoghe in ambito universitario: limitata consapevolezza tecnologica, resistenza istituzionale al cambiamento e costi elevati di implementazione. Il confronto tra i due studi suggerisce che, pur in contesti differenti, l'adozione dell'AI si scontra sistematicamente con sfide infrastrutturali e regolatorie che richiedono soluzioni su misura, calibrate sulle specificità settoriali.

In sintesi, la letteratura analizzata in questa sottosezione conferma che le barriere legate a dati, costi e infrastrutture costituiscono una matrice complessa e interconnessa di sfide, che investono tanto il livello tecnico quanto quello economico e regolatorio. Superare questi ostacoli non significa soltanto potenziare le risorse tecnologiche, ma ripensare in modo integrato modelli di governance, strategie collaborative e politiche di accesso equo all'innovazione.

5.2.2) Ostacoli organizzativi e formativi

Gli ostacoli organizzativi e formativi si rivelano determinanti nell'adozione dell'AI, poiché riguardano la capacità delle organizzazioni di creare un ambiente favorevole al cambiamento e di fornire al personale le competenze necessarie per interagire con le nuove tecnologie.

Il paper *Prevention of Phishing Attacks Using AI-Based Cybersecurity Awareness Training* (2022) illustra come anche i programmi AI più avanzati, pur dimostrando efficacia tecnica, rischiano di fallire se introdotti in contesti privi di una cultura aziendale orientata alla formazione continua. In assenza di alfabetizzazione digitale e di infrastrutture adeguate, le soluzioni intelligenti possono rivelarsi inefficaci, confermando che l'adozione tecnologica non può prescindere da strategie parallele di upskilling e change management.

In continuità con questa riflessione, il paper *AI-Based Human Resource Management Tools and Techniques; A Systematic Literature Review* (2023) amplia la prospettiva mostrando come le barriere organizzative si estendano anche ai processi HR. La presenza di bias nei modelli predittivi, la scarsa readiness tecnologica e le difficoltà nella gestione dei dati personali non solo compromettono l'efficacia delle soluzioni AI, ma riducono la fiducia degli utenti e creano un circolo vizioso di resistenza al cambiamento. Qui emerge un confronto critico con i contributi precedenti: mentre le barriere formative riguardano prevalentemente la preparazione del personale, quelle organizzative implicano una revisione profonda delle strutture e delle pratiche interne, richiedendo una leadership capace di guidare la trasformazione in modo inclusivo e trasparente.

Un aspetto specifico, ma spesso sottovalutato, è evidenziato da *Role and Challenges of ChatGPT and Similar Generative Artificial Intelligence in Business Management* (2023), che si concentra sulle difficoltà di garantire coerenza e continuità comunicativa nei sistemi automatizzati. Senza meccanismi efficaci di supervisione e senza adeguati processi di training dei modelli, le risposte generate dall'AI possono danneggiare la reputazione aziendale, trasmettendo messaggi incoerenti rispetto ai valori organizzativi. Questa evidenza si collega alle analisi di *Artificial intelligence-virtual trainer: Innovative didactics aimed at personalized training needs* (2023), che sottolinea come la percezione di sostituibilità dei professionisti HR e le preoccupazioni per la sicurezza dei dati personali rappresentino barriere psicologiche e culturali significative. In entrambi i casi, emerge la necessità di costruire progressivamente la fiducia nei sistemi intelligenti attraverso governance partecipata, trasparenza decisionale e coinvolgimento attivo dei lavoratori.

In conclusione, gli ostacoli organizzativi e formativi non sono meri fattori accessori, ma elementi centrali che determinano la riuscita o il fallimento dei progetti AI. Superarli significa non solo investire in tecnologia, ma anche ripensare i modelli di leadership, le pratiche di gestione delle risorse umane e le strategie di comunicazione interna, in un'ottica di cambiamento condiviso e sostenibile.

5.2.3) Sfide tecnologiche e di governance

Le sfide tecnologiche e di governance rappresentano una delle aree più complesse nell'adozione dell'AI, poiché toccano aspetti profondi legati alla sicurezza, alla scalabilità, alla trasparenza e alla sostenibilità operativa dei sistemi intelligenti.

Il paper *Securing AI-based healthcare systems using blockchain technology: A state-of-the-art systematic literature review and future research directions* (2023) esplora con grande dettaglio le vulnerabilità sistemiche nei contesti clinici, evidenziando rischi come gli attacchi adversariali, i backdoor attacks e le manipolazioni dei dataset. La rilevanza di questo contributo sta nel mostrare che proteggere i dati non basta: occorre un approccio olistico, capace di coprire l'intero ciclo di vita algoritmico, dalla raccolta all'output predittivo, per garantire affidabilità e sicurezza, soprattutto in settori ad alta intensità critica come la sanità.

In continuità con questo quadro, *Sociotechnical Envelopment of Artificial Intelligence* (2021) introduce il concetto di "envelopment sociotecnico", proponendo strategie per confinare l'operatività dell'AI entro margini di sicurezza gestibili, grazie a controlli tecnici e organizzativi. La riflessione è particolarmente utile per comprendere come anche sistemi ad alte prestazioni debbano essere regolati per rispettare i requisiti di trasparenza, explainability e responsabilità sociale, specie nei settori pubblici più sensibili.

Lo studio *On the Effectiveness of Portable Models versus Human Expertise under Continuous Active Learning* (2021) aggiunge una dimensione empirica preziosa, mostrando che, pur essendo marginalmente più efficienti, i modelli AI portatili non superano la stabilità e l'affidabilità garantite dall'expertise umana nelle attività cognitive complesse. Questa evidenza si collega ai contributi precedenti, sottolineando che l'adozione dell'AI non è una panacea universale, ma richiede un'attenta valutazione delle condizioni d'uso, dei contesti operativi e delle modalità di supervisione.

Un ulteriore approfondimento proviene dal paper *Towards an AI-driven Business Development Framework* (2023), che evidenzia criticità specifiche come il training-serving skew e il model drift, ovvero il progressivo deterioramento delle performance predittive nel tempo. L'articolo segnala anche la mancanza di comunicazione tra team tecnici e utenti finali, barriera che, se non affrontata, può ridurre significativamente la fiducia negli strumenti adottati. Questo confronto critico mette in risalto come le sfide tecnologiche non siano solo una questione di architetture o algoritmi, ma anche di governance relazionale e culturale.

Il paper *Decoding MLOps: Bridging the gap between data science and operations for scalable AI systems* (2024) amplia ulteriormente la discussione, analizzando le difficoltà operative

nell'integrazione di strumenti eterogenei e nel bilanciamento tra standardizzazione e flessibilità. La gestione del model drift, già evidenziata nel contributo precedente, viene qui approfondita come uno dei nodi centrali per garantire scalabilità e affidabilità, mentre la carenza di competenze specialistiche in MLOps e data governance emerge come ulteriore vincolo.

Chiude questa sezione *On the Use of AI-Based Tools like ChatGPT to Support Management Research* (2023), che porta l'attenzione sulle barriere cognitive e metodologiche nei contesti della conoscenza. L'uso improprio di strumenti generativi può introdurre errori sistematici, generare overreliance e minare l'affidabilità dei risultati, sollevando interrogativi fondamentali sulla trasparenza e sulla sostenibilità dell'adozione dell'AI nei processi intellettuali.

Questa panoramica mostra chiaramente come le sfide tecnologiche e di governance richiedano approcci integrati e multidimensionali, capaci di bilanciare innovazione e responsabilità per sostenere una transizione digitale solida e affidabile.

5.2.4) Impatti settoriali e complessità etico-regolatorie

L'integrazione dell'intelligenza artificiale porta con sé non solo sfide tecniche e organizzative, ma anche complessità etiche e regolatorie, particolarmente visibili nei diversi settori industriali e professionali. Comprendere questi aspetti è cruciale per valutare non solo l'efficacia, ma anche la sostenibilità e la legittimità dell'adozione dell'AI su larga scala.

Il paper *Artificial intelligence marketing and customer satisfaction: An employee job security threat review* (2024) esplora il caso del marketing, evidenziando come la paura della sostituzione lavorativa e l'assenza di strategie di reskilling generino un clima di insicurezza che mina l'efficacia dei progetti AI. Questo studio è particolarmente rilevante perché mostra che, senza adeguati programmi di accompagnamento al cambiamento, l'introduzione tecnologica rischia di trasformarsi in un ostacolo piuttosto che in un'opportunità.

Questa evidenza si collega al paper *Revolutionizing Drug Discovery: The Impact of Artificial Intelligence on Advancements in Pharmacology and the Pharmaceutical Industry* (2024), che si concentra sul settore farmaceutico e sanitario. Qui, la principale barriera è rappresentata dalla difficoltà di garantire l'interoperabilità dei dati clinici e dalla compliance con normative stringenti come GDPR e HIPAA. Un confronto critico tra questi due settori mette in luce come, sebbene le barriere siano diverse (culturali nel primo caso, regolatorie e tecniche nel secondo), in entrambi sia fondamentale affrontare i problemi in modo sistemico, investendo sia su infrastrutture sia su governance.

Il contributo di *Emerging Digital Technologies and Auditing Firms: Opportunities and Challenges* (2024) amplia ulteriormente la prospettiva, analizzando le difficoltà incontrate dalle società di revisione contabile, dove la mancanza di competenze IT e di data analytics rischia di ampliare il divario competitivo tra le Big4 e le altre imprese. Questo studio evidenzia come, senza una gestione anticipatoria del cambiamento e investimenti mirati nella formazione, anche i settori regolati e consolidati possano trovarsi impreparati di fronte alle sfide dell'AI.

Secondo un altro punto di vista, *A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education during the Digital Era* (2022) sposta l'attenzione sul settore educativo, sottolineando barriere sia tecnologiche (bassa affidabilità degli output) sia culturali (resistenza del corpo docente, scarsa alfabetizzazione digitale). Questa connessione mette in risalto come, indipendentemente dal settore, le difficoltà di adozione derivino spesso da una combinazione di limiti infrastrutturali, normativi e umani, che devono essere affrontati in maniera integrata.

Il paper *Artificial Intelligence in Developing Countries: Bridging the Gap Between Potential and Implementation* (2023) aggiunge una prospettiva geografica cruciale, mostrando come nei paesi a basso e medio reddito l'adozione dell'AI sia ostacolata da una mancanza di infrastrutture di base, di

quadri normativi adeguati e di personale qualificato. Il confronto con i settori analizzati in precedenza fa emergere una criticità sistemica: senza condizioni abilitanti solide, il potenziale trasformativo dell'AI rischia di rimanere confinato ai contesti più avanzati, accentuando le asimmetrie globali.

Questa linea di riflessione è rafforzata dal paper *Addressing the challenges of AI based telemedicine: Best practices and lessons learned* (2023), che evidenzia le specifiche difficoltà della telemedicina nei paesi in via di sviluppo, come la mancanza di connettività e le resistenze culturali. Il contributo è prezioso perché mostra che non basta importare tecnologie sviluppate in contesti avanzati: serve un approccio localizzato e culturalmente sensibile, capace di adattarsi alle specificità linguistiche, operative e sociali.

Chiude la sezione il paper *AI Revolutionizing Industries Worldwide: A Comprehensive Overview of Its Diverse Applications* (2024), che offre una panoramica trasversale delle difficoltà incontrate dai diversi settori nell'integrazione dell'AI. Le sfide identificate – dall'obsolescenza delle infrastrutture ai costi di implementazione, fino alle preoccupazioni sulla privacy e sulla spiegabilità – confermano che l'adozione dell'intelligenza artificiale non può essere affrontata in modo settoriale, ma richiede una strategia globale e multisettoriale, capace di combinare soluzioni tecnologiche, regolamentazioni aggiornate e pratiche organizzative inclusive.

Nel loro insieme, questi contributi mostrano come gli impatti settoriali e le complessità etico-regolatorie costituiscano una dimensione imprescindibile per comprendere le barriere all'adozione dell'AI, richiedendo interventi calibrati, intersettoriali e culturalmente consapevoli.

5.2.5) Barriere culturali e comunicative

Le barriere culturali e comunicative rappresentano un livello profondo e spesso sottovalutato delle difficoltà di integrazione dell'intelligenza artificiale, incidendo sulla capacità delle organizzazioni e delle società di accogliere l'innovazione in modo inclusivo, sostenibile e responsabile.

Il paper *Cybersecurity Workforce Development: Bridging the Skills Gap in the Age of Automation* (2024) mette in evidenza una prima barriera centrale: la carenza di personale qualificato per gestire sistemi automatizzati complessi. Questa sfida non è puramente tecnica, ma ha profonde radici culturali, legate all'inadeguatezza dei sistemi educativi nel formare figure in linea con le esigenze emergenti. La difficoltà di reperire talenti con competenze aggiornate non solo rallenta l'adozione delle tecnologie, ma riduce la resilienza organizzativa e accresce il divario competitivo.

Questa evidenza si collega al paper *Effects of AI Feedback on Learning, the Skill Gap, and Intellectual Diversity* (2024), che introduce un tema più sottile ma altrettanto rilevante: il rischio di outcome homogenization. L'adozione di sistemi AI standardizzati può ridurre la diversità decisionale e intellettuale, uniformando le strategie di apprendimento e impoverendo le capacità di adattamento a contesti complessi. In confronto al tema del gap formativo, qui emerge una critica più sistemica: anche in presenza di risorse e competenze, l'uso acritico dell'AI può introdurre rigidità e limitare l'innovazione interna.

Il contributo di *Economics of ChatGPT: A Labor Market View on the Occupational Impact of Artificial Intelligence* (2023) rafforza la riflessione, spostando il focus sul capitale umano e sulla vulnerabilità di alcune categorie occupazionali. Lo studio evidenzia come i lavoratori più esposti ai cambiamenti indotti dall'AI siano spesso quelli meno preparati a fronteggiarli, richiedendo strategie di anticipazione del cambiamento e politiche di transizione equa. La connessione con i contributi precedenti è chiara: affrontare le barriere culturali significa non solo preparare i lavoratori, ma anche garantire che i benefici dell'AI siano distribuiti equamente, evitando di amplificare le disuguaglianze esistenti.

Il paper *How AI Revolutionizes Innovation Management – Perceptions and Implementation Preferences of AI-Based Innovators* (2022) offre una prospettiva complementare, mostrando come

le barriere percepite varino a seconda della maturità digitale delle organizzazioni. Le imprese più avanzate tendono ad affrontare i rischi etici e culturali con maggiore strutturazione, mentre quelle meno mature faticano a elaborare strategie di adattamento, aumentando il rischio di resistenze interne e di adozioni inefficaci. Questa evidenza conferma che la capacità di gestire le sfide culturali non è distribuita uniformemente, ma dipende da fattori organizzativi, settoriali e persino geografici.

Il paper *More than a Digital System: How AI is Changing the Role of Bureaucrats in Different Organizational Contexts* (2024) aggiunge una prospettiva istituzionale preziosa, analizzando come i sistemi pubblici reagiscano all'adozione dell'AI. Il confronto tra il caso statunitense e quello olandese mostra chiaramente che, mentre in alcuni contesti l'AI porta a trasformazioni drastiche e conflittuali (licenziamenti, contenziosi legali, tensioni sociali), in altri produce cambiamenti più gradualmente e collaborativi. Questa differenza mette in luce l'importanza della governance istituzionale e del modello politico-organizzativo nel modulare l'impatto delle tecnologie intelligenti.

A chiudere la riflessione è il paper *A Multilevel Review of Artificial Intelligence in Organizations: Implications for Organizational Behavior Research and Practice* (2023), che sintetizza molte delle dinamiche esplorate, evidenziando il ruolo dell'algorithmic management nella gig economy e nei settori ad alta automazione. Le tensioni derivanti dall'uso di sistemi di controllo automatizzato, la riduzione dell'autonomia decisionale e l'aumento del senso di precarietà tra i lavoratori sottolineano che le barriere culturali e comunicative non sono solo problemi di percezione, ma fattori strutturali che incidono sulla qualità delle relazioni organizzative e sulla sostenibilità dell'innovazione.

Nel loro insieme, questi contributi dimostrano che affrontare le barriere culturali e comunicative richiede interventi multilivello, capaci di integrare strategie educative, strumenti di governance, pratiche organizzative inclusive e modelli di leadership consapevoli, per costruire un ecosistema di innovazione realmente equo e partecipato.

5.3) Proposte per un'adozione efficace dell'AI nella formazione e nella gestione delle competenze

5.3.1) Modelli formativi integrati e innovativi

L'efficace integrazione dell'AI nei contesti formativi richiede approcci innovativi e multidimensionali, capaci di combinare strategie didattiche avanzate, supporto tecnologico e sviluppo delle soft skill. Questa sottosezione esplora le principali proposte emergenti in letteratura, che delineano come ripensare i modelli educativi per garantire inclusione, personalizzazione e sostenibilità nella formazione AI-driven.

Il paper *L'integrazione di IA e tecnologia assistiva nella didattica speciale: un cambio di paradigma nella formazione degli insegnanti e nel supporto agli studenti* (2024) mette in luce la necessità di una strategia integrata tra sistema scolastico e istituzioni per affrontare le sfide dell'innovazione digitale nella didattica inclusiva. L'analisi mostra come il docente diventi un attore chiave dell'inclusione tecnologica, non solo come erogatore di contenuti, ma come facilitatore e mediatore tra AI e studenti, garantendo coerenza tra obiettivi pedagogici, strumenti tecnologici e vincoli normativi. Si evidenzia l'urgenza di evitare soluzioni frammentarie, promuovendo invece percorsi formativi strutturati e accompagnamento professionale mirato.

Questa attenzione all'interdisciplinarietà è ripresa da *Integration of Architecture and Communication: A Transversal Learning Methodology Empowered by Artificial Intelligence Tools* (2024), che descrive un caso concreto di sperimentazione didattica applicata. L'articolo suggerisce implicitamente che il successo della formazione AI-driven dipende non solo dai contenuti, ma anche dall'approccio metodologico, che deve essere multidisciplinare, iterativo e accompagnato da supporto tecnico-

formativo continuo. Pur emergendo da un contesto accademico specifico, queste buone pratiche si rivelano trasferibili anche in ambito aziendale e organizzativo.

Infine, *Artificial Intelligence in Higher Education: Proposal for a Transversal Curricular Unit* (2025) contribuisce al dibattito proponendo un modello formativo attivo e modulare, basato su strumenti di AI generativa (come ChatGPT), attività progettuali e valutazioni integrate. L'articolo evidenzia l'importanza di policy chiare per un uso etico dell'AI e di strutture formative capaci di favorire un apprendimento critico e interdisciplinare, anticipando molte delle attuali esigenze nei contesti aziendali e organizzativi.

Complessivamente, i contributi esaminati dimostrano che i modelli formativi per l'adozione efficace dell'AI devono evolvere verso approcci integrati, incentrati non solo sulle tecnologie, ma anche sulle persone, sui processi e sulle competenze trasversali, per costruire ecosistemi di apprendimento inclusivi e sostenibili.

5.3.2) Framework e playbook per la governance AI

Un'adozione efficace dell'AI non può prescindere da solidi framework di governance e da strumenti operativi in grado di guidare le organizzazioni attraverso processi complessi e multilivello. Questa sottosezione analizza i principali contributi che, in letteratura, delineano strategie strutturate per integrare l'intelligenza artificiale nei processi aziendali e formativi, enfatizzando la centralità della leadership, della gestione del cambiamento e della sinergia uomo-macchina.

Il paper *Methodological Approach to Assessing the Current State of Organizations for AI-Based Digital Transformation* (2024) propone un approccio sistemico, incentrato sulla definizione di KPI misurabili, roadmap operative e piani di upskilling. La rilevanza di questo contributo risiede nella sua attenzione al ruolo della leadership, non solo come promotrice dell'innovazione, ma come garante di un contesto organizzativo favorevole alla trasformazione, capace di bilanciare esigenze tecnologiche e organizzative.

In continuità, *Managerial Insights for AI/ML Implementation* (2024) offre un contributo eminentemente pratico attraverso un playbook articolato in dieci fasi, pensato per guidare i manager nell'integrazione operativa di AI e ML. A differenza delle linee guida generiche presenti in altri studi, questo framework fornisce indicazioni concrete, come la creazione di team interfunzionali, la sperimentazione tramite progetti pilota e la costruzione di una cultura dell'apprendimento continuo. Il confronto con i contributi precedenti evidenzia una convergenza sul bisogno di strumenti replicabili e scalabili, capaci di affrontare la complessità implementativa in modo metodico.

Il paper *Mediating Role of AI Adoption Between Leadership Vision, Change Management Capability, Competitive Pressure, Trading Partnerships, and SME Performance* (2024) introduce una prospettiva focalizzata sul contesto delle PMI manifatturiere nei paesi emergenti. Lo studio dimostra che la governance dell'AI non si esaurisce nei confini interni dell'organizzazione, ma richiede l'integrazione di partnership strategiche e un ripensamento dei modelli organizzativi, per abilitare flessibilità, resilienza e interdipendenza nei processi di trasformazione digitale.

Infine, *Directions in Hybrid Intelligence: Complementing AI Systems with Human Intelligence* (2016) fornisce un fondamentale ancoraggio teorico. Kamar propone tre direttrici operative per integrare l'intelligenza umana nei cicli di vita dell'AI: ottimizzazione del contributo umano, costruzione di modelli di collaborazione scalabili e metodologie di training sinergiche. Questo contributo risulta cruciale per ancorare le strategie di governance a una visione che non sia solo tecnologica, ma anche profondamente umana.

Nel complesso, i contributi raccolti in questa sottosezione convergono nell'evidenziare che la governance dell'AI non può essere ridotta a una questione di compliance tecnica: essa richiede una

visione integrata e multiscalare, capace di armonizzare leadership, processi, persone e partnership per garantire un'adozione sostenibile, scalabile e inclusiva.

5.3.3) Sviluppo competenze e ruoli delle risorse umane

Un pilastro imprescindibile per un'adozione efficace dell'AI è lo sviluppo delle competenze e la trasformazione dei ruoli nelle risorse umane, ambito in cui la formazione non si limita al trasferimento di conoscenze tecniche, ma si estende all'acquisizione di soft skill, capacità collaborative e consapevolezza etica. Questa sottosezione esplora i contributi che mettono al centro l'evoluzione delle competenze, evidenziandone la rilevanza strategica per costruire un ecosistema organizzativo resiliente.

Il paper *AI-Driven Transformation of HR Managers Role in Training of Employees* (2024) propone un approccio equilibrato che considera, accanto ai vantaggi tecnologici, le dimensioni sociali e organizzative del lavoro. Le raccomandazioni si concentrano sulla promozione di ambienti formativi inclusivi e sullo sviluppo di percorsi di aggiornamento accessibili, con particolare attenzione ai lavoratori più vulnerabili, rafforzando l'idea che l'AI debba essere uno strumento di empowerment e non di esclusione.

Questa evidenza si collega a *The Role of Upskilling and Reskilling for Talent Transformation in the Era of AI* (2024), che propone un modello di governance innovativa in cui l'adozione delle tecnologie intelligenti deve essere accompagnata da percorsi formativi etici e inclusivi. Il ruolo delle risorse umane è visto come ponte strategico tra spinta tecnologica e protezione dei diritti lavorativi, contribuendo a costruire un ecosistema di apprendimento equo e sostenibile.

Re-Thinking Data Strategy and Integration for Artificial Intelligence: Concepts, Opportunities, and Challenges (2023) amplia questa prospettiva evidenziando come la qualità dei dati, la privacy e l'interpretabilità dei modelli siano aspetti che devono essere compresi a fondo dai lavoratori, richiedendo investimenti non solo tecnologici, ma anche formativi e interdisciplinari. La capacità di operare con consapevolezza in ecosistemi data-driven diventa quindi una soft skill cruciale per le organizzazioni.

Infine, *Artificial Intelligence in Enterprises: How Staff Competencies Requirements of Business Organizations are Evolving through the Integration of Artificial Intelligence* (2024) sottolinea l'importanza di un approccio integrato alla formazione, che combini hard skill digitali e soft skill trasversali. Gli autori invitano policy maker e aziende a co-progettare strategie educative e di gestione delle risorse umane, rafforzando l'idea che l'adozione sostenibile dell'AI dipende da un disegno strategico condiviso e multilivello.

In sintesi, questi studi mostrano come lo sviluppo delle competenze e la ridefinizione dei ruoli HR siano leve decisive per accompagnare la trasformazione digitale, rendendo l'adozione dell'AI non solo una questione di strumenti, ma soprattutto una questione di persone e di cultura organizzativa.

5.3.4) Collaborazioni e approcci multilivello

Le collaborazioni inter-organizzative e gli approcci multilivello rappresentano un aspetto fondamentale per un'adozione efficace dell'AI, in quanto permettono di integrare competenze, risorse e conoscenze provenienti da contesti diversi, creando ecosistemi di innovazione più resilienti e adattivi.

Lo studio *Collaborative AI in the workplace: Enhancing organizational performance through resource-based and task-technology fit perspectives* (2025) introduce un modello teorico basato sull'integrazione tra la Resource-Based View (RBV) e il Task-Technology Fit (TTF), sottolineando come la combinazione di competenze umane e capacità di supporto decisionale dell'AI costituisca la chiave per aumentare produttività e qualità delle prestazioni. Questo contributo mette in evidenza

che la tecnologia, da sola, non basta: occorrono ambienti collaborativi capaci di massimizzare l'adattamento reciproco tra task, tecnologie e risorse umane.

Parallelamente *A Multilevel Review of Artificial Intelligence in Organizations: Implications for Organizational Behavior Research and Practice* (2023) propone un framework multilevel per ottimizzare l'interazione uomo-AI, ponendo al centro non solo l'efficienza operativa, ma anche il benessere dei lavoratori. La rilevanza di questo paper risiede nella sua attenzione ai fattori psicologici e organizzativi, suggerendo strategie per garantire trasparenza nei processi decisionali, rafforzare la fiducia nei sistemi intelligenti e favorire il coinvolgimento attivo dei dipendenti. Qui si evidenzia un confronto critico: mentre il primo studio enfatizza l'allineamento strategico tra risorse e tecnologie, il secondo sposta il focus sull'impatto comportamentale e relazionale, dimostrando come il successo dell'adozione dipenda da variabili a più livelli.

A rafforzare questa visione si aggiunge il paper *Emerging Digital Technologies and Auditing Firms: Opportunities and Challenges* (2024), che offre una prospettiva settoriale, analizzando come il divario tra grandi e piccole imprese influisca sulla capacità di integrare l'AI nei processi organizzativi. Lo studio evidenzia che, sebbene le società Big4 dispongano di risorse economiche e know-how superiori, la crescente accessibilità delle tecnologie emergenti potrebbe ridurre il gap competitivo, a condizione che vengano attivate strategie collaborative mirate e investimenti nella formazione. Questo contributo amplia ulteriormente il quadro, mostrando come le dinamiche inter-organizzative e settoriali interagiscano con i fattori interni per determinare l'efficacia dell'adozione tecnologica.

Nel loro insieme, questi studi dimostrano che le collaborazioni e gli approcci multilivello non rappresentano un elemento accessorio, ma costituiscono un pilastro strategico per costruire organizzazioni capaci di affrontare le sfide dell'AI con una visione inclusiva, adattiva e sostenibile.

5.3.5) Roadmap settoriali per l'adozione dell'AI

Le roadmap settoriali forniscono linee guida specifiche per l'adozione dell'intelligenza artificiale, adattando strategie e strumenti alle peculiarità di ciascun contesto industriale e organizzativo. Questa prospettiva permette di superare approcci generici e di sviluppare modelli operativi calibrati sulle esigenze reali dei diversi settori.

Il paper *Artificial Intelligence in Logistics and Supply Chain Management: A Primer and Roadmap for Research* (2023) propone un approccio multilivello per integrare l'AI nella gestione delle competenze e nei processi operativi delle filiere logistiche. La rilevanza di questo contributo risiede nella sua attenzione al bilanciamento tra capacità cognitive dell'AI e collaborazione umana, evidenziando la necessità di investire in formazione avanzata e nello sviluppo di nuove competenze interne per abilitare un uso strategico e sostenibile delle tecnologie emergenti.

In maniera più specifica, *The Future of Automotive Manufacturing: Integrating AI, ML, and Generative AI for Next-Gen Automatic Cars* (2024) si concentra sul settore automobilistico, sottolineando l'urgenza di un approccio olistico che allinei infrastrutture digitali, strategie formative e processi organizzativi. Questo paper mette in luce come la formazione non sia un elemento marginale, ma un pilastro essenziale per garantire una transizione digitale inclusiva, capace di trasformare con successo comparti complessi e ad alta intensità tecnologica.

Un ulteriore approfondimento è fornito da *How AI Revolutionizes Innovation Management – Perceptions and Implementation Preferences of AI-Based Innovators* (2022), che propone un modello adattivo e contestualizzato basato sulle teorie RBV e TTF. La rilevanza di questo studio risiede nella sua attenzione alla maturità digitale dell'organizzazione, suggerendo strategie differenziate per le aziende più avanzate (AI-Frontrunners) e per quelle meno preparate, evitando così approcci "one-size-fits-all" spesso inefficaci.

A completare il quadro, *More than a Digital System: How AI is Changing the Role of Bureaucrats in Different Organizational Contexts* (2024) analizza l'impatto dell'AI nei contesti pubblici, confrontando casi come MiDAS negli Stati Uniti e i sussidi per l'infanzia nei Paesi Bassi. Il contributo evidenzia come le strategie di governance e il contesto istituzionale influenzino significativamente gli effetti dell'adozione tecnologica sulla forza lavoro, suggerendo che roadmap gradual e bilanciate possono ridurre tensioni e resistenze.

Infine, *Artificial Intelligence Marketing and Customer Satisfaction: An Employee Job Security Threat Review* (2024) introduce un'importante riflessione sulle percezioni di minaccia alla sicurezza occupazionale. Lo studio sottolinea l'importanza di accompagnare le roadmap settoriali con interventi di change management e sviluppo di ambienti lavorativi inclusivi, per garantire un'adozione accettata e sostenibile dell'AI.

Questa sezione dimostra che roadmap settoriali dettagliate, costruite su basi teoriche solide e adattate ai contesti specifici, possono aiutare a tradurre il potenziale tecnologico dell'AI in risultati concreti e sostenibili per le organizzazioni e i lavoratori.

5.4) Etica e governance nell'adozione dell'AI: analisi delle questioni etiche, impatti sociali e proposte di governance responsabile

5.4.1) Framework teorici e modelli per una governance etica

La discussione sull'etica dell'intelligenza artificiale trova un ancoraggio teorico fondamentale nei modelli e framework sviluppati per garantire una governance responsabile, capace di integrare aspetti tecnici, normativi e valoriali. Questa sottosezione analizza i contributi più rilevanti che propongono approcci concettuali e strumenti operativi volti a regolare in modo etico e trasparente l'adozione dell'AI nei diversi contesti.

Un punto di riferimento centrale è rappresentato dal framework *Artificial Intelligence Trust, Risk and Security Management (AI TRiSM): Frameworks, Applications, Challenges and Future Research Directions* (2024), che offre una visione sistemica per assicurare l'equità, la trasparenza e la responsabilità nell'implementazione dell'AI. Il modello AI TRiSM integra strumenti come la spiegabilità algoritmica (XAI), la protezione dei dati personali e la conformità normativa, promuovendo audit etici capaci di rafforzare la fiducia e supportare una cultura della responsabilità digitale. La rilevanza di questo framework non risiede solo nelle soluzioni tecniche proposte, ma anche nella capacità di rispondere alle richieste dei regolatori internazionali, offrendo un modello abilitante per una governance proattiva.

In continuità con questa prospettiva, i paper *Re-Thinking Data Strategy and Integration for Artificial Intelligence: Concepts, Opportunities, and Challenges* (2023) e *AI-driven Business Analytics and Decision Making* (2024) ampliano la riflessione teorica evidenziando i rischi connessi ai bias sistemici nei modelli predittivi e alle implicazioni discriminatorie nei processi automatizzati. Questi contributi sottolineano l'urgenza di integrare meccanismi di auditing capaci di monitorare l'accuratezza e l'impatto reale degli algoritmi, andando oltre i meri criteri di performance tecnologica. Entrambi richiamano l'attenzione sulla necessità di framework etici e regolatori che garantiscano la trasparenza operativa e la tutela dei dati personali, allineandosi alle normative come il GDPR. Questa evidenza si collega strettamente all'idea di costruire un'innovazione AI guidata da valori, non solo da metriche di efficienza.

Un passaggio significativo si osserva anche nel paper *Challenges to Implementing Artificial Intelligence in Healthcare: A Qualitative Interview Study with Healthcare Leaders in Sweden* (2022), che porta la riflessione teorica nel campo sanitario. Qui la governance dell'AI viene presentata come un processo multidisciplinare, dove la trasparenza algoritmica, le normative sui dati e il

mantenimento del giudizio umano nei processi clinici rappresentano elementi chiave. Lo studio mostra che senza strategie regolatorie robuste, l'opacità tecnologica rischia di minare la fiducia di operatori sanitari e pazienti, evidenziando la necessità di approcci integrati capaci di bilanciare esigenze tecniche, legali ed etiche.

Completano il quadro teorico i paper *Challenges and Opportunities of Generative AI for Higher Education as Explained by ChatGPT (2023)* e *Addressing the Challenges of AI Based Telemedicine: Best Practices and Lessons Learned (2023)*, i quali applicano i principi etici generali ai contesti dell'educazione superiore e della telemedicina. Entrambi sottolineano l'urgenza di politiche chiare e strategie interdisciplinari per affrontare questioni come la protezione dei dati, la gestione dei bias algoritmici e la trasparenza nei processi decisionali. Questi contributi mostrano che le sfide etiche e regolatorie non sono limitate a un singolo settore, ma attraversano in modo trasversale sanità, istruzione e industria, richiedendo un impegno sistemico e coordinato.

In sintesi, la sottosezione 5.4.1 evidenzia come i modelli teorici e i framework concettuali costituiscano un fondamento imprescindibile per sviluppare una governance dell'AI orientata a equità, sostenibilità e responsabilità. Solo attraverso un'integrazione coerente di strumenti tecnici, norme regolatorie e riflessioni etiche sarà possibile guidare l'innovazione tecnologica verso obiettivi di lungo termine che bilancino efficienza operativa e benessere sociale.

5.4.2) Fiducia, trasparenza e responsabilità nei processi professionali

La questione della fiducia rappresenta un nodo centrale nell'adozione dell'intelligenza artificiale nei contesti professionali: non basta che i sistemi siano tecnicamente performanti, devono anche essere percepiti come affidabili, trasparenti e responsabili da parte degli utenti. Questa sottosezione analizza i principali contributi che esplorano come la trasparenza algoritmica, la spiegabilità dei processi e la chiara definizione delle responsabilità influenzino l'accettazione e l'uso consapevole dell'AI in ambito aziendale, mediatico e sociale.

Un caso paradigmatico è offerto dal paper *Dungeons & Deepfakes: Using Scenario-Based Role-Play to Study Journalists' Behavior Towards Using AI-Based Verification Tools for Video Content (2024)*, che analizza la fiducia dei giornalisti nei confronti degli strumenti di verifica basati su AI. Lo studio mostra che la percezione di affidabilità varia sensibilmente in base all'origine dello strumento – università, enti indipendenti, aziende private – evidenziando come la trasparenza sull'origine e sul funzionamento degli algoritmi sia cruciale per costruire una fiducia consapevole. Questa evidenza si collega direttamente al problema della responsabilità: chi risponde in caso di errore, soprattutto quando i sistemi producono falsi positivi o negativi?

Mantenendo il focus su questa riflessione, il paper *Role and Challenges of ChatGPT and Similar Generative Artificial Intelligence in Business Management (2023)* affronta il tema della responsabilità legale nei contesti aziendali, dove l'uso di modelli generativi come ChatGPT pone interrogativi complessi su chi detenga la "responsabilità ultima": il fornitore del modello, l'utente aziendale o i team di revisione interna? Gli autori sottolineano l'importanza di introdurre policy chiare e procedure di auditing etico sui dati di training per ridurre il rischio di bias e garantire la conformità normativa. Il paper rafforza quindi l'idea che la fiducia nei sistemi AI dipenda non solo dalle loro capacità tecniche, ma anche dalla costruzione di infrastrutture regolatorie solide e multilivello.

Un ulteriore livello di analisi è offerto dal paper *How Artificial Intelligence Could Widen the Gap Between Rich and Poor Nations (2020)*, che amplia il discorso della fiducia includendo la dimensione macroeconomica. L'articolo mette in evidenza come l'AI, se non governata in modo equo, possa rafforzare le disuguaglianze globali, penalizzando i paesi in via di sviluppo e minando la fiducia delle popolazioni svantaggiate nella capacità delle tecnologie di portare benefici inclusivi. Questo richiama la necessità di meccanismi di governance internazionale che assicurino una distribuzione equa dei benefici e riducano i rischi di esclusione.

Quanto affermato si collega al paper *Practice With Less AI Makes Perfect: Partially Automated AI During Training Leads to Better Worker Motivation, Engagement, and Skill Acquisition* (2024), che analizza la relazione tra automazione parziale e motivazione nei processi formativi. Lo studio mostra che una gestione equilibrata dell'automazione, che lasci spazio al coinvolgimento umano, aumenta la fiducia dei lavoratori e rafforza l'engagement, suggerendo che la governance responsabile non riguarda solo aspetti tecnici o normativi, ma anche fattori motivazionali e psicologici.

Un contributo specifico ai paesi emergenti viene dal paper *Artificial Intelligence in Developing Countries: Bridging the Gap Between Potential and Implementation* (2023), che affronta i problemi di bias, trasparenza e protezione dei dati nei contesti a bassa capacità infrastrutturale. Gli autori propongono l'adozione di quadri regolatori inclusivi e rispettosi dei diritti umani, rafforzando l'idea che la fiducia nell'AI non sia un dato naturale, ma vada costruita attraverso interventi mirati e calibrati sul contesto.

Questa linea di ragionamento è ulteriormente approfondita nel paper *Sociotechnical Envelopment of Artificial Intelligence* (2021), che propone un modello di governance distribuita per affrontare i limiti inscrutabili dei sistemi AI. L'approccio dell'envelopment sociotecnico, applicato con successo presso la Danish Business Authority, mostra come una co-decisione tra attori umani e sistemi intelligenti possa ridurre i rischi di opacità, rafforzare la spiegabilità e consolidare la fiducia degli stakeholder.

Chiude questa rassegna il paper *Find the Gap: AI Responsible Agency and Vulnerability* (2024), che esplora il concetto di vulnerability gap nei sistemi autonomi. Gli autori sostengono che la fiducia nei sistemi AI non possa derivare solo da controlli esterni, ma debba fondarsi su una ridefinizione proattiva delle relazioni morali tra attori umani e macchine, promuovendo un'agenzia morale condivisa. Questa prospettiva aggiunge una dimensione più profonda al dibattito, suggerendo che le sfide della fiducia e della responsabilità non siano solo tecniche o organizzative, ma anche etiche e relazionali.

In conclusione, i paper citati mostrano come la costruzione della fiducia, della trasparenza e della responsabilità nei processi professionali richieda un approccio sfaccettato, capace di integrare aspetti regolatori, organizzativi, motivazionali e morali. Solo riconoscendo questa complessità sarà possibile rafforzare l'accettazione sociale dell'AI e garantire che le sue applicazioni siano percepite come legittime e affidabili.

5.4.3) Diversità, inclusione e governance etica

Il tema della diversità e dell'inclusione rappresenta una sfida cruciale per una governance etica dell'intelligenza artificiale. Non si tratta solo di una questione di equità sociale, ma di un imperativo strategico: l'assenza di pluralità nei team di sviluppo e di progettazione rischia infatti di introdurre bias sistematici nei sistemi AI, compromettendone la qualità, l'affidabilità e l'equità. Questa sottosezione raccoglie i contributi che affrontano in modo diretto le disuguaglianze di genere, territoriali e sociali nell'adozione dell'AI, e che propongono strategie di governance inclusiva come condizione imprescindibile per un'innovazione responsabile.

Il paper *Mind the Gender Gap: Inequalities in the Emergent Professions of Artificial Intelligence and Data Science* (2023) offre un'analisi puntuale delle disparità di genere nelle professioni emergenti legate all'AI e alla data science. Gli autori mostrano come l'esclusione delle donne dai ruoli chiave di progettazione e sviluppo non solo rappresenti una violazione dei principi di equità, ma costituisca una sfida etica di sistema: la mancanza di diversità introduce infatti rischi di bias intrinseci negli algoritmi, con ripercussioni dirette sull'equità e sulla qualità delle decisioni automatizzate.

In continuità con queste riflessioni, il paper *The Symbiotic Evolution: Artificial Intelligence (AI) Enhancing Human Intelligence (HI)* (2024) offre una prospettiva sistemica, sottolineando che la co-evoluzione tra AI e intelligenza umana non può prescindere dalla costruzione di un sistema valoriale condiviso. Gli autori propongono di integrare i principi etici fin dalle fasi iniziali dello sviluppo

tecnologico e di instaurare un dialogo costante tra sviluppatori, policy-maker e cittadini, così da rendere i processi decisionali più inclusivi, democratici e trasparenti.

Questa impostazione trova un'applicazione pratica nel paper *Artificial Intelligence Enabled Business Model Innovation: Competencies and Roles of Top Management* (2024), che evidenzia il ruolo chiave del top management nel guidare l'adozione sostenibile e responsabile dell'AI. Gli autori sottolineano che i dirigenti, pur non essendo necessariamente esperti tecnici, devono sviluppare una leadership capace di tenere conto degli effetti sociali ed etici delle soluzioni AI, comunicando le strategie aziendali in modo trasparente e affidabile. La funzione della leadership etica emerge così come un fattore cruciale per orientare l'innovazione tecnologica verso obiettivi inclusivi e sostenibili.

A rafforzare ulteriormente questa prospettiva è il paper *The Era of AI: Upholding Ethical Leadership* (2023), che pone la leadership etica al centro della trasformazione organizzativa. Le sfide più rilevanti, dai bias algoritmici alle violazioni della privacy, fino alle incertezze sulla responsabilità, vengono analizzate alla luce del ruolo proattivo dei leader, capaci di promuovere una cultura della giustizia, della trasparenza e della responsabilità. Il paper propone raccomandazioni concrete, tra cui l'istituzione di comitati etici interni e l'integrazione della leadership etica nei programmi formativi, rafforzando il legame tra governance tecnologica e sostenibilità valoriale.

A consuntivo, la sottosezione 5.4.3 mette in evidenza come la diversità e l'inclusione non siano solo principi astratti, ma fattori strutturali e operativi per garantire una governance etica dell'AI. Promuovere politiche inclusive e rafforzare la leadership etica rappresentano passi fondamentali per costruire sistemi tecnologici più giusti, equi e sostenibili, capaci di rispondere alle sfide sociali contemporanee.

5.4.4) Implicazioni settoriali e applicative per un'AI etica

Questa sottosezione si concentra sull'analisi dei casi settoriali specifici, mostrando come i principi di governance etica vengano declinati in pratica nei diversi ambiti applicativi, dalla logistica all'istruzione, dalla sanità alla pubblica amministrazione.

Il paper *AI Revolutionizing Industries Worldwide: A Comprehensive Overview of Its Diverse Applications* (2024) offre una panoramica ampia e comparativa delle criticità etiche e di governance nei settori più colpiti dall'adozione massiva dell'intelligenza artificiale. In particolare, sottolinea come l'opacità degli algoritmi, la possibilità di generare contenuti disinformativi (hallucinations) e i rischi legati alla privacy costituiscano problemi trasversali che, se non affrontati, possono minare la fiducia pubblica. Questa visione ampia prepara il terreno per indagare come tali criticità si declinino nei diversi settori specifici.

Mantenendo la stessa linea argomentativa il paper *A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education During the Digital Era* (2022) analizza il settore educativo, mettendo in evidenza i rischi legati all'automazione dei processi di valutazione e supporto all'apprendimento. Qui emergono questioni particolarmente delicate, come la protezione dei dati personali degli studenti e la trasparenza nei processi decisionali automatizzati, elementi che richiedono una governance responsabile e multilivello.

Questa esigenza di governance distribuita trova una proposta concreta nel paper *Advancing the Design and Implementation of Artificial Intelligence in Education Through Continuous Improvement* (2024), che suggerisce modelli collaborativi e partecipativi, in grado di aumentare la spiegabilità e ridurre i rischi di bias nei contesti educativi locali. L'attenzione al coinvolgimento attivo degli insegnanti e degli utenti finali diventa qui un fattore determinante per costruire fiducia e promuovere inclusività.

Lo stesso approccio integrato tra competenze tecnologiche ed etiche emerge nel contributo di *Preservice Teachers' Readiness Towards Integrating AI-Based Tools in Education: A TPACK*

Approach (2024), che dimostra empiricamente come una maggiore padronanza tecnica favorisca anche una più solida consapevolezza etica. Questa connessione rafforza il messaggio che la governance etica nei settori applicativi non può prescindere dalla formazione e dall'empowerment degli attori coinvolti.

Passando al campo sanitario, il paper *Revolutionizing Drug Discovery: The Impact of Artificial Intelligence on Advancements in Pharmacology and the Pharmaceutical Industry* (2024) evidenzia le sfide etiche specifiche del settore farmaceutico, con particolare riferimento alla necessità di garantire la trasparenza dei modelli di deep learning e la protezione dei dati sensibili dei pazienti. La proposta di introdurre sistemi di explainable AI e audit etici mirati si collega direttamente al rafforzamento della governance in ambito clinico.

Un ulteriore contributo viene da *Securing AI-Based Healthcare Systems Using Blockchain Technology: A State-of-the-Art Systematic Literature Review and Future Research Directions* (2023), che propone l'integrazione della blockchain come tecnologia abilitante per aumentare trasparenza, tracciabilità e accountability nei sistemi sanitari intelligenti. Questo paper mostra come le innovazioni tecnologiche possano diventare alleate della governance etica, a condizione che vengano integrate con consapevolezza e attenzione ai principi FATE (Fairness, Accountability, Transparency, Ethics).

Sempre in ambito sanitario, *Closing the Translation Gap: AI Applications in Digital Pathology* (2021) evidenzia il ruolo cruciale della supervisione umana e della definizione di standard qualitativi rigorosi nei processi diagnostici automatizzati. Il paper sottolinea che senza un adeguato coinvolgimento dei patologi e una regolamentazione chiara, le tecnologie rischiano di generare sfiducia e resistenze, compromettendo l'adozione stessa delle innovazioni.

Queste evidenze convergono nel mostrare che la governance etica non è un concetto astratto, ma una necessità concreta che si declina in modo diverso a seconda dei contesti settoriali, richiedendo approcci flessibili e specifici. In sintesi, l'insieme di paper sottolinea come l'applicazione pratica dei principi etici e di governance debba essere necessariamente adattata alle peculiarità di ciascun settore, evidenziando che un approccio etico efficace nasce dall'intersezione tra tecnologie, contesti operativi e bisogni specifici degli stakeholder coinvolti.

5.4.5) Supervisione, regolamentazione e responsabilità pubblica

Questa sottosezione si focalizza sui contributi che analizzano il ruolo delle istituzioni, della supervisione normativa e della responsabilità sociale nel garantire un'adozione equa, trasparente e regolamentata dell'intelligenza artificiale.

Il paper *Artificial Intelligence in Logistics and Supply Chain Management: A Primer and Roadmap for Research* (2023) apre la riflessione mettendo in evidenza le sfide etiche e regolatorie che emergono nel settore logistico. Le preoccupazioni circa l'affidabilità degli algoritmi generativi, i rischi di bias e la sicurezza dei dati vengono qui affrontate con la proposta di modelli di governance capaci di garantire accountability lungo tutta la filiera decisionale, mostrando come la regolamentazione sia un prerequisito operativo, oltre che etico.

In continuità, il paper *Human Resource Management in the Age of Generative Artificial Intelligence* (2023) sposta l'attenzione sul contesto delle risorse umane, sottolineando l'urgenza di linee guida etiche per prevenire discriminazioni e bias. L'assenza di supervisione nei sistemi AI può amplificare le disuguaglianze nei processi decisionali automatizzati, rafforzando la necessità di regolamentazioni più stringenti e approcci olistici che tengano insieme aspetti tecnologici e umani.

Questo messaggio è ulteriormente rafforzato da *AI-Based Human Resource Management Tools and Techniques; A Systematic Literature Review* (2023) che propone una riflessione dettagliata sull'etica dell'AI in ambito HR. Il paper richiama la necessità di audit periodici, algoritmi trasparenti e una governance inclusiva per garantire equità e accountability, sottolineando che solo un contesto

regolato può sostenere un'adozione sostenibile delle tecnologie intelligenti nelle pratiche di gestione del personale.

Spostandosi al settore pubblico, il paper *More Than a Digital System: How AI is Changing the Role of Bureaucrats in Different Organizational Contexts* (2024) mette in evidenza come l'automazione dei processi decisionali senza una chiara cornice di governance possa generare tensioni e controversie legali, come mostrato dal caso MiDAS negli Stati Uniti. Al contrario, esempi più equilibrati come il caso olandese dell'Indennità per l'Infanzia dimostrano che l'integrazione graduale dell'AI, con adeguata supervisione umana, può ridurre rischi e impatti negativi.

Il paper *A Multilevel Review of Artificial Intelligence in Organizations: Implications for Organizational Behavior Research and Practice* (2023) enfatizza il ruolo cruciale della regolamentazione nel garantire equità e trasparenza nei processi decisionali automatizzati, suggerendo l'adozione di strumenti di explainable AI per migliorare la comprensibilità degli algoritmi e favorire l'accettazione dei lavoratori.

Il contributo di *Artificial Intelligence-Driven Sustainable Development: Examining Organizational, Technical, and Processing Approaches to Achieving Global Goals* (2023) amplia ulteriormente la prospettiva, proponendo un allineamento strategico delle pratiche organizzative con i principi della sostenibilità e della trasparenza. Questo allineamento è visto come elemento chiave per promuovere un'innovazione responsabile e mitigare i rischi sociali legati all'adozione dell'AI.

Lo studio *Examining How AI Capabilities Can Foster Organizational Performance in Public Organizations* (2023) evidenzia che una maggiore capacità organizzativa nell'uso dell'AI si associa a una più ampia consapevolezza etica, suggerendo che il rafforzamento della cultura innovativa e della gestione della conoscenza può contribuire a ridurre bias e discriminazioni nei processi decisionali pubblici.

Chiude questa carrellata il paper *The Future of Automotive Manufacturing: Integrating AI, ML, and Generative AI for Next-Gen Automatic Cars* (2024), che dedica una riflessione specifica alle implicazioni etiche e regolatorie dell'introduzione dell'AI nei veicoli autonomi. Il documento richiama l'urgenza di sviluppare sistemi di governance etica per evitare decisioni opache o discriminatorie, sottolineando che in contesti ad alto rischio come quello della guida automatizzata, la responsabilità pubblica e istituzionale diventa un fattore non negoziabile.

In conclusione, questa sottosezione mostra come la supervisione normativa e la responsabilità pubblica rappresentino non solo una cornice di regolamentazione, ma una leva strategica per costruire fiducia, prevenire rischi e orientare l'innovazione tecnologica verso obiettivi di equità e sostenibilità.

6) Bibliografia e Sitografia

Capitolo 1

- <https://www.ibm.com/it-it/topics>
- <https://www.corsi.univr.it>
- <https://tesi.luiss.it>
- <https://it.mathworks.com/discovery/convolutional-neural-network.html>
- <https://web.unibas.it/bloisi/corsi/lezionivep/4-introduzione-al-deep-learning.pdf>
- <https://jalammar.github.io/illustrated-word2vec>
- <https://medium.com/biased-algorithms/word2vec-vs-glove-which-word-embedding-model-is-right-for-you>
- <https://nlp.stanford.edu/projects/glove>
- *Deep Learning* (Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville; 2016)

- *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks* (Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton; 2012)
- *Sistemi di raccomandazione: Intelligenza Artificiale, Deep Learning e Big Data* (Paolo Casagrande, Stefano Metta; 2020)
- *Deep Residual Learning for Image Recognition* (Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun; 2016)
- *Sistemi di raccomandazione: panoramica, tipologie e metriche di valutazione* (Giuseppe Faedo; 2019)
- *Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space* (Tomas Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, Jeffrey Dean; 2013)
- *Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality* (Tomas Mikolov, Ilya Sutskever, Kai Chen, Greg Corrado, Jeffrey Dean; 2013)
- *Neural Word Embedding as Implicit Matrix Factorization* (Omer Levy, Yoav Goldberg; 2014)
- *BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding* (Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, Kristina Toutanova; 2018)
- *Open Sourcing BERT: State-of-the-Art Pre-training for Natural Language Processing* (Jacob Devlin, Ming-Wei Chang; 2018)
- *Improving Language Understanding by Generative Pre-training* (Alec Radford, Karthik Narasimhan, Tim Salimans, Ilya Sutskever; 2018)
- *Attention Is All You Need* (Ashish Vaswani, et al.; 2017)
- *WaveNet: A Generative Model for Raw Audio* (Aaron van den Oord, et al.; 2016)
- *Computer Vision: Algorithms and Applications* (Richard Szeliski; 2010)
- *ORB: An Efficient Alternative to SIFT or SURF* (Ethan Rublee, Vincent Rabaud, Kurt Konolige, Gary Bradski; 2011)
- *3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering* (Bernhard Kerbl, Christoph Reiser, Grégoire Kopanas, Andreas Evans, Markus Steinberger; 2023)

Capitoli 2-5

- *A Competency Framework for Training of AI Projects Managers in the Digital and AI Era* (Valéry Psyché, Diane-Gabrielle Tremblay, Fatma Miladi, Amina Yagoubi; 2023)
- *A Continuous Training Approach for Risk-Informed Supplier Selection and Order Allocation* (Matteo Gabellini, Stephen Mak, Stefan Schoepf, Alexandra Brintrup & Alberto Regattieri; 2025)
- *A Cross-View Hierarchical Graph Learning Hypernetwork for Skill Demand-Supply Joint Prediction* (Wenshuo Chao, Zhaopeng Qiu, LikangWu, Zhuoning Guo, Zhi Zheng, Hengshu Zhu, Hao Liu; 2024)
- *A Multilevel Review of Artificial Intelligence in Organizations: Implications for Organizational Behavior Research and Practice* (Sarah Bankins, Anna Carmella Ocampo, Mauricio Marrone, Simon Lloyd D. Restubog, Sang Eun WoO; 2023)
- *A Quantitative Study of Risk Scores and the Effectiveness of AI-Based Cybersecurity Awareness Training Programs* (Meraj Farheen Ansari; 2022)

- *A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education During the Digital Era* (Pongsakorn Limna, Somporch Jakwatanatham, Sutithep Siripipattanakul, Pichart Kaewpuang, Patcharavadee Sriboonruang; 2022)
- *Addressing the Challenges of AI-Based Telemedicine: Best Practices and Lessons Learned* (Sachin Sharma, Raj Rawal, Dharmesh Shah; 2023)
- *AI and AI-Powered Tools for Pronunciation Training* (Hana Vančová; 2023)
- *AI and Personalized Learning Bridging the Gap with Modern Educational Goals* (Kristjan-Julius Laak, Jaan Aru; 2024)
- *AI Revolutionizing Industries Worldwide: A Comprehensive Overview of Its Diverse Applications* (Adib Bin Rashid, MD Ashfakul Karim Kausik; 2024)
- *AI-Driven Business Analytics and Decision Making* (Oluwaseun Badmus, Shahab Anas Rajput, John Babatope Arogundade, Mosope Williams; 2024)
- *AI-Driven Transformation of HR Managers' Role in Training of Employees* (Volkova Vera Vladimirovna, Christodoulou Ioannis; 2024)
- *AI-Employee Collaboration and Business Performance* (Soumyadeb Chowdhury, Pawan Budhwar, Sian Joel-Edgar, Amelie Abadie; 2022)
- *AI-Powered Ensemble Machine Learning to Optimize Cost Strategies in Logistics Business* (Chairote Yaiprasert, Achmad Nizar Hidayanto; 2024)
- *AI-Based Equipment Optimization of the Design on Intelligent Education Curriculum System* (Tu Peng, Yipin Luo, Yanjin Liu; 2022)
- *AI-Based Human Resource Management Tools and Techniques; A Systematic Literature Review* (Mitra Madanchian, Hamed Taherdoost, Nachaat Mohamed; 2023)
- *Artificial Intelligence-Virtual Trainer: Innovative Didactics Aimed at Personalized Training Needs* (Zhisheng Chen; 2023)
- *AI-Driven Sustainable Development: Examining Organizational, Technical, and Processing Approaches to Achieving Global Goals* (Ignat Kulkov, Julia Kulkova, Rene Rohrbeck, Loick Menvielle, Valtteri Kaartemo, Hannu Makkone; 2023)
- *Analyzing the Impacts of AI on Employment and More in the Primary, Secondary, and Tertiary Sectors* (Matthew Chan; 2024)
- *Artificial Intelligence Capability: Conceptualization, Measurement Calibration, and Empirical Study* (Patrick Mikalef, Manjul Gupta; 2021)
- *Artificial Intelligence Enabled Business Model Innovation: Competencies and Roles of Top Management* (Philip Jorzik, Anil Yigit, Dominik K. Kanbach, Sascha Kraus, Marina Dabic; 2024)

- *Artificial Intelligence Marketing and Customer Satisfaction: An Employee Job Security Threat Review* (Idongesit Oto Eshiett, Oto Eyamba Eshiett; 2024)
- *Artificial Intelligence Trust, Risk and Security Management (AI TRiSM): Frameworks, Applications, Challenges and Future Research Directions* (Adib Habbal, Mohamed Khalif Ali, Mustafa Ali Abuzaraida; 2024)
- *Artificial Intelligence and Knowledge Sharing: Contributing Factors to Organizational Performance* (Femi Olan, Emmanuel Ogiemwonyi Arakpogun, Jana Suklan, Franklin Nakpodia, Nadja Damij, Uchitha Jayawickrama; 2022)
- *Artificial Intelligence Applications as a Modern Trend to Achieve Organizational Innovation in Jordanian Commercial Banks* (Majd Mohammed Al-HAWAMDEH, Sawsan A. AISHAER; 2022)
- *Artificial Intelligence in Developing Countries: Bridging the Gap Between Potential and Implementation* (Adebayo Olusegun Aderibigbe, Peter Efosa Ohenhen, Nwabueze Kelvin Nwaobia, Joachim Osheyor Gidiagba, Emmanuel Chigozie Ani; 2023)
- *Artificial Intelligence in Enterprises: How Staff Competencies Requirements of Business Organizations are Evolving Through the Integration of Artificial Intelligence* (Pelău Corina; 2024)
- *Artificial Intelligence in Higher Education: Proposal for a Transversal Curricular Unit* (Emília Malcata Rebelo; 2025)
- *Artificial Intelligence in Logistics and Supply Chain Management: A Primer and Roadmap for Research* (Robert Glenn Richey Jr., Soumyadeb Chowdhury, Beth Davis-Sramek, Mihalis Giannakis, Yogesh K. Dwivedi; 2023)
- *Artificial Intelligence-Driven Sustainable Development: Examining Organizational, Technical, and Processing Approaches to Achieving Global Goals* (Ignat Kulkov, Julia Kulkova, Rene Rohrbeck, Loick Menvielle, Valtteri Kaartemo, Hannu Makkonen; 2023)
- *Avanade AI Readiness Report* (2023)
- *Challenges and Opportunities of Generative AI for Higher Education as Explained by ChatGPT* (Rosario Michel-Villarreal, Eliseo Vilalta-Perdomo, David Ernesto Salinas-Navarro, Ricardo Thierry-Aguilera, Flor Silvestre Gerardou; 2023)
- *Challenges and Strategies for Wide-Scale Artificial Intelligence (AI) Deployment in Healthcare Practices* (Pouyan Esmailzadeh; 2023)
- *Closing the Translation Gap: AI Applications in Digital Pathology* (David F. Steiner, Po-Hsuan Cameron Chen, Craig H. Mermel; 2021)
- *Collaborative AI in the workplace: Enhancing organizational performance through resource-based and task-technology fit perspectives* (Aleksandra Przegalinska, Tamilla Triantoro, Anna Kovbasiuk, Leon Ciechanowski, Richard B. Freeman, Konrad Sowa; 2025)
- *Competencies for the Artificial Intelligence Age: Visualisation of the State of the Art and Future Perspectives* (Mónica Santana, Mirta Díaz-Fernández; 2023)

- *Corun: Concurrent Inference and Continuous Training at the Edge for Cost-Efficient AI-Based Mobile Image Sensing* (Yu Liu, Anurag Andhare, Kyoung-Don Kang; 2024)
- *Cybersecurity Workforce Development: Bridging the Skills Gap in the Age of Automation* (Seyi Oladimeji, Peter Broklyn, Axel Egon; 2024)
- *Decoding MLOps: Bridging the Gap Between Data Science and Operations for Scalable AI Systems* (Naveen Kodakandla; 2024)
- *Directions in Hybrid Intelligence: Complementing AI Systems with Human Intelligence* (Ece Kamar; 2016)
- *Dungeons & Deepfakes: Using Scenario-Based Role-Play to Study Journalists' Behavior Towards Using AI-Based Verification Tools for Video Content* (Saniat Javid Sohrawardi, Y. Kelly Wu, Andrea Hickerson, Matthew Wright; 2024)
- *Economics of ChatGPT: A Labor Market View on the Occupational Impact of Artificial Intelligence* (Ali Zarifhonarvar; 2023)
- *Effects of AI Feedback on Learning, the Skill Gap, and Intellectual Diversity* (Christoph Riedl, Eric Bogert; 2024)
- *Emerging Digital Technologies and Auditing Firms: Opportunities and Challenges* (Sonia Vitali, Marco Giuliani; 2024)
- *Ensuring Sustainable Growth Based on the Artificial Intelligence Analysis and Forecast of In-Demand Skills* (Alena Vankevich, Iryna Kalinouskaya; 2020)
- *Examining How AI Capabilities Can Foster Organizational Performance in Public Organizations* (Patrick Mikalef, Kristina Lemmer, Cindy Schaefer, Maija Ylinen, Siw Olsen Fjørtoft, Hans Yngvar Torvatn, Manjul Gupta, Bjoern Niehaves; 2023)
- *Find the Gap: AI Responsible Agency and Vulnerability* (Shannon Vallor, Tillmann Vierkant; 2024)
- *Future Skills for Industry 4.0 Integration and Innovative Learning for Continuing Engineering Education* (Jose Daniel Azofeifa, Valentina Rueda-Castro, Claudia Camacho-Zuñiga, Guillermo M. Chans, Jorge Membrillo-Hernández, Patricia Caratuzzolo; 2024)
- *How AI Revolutionizes Innovation Management – Perceptions and Implementation Preferences of AI-Based Innovators* (Johann Füller, Katja Hutter, Julian Wahl, Volker Bilgram, Zeljko Tekic; 2022)
- *How Artificial Intelligence Could Widen the Gap Between Rich and Poor Nations* (2020)
- *Human Resource Management in the Age of Generative Artificial Intelligence* (Pawan Budhwar, Soumyadeb Chowdhury, Geoffrey Wood, Herman Aguinis, Greg J. Bamber, Jose R. Beltran, Paul Boselie, Fang Lee Cooke, Stephanie Decker, Angelo DeNisi, Prasanta Kumar Dey, David Guest, Andrew J. Knoblich, Ashish Malik, Jaap Paauwe, Savvas Papagiannidis, Charmi Patel, Vijay Pereira, Shuang Ren, Steven Rogelberg, Mark N. K. Saunders, Rosalie L. Tung, Arup Varma; 2023)

- *Impact of AI Involvement Affect the Work Efficiency of the Staff in the Organization* (Adeel Ansari, Areeb Ahmed; 2024)
- *Innovative Business Models Driven by AI Technologies: A Review* (Oluwatoyin Ajoke Farayola, Adekunle Abiola Abdul, Blessing Otohan Irabor, Evelyn Chinedu Okeleke; 2023)
- *Integrating AI into DevOps Pipelines: Continuous Integration, Continuous Delivery, and Automation in Infrastructural Management* (Suprit Kumar Pattanayak, 2024)
- *Investigating the Influence of Artificial Intelligence on Business Value in the Digital Era of Strategy: A Literature Review* (Nikolaos-Alexandros Perifanis, Fotis Kitsios; 2024)
- *L'Integrazione di IA e Tecnologia Assistiva nella Didattica Speciale* (Sara Pellegrini, Riccardo Sebastiani; 2024)
- *Managerial Insights for AI/ML Implementation: A Playbook for Successful Organizational Integration* (Abdullah A. Abonamah, Neda Abdelhamid; 2024)
- *Mediating Role of AI Adoption Between Leadership Vision, Change Management Capability, Competitive Pressure, Trading Partnerships, and SME Performance* (ul Haq, Faizan, Mohd Suki, Norazah; 2024)
- *Methodological Approach to Assessing the Current State of Organizations for AI-Based Digital Transformation* (Abdulaziz Aldoseri, Khalifa N. Al-Khalifa, Abdel Magid Hamouda; 2024)
- *Mind the Gender Gap: Inequalities in the Emergent Professions of Artificial Intelligence and Data Science* (Erin Young, Judy Wajcman, Laila Sprejer; 2023)
- *More Than a Digital System: How AI is Changing the Role of Bureaucrats in Different Organizational Contexts* (Sarah N. Giest, Bram Klievink; 2024)
- *Navigating the Future: Integrating AI and Machine Learning in HR Practices for a Digital Workforce* (Chinenye Gbemisola Okatta; 2024)
- *Navigating the Jagged Technological Frontier: Field Experimental Evidence of the Effects of AI on Knowledge Worker Productivity and Quality* (Fabrizio Dell'Acqua, Saran Rajendran, Edward McFowland III, Lisa Kraye, Ethan Mollick, François Candelon, Hila Lifshitz-Assaf, Karim R. Lakhani, Katherine C. Kellogg; 2024)
- *On the Effectiveness of Portable Models Versus Human Expertise Under Continuous Active Learning* (Jeremy Pickens, Thomas C. Gricks III, Esq.; 2021)
- *On the Use of AI-Based Tools like ChatGPT to Support Management Research* (Bastian Burger, Dominik K. Kanbach, Sascha Kraus, Matthias Breier, Vincenzo Corvello; 2023)
- *Practice With Less AI Makes Perfect: Partially Automated AI During Training Leads to Better Worker Motivation, Engagement, and Skill Acquisition* (Mario Passalacqua, Robert Pellerin, Esma Yahia, Florian Magnani, Frédéric Rosin, Laurent Joblot, Pierre-Majorique Léger; 2024)

- *Prevention of Phishing Attacks Using AI-Based Cybersecurity Awareness Training* (Meraj Farheen Ansari, Pawankumar Sharma, Bibhu Dash ; 2022)
- *Preservice Teachers' Readiness Towards Integrating AI-Based Tools in Education: A TPACK Approach* (Angelina Bautista, Christine Estrada, Andrei Melvin Jaravata Laina Mae Mangaser, Ferdinand Narag, Rachell Soquila, Raphael Job Asuncion; 2024)
- *PwC AI Jobs Barometer* (Barret Kupelian, Sarah Brown, Mehdi Sahneh, Simon Oates, Justine Brown, Adam Deasy, Nabil Taleb, Harry Ingham, Dr. Ilhan Guner; 2024)
- *Re-Thinking Data Strategy and Integration for Artificial Intelligence: Concepts, Opportunities, and Challenges* (Abdulaziz Aldoseri, Khalifa N. Al-Khalifa, Abdel Magid Hamouda; 2023)
- *Revolutionizing Drug Discovery: The Impact of Artificial Intelligence on Advancements in Pharmacology and the Pharmaceutical Industry* (Seema Yadav, Abhishek Singh, Rishika Singhal, Jagat Pal Yadav; 2024)
- *Securing AI-Based Healthcare Systems Using Blockchain Technology: A State-of-the-Art Systematic Literature Review and Future Research Directions* (Rucha Shinde, Shruti Patil, Ketan Kotecha, Vidyasagar Potdar, Ganeshsree Selvachandran, Ajith Abraham; 2023)
- *Skills or Degree: The Rise of Skill-Based Hiring for AI and Green Jobs* (Matthew Bone, Eugenia Ehlinger, Fabian Stephany; 2024)
- *Sociotechnical Envelopment of Artificial Intelligence* (Asatiani Aleksandre, Malo Pekka, Rådberg Nagbøl Per, Penttinen Esko, Rinta-Kahila Tapani, Salovaara Antti; 2021)
- *The Digital Skills Gap: Is It Time to Rethink the Needs of Tourism and Hospitality* (Katarzyna Minor, Emmet McLoughlin, Sheena Carlisle; 2024)
- *The Effect of Generative AI-Based Tool Use on Students' Computational Thinking Skills, Programming Self-Efficacy, and Motivation* (Ramazan Yilmaz, Fatma Gizem Karaoglan Yilmaz; 2023)
- *The Effectiveness of an Educational Environment Based on Artificial Intelligence Techniques Using Virtual Classrooms on Training Development* (Hala Khairy Abdelghany Elgohary, Hla Khalaf Al-Dossary; 2022)
- *The Era of AI: Upholding Ethical Leadership* (Ahsan Uddin; 2023)
- *The Future of Automotive Manufacturing: Integrating AI, ML, and Generative AI for Next-Gen Automatic Cars* (Chandrakanth Rao Madhavaram, Janardhana Rao Sunkara, Chandrababu Kuraku, Eswar Prasad Galla, Hemanth Kumar Gollangi; 2024)
- *The Impact of Artificial Intelligence Adoption Intensity on Corporate Sustainability Performance* (Jiachen Li, Xiu Jin; 2024)
- *The Impact of Artificial Intelligence on Workers' Skills: Upskilling and Reskilling in Organizations* (Sofia Morandini, Federico Fraboni, Marco De Angelis, Gabriele Puzzo, Davide Giusino; 2023)

- *The Rising Costs of Training Frontier AI Models* (Ben Cottier, Robi Rahman, Loredana Fattorini, Nestor Maslej, Tamay Besiroglu, David Owen; 2024)
- *The Role of Upskilling and Reskilling for Talent Transformation in the Era of AI* (Uma Durgude; 2024)
- *The Symbiotic Evolution: Artificial Intelligence (AI) Enhancing Human Intelligence (HI)* (Bahman Zohuri, Farhang None Mossavar-Rahmani; 2024)
- *Towards an AI-Driven Business Development Framework* (Meenu Mary John, Helena Holmström Olsson, Jan Bosch; 2023)
- *Transforming Learning & Development: The Impact of Artificial Intelligence and Automation on Employee Motivation to Learn* (Tanja Reitgruber; 2023)
- *Use of Artificial Intelligence in Enterprises* (Eurostat, 2024)
- *Using Artificial Intelligence to Augment and Enhance Human Resource Strategy, Planning, Job/Work Design, Staffing, Learning and Development, and Performance Management* (Adrian Kaminski; 2023)
- *With Less AI Makes Perfect: Partially Automated AI During Training Leads to Better Worker Motivation, Engagement, and Skill Acquisition* (Mario Passalacqua, Robert Pellerin, Esma Yahia, Florian Magnani, Frédéric Rosin, Laurent Joblot, Pierre-Majorique Léger; 2024)
- *Ensuring Sustainable Growth Based on the Artificial Intelligence Analysis and Forecast of In-Demand Skills* (Alena Vankevich, Iryna Kalinouskaya; 2020)
- *Find the Gap: AI Responsible Agency and Vulnerability* (Shannon Vallor, Tillmann Vierkant; 2024)

7) Ringraziamenti

In questa sezione vorrei inserire una serie di ringraziamenti e dare spazio a chi mi ha accompagnato in questo percorso di vita estremamente importante. Cercherò di non essere eccessivamente prolisso anche se non sarà affatto semplice.

Grazie, una parola che vorrei ripetere all'infinito nei confronti dei miei genitori. Si fa fatica a descrivere quanto vi sono grato per l'amore e il sostegno che mi avete donato e dimostrato costantemente, fin da quando sono nato. Sappiate che ogni mio traguardo personale raggiunto, compreso quest'ultimo di cui siete molto orgogliosi, insieme a ciascun obiettivo prefissato e desiderato è reso possibile da chi mi ha sempre permesso di perseguire i miei interessi con gioia, liberamente e senza paura di sbagliare, accompagnandomi affinché io possa vivere una vita degna di essere vissuta.

Grazie al resto della mia famiglia, comprensiva di tutte le persone che mi hanno visto crescere, per avermi regalato affetto e tempo. Una menzione speciale, sia per i miei nonni sempre presenti, sia per mio cugino Emanuele, con cui mantengo un legame forte a dispetto della distanza.

Grazie alla mia famiglia aggiuntiva, cioè i miei amici, per essere una parte integrante e fondamentale delle mie giornate: abbiamo condiviso infinite gioie e tante difficoltà. Sono estremamente felice di avervi conosciuto e di aver avuto la possibilità di coltivare un bel rapporto con voi.

Desidero perciò menzionarvi tutti e riportare un ricordo per ognuno di voi.

Grazie a Stefano, Stefan, Alice e Letizia: anche qui mi ritrovo in estrema difficoltà ad essere sintetico, perché ci sarebbe da scrivere un romanzo come spesso ci diciamo scherzando. Siete l'esempio di quanto possa essere sorprendente la vita, considerando che quando ho iniziato il percorso pressoché non ci conoscevamo, mentre al termine di esso siamo talmente affiatati da considerarvi (in maniera razionale e senza esagerare) dei fratelli e delle sorelle acquisite. Stefano sei stato in grado di portare allegria con semplicità e autenticità, spesso in maniera involontaria. Stefan sei stato in grado di comprendermi fino in fondo, riuscendomi a dare consigli preziosi che mi hanno concretamente permesso di trovare la chiave di svolta nei momenti di difficoltà. Alice sei stata in grado di essere davvero, e ripeto davvero, sempre presente e comprensiva, aiutando senza risparmiarti una volta. Letizia sei stata in grado di ascoltarmi con pazienza e sostenermi, incoraggiandomi a prendere decisioni complicate.

Grazie a Francesco per essere, nonostante i 30 anni di differenza, un amico a tutti gli effetti. Ti sono grato per i consigli e per il supporto mostrato.

Grazie a Edoardo, Carmine, Davide M., Davide R. e Marianna. Con voi ho avuto modo di passare tanto tempo all'università, sia durante la lezione che per lo svolgimento dei lavori di gruppo, e mi rendo conto che, se i ricordi ad esso associati sono così positivi e motivo di un sorriso, è gran parte merito vostro. A proposito di ciò ci tengo a ringraziarvi per essere stati degli ottimi colleghi con cui collaborare attivamente e seriamente in un clima disteso. Edoardo ti ringrazio perché mi hai alleggerito di parecchio i periodi più stressanti del percorso universitario, tra le infinite chiacchiere in treno, nel tragitto, nelle pause e qualcuna di troppo durante la lezione. Carmine ti ringrazio per le volte in cui ci siamo fatti forza per esami e scadenze sfidanti, uscendone a testa alta. Davide M. ti ringrazio per essere stato una spalla importante da quando ci siamo conosciuti, aiutandomi a superare ostacoli non banali degli ultimi tempi. Davide R. ti ringrazio per aver preso a cuore i lavori di gruppo, in cui ci hai guidato con dedizione in cui ci hai strappato molte risate. Marianna ti ringrazio per l'allegria portata a lezione e perché senza i tuoi preziosi consigli pratici probabilmente oggi non avrei ancora terminato il percorso.

Grazie a Chiara, Federica, Michela e Gabriele. E' stato un vero peccato non poter frequentare insieme tutti i corsi, ma conservo bei ricordi per i momenti che ci siamo ritagliati sia all'interno dell'università che al di fuori. Chiara ti sono grato per esserci sempre stata per me, per il bellissimo rapporto che abbiamo costruito, per gli esami preparati insieme e per tutti i momenti divertenti che abbiamo vissuto. Federica ti ringrazio per le volte in cui confrontandoci abbiamo smorzato l'ansia e ci siamo fatti coraggio. Michela e ti ringrazio per aver portato rispettivamente tanta energia positiva ed entusiasmo a noi compagni. Allo stesso modo ringrazio Gabriele per aver portato molta serenità unita a spensieratezza.

Grazie a Sara per avermi ascoltato, supportato e dispensato numerosi consigli. Grazie a Mattia per la genuinità e bontà dimostrata da quando ci siamo conosciuti.

Grazie ai miei colleghi di PwC, per avermi aiutato ad affrontare la mia prima esperienza lavorativa. Un grazie particolare va ad Andrea, per non essersi mai risparmiato nel seguirmi e supportarmi.

Infine desidero ringraziare la mia relatrice per aver sostenuto e creduto, fin dal principio, in questo progetto di tesi.