



DIPARTIMENTO DI IMPRESA E MANAGEMENT

Corso di laurea in Economia e Management
Cattedra di Storia dell'economia e dell'impresa.

L'intelligenza artificiale come quarta rivoluzione industriale: Impatti economici e manageriali.

RELATORE

Prof. Stefano Palermo

CANDIDATO

Antonio Menolascina

Matricola 278371

Anno accademico 2024/2025.

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine al Professor Stefano Palermo per la disponibilità, i preziosi consigli e il costante supporto nella decisione e realizzazione di questo lavoro.

Un ringraziamento speciale, inoltre, va alla mia famiglia, per la fiducia e il sostegno dimostratomi durante l'intero percorso di studi.

INDICE:

INTRODUZIONE.....	5
Capitolo I - Dalla Rivoluzione industriale all'Intelligenza artificiale.....	7
<i>1.1 Che cos'è una Rivoluzione industriale?</i>	<i>7</i>
<i>1.2 La Prima rivoluzione industriale.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3 La Seconda rivoluzione industriale.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4 La terza rivoluzione industriale.</i>	<i>12</i>
<i>1.5 Cosa distingue la Quarta rivoluzione industriale?.....</i>	<i>16</i>
<i>1.6 Automazione intelligente e decisionale.</i>	<i>16</i>
<i>1.7 I dati come nuova risorsa economica.</i>	<i>19</i>
<i>1.8 Connessione tra intelligenza artificiale, machine learning e Industria 4.0.</i>	<i>21</i>
Capitolo II. L'intelligenza artificiale sotto un profilo economico e industriale.....	24
<i>2.1 L'intelligenza artificiale nei processi decisionali: una sostituzione possibile? ...</i>	<i>24</i>
<i>2.2 Fondamenti dell'intelligenza artificiale e applicazione nei processi decisionali..</i>	<i>25</i>
<i>2.3 Come l'IA trasforma l'economia e i settori industriali</i>	<i>28</i>
<i>2.4 Produzione e manifattura: Smart factories, automazione cognitiva e manutenzione predittiva.....</i>	<i>28</i>
<i>2.5 Servizi e Finanza: Fintech, robo-advisory e analisi dei dati su larga scala.</i>	<i>29</i>
<i>2.6 Logistica e supply chain.</i>	<i>31</i>
<i>2.7 Settore sanitario.....</i>	<i>32</i>
<i>2.8 Dati e intelligenza artificiale.....</i>	<i>34</i>
<i>2.9 Il valore economico dei dati nel mondo digitale</i>	<i>34</i>
<i>2.10 Problemi di regolamentazione e privacy.....</i>	<i>35</i>
Capitolo III. L'intelligenza artificiale e la trasformazione del management aziendale.	38
<i>3.1 L'evoluzione delle teorie manageriali.</i>	<i>38</i>
<i>3.2 L'intelligenza artificiale nel governo d'impresa.</i>	<i>41</i>
<i>3.3 Mediazione e ridefinizione del ruolo dei manager nell'impresa 4.0.....</i>	<i>43</i>
<i>3.4 Struttura organizzativa e leadership nell'impresa algoritmica</i>	<i>45</i>
<i>3.5 Lavoro umano e IA: nuove competenze, nuove esclusioni</i>	<i>48</i>
<i>3.6 Verso un nuovo modello organizzativo d'impresa.....</i>	<i>49</i>
Conclusione.	51

Bibliografia 57
Sitografia 59

INTRODUZIONE.

Nel corso della storia, ogni grande trasformazione tecnologica ha ridefinito i fondamenti della produzione, dell'organizzazione del lavoro e del funzionamento dei sistemi economici. A partire dalla fine del Settecento, le rivoluzioni industriali hanno segnato fratture profonde con il passato, introducendo nuove forme di energia, innovazioni nei processi produttivi e nuove strutture organizzative. Tali trasformazioni non si sono limitate all'ambito tecnologico, ma hanno avuto effetti dirompenti sulla società, sulla cultura e sull'economia globale.

Oggi ci troviamo all'alba di un cambiamento che molti studiosi identificano come la Quarta Rivoluzione Industriale, guidata dall'intelligenza artificiale, dal *machine learning*, dalla robotica avanzata, dall'internet delle cose e dai *big data*. A differenza delle rivoluzioni precedenti, che hanno introdotto singole innovazioni centrali come il vapore o l'elettricità, l'attuale trasformazione si caratterizza per la convergenza di tecnologie intelligenti in grado di apprendere, decidere e interagire con l'ambiente in modo autonomo.

L'intelligenza artificiale, in particolare, sta rapidamente modificando non solo i processi produttivi e decisionali, ma anche la natura stessa del lavoro umano, la governance aziendale, i modelli di *leadership* e l'organizzazione del valore. Essa sfida i confini tradizionali tra uomo e macchina, tra lavoro manuale e intellettuale, tra operatività ed elaborazione strategica. Le imprese si trovano così a ripensare ruoli, competenze e strutture, mentre la società deve affrontare nuove questioni etiche, economiche e culturali.

Questa tesi si propone di analizzare se e in che misura l'intelligenza artificiale possa essere considerata a pieno titolo una rivoluzione industriale, mettendola a confronto con le trasformazioni storiche del passato e interrogandosi sulle sue implicazioni economiche e manageriali. In un'epoca in cui la velocità del cambiamento tecnologico supera spesso la nostra capacità di comprenderlo, diventa fondamentale sviluppare una riflessione critica e consapevole, capace di cogliere tanto le opportunità quanto i rischi di questa nuova era che, probabilmente, verrà ricordata come Quarta Rivoluzione Industriale.

In questa prospettiva, la tesi si articola in tre capitoli. Il primo ricostruisce l'evoluzione storica delle rivoluzioni industriali, mettendo in evidenza i fattori tecnologici ed economici che le hanno caratterizzate e mostrando come l'intelligenza artificiale si inserisca in questo percorso come possibile Quarta Rivoluzione Industriale. Il secondo analizza l'IA sotto il profilo economico, illustrandone le caratteristiche fondamentali, le applicazioni nei principali settori produttivi e il ruolo

dei dati come nuova risorsa strategica. Il terzo approfondisce il rapporto tra IA e management aziendale, confrontando le teorie classiche con le trasformazioni introdotte dalle tecnologie algoritmiche nella governance d'impresa e discutendo l'impatto sul ruolo del manager, sulle strutture organizzative e sulle competenze richieste. La ricerca si conclude con una riflessione critica che mette a confronto le dinamiche attuali con le precedenti rivoluzioni industriali, discutendo opportunità e rischi dell'IA e sottolineando la necessità di un governo responsabile e inclusivo di tali trasformazioni.

Capitolo I - Dalla Rivoluzione industriale all'Intelligenza artificiale

1.1 Che cos'è una Rivoluzione industriale?

“Il termine rivoluzione indica un cambiamento repentino e radicale. Le rivoluzioni hanno avuto luogo quando le tecnologie e le nuove modalità di concepire il mondo hanno dato inizio a profondi mutamenti nei sistemi economici e nelle strutture sociali. La natura dinamica di questi cambiamenti fa sì che possano essere necessari decenni affinché esse si consolidino.” (Schwab, 2016: p. 18).

Uno dei primi e più significativi cambiamenti nella storia dell'umanità, ossia la transizione dalla caccia all'agricoltura, si è verificato circa diecimila anni fa grazie all'addomesticamento degli animali. La rivoluzione agricola, così denominata dagli storici, ha combinato le forze degli uomini e degli animali per attività quali la produzione, il trasporto e la comunicazione.

L'umanità ha vissuto trasformazioni economiche e tecnologiche che hanno cambiato in modo irreversibile il modo in cui si produce, si lavora e si vive. Tali momenti hanno assunto caratteri più gradualisti o, in alcuni casi, di maggiore rottura con il passato. In quest'ultimo ambito si inseriscono quelle che gli studiosi definiscono le “rivoluzioni industriali”, verificate a partire dalla seconda metà del diciottesimo secolo, quando, delle innovazioni radicali hanno avuto un impatto talmente importante da riorganizzare profondamente i sistemi produttivi, sociali e culturali. Una rivoluzione industriale non introduce solo nuove tecnologie; è quando queste si diffondono e diventano parte integrante dei processi economici che il cambiamento si fa davvero profondo, generando quindi un nuovo paradigma di sviluppo, infatti, è noto che ogni rivoluzione ha portato con sé una riconfigurazione profonda dei rapporti economici e produttivi (Cipriani, Gramolati, Mari, 2018). Tendenzialmente, tali periodi, denominati rivoluzioni industriali, sono stati caratterizzati da insiemi coordinati di scoperte che hanno modificato la struttura del lavoro, l'organizzazione delle imprese, le dinamiche di mercato e la vita quotidiana. La rivoluzione è in questo senso sistemica, poiché non riguarda un singolo settore, ma investe e modifica l'intero modello di produzione e distribuzione della ricchezza.

Molti sono gli elementi che accomunano le rivoluzioni industriali, tra questi, si può osservare in primo luogo l'emergere di un'innovazione tecnologica centrale, attorno alla quale si aggregano nuove forme di produzione. Nella prima rivoluzione, ad esempio, tale innovazione fu la macchina a vapore; nella seconda l'elettricità; e nella terza l'informatica. Tali innovazioni non furono mai isolate, ma sempre accompagnate da cambiamenti nel modo in cui si organizzava il lavoro e si gestivano le risorse (Battilossi, 2002). In secondo luogo, ogni rivoluzione ha avuto conseguenze significative sul mondo

del lavoro. La meccanizzazione e l'automazione hanno modificato o eliminato alcune mansioni che prima erano compiti dell'essere umano, ne hanno create di nuove e hanno imposto un adattamento alle competenze. Il lavoratore si è trovato costantemente a dover ridefinire il proprio ruolo rispetto alle macchine, passando da una centralità operativa, ad una funzione più gestionale e tecnica. In ciascun caso, si è assistito all'eliminazione di alcune professioni e alla nascita di nuove occupazioni, con conseguenti tensioni sociali, fenomeni di riconversione e necessità di adattamento alle nuove mansioni. Infine, ogni trasformazione ha comportato implicazioni sociali ed economiche profonde che si estendono ben oltre l'ambito produttivo, in quanto esse penetrano nel tessuto sociale, modificando profondamente stili di vita, modelli di consumo e relazioni interpersonali. I rapporti tra le classi sociali si sono riconfigurati, le gerarchie economiche sono mutate, e le connessioni tra paesi si sono intensificate, contribuendo alla costruzione di un'economia sempre più globalizzata e tecnologica. Anche la percezione del tempo e dello spazio è cambiata, grazie all'accelerazione dei ritmi di vita, alla maggiore mobilità e ai diffusi processi di urbanizzazione. Si sono dunque ridefiniti i modelli economici, i rapporti tra le nazioni e la distribuzione della forza lavoro su scala globale, segnando il passaggio ad un nuovo assetto della modernità.

Se ogni rivoluzione industriale segna una cesura con il passato: è un punto di rottura che ridefinisce il modo in cui l'economia produce valore, organizza il lavoro e interagisce con la società, si comprende meglio come in questo contesto si inserisca l'oggetto di questa tesi: "L'intelligenza artificiale". Essa viene oggi presentata come il motore di una nuova trasformazione globale, quindi, una potenziale "quarta rivoluzione industriale". (Schwab, 2016) Ma è davvero così? L'IA possiede le caratteristiche che storicamente definiscono una rivoluzione industriale? Oppure si tratta di una tappa evolutiva nel più ampio processo di digitalizzazione avviato alla fine del XX secolo?

Per affrontare queste domande, è necessario analizzare le precedenti rivoluzioni industriali, identificandone i tratti distintivi e le logiche trasformative. Solo così sarà possibile confrontare l'attuale cambiamento tecnologico e valutarne la reale portata storica ed economica.

1.2 La Prima rivoluzione industriale

La Prima Rivoluzione Industriale rappresenta una delle fasi più rilevanti della storia economica e sociale, avviata nella seconda metà del XVIII secolo nel Regno Unito e diffusasi gradualmente in altre regioni europee e negli Stati Uniti durante il XIX secolo. Questo periodo ha segnato la transizione da un'economia prevalentemente agricola e artigianale ad una governata dall'industria e dalla produzione meccanizzata su larga scala. Tale rivoluzione non solo trasformò radicalmente il

sistema produttivo, ma modificò profondamente anche le strutture sociali, politiche e culturali delle società coinvolte. (Battilossi, 2002)

Diverse furono le condizioni che resero possibile questa rivoluzione. Innanzitutto, il contesto demografico: nel XVIII secolo si registrò in Europa un notevole incremento della popolazione, dovuto a miglorie delle condizioni igieniche, alla diminuzione della mortalità infantile e ai progressi avvenuti in campo agricolo. Ciò creò una forza lavoro abbondante e disponibile, essenziale per lo sviluppo delle fabbriche. In secondo luogo, la rivoluzione agricola del XVIII secolo, che introdusse tecniche come la rotazione quadriennale delle colture¹ e l'uso massiccio di fertilizzanti, permise un incremento della produttività agricola e la conseguente liberazione di manodopera, che si riversò nelle aree urbane. Inoltre, un ruolo centrale ebbe l'aspetto istituzionale ed economico: il Regno Unito, grazie a una situazione politica relativamente stabile dopo la gloriosa rivoluzione del 1688 e un efficiente sistema bancario, era dotato di una struttura istituzionale favorevole agli investimenti privati, alla tutela della proprietà privata e al finanziamento delle imprese industriali. Non meno importante fu l'espansione coloniale britannica, che permise l'accesso a mercati internazionali vasti e fornì abbondanza di materie prime a costi contenuti.

Il cuore della Rivoluzione industriale risiede nelle innovazioni tecnologiche introdotte a partire dalla seconda metà del Settecento. Fra queste, un ruolo primario fu svolto dalla creazione ed invenzione della macchina a vapore ad opera di James Watt nel 1765, che rappresentò una svolta epocale nella storia della tecnologia e della produzione industriale. Questa invenzione rese possibile l'utilizzo dell'energia del vapore per muovere macchinari industriali, treni e navi, aumentando enormemente le capacità produttive e logistiche dell'epoca. Nell'industria tessile, ad esempio, innovazioni come la spoletta volante di John Kay (1733), il filatoio “Giannetta” di James Hargreaves (1764), e il telaio meccanico di Edmund Cartwright (1785), permisero una crescita esponenziale della produzione, aprendo la strada all'industria tessile moderna. Questi sviluppi consentirono una drastica riduzione dei costi e un incremento della quantità e qualità dei prodotti disponibili sul mercato, favorendo il passaggio dalla manifattura domestica alle fabbriche organizzate e meccanizzate, denominando tale sistema il “*Putting-out-system*”. (Battilossi, 2002, 2011.)

La prima rivoluzione industriale comportò la nascita e la diffusione della fabbrica moderna, basata sulla concentrazione delle attività produttive in grandi stabilimenti, spesso localizzati vicino a fonti energetiche, come corsi d'acqua o miniere di carbone. Questo nuovo ambiente produttivo introdusse

¹ La rotazione quadriennale delle colture è una tecnica agricola che prevede di alternare quattro colture diverse sullo stesso terreno. Si tratta di una pratica che può migliorare la fertilità del suolo e la qualità dei prodotti. <https://rodaleinstitute.org/it/perché-biologico/pratiche-di-agricoltura-biologica/rotazioni-culturali/#:~:text=La%20rotazione%20delle%20colture%20è,di%20parassiti%20ed%20erbe%20infestanti.>

cambiamenti radicali nell'organizzazione del lavoro, con l'adozione di un ritmo scandito dai macchinari e da rigide discipline lavorative, volte alla massimizzazione della produttività. La fabbrica, che sostituì progressivamente la bottega artigiana e il lavoro a domicilio, contribuì a formare una nuova classe sociale: la classe operaia.²Gli effetti economici furono profondi: si registrò un aumento della produttività e della capacità di soddisfare la domanda crescente di beni di consumo. L'industrializzazione favorì l'emergere del capitalismo moderno, caratterizzato dalla presenza di imprenditori privati che investivano capitali nella produzione industriale. Questo fenomeno accelerò lo sviluppo economico, non solo del Regno Unito ma, successivamente, dell'intera Europa e degli Stati Uniti.Parallelamente, emersero importanti conseguenze sociali. Le città crebbero rapidamente (fenomeno noto come urbanizzazione), spesso senza un adeguato sviluppo di infrastrutture abitative e sanitarie, causando condizioni di vita difficili e precarie per gli operai. Si svilupparono forti disuguaglianze sociali e condizioni di sfruttamento della forza lavoro, soprattutto minorile e femminile, che nel tempo generarono tensioni sociali e movimenti sindacali volti a migliorare la condizione operaia.

La Prima rivoluzione industriale rappresentò un evento cruciale nella storia moderna, definendo le basi tecnologiche, economiche e sociali per lo sviluppo delle successive rivoluzioni industriali. Sebbene il progresso tecnologico ed economico fosse accompagnato da rilevanti problematiche sociali, questa fase pose le fondamenta per il progresso economico e industriale che avrebbe segnato profondamente il mondo contemporaneo.Dopo questa prima fase di trasformazione radicale, un nuovo ciclo di innovazioni tecnologiche e cambiamenti socioeconomici avrebbe portato, nella seconda metà del diciannovesimo secolo, alla Seconda rivoluzione industriale.

1.3 La Seconda rivoluzione industriale.

La Seconda rivoluzione industriale si sviluppò prevalentemente tra la seconda metà dell'Ottocento e i primi decenni del Novecento, rappresentando una fase evolutiva fondamentale rispetto al primo periodo dell'industrializzazione. Questa nuova fase fu caratterizzata da profondi cambiamenti tecnologici, economici e sociali che ebbero inizio principalmente in Europa e negli Stati Uniti, per poi diffondersi rapidamente su scala globale. (Battilossi, 2002)

Numerose condizioni facilitarono l'avvento della Seconda rivoluzione industriale. Innanzitutto, la disponibilità di risorse naturali, in particolare petrolio, ferro e carbone, che divennero essenziali per le nuove tecnologie e per sostenere il crescente sviluppo industriale. Contemporaneamente,

² La classe operaia affrontava condizioni di lavoro insalubri e sfruttamento, con lunghe ore di lavoro e salari bassi, coinvolgendo anche donne e bambini.

l'espansione delle reti ferroviarie e dei trasporti marittimi facilitò enormemente il commercio internazionale, consentendo un rapido trasferimento di materie prime e prodotti finiti su larga scala. Infine, l'espansione coloniale delle principali potenze europee fornì nuovi mercati e ulteriori risorse a basso costo, favorendo ulteriormente lo sviluppo economico e industriale.

Uno degli aspetti centrali di questa nuova fase industriale fu l'emergere di due nuove fonti energetiche fondamentali: l'elettricità e il petrolio. L'elettricità, in particolare, rappresentò una vera rivoluzione sia in campo industriale che domestico. Nel 1879, Thomas Edison perfezionò la lampadina elettrica, rendendo possibile l'illuminazione artificiale su larga scala e cambiando radicalmente il ritmo della vita quotidiana e lavorativa, con fabbriche e uffici che potevano operare anche dopo il tramonto. La diffusione dell'elettricità consentì inoltre la nascita e lo sviluppo di nuove industrie, tra cui quella chimica, siderurgica e delle telecomunicazioni. Parallelamente, la scoperta e lo sfruttamento del petrolio rivoluzionarono il settore energetico e dei trasporti. L'invenzione del motore con combustione interna da parte di Nikolaus Otto nel 1876, perfezionato ulteriormente da Gottlieb Daimler e Karl Benz, aprì le porte all'industria automobilistica e aeronautica, segnando una svolta radicale nella mobilità individuale e collettiva. (Battilossi, 2002, 2011).

Durante la Seconda rivoluzione industriale, numerose innovazioni tecnologiche contribuirono a ridefinire il sistema economico su scala globale. Tra queste, un ruolo fondamentale fu svolto dai progressi nella comunicazione, in quanto la telegrafia elettrica e, successivamente, la telefonia, resero possibile una trasmissione più rapida delle informazioni, permettendo il coordinamento produttivo e commerciale tra regioni e paesi distanti, elemento cruciale in un'economia sempre più integrata. L'invenzione della radio da parte di Guglielmo Marconi nel 1895 aprì ulteriori prospettive, segnando l'inizio della trasmissione senza fili e anticipando la futura centralità dei media nella società odierna.

Contemporaneamente, lo sviluppo della chimica industriale portò a nuove scoperte e produzione di materiali e beni innovativi, come fertilizzanti chimici, coloranti sintetici, e le prime materie plastiche, che ebbero effetti profondi sull'agricoltura, sulla manifattura e sulla vita quotidiana.

Nei primi anni del Novecento, Henry Ford introdusse la catena di montaggio negli stabilimenti di *Highland Park* a Detroit, perfezionando l'organizzazione scientifica del lavoro in chiave produttivista: questo modello, noto come "Fordismo" rese possibile la produzione in serie di beni come l'automobile, abbattendo drasticamente i costi e dando impulso ai cosiddetti consumi di massa. (Battilossi, 2011). Sul piano organizzativo, la Seconda rivoluzione industriale portò alla nascita di grandi conglomerati industriali, segnando l'avvento delle imprese multinazionali. Le aziende crebbero notevolmente in dimensioni e complessità, adottando tecniche manageriali avanzate volte a

incrementare efficienza e produttività. Si diffusero nuovi modelli aziendali come il già citato taylorismo e il fordismo, focalizzati sull'ottimizzazione dei processi produttivi tramite la specializzazione del lavoro, il controllo rigoroso delle fasi produttive e la standardizzazione dei prodotti.³

Le conseguenze economiche furono significative, portando ad una crescita esponenziale della produzione industriale e all'affermazione definitiva del capitalismo moderno. L'industrializzazione contribuì alla formazione di nuovi mercati, sia interni che esteri, e ad una crescente interdipendenza tra i diversi sistemi economici nazionali, consolidando ulteriormente la globalizzazione. Inoltre, nacque una classe media urbana più numerosa e influente, con un aumento di impiegati, tecnici e dirigenti impegnati nelle attività industriali, commerciali e di servizio. Nonostante i progressi economici e tecnologici, la Seconda rivoluzione industriale generò anche rilevanti problematiche sociali. L'urbanizzazione, favorita dalla rapida industrializzazione, provocò un'intensa migrazione dalle campagne alle città, spesso prive delle infrastrutture adeguate a sostenere un tale incremento demografico. Le condizioni di vita e di lavoro nelle fabbriche erano difficili e spesso precarie, caratterizzate da lunghe giornate lavorative e scarsa tutela dei lavoratori. Questi fattori contribuirono alla nascita e al rafforzamento dei movimenti sindacali, che promossero rivendicazioni sociali e politiche volte a garantire condizioni di lavoro migliori, salari equi e maggiori diritti per la classe lavoratrice. (Battilossi, 2002).

In conclusione, la Seconda rivoluzione industriale segnò una fase cruciale di cambiamento nella storia contemporanea, consolidando e ampliando le innovazioni introdotte dalla prima rivoluzione e definendo le basi tecnologiche, economiche e sociali del mondo moderno. Questo periodo costituì la premessa per ulteriori sviluppi industriali e tecnologici nel corso del Novecento, preparandone il terreno per le trasformazioni successive, tra cui l'avvento della rivoluzione digitale.

1.4 La terza rivoluzione industriale.

La Terza rivoluzione industriale, spesso denominata anche "Rivoluzione digitale", si sviluppa a partire dagli anni '50 del Novecento e si consolida progressivamente tra gli anni Settanta e Novanta, assumendo un ruolo sempre più centrale nei processi economici e sociali. Essa rappresenta un cambiamento radicale e sistemico, paragonabile per portata e impatto alle due precedenti rivoluzioni industriali. La sua peculiarità risiede nell'integrazione tra informatica, telecomunicazioni, elettronica

³ La standardizzazione dei prodotti è un processo produttivo che consente di ottenere beni e servizi identici tra loro. I prodotti standardizzati seguono precise regole e procedure, che garantiscono coerenza ed uniformità.

e tecnologie dell'informazione, che ha condotto a una profonda trasformazione dei modelli produttivi, delle relazioni lavorative e delle strutture sociali. (Rifkin, 2011)

L'origine di questa rivoluzione può essere fatta risalire al contesto post-bellico della Seconda guerra mondiale. In questo periodo, gli stati industrializzati si trovavano a dover ricostruire le proprie economie, e investimenti significativi furono indirizzati verso l'innovazione scientifica e tecnologica. I progressi compiuti nei settori della fisica, dell'elettronica e della cibernetica⁴ durante il conflitto furono rapidamente trasferiti in ambito civile, aprendo la strada all'elaborazione automatica delle informazioni. L'invenzione del transistor nel 1947, realizzata dai laboratori Bell, rappresentò un momento di svolta fondamentale nella storia della tecnologia. Questo nuovo dispositivo andò progressivamente a sostituire le valvole termoioniche, fino ad allora utilizzate nei circuiti elettronici, grazie ai suoi numerosi vantaggi: era più piccolo, più economico, più affidabile e consumava molta meno energia. Negli anni Sessanta, l'evoluzione tecnologica proseguì con la miniaturizzazione dei componenti elettronici e l'introduzione del circuito integrato, che permise di racchiudere più transistor in un unico chip. Questi progressi resero possibile, poco tempo dopo, la nascita del microprocessore, aprendo la strada alla rivoluzione dell'informatica e dei computer personali.

Con l'introduzione del primo microprocessore da parte della Intel nel 1971, nacque l'era dell'elaborazione distribuita. Questo permise non solo la costruzione di computer sempre più potenti e compatti, ma rese possibile anche la loro diffusione al di fuori dell'ambito militare e accademico. Il *personal computer* (PC), sviluppato a partire dagli anni Ottanta, si impose progressivamente come strumento di lavoro e comunicazione quotidiana, penetrando nelle aziende, nelle scuole e nelle abitazioni. Questo processo di democratizzazione tecnologica fu uno degli elementi distintivi della Terza Rivoluzione Industriale, in quanto trasformò profondamente non solo i luoghi della produzione, ma anche le modalità con cui le persone vivevano e interagivano.

Parallelamente, le innovazioni nel campo delle telecomunicazioni segnarono un'altra svolta decisiva. L'integrazione tra computer e reti di comunicazione portò alla nascita delle prime forme di *networking* digitale. Arpanet, sviluppata negli Stati Uniti alla fine degli anni '60, rappresentò il precursore di Internet, che negli anni '90, con l'introduzione del World Wide Web da parte di Tim Berners-Lee, divenne una piattaforma globale di comunicazione, scambio e commercio. (Battilossi, 2002) La rete Internet ha abbattuto le barriere geografiche e temporali, favorendo una nuova forma di globalizzazione fondata sulla connettività e sull'istantaneità dell'informazione. Si sono così

⁴ La cibernetica è un ramo della scienza pura e applicata, che si prefigge lo studio e la realizzazione di dispositivi e macchine capaci di simulare le funzioni del cervello umano, autoregolandosi per mezzo di segnali di comando e di controllo in circuiti elettrici ed elettronici o in sistemi meccanici.

sviluppate nuove modalità di produzione e distribuzione del valore, non più legate esclusivamente al prodotto materiale, ma sempre più orientate al servizio, alla conoscenza e al contenuto digitale.

In ambito produttivo, la Terza rivoluzione industriale ha determinato un passaggio cruciale dal paradigma meccanico a quello elettronico-informatico. Le imprese hanno progressivamente adottato sistemi di automazione avanzata, come i robot industriali e i software gestionali, che consentivano di monitorare e controllare in tempo reale ogni fase del ciclo produttivo. Tecnologie come il CAD⁵ (*Computer Aided Design*) e il CAM⁶ (*Computer Aided Manufacturing*) hanno rivoluzionato la progettazione e la fabbricazione, permettendo una maggiore precisione, una riduzione degli errori e una personalizzazione su scala industriale. Questo ha favorito lo sviluppo della “produzione snella”⁷ (*Lean production*), caratterizzata da flessibilità, adattabilità e *just-in-time*⁸, che ha progressivamente sostituito il modello fordista-taylorista basato sulla standardizzazione e sulla produzione di massa.

Tali trasformazioni hanno avuto un impatto dirompente sul mondo del lavoro. Il lavoro operaio tradizionale è andato incontro a una riduzione progressiva nei Paesi industrializzati, mentre cresceva la domanda di figure professionali con competenze digitali, informatiche, ingegneristiche e gestionali. Si è così verificata una polarizzazione del mercato del lavoro: da un lato, una crescente élite tecnologica; dall’altro, un’estesa platea di lavoratori dequalificati o espulsi dai processi produttivi, spesso costretti a ricollocarsi in settori a basso valore aggiunto. La digitalizzazione ha inoltre modificato i rapporti di lavoro stessi, favorendo la nascita di forme di impiego atipiche, flessibili e temporanee, ma anche precarie, in un contesto dove la stabilità lavorativa tendeva a indebolirsi. (Cipriani, Gramolati, Mari, 2018).

Le implicazioni della Terza Rivoluzione Industriale si sono riflesse anche su scala geopolitica e macroeconomica. La crescente importanza della conoscenza e dell’innovazione come fattori strategici di sviluppo ha favorito i paesi capaci di investire in ricerca, formazione e tecnologie avanzate. Al contempo, molti processi produttivi sono stati delocalizzati in aree del mondo con manodopera a basso costo, alimentando nuove disuguaglianze globali e una crescente interdipendenza economica tra Paesi. Il divario digitale tra paesi industrializzati e aree in via di

⁵ Il CAD è un modo di creare digitalmente disegni 2D e modelli 3D di prodotti del mondo reale, prima che siano mai stati fabbricati.

⁶ Il CAM è un insieme di software e macchinari che consentono di automatizzare e semplificare la produzione.

⁷ La produzione snella è una pratica di produzione che dà priorità all’uso efficiente delle risorse, concentrandosi esclusivamente sulle attività che apportano direttamente valore al cliente finale riducendo al minimo le spese inutili. Sviluppata in Giappone grazie all’opera di ingegneri come Shigeo Shingo e Taichi Ohno.

⁸ *Just in time* è una filosofia di produzione industriale che mira a ridurre gli sprechi e ottimizzare l’efficienza. Si basa sull’idea di avere a disposizione le risorse necessarie nel momento in cui servono, per lavorarle senza sprechi. (Battilossi, 2011).

sviluppo è diventato un elemento centrale nel dibattito sullo sviluppo sostenibile e inclusivo. Sul piano culturale e sociale, la Terza Rivoluzione ha avuto effetti profondi. La diffusione dei media digitali ha modificato radicalmente la comunicazione, l'informazione e la cultura. Il consumo di contenuti è divenuto istantaneo, personalizzato e interattivo; i social network hanno rivoluzionato la sfera delle relazioni interpersonali; la produzione culturale si è decentralizzata, dando vita a fenomeni come *l'user-generated content* e le *community online*. Inoltre, la crescente dipendenza dalle tecnologie digitali ha introdotto nuove problematiche legate alla privacy, alla sicurezza informatica e alla gestione dei dati personali, anticipando i dilemmi etici e normativi che diventeranno centrali nell'era dell'Intelligenza Artificiale.

In sintesi, la Terza rivoluzione industriale ha rappresentato una rottura paradigmatica che ha ridefinito i fondamenti stessi dell'attività economica, dell'organizzazione lavorativa e della vita sociale. Essa ha posto le basi infrastrutturali e culturali per l'avvento della "Quarta rivoluzione industriale" (Schwab, 2016), fondata sull'intelligenza artificiale, sull'internet delle cose e sulla convergenza tra mondo fisico e digitale.

È proprio nel passaggio dalla digitalizzazione alla cosiddetta trasformazione cognitiva della tecnologia che si manifesta la discontinuità storica che caratterizza il nostro tempo. Se la Terza rivoluzione industriale ha consentito la diffusione capillare dell'informazione e della connettività, la Quarta introduce una trasformazione ben più profonda: l'emergere dell'autonomia decisionale da parte delle macchine e dei sistemi digitali. Questo cambiamento non si limita a un incremento delle capacità tecnologiche, ma rappresenta un'evoluzione di natura qualitativa. La tecnologia, infatti, non si accontenta più di eseguire istruzioni ricevute dall'uomo, ma è ormai in grado di analizzare dati, apprendere dai processi, anticipare situazioni e prendere decisioni in modo sempre più indipendente. (Schwab, 2016)

È proprio a partire da questo scenario, plasmato dalle precedenti rivoluzioni industriali, che prende forma la riflessione sull'Intelligenza Artificiale come nuovo motore trasformativo del capitalismo contemporaneo. L'IA, insieme a tecnologie come i big data⁹, l'internet delle cose e la robotica avanzata, sta inaugurando una Quarta rivoluzione industriale, capace di ridefinire in profondità le dinamiche produttive, decisionali e strategiche a livello globale. Ciò che rende questa rivoluzione diversa dalle precedenti non è solo il tipo di tecnologia coinvolta, ma il modo in cui sta cambiando tutto, in fretta e su più livelli. Non si tratta più solo di migliorare i processi industriali o aumentare

⁹ I big data sono insiemi di dati così vasti e complessi da non poter essere elaborati con i metodi tradizionali. Sono caratterizzati da un enorme volume, velocità e varietà.

l'efficienza, l'intelligenza artificiale entra nel cuore delle scelte quotidiane, modifica il lavoro, la competizione tra le aziende e persino il nostro rapporto con il tempo e l'informazione. È un cambiamento che non riguarda solo le fabbriche, ma il nostro intero stile di vita e come prendiamo le decisioni, personali e collettive.

1.5 Cosa distingue la Quarta rivoluzione industriale?

Per comprendere appieno la portata della Quarta rivoluzione industriale, è fondamentale soffermarsi sugli elementi che la distinguono dalle trasformazioni precedenti. Ciò che caratterizza questa nuova fase non è soltanto l'adozione di tecnologie digitali, ma l'emergere di sistemi in grado di imparare ad adattarsi e prendere decisioni in autonomia. L'intelligenza artificiale, il *machine learning* e l'integrazione avanzata dei dati nei processi produttivi rappresentano le componenti chiave di questo cambiamento. Nei paragrafi seguenti verranno analizzati tre aspetti centrali: l'automazione intelligente e decisionale, l'uso strategico dei dati come risorsa economica e il ruolo dell'intelligenza artificiale all'interno del paradigma dell'Industria 4.0.¹⁰

1.6 Automazione intelligente e decisionale.

Nel cuore della Quarta rivoluzione industriale si colloca un elemento trasformativo che ridefinisce la relazione tra uomo, tecnologia e valore economico: l'automazione intelligente e decisionale. A differenza delle precedenti fasi industriali, in cui le macchine svolgevano funzioni ripetitive e rigidamente programmate, oggi ci troviamo di fronte a sistemi in grado di apprendere, adattarsi e agire autonomamente. Non siamo più a confronto con una semplice automazione meccanica, bensì con una nuova forma di intelligenza incorporata nella macchina, resa possibile dalla convergenza di tecnologie come intelligenza artificiale (IA), *machine learning*¹¹, *big data*, *cloud computing*¹² e *deep learning*¹³. (Schwab, 2016)

Questa trasformazione non è solo tecnologica, ma concettuale. Le macchine non sono più strumenti passivi, bensì agenti intelligenti in grado di interagire con l'ambiente, raccogliere dati, analizzarli, trarre conclusioni e proporre azioni.

Secondo Klaus Schwab, ciò che rende unica la Quarta Rivoluzione Industriale è la rapidità e la portata del cambiamento tecnologico, più che le tecnologie in sé. Il termine "automazione intelligente" non

¹⁰ L'industria 4.0 è un modello di produzione e gestione aziendale che integra tecnologie digitali nei processi industriali.

¹¹ Il machine learning è una branca dell'intelligenza artificiale che permette ai computer di imparare a migliorare in modo autonomo.

¹² Il cloud computing è un modello di erogazione di servizi informatici che mette a disposizione risorse di calcolo, come server, database, reti e software, tramite internet.

¹³ Il deep learning è una tecnica di intelligenza artificiale che consente ai computer di imparare a riconoscere e interpretare i dati. Si tratta di un sottoinsieme del machine learning.

si riferisce semplicemente all'uso di computer o robot, ma indica un ecosistema dinamico e adattivo in cui sensori, algoritmi e reti neurali collaborano per analizzare flussi informativi in tempo reale e generare risposte autonome. Il sistema non si limita più a seguire regole, ma costruisce nuove regole di comportamento sulla base dell'esperienza, configurandosi come auto-apprendente e flessibile.

Nei contesti industriali più avanzati, come nelle *smart factories*,¹⁴ l'automazione intelligente consente un'organizzazione dei processi di produzione in grado di ottimizzare in tempo reale le risorse, minimizzare gli sprechi, anticipare i problemi e ridurre i tempi di inattività attraverso la manutenzione predittiva. L'intera filiera viene orchestrata da algoritmi capaci di apprendere dai dati, interagire con robot collaborativi (cobot) e migliorare progressivamente le performance. Come sottolinea Cipriani, “(La tecnologia è importante, ad esempio introduce formidabili congegni di verifica digitale in tempo reale per qualunque fase del processo, dall'avvitatura più banale all'analisi immediata di un apparato telematico. Ma i sistemi organizzativi intelligenti hanno imparato ad utilizzarla bene, valorizzando la sapienza umana e ingegnerizzando i processi di miglioramento in modo molto più raffinato di un tempo. Le imprese che possiedono o stanno sviluppando queste *knowledges* avranno buone chance per competere nel mondo globale, le altre continueranno probabilmente da arrancare, a prescindere dal tasso di automazione introdotto.) (Cipriani, Gramolati, Mari, 2018: p. 179).

Secondo un'analisi del McKinsey Global Institute, l'automazione delle attività lavorative può incrementare la crescita economica globale tra lo 0,8% e 1,4% annuo, migliorando la produttività sia a livello macro che microeconomico. I benefici includono la riduzione dei costi del lavoro, una maggiore qualità e una diminuzione dei tempi di inattività per le imprese. (McKinsey Global Institute 2017). Ma l'impatto si estende ben oltre il settore manifatturiero. In finanza, l'IA analizza milioni di transazioni per prevenire frodi, gestire portafogli e ottimizzare strategie di investimento. Anche nel settore giuridico, software intelligenti analizzano contratti, predicono sentenze e supportano il lavoro degli avvocati. Persino il mondo dell'arte, della comunicazione e dell'istruzione inizia a sperimentare forme di automazione decisionale, attraverso IA generative in grado di produrre contenuti autonomi. (Cipriani, Gramolati, Mari, 2018)

L'automazione intelligente modifica radicalmente anche il management aziendale. Si afferma il concetto di “decisione aumentata”, dove l'IA funge da co-pilota nelle scelte strategiche. I manager non si basano più solo sull'intuizione o sull'esperienza, ma si affidano a cruscotti di business

¹⁴ Una “smart factory”, o fabbrica intelligente, è un'azienda che ha automatizzato i processi produttivi grazie a tecnologie avanzate. L'obiettivo è migliorare l'efficienza, la qualità e la flessibilità della produzione.

intelligence alimentati da dati in tempo reale, che suggeriscono azioni, simulano scenari e ottimizzano i risultati.

Secondo Erik Brynjolfsson e Andrew McAfee, l'integrazione tra intelligenza artificiale e processi decisionali aziendali sta ridefinendo il ruolo del management. I sistemi intelligenti permettono infatti di analizzare enormi quantità di dati, simulare scenari e guidare le scelte in modo più efficiente rispetto alle sole intuizioni umane (Brynjolfsson e McAfee, 2014). Questa logica si sta estendendo anche nella pubblica amministrazione, dove la governance diventa sempre più *data-driven*: l'IA viene impiegata per prevedere la diffusione di epidemie, ottimizzare la mobilità urbana, identificare frodi fiscali e allocare risorse con maggiore efficienza. Si tratta di una vera e propria governance algoritmica, che promette maggiore efficacia ma pone anche interrogativi delicati.

L'ascesa dell'automazione intelligente non è priva di criticità. La delega di decisioni complesse ad algoritmi genera nuove forme di rischio sistemico. Chi è responsabile se un algoritmo sbaglia? Come si garantisce la trasparenza in un processo decisionale opaco? Quali garanzie esistono contro l'uso discriminatorio o distorto dell'IA? Shosana Zuboff evidenzia come il capitalismo della sorveglianza, alimentato da tecnologie come l'intelligenza artificiale, rappresenti una minaccia per la democrazia e la libertà individuale, se non adeguatamente regolamentato da principi etici e democratici (Zuboff, 2019). Inoltre, l'accesso esclusivo ai dati e alla capacità computazionale concentra il potere in mano a pochi colossi tecnologici globali, generando uno squilibrio geopolitico ed economico.

Dal punto di vista occupazionale, la transizione verso l'automazione intelligente sta producendo una crescente polarizzazione del lavoro. Le attività manuali e ripetitive vengono automatizzate, mentre si apre spazio per nuove professioni legate all'ingegneria dei dati, all'etica digitale, alla manutenzione predittiva, alla formazione algoritmica. "Entro il 2025, potrebbero essere eliminati 85 milioni di posti di lavoro a causa di una nuova divisione del lavoro tra esseri umani e macchine, mentre potrebbero emergere 97 milioni di nuovi ruoli più adatti a questa nuova configurazione tra persone, macchine e algoritmi." (World Economic Forum, 2020, p. 5, *t.d.a.*). Il vero nodo, dunque, non è solo tecnologico ma educativo e formativo: servono investimenti massicci in alfabetizzazione digitale, *reskilling* e *upskilling*¹⁶ per evitare nuove esclusioni e garantire un'evoluzione sociale sostenibile.

In definitiva, l'automazione intelligente e decisionale è la firma distintiva della Quarta Rivoluzione Industriale. Essa ridefinisce il ruolo della macchina, che da semplice strumento operativo diventa soggetto attivo del processo economico e decisionale. Comprendere questa trasformazione significa

¹⁶Il *reskilling* è un processo formativo che permette ai lavoratori di acquisire nuove competenze per svolgere ruoli diversi da quelli attuali; L' *upskilling* è un processo formativo che permette di migliorare le competenze di un lavoratore nel suo attuale ruolo.

riconoscere che il potere si sta spostando verso chi controlla l'intelligenza e i dati, e che il futuro dell'economia dipenderà dalla capacità collettiva di governare l'innovazione in modo etico, inclusivo e sostenibile.

1.7 I dati come nuova risorsa economica.

Nel contesto della Quarta rivoluzione industriale, una delle trasformazioni più profonde e strutturali riguarda la ridefinizione delle risorse economiche fondamentali. Se nelle rivoluzioni precedenti il motore della crescita era identificato nel vapore, nell'elettricità o nell'informatica, oggi tale funzione viene svolta dai dati. Il dato, nella sua forma grezza o strutturata è diventato il nuovo "petrolio digitale", una metafora ampiamente utilizzata per evidenziarne non solo il valore strategico, ma anche la sua natura estrattiva, cumulativa e trasformativa. Così come l'oro nero ha alimentato il capitalismo industriale nel XX secolo, i dati alimentano oggi le logiche del capitalismo cognitivo, fondato sulla raccolta massiva, sull'analisi predittiva e sull'ottimizzazione automatizzata delle informazioni. (Schwab, 2016)

Questa analogia non è solo retorica. I dati sono oggi considerati beni economici a tutti gli effetti, dotati di valore, generativi di reddito, oggetto di scambio, accumulo e sfruttamento. A differenza delle risorse materiali tradizionali, però, i dati possiedono caratteristiche peculiari: sono intangibili, non rivalutabili, duplicabili a costo marginale prossimo allo zero e spesso non escludibili. Questo significa che possono essere utilizzati contemporaneamente da più soggetti senza esaurirsi, ma ciò ne complica enormemente la gestione in termini di proprietà, accesso, redistribuzione del valore e governance.

L'ascesa dei dati come risorsa economica segna una discontinuità anche sul piano teorico. Per secoli, il pensiero economico ha ruotato attorno a risorse tangibili: terra, lavoro e capitale. Con la Terza Rivoluzione Industriale si è cominciato a parlare di conoscenza e informazione come leve dello sviluppo. Ma è solo con l'affermarsi dell'ecosistema digitale e dell'intelligenza artificiale che i dati diventano il carburante centrale dell'intero processo economico, dando origine a un nuovo regime di accumulazione fondato sull'estrazione sistematica di comportamenti, preferenze, relazioni e micro-decisioni degli individui e delle organizzazioni. (Cipriani, Gramolati, Mari, 2018).

In questo contesto, il valore non è più generato solo dalla produzione di beni, ma dall'abilità nel prevedere e influenzare i comportamenti futuri. Gli algoritmi diventano così strumenti di monetizzazione dei dati, e le piattaforme digitali si trasformano in veri e propri ecosistemi estrattivi. Le grandi imprese tech tendono a costruire i loro modelli di business sull'accumulazione e

interpretazione dei dati degli utenti, che vengono trasformati in pubblicità personalizzata, modelli predittivi, prodotti dinamici e strategie di fidelizzazione automatizzata (Srnicsek, 2017). L'infrastruttura digitale consente la raccolta continua e capillare di dati: dalle ricerche online ai movimenti fisici tramite GPS, dalle interazioni sociali alle abitudini di consumo, fino ai dati biometrici rilevati da dispositivi wearable.

In questo scenario, i dati assumono il ruolo di asset immateriale ad altissimo valore aggiunto, e diventano la base materiale dell'intelligenza artificiale stessa, che, per apprendere e ottimizzare le sue prestazioni, ha bisogno di grandi moli di informazioni (big data). L'intelligenza artificiale, senza l'elaborazione di grandi quantità di dati, non può funzionare efficacemente. È attraverso l'analisi massiva di dataset che gli algoritmi apprendono schemi, generano previsioni, correggono errori e prendono decisioni. Pertanto, i dati possono essere considerati il "carburante" che alimenta il "motore" dell'IA.

Dal punto di vista macroeconomico, i dati sono diventati una risorsa strategica capace di influenzare la crescita, la competitività e la produttività di interi sistemi economici. Le imprese che riescono a valorizzarli, le cosiddette data-driven si distinguono per una maggiore capacità di innovare, attrarre investimenti e reagire con prontezza alle crisi. Ma questa rivoluzione non riguarda tutti allo stesso modo. Si stanno infatti aprendo nuove fratture: tra chi può accedere e interpretare grandi quantità di dati e chi ne resta escluso, tra le aziende digitali di nuova generazione e i settori più tradizionali, tra i Paesi che guidano l'innovazione e quelli che restano indietro. Sta emergendo così una vera e propria "frattura dei dati" (*data divide*), simile a quella energetica o informativa, che rischia di ridefinire gli equilibri economici e geopolitici a livello globale.

Sul piano etico e normativo, la gestione dei dati apre questioni cruciali: chi possiede i dati? Chi può utilizzarli e per quali finalità? Come tutelare la *privacy*, la trasparenza e l'equità? La risposta istituzionale a queste domande è ancora frammentaria. L'Unione Europea ha introdotto il Regolamento Generale sulla Protezione dei Dati (GDPR) e ha avviato iniziative come il Data Governance Act e il Data Act, con l'obiettivo di creare un mercato dei dati equo, competitivo e responsabile. Tuttavia, la velocità dell'innovazione supera spesso quella della regolamentazione, generando zone grigie normative in cui la concentrazione di potere nelle mani di pochi attori globali rischia di minacciare i principi democratici e di pluralismo economico. In sintesi, i dati costituiscono oggi una risorsa economica strategica e centrale, capace di generare valore, potere e trasformazioni profonde. Non si tratta solo di una nuova commodity, ma di un fattore produttivo a sé stante, attorno al quale si riorganizzano interi ecosistemi economici, modelli di business e strutture decisionali.

Comprendere il ruolo economico dei dati è essenziale per decifrare le logiche della Quarta rivoluzione industriale e per orientarsi nel futuro del lavoro, del consumo e della cittadinanza digitale.

1.8 Connessione tra intelligenza artificiale, machine learning e Industria 4.0.

La connessione tra intelligenza artificiale, *machine learning* e Industria 4.0 costituisce uno degli elementi cardine della Quarta rivoluzione industriale, delineando una trasformazione epocale nei processi produttivi, economici e gestionali delle imprese contemporanee. (Schwab,2016). Questa interconnessione rappresenta un'evoluzione naturale del progresso tecnologico avviato dalle precedenti rivoluzioni industriali, caratterizzata da una crescente digitalizzazione e dall'integrazione sistematica di tecnologie avanzate nei processi aziendali. L'Industria 4.0, espressione coniata originariamente in Germania all'inizio degli anni 2010 nell'ambito della strategia industriale nazionale, si fonda sull'introduzione pervasiva di soluzioni digitali nei sistemi manifatturieri, configurandosi come un paradigma produttivo centrato su flessibilità, interconnessione e automazione intelligente. L'elemento distintivo rispetto alle precedenti fasi industriali risiede, come detto nel paragrafo precedente, nella capacità delle tecnologie di imparare ad adattarsi e prendere decisioni in modo autonomo, superando i limiti dei sistemi automatizzati tradizionali.

In questo contesto, l'intelligenza artificiale funge da infrastruttura cognitiva che permette ai sistemi industriali di eseguire operazioni complesse, analizzare grandi moli di dati e interagire in modo intelligente con l'ambiente circostante. Sebbene il *machine learning* costituisca una branca fondamentale dell'IA, e sarà oggetto di una trattazione specifica nel secondo capitolo, è utile fin da ora sottolineare come il suo sviluppo sia strettamente intrecciato all'evoluzione della fabbrica intelligente. L'utilizzo di algoritmi in grado di apprendere e migliorarsi progressivamente ha modificato radicalmente l'approccio al ciclo produttivo, rendendo possibile un adattamento dinamico in tempo reale.

Sotto il punto di vista operativo, l'integrazione di IA nei sistemi produttivi si traduce nell'implementazione di tecnologie quali i *cyber-physical systems*¹⁷(CPS), l'internet delle cose (IoT)¹⁸, i *digital twin*¹⁹e i sistemi di automazione avanzata. I CPS, ad esempio, permettono la connessione continua tra il mondo fisico e quello digitale, facilitando una comunicazione bidirezionale tra macchine e sistemi informatici. Questa architettura tecnologica consente una

¹⁷ I Cyber-Physical Systems sono sistemi informatici che interagiscono in modo continuo con il mondo fisico. Sono composti da elementi fisici e computazionali che comunicano e si controllano tra di loro.

¹⁸ L' internet delle cose è una rete di oggetti connessi a internet, in grado di scambiare dati tra loro e con altri dispositivi.

¹⁹ Il digital twin è un modello virtuale di un oggetto, processo, sistema o entità del mondo reale. I digital twin sono in grado di monitorare e simulare il comportamento del sistema fisico a cui si riferiscono.

gestione intelligente della produzione, nella quale ogni componente può essere monitorato, analizzato e ottimizzato in tempo reale.

Un aspetto cruciale dell'Industria 4.0 è la creazione di un ecosistema di produzione interconnesso, nel quale la cooperazione uomo-macchina assume una nuova dimensione. Gli operatori umani, lungi dall'essere sostituiti, si trovano sempre più spesso a collaborare con sistemi intelligenti, integrando le proprie capacità decisionali e intuitive con le potenzialità analitiche delle tecnologie digitali. Questo scenario apre questioni rilevanti non solo sul piano tecnico, ma anche su quello organizzativo, formativo e culturale, richiedendo un profondo ripensamento delle competenze e delle modalità di lavoro.

Dal punto di vista delle dinamiche aziendali, la diffusione di tecnologie basate sull'IA comporta un impatto significativo sulle strategie competitive. Le imprese che adottano strumenti di intelligenza artificiale per il monitoraggio della produzione, la gestione predittiva della manutenzione, il controllo qualità automatizzato e la personalizzazione dell'offerta acquisiscono vantaggi sostanziali in termini di efficienza, flessibilità e tempestività nelle decisioni. In un contesto globalizzato e soggetto a rapidi mutamenti, la capacità di raccogliere e interpretare dati in maniera efficace rappresenta un asset fondamentale costituente un ottimo vantaggio competitivo. (Harvard Business Review Italia, 2023)

Allo stesso tempo, è necessario interrogarsi sui rischi connessi a un'adozione massiva di tecnologie intelligenti, tra cui la dipendenza dai sistemi automatizzati, la vulnerabilità informatica e l'asimmetria tra imprese tecnologicamente avanzate e quelle meno strutturate. L'adozione dell'Industria 4.0 non è omogenea, né geograficamente né settorialmente, e ciò contribuisce a ridisegnare la geografia economica, favorendo la concentrazione di valore in determinate aree e aziende.

Infine, non va trascurato il legame tra l'evoluzione tecnologica e le trasformazioni nei modelli di business. Le imprese che operano nell'ambito dell'Industria 4.0 tendono a sviluppare strutture organizzative più orizzontali, fondate sulla condivisione delle informazioni e sull'integrazione trasversale dei processi. L'IA diviene così un abilitatore strategico per il passaggio da una logica di produzione di massa a un modello più flessibile e personalizzato, orientato alla soddisfazione puntuale delle esigenze del consumatore.

In conclusione, la connessione tra intelligenza artificiale e Industria 4.0 rappresenta una rivoluzione sistemica che coinvolge non solo la dimensione tecnologica, ma anche quella sociale, organizzativa ed economica. L'IA, con il supporto di infrastrutture digitali sempre più avanzate, si afferma come il motore propulsore di una nuova epoca industriale, nella quale il sapere umano e la potenza computazionale collaborano per ridefinire il concetto stesso di produzione e valore economico.

Se il confronto con le rivoluzioni industriali precedenti ha permesso di comprenderne il carattere storico e l'eccezionalità, il passo successivo consiste nell'analizzare in profondità cosa l'intelligenza artificiale effettivamente "fa" nell'economia e nell'impresa contemporanea. È infatti attraverso i suoi tratti distintivi, come la capacità di apprendere, di estrarre valore dai dati e di inserirsi nei processi decisionali, che si manifesta il reale potenziale di trasformazione dell'IA.

Capitolo II. L'intelligenza artificiale sotto un profilo economico e industriale.

2.1 L'intelligenza artificiale nei processi decisionali: una sostituzione possibile?

La macchina a vapore, l'elettrificazione, l'automazione: ogni fase ha rappresentato un superamento della dipendenza dalla forza fisica dell'uomo, ma mai ha realmente messo in discussione la sua centralità nei processi decisionali. L'avvento dell'intelligenza artificiale, invece, apre scenari radicalmente nuovi. Per la prima volta nella storia, la tecnologia non si limita a eseguire ordini, ma ambisce a interpretare dati, formulare ipotesi, suggerire soluzioni, prendere decisioni (Daugherty, Wilson, 2018)

Oggi l'intelligenza artificiale è in grado di esaminare enormi volumi di informazioni con una velocità e una precisione che superano di gran lunga le capacità umane. Non si tratta più di fantascienza: algoritmi complessi vengono già impiegati per selezionare candidati nei processi di assunzione, decidere se approvare un prestito al consumo, pianificare operazioni di trading sui mercati finanziari o persino suggerire diagnosi in ambito medico analizzando sintomi e dati clinici. In questo modo, l'IA si inserisce sempre più spesso al centro delle decisioni aziendali e istituzionali. Il suo apporto può rendere i processi decisionali più veloci, più basati su dati concreti e, almeno in teoria, meno influenzati dai pregiudizi cognitivi umani.

Ma è davvero possibile parlare di una sostituzione dell'uomo nei processi decisionali, o si tratta piuttosto di un'integrazione? È una domanda tutt'altro che teorica, poiché coinvolge non solo l'efficienza, ma anche la responsabilità, l'etica, la trasparenza e la legittimità delle decisioni prese.

Decidere non significa semplicemente scegliere l'alternativa più vantaggiosa sulla base di dati numerici. Significa valutare conseguenze a lungo termine, considerare elementi intangibili, assumere rischi, pesare valori morali. Una macchina può indicare quale soluzione massimizzi il profitto, ma può valutare l'impatto sociale di una ristrutturazione aziendale o comprendere la dimensione empatica della leadership?

Inoltre, l'affidamento cieco ai sistemi decisionali automatizzati può generare nuove forme di opacità. Gli algoritmi, soprattutto quelli più avanzati basati su deep learning, spesso funzionano come "scatole nere": producono risultati, ma i loro processi interni restano incomprensibili anche agli sviluppatori (Burrell, 2016). In particolare, "una delle tre forme di opacità descritte da Burrell è strutturale: gli stessi progettisti non riescono più a spiegare come il sistema arrivi a una decisione" (Burrell, 2016, p. 3). Questo solleva interrogativi giuridici e politici di enorme rilevanza: chi è responsabile di un

errore algoritmico? Come si garantisce la trasparenza? Come si evitano discriminazioni involontarie codificate nei dati di partenza?

La risposta più convincente, almeno nel medio periodo, non è nella sostituzione ma nella collaborazione. L'IA può fungere da potente strumento di supporto, da amplificatore delle capacità umane, da “secondo cervello” capace di esplorare scenari alternativi e fornire raccomandazioni mirate (Daugherty, Wilson, 2018). Ma la decisione finale, soprattutto nei contesti complessi, rimane compito dell'uomo, poiché richiede quel bagaglio di esperienza, sensibilità e responsabilità che nessun codice può replicare.

In ambito aziendale, si stanno già delineando modelli di governance ibrida, nei quali l'analisi algoritmica fornisce la base informativa su cui si innesta il giudizio manageriale. Questo paradigma consente di sfruttare i vantaggi dell'intelligenza artificiale mantenendo il controllo umano sulle scelte critiche. È un modello che salvaguarda non solo la dignità del lavoro umano, ma anche la qualità complessiva delle decisioni, integrando logiche quantitative e qualitative, efficienza e responsabilità.

In prospettiva futura, sarà cruciale costruire un'architettura istituzionale e culturale capace di valorizzare questa sinergia. Ciò implica investimenti non solo in tecnologie, ma anche in formazione, in etica digitale, in nuove competenze cognitive e relazionali. L'intelligenza artificiale pone sfide straordinarie, ma offre anche l'opportunità di ridefinire il ruolo dell'uomo non come esecutore, ma come regista delle trasformazioni in atto.

2.2 Fondamenti dell'intelligenza artificiale e applicazione nei processi decisionali.

Per comprendere pienamente l'impatto dell'intelligenza artificiale nei processi decisionali, è importante partire da una definizione solida e da un'analisi delle sue componenti fondamentali. L'intelligenza artificiale, nel senso moderno del termine, è un'unione di tecniche computazionali che consentono a sistemi informatici di svolgere compiti che normalmente richiederebbero l'intelligenza umana: apprendere dall'esperienza, riconoscere pattern, elaborare il linguaggio naturale, prendere decisioni complesse (Brynjolfsson, McAfee, 2014). L'IA non è una tecnologia monolitica, bensì un ecosistema articolato, che include sotto discipline come il *machine learning*, il *deep learning*, come visto nel primo capitolo, la visione artificiale, il *natural language processing (NLP)* e i sistemi esperti. Alla base di questi sistemi vi sono gli algoritmi: insiemi di istruzioni codificate che, dati certi input,

generano output coerenti secondo logiche predeterminate, sempre più sofisticate grazie all'apprendimento iterativo²⁰.

L'IA contemporanea si basa su grandi quantità di dati e potenza computazionale, che rendono possibile l'addestramento di modelli predittivi complessi (Daugherty, Wilson, 2018). *Il machine learning*, in particolare, consente ai sistemi di migliorare le proprie performance nel tempo, "apprendendo" dai dati senza essere esplicitamente programmati per ogni singolo compito (Burrell, 2016). È in questo contesto che emergono gli algoritmi predittivi, capaci di elaborare enormi moli di informazioni per anticipare eventi futuri, suggerire decisioni o automatizzare interi processi decisionali (McKinsey, 2022). Le aziende che adottano soluzioni IA possono così creare un vantaggio competitivo basato sull'anticipazione: prevedere la domanda di mercato, ottimizzare le catene di approvvigionamento, personalizzare l'offerta al consumatore, gestire il rischio finanziario. (Lombardi, Macchi, 2018). Ad esempio, algoritmi di IA applicati all'analisi dei dati di vendita permettono di prevedere con maggiore precisione le tendenze della domanda e ottimizzare di conseguenza la produzione e la gestione degli stock (Daugherty, Wilson, 2018, pp.42).

In ambito decisionale, l'intelligenza artificiale trova applicazione in tre macroaree: il supporto alle decisioni, l'automazione decisionale, e la co-decisione umano-macchina. Il primo caso riguarda strumenti che affiancano i manager offrendo insight e analisi predittive per migliorare la qualità del processo deliberativo. È il caso dei sistemi che segmentano la clientela, identificano anomalie nei flussi finanziari o simulano scenari economici alternativi. Nel secondo ambito, l'IA assume un ruolo più autonomo: prende decisioni sulla base di regole preimpostate o modelli addestrati, come negli algoritmi di approvazione automatica dei crediti o nella gestione degli investimenti algoritmici. Infine, il paradigma emergente è quello della decisione ibrida: la macchina analizza e propone, l'essere umano valuta e approva, in un equilibrio che punta a massimizzare efficienza e controllo.

Queste modalità non sono alternative ma complementari, e la loro efficacia dipende dal contesto d'uso, dalla qualità dei dati e dalla trasparenza degli algoritmi. L'automazione avanzata non significa necessariamente rimozione dell'intervento umano poiché l'IA agisce come un "cervello ausiliario" capace di processare milioni di variabili in tempo reale, ma la responsabilità ultima rimane umana (Daugherty, Wilson, 2018). È questa la logica dei sistemi intelligenti che integrano modelli predittivi con dashboard gestionali, analisi in linguaggio naturale e motori di raccomandazione. La decisione

²⁰ L'apprendimento iterativo è un processo di apprendimento in cui si ripetono ciclicamente le stesse fasi per raggiungere una soluzione migliore.

non si limita più alla scelta fra alternative: è un processo continuo di monitoraggio, previsione e adattamento.

Tuttavia, l'efficacia dell'IA nei processi decisionali non può prescindere dalla riflessione su alcuni presupposti tecnici e culturali. Innanzitutto, il principio *garbage in, garbage out*²¹ evidenzia che modelli intelligenti dipendono dalla qualità e dalla rappresentatività dei dati di addestramento. In secondo luogo, la struttura stessa degli algoritmi spesso opaca e non interpretabile, solleva interrogativi di accountability e fiducia: possiamo delegare a un modello decisionale che non sappiamo spiegare? Queste questioni assumono particolare rilevanza nei settori regolamentati come sanità, finanza e pubblica amministrazione, dove trasparenza e giustificabilità delle decisioni sono requisiti essenziali. Ne emerge una sfida progettuale, più che meramente tecnica: sviluppare sistemi "intelligenti" ma anche "comprensibili", capaci di integrare la logica statistica con quella manageriale e giuridica (Barocas, Hardt, Narayanan, 2019).

In sintesi, l'intelligenza artificiale ristruttura e ridefinisce l'intelligenza operativa umana nei processi decisionali. In un contesto in cui la complessità, la velocità e la quantità delle informazioni eccedono le capacità cognitive individuali, l'IA si propone come un nuovo paradigma decisionale. Non si tratta tanto di chiedersi se la macchina potrà decidere al posto nostro, ma piuttosto come progettare una collaborazione efficace tra l'intelligenza naturale e quella artificiale, affinché le decisioni risultino più rapide, informate, eque. Solo in questo modo l'IA potrà essere uno strumento autentico di empowerment decisionale e non una fonte di nuova alienazione.

Dopo aver chiarito cosa sia l'intelligenza artificiale e in che maniera supporti o automatizzi i processi decisionali, è ora necessario spostare l'attenzione sugli effetti tangibili che essa genera nell'economia reale. La trasformazione che l'IA innesca, infatti, non si limita ai metodi decisionali: essa ridefinisce interi modelli di produzione, ristruttura settori consolidati e ne fa emergere di nuovi. Nel prossimo paragrafo analizzeremo come l'adozione dell'intelligenza artificiale stia modificando profondamente ambiti strategici come la produzione industriale, i servizi finanziari, la logistica e la sanità. Dalle *smart factories* alla manutenzione predittiva, dalla fintech all'ottimizzazione delle *supply chain*, fino all'impiego dell'IA addirittura in campo medico.

²¹ Il modello *garbage in, garbage out* è utilizzato soprattutto per richiamare l'attenzione sul fatto che i computer elaborano in modo acritico, dunque se viene fornito loro un insieme di dati in entrata palesemente erronei o insensati (*garbage in*) producono un risultato erroneo o insensato (*garbage out*).

2.3 Come l'IA trasforma l'economia e i settori industriali

L'intelligenza artificiale sta determinando una trasformazione radicale dell'economia contemporanea, agendo come leva di riconfigurazione dei settori produttivi e dei modelli di business

Le imprese che adottano soluzioni di AI e machine learning riescono a ottimizzare l'allocazione delle risorse, ridurre i costi marginali e reagire con maggiore agilità ai mutamenti della domanda. Secondo Lombardi e Macchi, il nuovo paradigma cognitivo generato dall'uso degli algoritmi predittivi e dei sistemi di apprendimento automatico non solo accelera i processi, ma ne trasforma la natura stessa, integrando conoscenza simbolica e sub-simbolica nella generazione del valore.

La diffusione di sistemi cyber-fisici, interconnessioni in tempo reale, e modelli di previsione basati su big data sta progressivamente rendendo obsoleti i tradizionali modelli settoriali. Il risultato è una crescente convergenza tra settori precedentemente separati e l'emergere di ecosistemi digitali complessi, in cui le imprese interagiscono in modo dinamico.

Per avere una visione completa di come l'intelligenza artificiale stia modificando i processi lavorativi, andremo ad analizzare come essa possa influenzare svariati settori fondamentali dell'economia moderna.

2.4 Produzione e manifattura: Smart factories, automazione cognitiva e manutenzione predittiva

Il settore manifatturiero è uno dei principali ambiti in cui l'intelligenza artificiale mostra il suo potenziale trasformativo. Con il passaggio alle cosiddette *smart factories*, si assiste all'integrazione tra macchine intelligenti, sensori, algoritmi e reti digitali, in grado di adattare in tempo reale i processi produttivi alle condizioni operative e alle esigenze del mercato.

Nella fabbrica intelligente, la manutenzione predittiva è una delle applicazioni più avanzate. Essa sfrutta l'analisi di grandi volumi di dati raccolti dai macchinari e grazie al supporto dell'IA consente di prevedere guasti e pianificare gli interventi con largo anticipo, riducendo i tempi di fermo e i costi di manutenzione non programmata.

Oltre alla manutenzione predittiva, esiste l'automazione cognitiva che permette ai sistemi produttivi di auto adattarsi, grazie a modelli di *machine learning* che apprendono dai cicli produttivi precedenti per migliorare qualità e flessibilità, questo approccio comporta quindi il superamento della logica

fordistica tradizionale, orientando l'organizzazione industriale verso un modello dinamico, predittivo e resiliente. (Cipriani et al., 2018)

L'intelligenza artificiale ridisegna il lavoro umano nella produzione, spostando il focus dalle attività esecutive a quelle di sorveglianza, controllo e intervento strategico, valorizzando così la collaborazione uomo-macchina.

2.5 Servizi e Finanza: Fintech, robo-advisory e analisi dei dati su larga scala.

L'intelligenza artificiale sta impattando in modo sempre più pervasivo anche sul settore dei servizi, e in particolare su quello finanziario, contribuendo alla nascita di modelli di business nuovi, alla riconfigurazione della catena del valore e alla progressiva digitalizzazione dei rapporti con la clientela. Il fenomeno che sintetizza questa trasformazione è noto come Fintech, e con questo termine, “si indica l'innovazione finanziaria resa possibile dall'innovazione tecnologica, che può tradursi in nuovi modelli di business, processi o prodotti, ed anche nuovi operatori di mercato”. (Consob, no data.)

Il Fintech comprende una vasta gamma di soluzioni digitaliche spaziano dai sistemi di pagamento digitali fino ai prestiti peer to peer. Il tratto distintivo di queste tecnologie è la capacità di rendere i servizi finanziari più accessibili, personalizzati, efficienti e veloci, riducendo allo stesso tempo la dipendenza da intermediari tradizionali come banche e consulenti finanziari.

Una delle applicazioni più avanzate e discusse dell'intelligenza artificiale nel Fintech è quella dei cosiddetti *robo-advisor*, sistemi automatizzati di consulenza finanziaria. Questi strumenti utilizzano algoritmi di *machine learning* e modelli predittivi per analizzare i profili di rischio degli investitori, selezionare i prodotti finanziari più adatti e gestire in maniera dinamica i portafogli. Il tutto avviene in tempo reale e con costi drasticamente inferiori rispetto alla consulenza finanziaria tradizionale. “Il modello di servizio proposto da un robo advice prevede tipicamente soglie patrimoniali di accesso e costi più contenuti rispetto alla consulenza “tradizionale”, potrebbe risultare attrattivo per gli investitori a patto che essi siano disposti a investire tramite una piattaforma digitale.” (Consob, 2019). Come evidenziato da Lombardi e Macchi, la capacità predittiva dell'intelligenza artificiale, combinata con l'analisi su larga scala dei dati, consente non solo di adattare i portafogli alle esigenze individuali, ma anche di rispondere proattivamente ai cambiamenti dei mercati. I modelli algoritmici si basano su tecniche di apprendimento continuo, che evolvono sulla base delle performance passate e dell'interazione con i comportamenti degli utenti.

Parallelamente, le tecnologie di *big data analytics* e data mining permettono alle istituzioni finanziarie di processare e analizzare milioni di transazioni e informazioni eterogenee²², ottenendo così una conoscenza più profonda del cliente e una maggiore capacità di prevenzione dei rischi. Questo approccio si rivela particolarmente utile per il monitoraggio del rischio di credito, per la prevenzione delle frodi, e per la verifica della conformità normativa (*compliance*), in un contesto sempre più attento alla tracciabilità e trasparenza.

L'intelligenza artificiale consente inoltre lo sviluppo di sistemi predittivi in grado di anticipare scenari economici, elaborare simulazioni su shock di mercato, o effettuare previsioni sui tassi di default. In particolare, le tecnologie NLP oggi impiegate per analizzare in tempo reale notizie finanziarie, comunicati aziendali e dati macroeconomici, al fine di supportare le decisioni di investimento automatico.

Tuttavia, non mancano criticità e rischi sistemici. L'uniformità degli algoritmi utilizzati dai diversi *robo-advisor*²³ può portare a comportamenti collettivi omogenei da parte degli investitori, accentuando la volatilità dei mercati nei momenti di incertezza. Inoltre, la totale automatizzazione del processo decisionale può ridurre la capacità di interpretazione qualitativa di eventi anomali, rendendo più fragile la gestione di crisi improvvise.

Un altro aspetto delicato riguarda la responsabilità giuridica dei consigli forniti dalle piattaforme automatizzate: in assenza di un consulente umano, chi risponde in caso di errore o di perdite dovute a malfunzionamenti del sistema? A livello europeo, la regolamentazione in materia di *robo-advisory*²⁴ è ancora in via di sviluppo, con un quadro normativo frammentario e spesso in ritardo rispetto all'innovazione tecnologica. In definitiva, l'intelligenza artificiale applicata alla finanza rappresenta un elemento di rottura rispetto al modello bancario tradizionale, abilitando soluzioni più rapide, accessibili e personalizzate. Tuttavia, come osservato anche da vari autori nel volume Il lavoro 4.0, l'adozione efficace e sostenibile di queste tecnologie dipende dalla capacità del sistema economico e normativo di accompagnare l'innovazione, evitando derive tecnocratiche e garantendo l'equilibrio tra efficienza, trasparenza e tutela dell'utente tramite un sistema normativo efficiente.

²² Informazioni eterogenee possono essere di molti tipi, come esempio possiamo utilizzare: acquisti online, dati biometrici, geolocalizzazione o cronologie bancarie.

²³ Con il termine *robo-advisory* si intende l'attività automatizzata di consulenza finanziaria, mentre i *robo-advisor* sono i soggetti (piattaforme o software) che la erogano.

²⁴ La regolamentazione dei *robo-advisor* in Europa si basa principalmente sulla direttiva 2014/65/UE, chiamata MIFID II, adotta un approccio di neutralità tecnologica, applicando le stesse regole sia alla consulenza tradizionale che a quella automatizzata. Tuttavia, l'assenza di una normativa specifica per i *robo-advisor* solleva interrogativi su aspetti quali: La responsabilità giuridica degli algoritmi, la profilazione dei clienti e la trasparenza delle raccomandazioni automatizzate.

2.6 Logistica e supply chain.

L'intelligenza artificiale sta profondamente trasformando anche il settore della logistica e della catena di approvvigionamento, portando innovazioni significative nella gestione delle risorse, nell'organizzazione dei flussi e nella previsione della domanda. Le catene di fornitura tradizionali, spesso rigide e poco reattive, stanno gradualmente lasciando il posto a sistemi integrati, adattivi e orientati ai dati.

Uno dei principali contributi dell'intelligenza artificiale in questo ambito è la capacità di ottimizzare l'intera catena logistica, dalla pianificazione della produzione fino alla distribuzione finale. Attraverso tecniche di machine learning e analisi predittiva, è oggi possibile elaborare previsioni accurate della domanda, migliorare la gestione delle scorte e coordinare in tempo reale trasporti, magazzini e fornitori. L'adozione di questi strumenti consente alle imprese di minimizzare gli sprechi, ridurre i costi operativi e aumentare la resilienza rispetto a shock improvvisi, come quelli legati a crisi sanitarie o geopolitiche.

Secondo quanto riportato nel volume *Il lavoro 4.0*, l'applicazione dell'IA consente di raccogliere, elaborare e correlare enormi quantità di dati provenienti da fonti diverse (sensori IoT²⁵, GPS, ERP aziendali²⁶, dati meteorologici), trasformando la logistica in un processo intelligente, predittivo e auto-adattivo. In questo contesto, l'automazione cognitiva permette di reagire in tempo reale a ritardi, interruzioni o variazioni della domanda, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi di efficienza e sostenibilità ambientale.

Un ambito in rapida evoluzione è quello della logistica urbana, dove l'intelligenza artificiale supporta l'ottimizzazione dei percorsi di consegna, la gestione delle flotte e la riduzione delle emissioni. L'utilizzo combinato di algoritmi e dati in tempo reale consente di calcolare i tragitti più brevi, evitare il traffico, prevenire sovraccarichi e monitorare le condizioni del trasporto. Inoltre, grazie all'integrazione con le tecnologie di blockchain e tracciabilità avanzata, diventa possibile certificare ogni fase della filiera, aumentando la trasparenza e la fiducia tra gli attori coinvolti.

Un altro fattore rilevante è l'impatto sul magazzino, dove si stanno diffondendo soluzioni di robotica autonoma, veicoli guidati da intelligenza artificiale e sistemi predittivi per l'approvvigionamento automatico. Amazon e Alibaba rappresentano due casi emblematici: entrambe le aziende utilizzano

²⁵ I sensori iot sono dispositivi intelligenti, parte dell'internet delle cose, che rilevano informazioni sull'ambiente circostante e le trasmettono per essere elaborate e utilizzate.

²⁶ Un sistema ERP aziendale è un software gestionale che integra diverse aree di un'azienda, come la produzione, la finanza, le risorse umane e la supply chain, in un unico sistema informatico.

IA per ottimizzare lo stoccaggio, prevedere la domanda locale e decidere automaticamente la posizione ottimale delle merci in funzione della distribuzione.

Tuttavia, la crescente automazione della supply chain solleva anche interrogativi sul piano occupazionale e gestionale. La riduzione della componente umana nei processi di magazzino e spedizione richiede un ripensamento dei modelli organizzativi e delle competenze richieste, nonché una riflessione etica sul bilanciamento tra efficienza e inclusività.

L'intelligenza artificiale si configura dunque come uno strumento strategico per la transizione verso una supply chain più intelligente, sostenibile e resiliente. Tuttavia, la sua adozione deve essere accompagnata da politiche industriali e formative adeguate, capaci di favorire un'evoluzione equilibrata e socialmente sostenibile dei sistemi produttivi.

2.7 Settore sanitario.

L'intelligenza artificiale rappresenta una delle frontiere più avanzate e trasformative nel campo della sanità. La sua applicazione in ambito medico e farmaceutico sta ridefinendo il modo in cui si diagnosticano le patologie, si gestiscono i pazienti e si sviluppano i trattamenti, aprendo la strada a un modello di medicina più predittiva, preventiva e personalizzata. Questo cambio di paradigma, fortemente basato sull'elaborazione di big data sanitari e sull'apprendimento automatico, ha effetti rilevanti sia in termini clinici sia in termini economico-organizzativi, rendendo la sanità uno dei settori chiave della rivoluzione digitale in corso.

Uno dei campi più consolidati di applicazione dell'IA è quello della diagnostica per immagini. Attraverso algoritmi di deep learning, addestrati su milioni di immagini mediche, i sistemi intelligenti sono oggi in grado di rilevare con grande accuratezza lesioni, anomalie e tumori in TAC, risonanze magnetiche, ecografie e mammografie. In numerosi contesti, questi sistemi hanno dimostrato performance paragonabili o addirittura superiori a quelle dei radiologi esperti, soprattutto in compiti altamente ripetitivi o nella rilevazione precoce di micro-anomalie difficilmente visibili a occhio umano. Tali tecnologie non sono concepite per sostituire il medico, ma per potenziarne le capacità diagnostiche, offrendo un supporto basato su evidenze e riducendo il margine di errore. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha evidenziato, in un rapporto del 2021, che l'adozione di sistemi di IA nel processo diagnostico può migliorare l'accuratezza delle diagnosi, ridurre i tempi di attesa e ottimizzare l'utilizzo delle risorse sanitarie, purché tali strumenti siano sviluppati secondo criteri etici, trasparenti e orientati alla tutela del paziente. In particolare, l'OMS definisce sei principi guida per un uso responsabile dell'IA in sanità: protezione dell'autonomia umana, promozione del

benessere, trasparenza²⁷, responsabilità, inclusione ed equità, sostenibilità ambientale e sociale. (OMS, 2021)

Un secondo ambito in forte espansione riguarda il contributo dell'intelligenza artificiale alla ricerca e allo sviluppo di nuovi farmaci. Tradizionalmente, il processo di *drug discovery*²⁸ richiede tempi lunghissimi, anche superiori a dieci anni, e investimenti multimiliardari. L'IA permette di abbreviare drasticamente queste tempistiche grazie alla sua capacità di analizzare milioni di combinazioni molecolari, simulare in silico²⁹ le interazioni farmacologiche e individuare le molecole con maggiori probabilità di successo terapeutico. Algoritmi avanzati possono anche prevedere la tossicità potenziale e gli effetti collaterali fin dalle prime fasi della progettazione, permettendo un filtraggio precoce delle opzioni meno efficaci. Un caso emblematico è rappresentato dal primo farmaco sviluppato con l'ausilio dell'IA che ha raggiunto la fase clinica in meno di un anno, suscitando grande interesse tra aziende farmaceutiche ed enti regolatori. Come rilevato da McKinsey (2022), l'integrazione dell'IA nella pipeline farmaceutica può ridurre del 30-50% i costi di R&D e abbreviare sensibilmente i tempi di commercializzazione.

Accanto a questi due ambiti, l'intelligenza artificiale sta favorendo lo sviluppo di una medicina sempre più personalizzata. Analizzando i dati genetici, clinici, ambientali e comportamentali dei pazienti, l'IA è in grado di suggerire trattamenti su misura, ottimizzando l'efficacia terapeutica e riducendo al minimo gli effetti avversi. In oncologia, ad esempio, l'uso di piattaforme IA consente di mappare le mutazioni specifiche di un tumore e di individuare il protocollo terapeutico più adatto al profilo molecolare del paziente. L'Osservatorio Innovazione Digitale in Sanità del Politecnico di Milano ha sottolineato come l'IA stia già oggi contribuendo al miglioramento della gestione delle cronicità, della prevenzione secondaria e della riabilitazione, con impatti positivi sia sulla qualità della cura sia sulla sostenibilità del sistema sanitario.

Tuttavia, l'adozione dell'IA in ambito sanitario non è priva di criticità. L'utilizzo massivo di dati sensibili impone una riflessione approfondita sul piano etico, giuridico e regolatorio. La trasparenza degli algoritmi, la spiegabilità delle decisioni automatizzate e la protezione e sicurezza dei dati personali sono questioni centrali per garantire una sanità digitale affidabile, equa e sicura. L'OMS,

27 Per trasparenza si intende la possibilità di accedere alle logiche, ai dati e ai criteri utilizzati da un sistema di intelligenza artificiale nelle sue decisioni.

28 Il processo di *drug discovery* è una ricerca scientifica che mira a identificare e sviluppare nuovi farmaci per trattare o prevenire malattie.

29 Per "simulare in silico" si fa riferimento a simulazioni effettuate tramite modelli computazionali al computer, in contrapposizione agli esperimenti "in vitro" (in provetta) o "in vivo" (su organismi viventi). Nel contesto farmaceutico, simulare in silico significa utilizzare software e algoritmi per prevedere, ad esempio, il comportamento di una molecola in un organismo, prima di testarla fisicamente.

infatti, insiste sulla necessità di un solido quadro normativo per governare l'uso di queste tecnologie, evitando derive tecnocratiche o discriminazioni algoritmiche nei confronti delle fasce più vulnerabili della popolazione.

In conclusione, l'intelligenza artificiale applicata alla sanità rappresenta uno degli orizzonti più promettenti dell'innovazione tecnologica contemporanea. La sua capacità di generare valore ulteriore in termini di efficienza, precisione e accessibilità è ormai riconosciuta su scala globale. Tuttavia, perché questa trasformazione sia pienamente sostenibile, è necessario che le istituzioni sanitarie, i professionisti e i decisori pubblici siano pronti a governarla con strumenti adeguati, una visione sistemica e una solida cultura digitale.

Ciò che consente all'IA di svolgere tali funzioni è principalmente la disponibilità e l'analisi dei dati. Che si tratti di diagnosi mediche, ottimizzazione logistica o consulenza finanziaria automatizzata, il funzionamento e il valore stesso dei sistemi intelligenti dipendono dalla quantità, qualità e accessibilità delle informazioni su cui essi si alimentano. È dunque inevitabile, giunti a questo punto, rivolgere l'attenzione proprio ai dati, sempre più centrali nel determinare gli impatti economici e strategici dell'IA.

2.8 Dati e intelligenza artificiale.

Nell'era digitale, i dati hanno assunto un ruolo paragonabile a quello che il petrolio ha ricoperto nelle rivoluzioni industriali del Novecento: una risorsa strategica, capace di generare valore economico, potere competitivo e trasformazioni strutturali. Se l'intelligenza artificiale è oggi considerata il motore della Quarta Rivoluzione Industriale, i dati rappresentano il carburante che la alimenta. Tutti i sistemi intelligenti si fondano sull'elaborazione di grandi quantità di informazioni, spesso provenienti da fonti eterogenee, complesse ed in continuo aggiornamento. Tuttavia, a differenza delle risorse tradizionali, i dati non si esauriscono con l'uso: si moltiplicano, si accumulano e si ridefiniscono costantemente in funzione del contesto tecnologico e sociale. Questa caratteristica li rende centrali non solo dal punto di vista operativo, ma anche strategico, giuridico ed etico. Comprendere il valore dei dati e le dinamiche della loro regolamentazione è dunque una condizione imprescindibile per analizzare in modo critico l'impatto dell'IA sull'economia e sulla società.

2.9 Il valore economico dei dati nel mondo digitale

Nell'attuale economia digitale, i dati rappresentano una risorsa strategica di primaria importanza. La loro raccolta, analisi e utilizzo consentono alle aziende di migliorare l'efficienza operativa,

personalizzare l'offerta e anticipare le esigenze del mercato. Secondo uno studio dell'OCSE, il valore dei dati può essere misurato attraverso diversi metodi, tra cui l'analisi degli investimenti nel settore e la valutazione dei benefici economici derivanti dal loro utilizzo.

Secondo uno studio della Commissione Europea, nel 2024 il valore economico dei flussi di dati cloud generati dalle imprese dell'Unione Europea è stato stimato in circa 77 miliardi di euro, con una previsione di crescita fino a 328 miliardi entro il 2035, spinta dalla crescente adozione del cloud e dalla trasformazione digitale del sistema produttivo. (Snelsen et al., 2024)

La monetizzazione dei dati, tuttavia, solleva anche questioni etiche e legali, soprattutto quando si tratta di dati personali. Il Regolamento Generale sulla Protezione dei Dati dell'Unione Europea stabilisce principi chiave per il trattamento dei dati personali, come la trasparenza, la limitazione della finalità e la minimizzazione dei dati. L'emergere dell'IA ha evidenziato nuove problematiche, come la difficoltà di garantire la trasparenza degli algoritmi e la spiegabilità delle decisioni automatizzate.

Per affrontare queste sfide, l'Unione Europea ha proposto l'AI Act, un regolamento che mira a stabilire un quadro normativo armonizzato per l'IA, introducendo requisiti specifici per i sistemi ad alto rischio, tra cui quelli che gestiscono dati sensibili. Il regolamento prevede, tra l'altro, l'obbligo di effettuare valutazioni d'impatto sulla protezione dei dati e sulla conformità etica dei sistemi di IA.

In conclusione, mentre i dati rappresentano una risorsa fondamentale nell'era digitale, è essenziale bilanciare le opportunità economiche derivanti dal loro utilizzo con il bisogno di garantire la protezione dei diritti fondamentali, attraverso un quadro normativo chiaro e aggiornato che tenga conto delle peculiarità dell'IA.

Ma se i dati rappresentano un asset strategico per il funzionamento dei sistemi di IA, la loro raccolta e trattamento sollevano questioni di ordine etico, giuridico e politico che non possono essere trascurate. Da qui l'urgenza di analizzare le attuali sfide normative e i problemi legati alla protezione della privacy nell'ecosistema digitale.

2.10 Problemi di regolamentazione e privacy.

L'espansione dell'intelligenza artificiale (IA) ha evidenziato una crescente tensione tra l'innovazione tecnologica e la tutela dei diritti fondamentali, in particolare la protezione e riservatezza dei dati personali. L'Unione Europea ha cercato di affrontare questa sfida attraverso il Regolamento Generale sulla Protezione dei Dati (GDPR), che stabilisce principi fondamentali quali la liceità, la correttezza, la trasparenza, la limitazione della finalità, la minimizzazione dei dati, l'esattezza, la limitazione della

conservazione, l'integrità e la riservatezza. Come stabilito dal Regolamento (UE) 2016/679 (GDPR), il trattamento dei dati personali deve avvenire nel rispetto di principi fondamentali quali trasparenza, limitazione della finalità, minimizzazione dei dati e responsabilità del titolare del trattamento.³⁰Tuttavia, l'applicazione di questi principi ai sistemi di IA presenta notevoli difficoltà.

Uno dei principali problemi è rappresentato dalla natura opaca di molti algoritmi di IA, spesso descritti come "scatole nere", che rendono difficile comprendere come vengano prese le decisioni. Come sottolinea Burrell (2016), l'opacità algoritmica non deriva solo dalla complessità tecnica, ma anche da fattori organizzativi e culturali che rendono difficile accedere alle logiche interne dei sistemi di IA. Questa mancanza di trasparenza complica l'attribuzione di responsabilità in caso di errori o discriminazioni, sollevando interrogativi sull'accountability degli sviluppatori e degli utilizzatori di tali sistemi. Barocas, Hardt e Narayanan (2019) evidenziano come la progettazione di algoritmi equi debba includere fin dall'inizio meccanismi che garantiscano tracciabilità, comprensibilità e possibilità di audit delle decisioni automatizzate. Inoltre, l'uso massiccio di dati riservati per l'addestramento degli algoritmi solleva preoccupazioni riguardo alla privacy, soprattutto quando tali dati vengono raccolti senza un consenso esplicito o utilizzati per finalità diverse da quelle dichiarate.

Per affrontare queste sfide, l'Unione Europea ha introdotto il primo Regolamento sull'Intelligenza Artificiale (AI Act), che mira a stabilire un quadro normativo armonizzato per lo sviluppo e l'utilizzo dell'IA. L'AI Act adotta un approccio basato sul rischio, classificando i sistemi di IA in quattro categorie: rischio inaccettabile, alto, limitato e minimo. I sistemi ad alto rischio, come quelli utilizzati in ambiti critici quali la sanità, l'istruzione e l'impiego, sono soggetti a requisiti rigorosi, tra cui la valutazione della conformità, la documentazione tecnica dettagliata e l'obbligo di trasparenza. Alcune pratiche, come il social scoring da parte delle autorità pubbliche, sono vietate in quanto considerate ad alto rischio per i diritti fondamentali.

Nonostante questi sforzi normativi, permangono diverse criticità. La rapida evoluzione tecnologica dell'IA può superare la capacità delle normative di adattarsi tempestivamente, lasciando lacune regolamentari. Inoltre, l'efficacia dell'AI Act dipenderà dalla sua implementazione coerente e uniforme tra gli Stati membri, nonché dalla capacità delle autorità competenti di monitorare e far rispettare le disposizioni.

³⁰ Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea, *Regolamento (UE) 2016/679*, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, L 119, 4 maggio 2016

Per mitigare questi problemi, è fondamentale promuovere una cultura della responsabilità nell'uso dell'IA, che coinvolga sviluppatori, utilizzatori e cittadini. Ciò include l'adozione di pratiche di sviluppo etico, la trasparenza nei processi decisionali automatizzati e l'empowerment degli individui attraverso l'educazione digitale e la consapevolezza dei propri diritti. Io integrato che combina regolamentazione efficace, innovazione responsabile e partecipazione attiva della società civile sarà possibile garantire che l'IA contribuisca al benessere collettivo senza compromettere i diritti fondamentali, come sostenuto anche nella prospettiva della fairness computazionale sviluppata da Barocas et al. (2019).

In definitiva, l'intelligenza artificiale è tanto potente quanto fragile nei suoi presupposti strutturali: fondata sui dati, alimentata da algoritmi, ma dipendente da un equilibrio costante tra innovazione, responsabilità e diritto. È a partire da queste riflessioni che il prossimo capitolo analizzerà gli impatti concreti dell'IA sul management aziendale, confrontando i modelli organizzativi del passato con i modelli moderni con l'integrazione dell'AI nella struttura manageriale dell'azienda.

Capitolo III. L'intelligenza artificiale e la trasformazione del management aziendale.

3.1 L'evoluzione delle teorie manageriali.

La teoria del management si è evoluta profondamente nel corso degli ultimi due secoli, accompagnando le trasformazioni tecnologiche e organizzative che vanno dall'epoca della meccanizzazione industriale fino alla moderna impresa digitale. Sin dagli inizi del Novecento, studiosi come Frederick Taylor³¹ ed Henri Fayol³² hanno gettato le basi del pensiero manageriale classico, sviluppando approcci volti a razionalizzare il lavoro e massimizzare l'efficienza produttiva. Le loro teorie, pur differenti nei dettagli, condividevano infatti l'obiettivo di incrementare la produttività dell'impresa tramite una gestione scientifica e sistematica delle attività.

Parallelamente, Max Weber³³, sociologo ed economista, analizzò invece i processi di razionalizzazione e sviluppò il modello di burocrazia razionale, fondato su gerarchie chiare, competenze definite e procedure standardizzate. La sua analisi dei processi di razionalizzazione contribuì a definire i principi organizzativi che, come vedremo, avrebbero influenzato in profondità lo sviluppo delle strutture aziendali moderne.

Taylor, con il Scientific Management, introduce metodi analitici per ottimizzare i tempi e i movimenti di ogni mansione, trattando l'organizzazione come una macchina in cui ogni lavoratore è specializzato in un compito specifico per aumentare la velocità ed efficienza del processo. Fayol, parallelamente, delinea i principi generali dell'amministrazione evidenziando l'importanza di un'adeguata struttura gerarchica e di regole formali per guidare il comportamento organizzativo. Weber, infine, teorizza il modello di burocrazia razionale, fondato su una chiara gerarchia dell'autorità, competenze definite, procedure standardizzate e impersonalità nelle relazioni: un sistema pensato per garantire prevedibilità, disciplina ed equità nell'amministrazione, riducendo arbitri e favoritismi tramite l'adesione a regole astratte uguali per tutti. Queste impostazioni classiche riflettono le esigenze dell'epoca industriale della meccanizzazione: contesti relativamente stabili, fabbriche orientate alla produzione di massa e manodopera poco qualificata, dove l'enfasi era posta sull'efficienza tecnica e sul controllo rigoroso dei processi operativi.

³¹ Frederick W. Taylor, *The Principles of Scientific Management*, Harper & Brothers, New York, 1911.

³² Henri Fayol, *Administration industrielle et générale*, Dunod, Parigi, 1916.

³³ Max Weber, *Economia e società (Wirtschaft und Gesellschaft)*, a cura di G. Roth e C. Wittich, Univ. Bocconi Editore, Milano, 1978 (ed. orig. 1922).

A partire dagli anni Trenta, con l'evoluzione del contesto socioeconomico, emergono nuovi filoni di pensiero critici verso l'approccio rigidamente meccanicistico dei classici. Gli studi di Elton Mayo, in particolare i celebri esperimenti di Hawthorne, segnano la nascita della scuola delle relazioni umane, capovolgendo in parte le assunzioni tayloriste. Mayo dimostrò che i lavoratori non sono motivati solo da salari e norme ferree, ma anche da fattori psicologici e sociali: l'attenzione al benessere, alle relazioni interpersonali e al coinvolgimento si rivelò determinante nel migliorare la produttività (Mayo, 1933). La sua ricerca mise in luce il cosiddetto effetto Hawthorne, ovvero il fatto che le operaie oggetto di osservazione producevano di più quando lavoravano in condizioni ambientali e sociali migliori, sentendosi considerate dall'azienda. Infatti, agli inizi degli anni sessanta Frederick Herzberg³⁴ ideò la teoria dei fattori igienici e motivanti, approfondendo ulteriormente le dinamiche di soddisfazione e insoddisfazione lavorativa. Herzberg distingue tra fattori igienici (come retribuzione, condizioni ambientali, sicurezza di lavoro e politiche aziendali) i quali sono elementi la cui assenza genera insoddisfazione del lavoratore, ma la cui presenza non genera vera motivazione. I fattori motivanti invece (come riconoscimento, responsabilità, crescita professionale) sono quei fattori che se presenti all'interno dell'azienda possono incrementare l'impegno e la soddisfazione intrinseca. Tale scoperta inaugurò un approccio più umanistico al management, in netto contrasto con i principi dell'organizzazione scientifica del lavoro di Taylor e del Fordismo, che tendevano a trascurare l'elemento umano. Si afferma dunque l'idea che un buon clima organizzativo, la motivazione e la soddisfazione dei dipendenti siano componenti essenziali per l'efficienza aziendale. Su questa scia, nel secondo dopoguerra, Peter Drucker elabora ulteriormente il concetto di management moderno. Considerato il padre del management contemporaneo, Drucker trasformò la gestione da insieme di tecniche empiriche a vera disciplina, insistendo su una visione olistica ed etica dell'impresa. Nei suoi testi (a partire da *The Practice of Management*, 1954) definisce il ruolo del manager come figura chiave che deve bilanciare obiettivi economici e responsabilità verso le persone e la società. Drucker sottolinea l'importanza di privilegiare lo sviluppo e il benessere dei lavoratori accanto al profitto, anticipando concetti come il *knowledge worker*³⁵ e introducendo strumenti innovativi quali la decentralizzazione decisionale e il *Management by Objectives*³⁶. Egli promuove uno stile gestionale flessibile e collaborativo, contrapposto alla rigida burocrazia: "il manager efficace non è colui che dà ordini, ma colui che costruisce le condizioni affinché le persone possano dare il

³⁴ Herzberg, Frederick I., One more time: how do you motivate employees? in "Harvard Business Review", settembre 1968.

³⁵ Il "lavoratore di esperienza" è una persona la cui esperienza apporta valore all'impresa, in quanto il suo lavoro si basa sull'utilizzo e la creazione di conoscenza, piuttosto che sulla produzione di beni materiali.

³⁶ La "gestione per obiettivi" è un approccio manageriale che si concentra sulla definizione di obiettivi chiari e misurabili per i dipendenti, legando il loro raggiungimento a premi o incentivi.

meglio di sé” (Drucker, 1973). Si delinea così la figura del manager moderno, attento tanto ai risultati quanto alle persone, capace di guidare l’azienda in un ambiente in cambiamento continuo.

Dalla seconda metà del XX secolo in avanti, infatti, le imprese si trovano ad operare in contesti via via più dinamici e complessi, caratterizzati da rapidi cambiamenti tecnologici, mercati globalizzati e maggiore incertezza. In questo scenario diventa evidente la necessità di superare l’eccessiva rigidità delle strutture tradizionali per adottare modelli organizzativi più aperti e adattabili. Già dagli anni ’60, studi come quelli di Burns e Stalker³⁷ sottolineavano la distinzione tra sistemi meccanicistici (burocratici, adeguati ad ambienti stabili) e sistemi organici (flessibili, adatti ad ambienti turbolenti), evidenziando come l’innovazione e la rapidità di risposta richiedano organizzazioni meno gerarchiche e più agili. Successivamente, tra gli anni ’80 e ’90, con l’avvento dell’informatica e poi di Internet, si assiste a una progressiva trasformazione delle strutture aziendali: molte organizzazioni passano da modelli piramidali rigidi a configurazioni a matrice, reticolari o a rete, in cui prevalgono il lavoro per progetti, i team interfunzionali e collaborativi, nonché una maggiore autonomia operativa dei livelli intermedi. Nell’era digitale odierna, questa tendenza ha subito un’ulteriore accelerazione: le tradizionali gerarchie verticali lasciano spazio a strutture più piatte, agili e decentralizzate (Cipriani, Gramolati, Mari, 2018). Le decisioni vengono sempre più spesso spinte verso il basso, affidate a gruppi auto-organizzati o supportate da sistemi informativi avanzati, allo scopo di rispondere con tempestività alle esigenze di mercati in rapida evoluzione. Allo stesso tempo, grazie alle tecnologie digitali, sono emerse forme organizzative innovative come il lavoro da remoto e le reti globali di talenti, che consentono alle imprese di essere operative 24/7 e di attingere a competenze diffuse oltre i confini tradizionali. L’impresa contemporanea tende, dunque, ad essere meno burocratica e più aperta: si enfatizzano la collaborazione orizzontale, la condivisione della conoscenza e la capacità di adattarsi velocemente attraverso processi decisionali più distribuiti. In sintesi, dal modello burocratico novecentesco fondato sul controllo gerarchico e la standardizzazione si è passati gradualmente a modelli flessibili, in cui l’innovazione, la creatività e il capitale umano assumono un ruolo centrale nella creazione di valore.

Questo excursus storico evidenzia come il management abbia costantemente reinterpretato sé stesso per rispondere ai cambiamenti del contesto tecnologico e sociale. Le teorie classiche di Taylor, Fayol e Weber, adeguate alla prima era industriale, sono state integrate e superate da approcci più attenti alle risorse umane (Mayo) e alle strategie manageriali orientate al lungo termine (Drucker), fino ad arrivare ai modelli organizzativi fluidi dell’odierna impresa digitale. In quest’ottica, l’avvento

³⁷ Tom Burns, G.M. Stalker, *The Management of Innovation*, Tavistock Publications, London, 1961; ristampa Oxford University Press, Oxford, 1994.

dell'intelligenza artificiale nei processi aziendali si preannuncia come una nuova discontinuità storica, potenzialmente paragonabile a una rivoluzione industriale (Schwab, 2016). Le tecnologie di IA promettono infatti di automatizzare attività cognitive, rivoluzionare il modo di prendere decisioni e ridefinire ruoli e competenze all'interno delle organizzazioni. Nel prosieguo del capitolo, si analizzerà come i modelli gestionali tradizionali vengano messi in discussione dall'introduzione dell'IA e in che modo questa trasformazione per certi versi assimilabile a una quarta rivoluzione industriale stia ridisegnando il governo d'impresa, i meccanismi decisionali e la figura stessa del manager.

3.2 L'intelligenza artificiale nel governo d'impresa.

L'intelligenza artificiale sta introducendo modalità decisionali “oltre la tradizione” nell'ambito del governo d'impresa, trasformando profondamente pratiche sinora affidate all'intuito umano e a strumenti statistici convenzionali. In particolare, l'IA si configura sempre più come uno strumento di supporto decisionale dotato di capacità di previsione, automazione e adattamento.³⁸ Grazie alle sue capacità predittive, infatti, l'IA consente di analizzare enormi moli di dati e individuare pattern nascosti, fornendo previsioni accurate su tendenze di mercato, comportamenti dei concorrenti o rischi emergenti con una tempestività e una precisione difficilmente ottenibili dall'analisi umana. Parallelamente, attraverso l'automazione di processi operativi e routine decisionali ripetitive, i sistemi di IA possono eseguire valutazioni e scelte basate su regole predefinite o su apprendimento automatico, riducendo errori e tempi di risposta. La caratteristica forse più innovativa è però la capacità di adattamento: algoritmi di machine learning e specialmente metodi avanzati (come il reinforcement learning) sono in grado di “imparare” dall'esperienza e dai nuovi dati, aggiornando continuamente i propri modelli decisionali. Ciò significa che le decisioni supportate dall'IA possono evolvere in tempo reale al variare delle condizioni, permettendo all'impresa di aggiustare immediatamente le strategie e le operazioni in risposta ai cambiamenti del contesto competitivo. Complessivamente, l'apporto di queste funzionalità rende il processo decisionale più scientifico e più proattivo, rafforzando la capacità dell'organizzazione di anticipare gli eventi e reagire con agilità³⁹.

Queste innovazioni comportano un ripensamento del processo decisionale e dei ruoli di manager, dati e algoritmi all'interno dell'impresa. Il decisore umano non è più l'unica intelligenza in gioco, ma condivide il tavolo decisionale con sistemi algoritmici avanzati. In pratica, il manager diventa sempre più un supervisore e coordinatore dei suggerimenti forniti dall'IA, anziché affidarsi esclusivamente

³⁸ Paul R. Daugherty – H. James Wilson, *Human + Machine: Reimagining Work in the Age of AI*, Harvard Business Review Press, Boston, 2018.

³⁹ McKinsey & Company, *The state of AI in 2022 – and a half decade in review*, McKinsey Global Institute, 2022.

alla propria esperienza. Il processo decisionale tende ad assumere una forma *data-driven*, in cui l'intuizione e il giudizio del dirigente vengono affiancati (non sostituiti) da analisi oggettive prodotte dall'algoritmo. Studi recenti sottolineano come l'IA possa radicalmente migliorare la qualità delle decisioni aziendali, fornendo ai dirigenti informazioni più complete e soluzioni ottimali elaborate a partire dai *big data*, con conseguenti scelte più informate e di maggiore qualità e legittimazione. Emblematicamente, è stato persino proposto in dottrina di introdurre un "dovere" per gli amministratori di avvalersi degli strumenti di IA nel vaglio delle opzioni strategiche, documentando poi come tali raccomandazioni algoritmiche siano state considerate o scartate nelle deliberazioni del board⁴⁰. Inoltre, se riletta alla luce della teoria dei fattori igienici e motivanti di Herzberg, l'adozione dell'intelligenza artificiale può contribuire a migliorare sia le condizioni igieniche (come sicurezza, organizzazione del lavoro, efficienza dei processi), sia i fattori motivazionali, favorendo l'autonomia decisionale, il riconoscimento delle performance e la crescita professionale all'interno di un ambiente *data-driven*. Ciò evidenzia quanto la triade decisionale composta da manager, dati e algoritmi stia diventando centrale: il manager definisce obiettivi e valori, l'IA analizza dati massivi e propone scenari decisionali, e il feedback umano valuta tali scenari alla luce di elementi qualitativi ed etici che esulano dalla portata delle macchine. In questo nuovo equilibrio, le competenze manageriali si stanno evolvendo, comprendendo capacità di interpretazione dei modelli algoritmici e di governance della tecnologia, affinché l'integrazione uomo-macchina produca decisioni effettivamente migliori rispetto al passato.

Tuttavia, l'ascesa dell'IA nel governo d'impresa porta con sé anche potenziali rischi, sintetizzabili nel concetto di algocrazia. Con questo termine si indica uno scenario in cui il potere decisionale viene delegato in modo estensivo agli algoritmi, sollevando il dubbio di chi governa davvero la società quando le scelte cruciali dipendono da sistemi automatici. La letteratura ha evidenziato i pericoli di una deriva algocratica: in un sistema opaco dominato da algoritmi, i bias insiti nei dati o nei modelli potrebbero amplificare discriminazioni, e l'assenza di trasparenza renderebbe difficile attribuire responsabilità per decisioni errate o dannose. Come nota Zambonelli (2020), abbandonarsi ciecamente all'IA senza comprenderne logiche e implicazioni significa rischiare di trasformare le organizzazioni e, per estensione, la società, in sistemi retti dal dominio incontrollato degli algoritmi. È dunque fondamentale prevenire l'algocrazia attraverso opportuni meccanismi di governance algoritmica: l'impresa deve stabilire regole e limiti per l'uso dell'IA, garantire la trasparenza degli algoritmi decisionali, monitorarne gli output e prevedere sempre un intervento umano in grado di valutare criticamente le scelte proposte dalle macchine. In sintesi, l'IA va concepita come strumento

⁴⁰ Luca Enriques – Dirk A. Zetsche – Gene M. Gulati – Troy A. Paredes, Corporate Law and the Rise of AI, ECGI Law Working Paper n. 619/2021.

potenziante al servizio del decisore umano e degli stakeholder, non come sostituto autoriferito: solo mantenendo un bilanciamento efficace tra automatizzazione e controllo umano si può cogliere il massimo beneficio dall'IA nel governo d'impresa, evitando al contempo che l'algoritmo prenda il comando a scapito dei principi di responsabilità, etica e buon governo aziendale.

3.3 Mediazione e ridefinizione del ruolo dei manager nell'impresa 4.0

L'introduzione dell'intelligenza artificiale nei processi aziendali sta ridefinendo in modo profondo il ruolo del manager, non eliminandolo, come alcune interpretazioni tecnologiche sembravano suggerire, ma trasformandolo in una figura di mediazione tra l'uomo e la macchina. In passato, il manager era considerato il perno attorno al quale ruotavano le funzioni decisionali e organizzative dell'impresa: una figura autoritativa, dotata di capacità previsionali, esperienza e intuizione, chiamata a dirigere risorse e processi in base a criteri economici, organizzativi e relazionali. Con l'adozione crescente di strumenti di IA, questa centralità si sta trasformando in una nuova forma di supervisione algoritmica, in cui il dirigente non è più l'unica fonte di intelligenza e controllo, ma tende sempre più a configurarsi come facilitatore di processi decisionali complessi, fondati sulla collaborazione uomo-macchina. Tale evoluzione, tuttavia, non elimina la centralità del manager, che rimane essenziale nel garantire visione strategica, responsabilità etica e capacità di interpretazione contestuale che l'algoritmo da solo non possiede

Il manager contemporaneo è dunque chiamato a interpretare e governare gli output generati dai sistemi intelligenti, esercitando una supervisione critica che richiede non solo competenze tecniche, ma anche la capacità di contestualizzare le analisi fornite dall'algoritmo, tradurle in azioni coerenti con gli obiettivi strategici e, soprattutto, valutarle alla luce di considerazioni etiche e qualitative. In questo senso, il ruolo manageriale si configura sempre più come un processo di interpretazione e adattamento continuo: la macchina suggerisce, ma l'uomo decide, filtrando le indicazioni algoritmiche attraverso una lente umana fatta di esperienza, responsabilità e giudizio. Questa evoluzione appare evidente nell'aumento della domanda di profili manageriali esperti in gestione dell'IA: secondo recenti analisi, l'adozione dell'intelligenza artificiale nelle aziende è associata a una crescita significativa delle posizioni manageriali, con un incremento stimato tra il 2,5% e il 7,5% per ogni punto percentuale di adozione tecnologica (Giné, 2024).

Lungi dal sostituire la figura del manager, l'IA ne esige una trasformazione e un rafforzamento, soprattutto nei contesti in cui la tecnologia modifica radicalmente le modalità di lavoro e di coordinamento interno. Tale trasformazione implica una revisione profonda delle competenze richieste al manager. Da un lato, la diffusione dell'IA ha reso imprescindibile lo sviluppo di una

nuova alfabetizzazione digitale: saper comprendere il funzionamento generale degli algoritmi, conoscere i principi di base dell'analisi predittiva e del machine learning, interagire con sistemi conversazionali e piattaforme automatizzate diventa un prerequisito per esercitare un ruolo decisionale consapevole. Le competenze tecniche, tuttavia, non sono sufficienti. L'elemento realmente distintivo del manager digitale risiede nella capacità di unire padronanza degli strumenti a soft skill avanzate come la comunicazione empatica, la capacità di risolvere problemi complessi, l'etica del giudizio e l'intelligenza relazionale. In un ecosistema decisionale sempre più ibrido, in cui algoritmi ed esseri umani coesistono, queste abilità risultano determinanti per tradurre le potenzialità dell'IA in valore concreto per l'impresa.

Uno degli aspetti centrali di questa nuova configurazione del ruolo manageriale è la co-decisione uomo-macchina. Il manager non prende più decisioni in solitudine, ma in collaborazione con sistemi di intelligenza artificiale che analizzano grandi quantità di dati, elaborano scenari alternativi e propongono soluzioni ottimali sulla base di modelli probabilistici. Tuttavia, la responsabilità finale della scelta resta nelle mani dell'essere umano, che deve saper integrare i suggerimenti algoritmici con elementi qualitativi, come il contesto culturale, le dinamiche relazionali, la reputazione aziendale o gli effetti collaterali non immediatamente quantificabili. In questo senso, la funzione manageriale si muove in un nuovo spazio di responsabilità condivisa: l'*accountability* non può più essere attribuita esclusivamente all'uomo o alla macchina, ma deve essere ripensata in termini di governance dell'interazione tra le due intelligenze.

La riflessione sull'*accountability* assume un rilievo particolare nel momento in cui si considera il rischio dell'algocrazia, ossia della delega eccessiva di potere decisionale agli algoritmi. È perciò fondamentale che il manager resti garante del processo, vigilando affinché gli strumenti di IA non agiscano in modo opaco o incontrollato. Ciò implica la definizione di limiti chiari all'autonomia decisionale delle macchine, l'implementazione di procedure di audit algoritmico⁴¹, la tracciabilità delle decisioni automatizzate e, soprattutto, la previsione di un margine di intervento umano capace di rivalutare criticamente le scelte generate artificialmente. Il manager dell'impresa IA, in definitiva, è chiamato a interpretare un nuovo ruolo, non più centrato sul controllo unidirezionale delle risorse, ma sulla capacità di mediare tra l'intelligenza computazionale e le finalità dell'organizzazione, garantendo che la trasformazione tecnologica resti sempre al servizio di un progetto umano ed economico sostenibile.

⁴¹ Un audit algoritmico è un processo strutturato che consente di verificare il comportamento, la conformità e l'affidabilità di un sistema di intelligenza artificiale.

3.4 Struttura organizzativa e leadership nell'impresa algoritmica

L'introduzione massiccia dell'Intelligenza Artificiale (IA) in azienda sta spingendo a un ripensamento delle strutture organizzative tradizionali, spesso con un appiattimento della gerarchia a favore di modelli più orizzontali e distribuiti (McKinsey, 2022). Molte organizzazioni tendono a ridurre i livelli gerarchici, creando gruppi snelli e autonomi capaci di prendere decisioni rapide grazie al supporto dei dati. La "piramide" manageriale classica mostra segnali di collasso, con la scomparsa parziale del middle management ipotizzata da diversi analisti (Brynjolfsson e McAfee, 2014). In altri termini, l'IA non cambia solo come si lavora, ma anche chi svolge il lavoro e come le aziende si strutturano. Questa trasformazione verso organizzazioni più piatte e agili è stata accelerata anche dalla necessità di rapidità decisionale emersa in tempi recenti: si è visto, ad esempio, che decisioni strategiche un tempo affidate a molteplici livelli gerarchici possono essere prese in tempi molto più brevi da gruppi ristretti di persone, spesso coadiuvati da sistemi *data-driven* (Capgemini, 2024). Di conseguenza, alcuni leader si sono chiesti se tutti i passaggi intermedi della catena di comando siano ancora necessari, soprattutto quando strumenti di IA consentono di automatizzare parte del processo decisionale.

Un effetto diretto di questa tendenza è la riduzione o riconfigurazione del *middle management*. L'IA e gli algoritmi promettono infatti di eliminare molti compiti routinari e di coordinamento che tradizionalmente impegnavano i manager di livello intermedio. Alcune grandi imprese hanno già attuato drastici snellimenti organizzativi, ad esempio Bayer AG ha tagliato quasi la metà delle posizioni dirigenziali, adottando un nuovo modello chiamato "*dynamic shared ownership*" mirato a eliminare burocrazia e accelerare le decisioni (Fortune, 2023). In modo simile, Amazon nel 2024 ha richiesto di aumentare il rapporto tra personale operativo e manager, riducendo quest'ultimi: il CEO Andy Jassy ha spiegato che avere meno manager significa "rimuovere livelli gerarchici e appiattare l'organizzazione", così da spostare le decisioni verso la "prima linea" più vicina ai clienti e ridurre la burocrazia interna. Questo esempio illustra come la "impresa algoritmica" favorisca strutture più piatte, dove le informazioni fluiscono direttamente a chi deve agire. Tuttavia, gli esperti avvertono che eliminare del tutto il middle management sarebbe semplicistico: serve invece ridefinirne il ruolo per evitare di perdere il "tessuto connettivo" che tiene insieme l'organizzazione (Capgemini, 2024). In effetti, il *middle manager* rimane cruciale nel fungere da ponte tra strategia e operatività, soprattutto come facilitatore per gruppi autonomi e cross-funzionali. Un'indagine Capgemini suggerisce che l'IA potrebbe portare a strutture a "diamante" più che a piramide: nei prossimi anni le posizioni minori routinarie diminuirebbero, mentre i ruoli di middle management specializzati crescerebbero. In questo scenario, le figure manageriali rimanenti avrebbero compiti più specializzati

e strategici, ad esempio nell'analisi dei dati o nella supervisione etica dei sistemi di IA. Si delinea quindi non tanto la scomparsa del middle management, quanto la sua evoluzione: meno gestori di compiti amministrativi, più leader focalizzati su coordinamento, innovazione e integrazione uomo-macchina.

Parallelamente alla trasformazione gerarchica, emergono nuove forme di leadership adeguate all'impresa *data-driven*. Nell'era degli algoritmi, i leader efficaci devono combinare una solida cultura dei dati con spiccate *soft skill*. Da un lato, occorre padroneggiare l'interpretazione delle analisi prodotte dall'IA e integrarle nel processo decisionale; dall'altro, sono sempre più importanti qualità umane come la creatività, l'empatia, la comunicazione e la capacità di guidare il cambiamento. Brynjolfsson e McAfee (2014) osservano che, con il progresso del *machine learning*, i dirigenti saranno chiamati a creare nuove forme organizzative e dovranno enfatizzare creatività, capacità di leadership e pensiero strategico; Aspetti in cui le macchine non possono sostituire il contributo umano. Allo stesso modo, studi recenti sul futuro del lavoro evidenziano che, a fianco delle competenze tecniche, crescerà la domanda di leadership e influenza sociale nei prossimi anni (World Economic Forum, 2025). Si tratta di abilità intrinsecamente umane: intelligenza emotiva, visione sistemica, gestione dell'incertezza e costruzione di relazioni di fiducia. Le tecnologie digitali, aumentando la velocità e complessità dell'interazione, accrescono l'importanza delle competenze relazionali e di teamwork. I manager nell'impresa algoritmica devono saper orchestrare team interfunzionali e anche interorganizzativi, dove collaborano fianco a fianco persone e agenti artificiali. Come sottolinea Cipriani, le macchine “governeranno più di quanto accada ora e gli umani cederanno porzioni di potere”, ma proprio per questo va esaltata la competenza delle persone rispetto al potere gerarchico (Cipriani, Gramolati, Mari, 2018). In altri termini, il leader algoritmico ottiene autorevolezza non solo per la posizione formale che occupa, ma per le sue competenze distintive e la capacità di guidare con l'esempio e la conoscenza. Curiosità intellettuale e apprendimento continuo diventano qualità imprescindibili: le tecnologie non possono rimpiazzare la creatività e l'ingegno umano; dunque, è fondamentale “continuare ad essere curiosi e sviluppare la propria creatività” integrando razionalità e sensibilità (Cipriani, Gramolati, Mari, 2018). Anche il World Economic Forum richiama i leader a mettere le persone al centro della Quarta Rivoluzione Industriale, dando maggiore potere ai collaboratori e ricordando che gli strumenti tecnologici sono anzitutto *tools* al servizio dell'uomo (World Economic Forum, 2025). La capacità di gestire l'incertezza e il cambiamento continuo rientra anch'essa tra le nuove doti di leadership: in un contesto fluido, il leader deve saper bilanciare i consigli degli algoritmi con il proprio giudizio etico e visione di lungo termine, mantenendo la coesione organizzativa anche quando l'IA introduce discontinuità. In sintesi, la

leadership nell'impresa algoritmica è sempre più una leadership adattiva, fondata su competenze ibride, decisioni data-driven unite a sensibilità umane.

Infine, l'emergere di imprese pienamente algoritmiche e data-driven offre esempi concreti di come struttura e leadership evolvono con l'IA. Amazon è spesso citata come caso emblematico: è stata tra le prime aziende a comprendere che i dati costituiscono un asset strategico e a riorganizzare la propria offerta e i processi interni in funzione di essi (Bagnoli et al., 2023). Grazie a una visione chiara di Jeff Bezos, Amazon ha plasmato il suo modello di business integrando tutte le leve di Industria 4.0 mettendo il dato al centro della strategia. Oggi viene considerata un esempio concreto di impresa algoritmica di successo proprio perché “vive e si nutre di dati e algoritmi” che continuamente raccoglie e sfrutta, imparando dagli errori e dalle sperimentazioni, e operando a livello strategico come un sistema di machine learning evoluto. In Amazon i meccanismi decisionali automatizzati permeano molte funzioni un tempo gestite manualmente: la società ha persino introdotto un Chief Algorithms Officer nel top management e sviluppato algoritmi proprietari per ottimizzare le descrizioni di prodotto, il dynamic pricing, la gestione logistica e altre attività chiave. Questa organizzazione data-centrica è accompagnata da una cultura aziendale in cui i leader incoraggiano sperimentazione, uso intensivo dell'evidenza empirica e rapidità di esecuzione. L'esempio di Amazon dimostra come struttura organizzativa e leadership cambino nell'era algoritmica: una gerarchia più piatta con nuove figure dedicate ai dati, decisioni delegate agli algoritmi dove efficace, e capi focalizzati su visione, creatività e controllo dei rischi. In altri settori, anche imprese più tradizionali stanno seguendo percorsi analoghi. Si pensi non solo al citato caso Bayer, ma anche a sperimentazioni organizzative come quelle di Haier in Cina o di alcune aziende della gig economy, dove gran parte del coordinamento operativo è affidato a piattaforme algoritmiche. In tutti questi casi, la leadership deve adattarsi: guidare un'impresa algoritmica significa coniugare la fiducia negli algoritmi con la responsabilità umana, assicurando che l'uso dei dati crei valore senza sacrificare i valori etici e la coesione dell'organizzazione. Come afferma Schwab, “siamo all'inizio di una rivoluzione che cambierà fundamentalmente il modo in cui viviamo e lavoriamo”, e sta ai leader plasmare questa rivoluzione mettendo le persone al primo posto e sfruttando la tecnologia come leva per il bene comune (Schwab, 2016). L'impresa algoritmica, con la sua struttura piatta e la leadership rinnovata, rappresenta dunque una frontiera organizzativa in cui efficacia ed efficienza data-driven possono andare di pari passo con una gestione illuminata delle risorse umane.

3.5 Lavoro umano e IA: nuove competenze, nuove esclusioni

La trasformazione innescata dall'intelligenza artificiale nel contesto lavorativo rappresenta uno degli aspetti più critici e rilevanti della Quarta Rivoluzione Industriale. Se ogni rivoluzione tecnologica ha ridefinito il rapporto tra uomo e lavoro, quella in corso si distingue per l'intensità, la rapidità e la portata con cui sta ristrutturando interi comparti produttivi, modificando le professioni esistenti, creandone di nuove e mettendone a rischio molte altre. A mutare non sono solo le mansioni o i ruoli, ma l'intera architettura delle competenze richieste per restare attivi e competitivi nel mercato del lavoro contemporaneo (Schwab, 2016).

Con l'avanzare dell'automazione intelligente, cresce la domanda di figure professionali altamente specializzate nei settori tecnologici e digitali. Le competenze legate all'analisi dei dati, alla programmazione, alla gestione degli algoritmi, all'intelligenza artificiale o ai sistemi automatizzati sono ormai centrali nei processi aziendali. Al tempo stesso, diviene sempre più importante la cosiddetta *AI literacy*, ovvero la capacità di comprendere, utilizzare e interagire criticamente con i sistemi intelligenti (World Economic Forum, 2023). Non si tratta solo di saper usare strumenti software, ma di valutare l'affidabilità degli output generati da un algoritmo, riconoscerne i limiti, interpretarne le logiche di funzionamento. Il lavoratore 4.0 deve quindi saper affiancare l'intelligenza artificiale, gestendola come risorsa strategica e non subendola come minaccia.

Accanto alle competenze tecniche, emergono con forza le cosiddette *soft skill*, oggi considerate tanto indispensabili quanto il dominio degli strumenti digitali. Creatività, pensiero critico, comunicazione efficace, intelligenza emotiva e flessibilità cognitiva sono elementi centrali per operare in ambienti tecnologicamente complessi e in continua evoluzione. Le aziende ricercano figure capaci non solo di integrare le tecnologie nei processi, ma anche di accompagnare il cambiamento, guidare gruppi multidisciplinari e affrontare problemi complessi (Brynjolfsson e McAfee, 2014). Come sottolineato da Cipriani, la competenza umana resta un elemento insostituibile nei contesti decisionali, proprio perché l'algoritmo, per quanto potente, non è in grado di valutare le implicazioni etiche, sociali e contestuali delle scelte che propone (Cipriani, Gramolati, Mari, 2018).

Tuttavia, accanto alla richiesta di nuove competenze, la diffusione delle tecnologie intelligenti comporta anche significativi rischi di esclusione. L'automazione, come accadde nelle precedenti rivoluzioni industriali, tende a sostituire le attività ripetitive e standardizzabili, generando dislocazioni occupazionali e forme di disoccupazione tecnologica. Rispetto al passato, però, la velocità del cambiamento rende la transizione più difficile da gestire e più profonda nei suoi effetti. Il fenomeno della polarizzazione del lavoro, ossia la contemporanea espansione di professioni

altamente qualificate e di ruoli marginali e precari è ormai ampiamente documentato (McKinsey & Company, 2022). A essere colpiti sono soprattutto i lavoratori intermedi: quei ruoli che, nel Novecento, avevano costituito il fulcro della classe media industriale.

Oltre alla polarizzazione economica, si assiste anche a una polarizzazione cognitiva: chi possiede le conoscenze necessarie per comprendere e gestire l'IA si trova in una posizione di crescente vantaggio; chi ne è privo rischia invece di essere estromesso dai percorsi di sviluppo professionale. Il divario tra “chi progetta l'algoritmo” e “chi lo subisce” tende ad ampliarsi, generando nuove disuguaglianze e tensioni sociali (ILO, 2021). In assenza di interventi correttivi, l'innovazione rischia di rafforzare le posizioni dominanti anziché democratizzare l'accesso alle opportunità. Il progresso, se lasciato a sé stesso, non è inclusivo: occorre una regia pubblica e privata per orientarlo verso l'equità.

È in questo contesto che il tema del reskilling assume una rilevanza strategica. Per affrontare con successo la transizione, le imprese e le istituzioni devono investire in programmi di aggiornamento e riqualificazione professionale. Il lifelong learning non è più un'opzione, ma una necessità strutturale. L'Unione Europea ha individuato nelle competenze digitali e tecnologiche uno dei pilastri dell'agenda 2030, promuovendo una cultura della formazione continua che accompagni i lavoratori lungo tutto l'arco della vita (Commissione Europea, 2024). Allo stesso modo, molte aziende hanno avviato programmi interni per mappare le competenze, identificare i divari formativi e offrire percorsi personalizzati di aggiornamento. In questa prospettiva, la formazione non è solo uno strumento di tutela sociale, ma un fattore competitivo: le imprese che sapranno aggiornare rapidamente il proprio capitale umano saranno le più capaci di affrontare le sfide dell'automazione.

In definitiva, la Quarta Rivoluzione Industriale sta trasformando radicalmente il lavoro umano, ma non ne decreta la fine. Come in ogni fase di discontinuità tecnologica, il punto non è la sostituzione tra uomo e macchina, ma la ridefinizione del ruolo dell'uomo in un nuovo ecosistema produttivo. Il compito di questa generazione, quindi di politici, imprenditori, formatori e cittadini, è garantire che tale ridefinizione sia guidata da criteri di inclusione, giustizia ed equità. Il futuro del lavoro dipenderà dalla capacità collettiva di anticipare i cambiamenti, di formare le competenze adeguate e di costruire un sistema capace di trasformare l'innovazione tecnologica in progresso umano. È proprio in questo snodo tra trasformazione e inclusione che si gioca la natura rivoluzionaria dell'epoca presente.

3.6 Verso un nuovo modello organizzativo d'impresa.

In conclusione, l'adozione pervasiva dell'intelligenza artificiale sta innescando profondi cambiamenti strutturali all'interno delle imprese. Come emerso nelle sezioni precedenti, il ruolo del management

si trasforma, privilegiando funzioni di coordinamento strategico e di orchestrazione dei sistemi intelligenti; le competenze chiave evolvono in direzione digitale e multidisciplinare; lo stile di leadership tende a farsi più orizzontale e collaborativo; e il lavoro umano viene ridefinito in complementarità con le macchine intelligenti. Si delinea così un implicito superamento dei paradigmi organizzativi classici: le rigide gerarchie e compartimentazioni tradizionali cedono il passo a modelli più flessibili, interconnessi e data-driven, in cui intelligenza umana e capacità algoritmica operano in sinergia. In altri termini, l'impresa moderna appare sempre più come un sistema ibrido uomo-AI, potenziato dall'uso degli algoritmi e capace di trasformare radicalmente i propri processi e la creazione di valore.

Tali trasformazioni richiedono un nuovo equilibrio tra logiche algoritmiche, struttura organizzativa e potere decisionale. L'integrazione su larga scala di agenti artificiali nei processi decisionali non si limita infatti a migliorarne l'efficienza, ma spinge le organizzazioni a ridisegnare i diritti decisionali, i quadri di responsabilità e le dinamiche di potere al loro interno. Si assiste all'emergere di architetture decisionali collaborative, in cui il giudizio umano e l'IA interagiscono e si completano a vicenda: gli algoritmi analizzano dati complessi e generano opzioni, mentre agli attori umani spetta di validare, contestualizzare e guidare le scelte strategiche. In questo scenario, l'ultima parola sulle decisioni critiche rimane ancorata alla valutazione umana anche se supportata da sistemi intelligenti sempre più sofisticati. Il risultato è un processo decisionale potenziato dall'IA ma bilanciato dalla supervisione umana, in modo da sfruttare i benefici delle logiche algoritmiche senza rinunciare al controllo e alla responsabilità manageriale.

Il risultato che emerge è quello di un'organizzazione aziendale in profonda evoluzione, orientata verso modelli più agili, adattativi e aperti all'innovazione continua. Un nuovo modello organizzativo sta prendendo forma, capace di rispondere a bisogni emergenti e di favorire una cultura del senso, della fiducia e della responsabilità condivisa. Questa metamorfosi interna si inserisce peraltro in un contesto più ampio di trasformazione economica e sociale, in cui l'IA agisce da catalizzatore di cambiamenti sistemici. Di conseguenza emergono implicite questioni etiche, sfide di inclusione e potenziali rischi sociali legati all'automazione intelligente, insieme alla necessità di una solida governance per gestire tali fenomeni. Senza addentrarsi oltre in queste tematiche che saranno oggetto della conclusione generale basti notare che l'intelligenza artificiale, in quanto nuova rivoluzione industriale, non solo ridefinisce l'organizzazione dell'impresa, ma impone anche una riflessione sui valori e sui principi che dovranno orientarne l'adozione sostenibile nel futuro.

Conclusione.

Ripercorrendo le grandi trasformazioni del passato, si possono individuare analogie importanti tra le rivoluzioni industriali precedenti e quella attuale, guidata dall'intelligenza artificiale. Di seguito sintetizziamo i tratti salienti di ciascuna rivoluzione industriale e i parallelismi con l'odierna "quarta" rivoluzione:

- 1) Prima Rivoluzione Industriale (fine XVIII – inizio XIX sec.): Introduce la meccanizzazione tramite la macchina a vapore. Le macchine sostituiscono molte abilità artigiane con processi industriali: il lavoro manuale qualificato viene rimpiazzato da manodopera non specializzata, abbondante e a basso costo, impiegata in fabbrica. Questa transizione portò enormi aumenti di produttività ma inizialmente condizioni di lavoro dure e salari stagnanti per i ceti operai.
- 2) Seconda Rivoluzione Industriale (fine XIX – inizio XX sec.) – Grazie all'elettricità e alla catena di montaggio, si afferma la produzione di massa. Emergono nuovi settori industriali (dall'acciaio all'automobile) e si creano occupazioni stabili di media qualificazione, ad esempio operai specializzati e tecnici, generalmente meglio retribuiti rispetto ai lavoratori non qualificati della fase precedente. Anche in questa fase i benefici economici crescono, mentre si rendono necessarie le prime norme a tutela dei lavoratori (orari di lavoro, sicurezza, salari minimi) per mitigare sfruttamento e disuguaglianze.
- 3) Terza Rivoluzione Industriale (seconda metà XX sec.) – Con l'informatica, l'elettronica e Internet, la produzione si automatizza e si digitalizza. Molte mansioni ripetitive vengono svolte da computer e robot, e il lavoro umano si sposta verso compiti cognitivi o servizi. Il mercato del lavoro tende a polarizzarsi: diminuiscono le occupazioni intermedie di livello medio, mentre aumentano sia i lavori altamente qualificati (ingegneri del software, analisti, manager) sia quelli a bassa qualifica nei servizi. Questa polarizzazione, osservata negli ultimi decenni, ha comportato crescita di produttività ma anche nuove sfide sociali, come l'aumento della disuguaglianza in assenza di adeguate politiche redistributive.
- 4) Quarta Rivoluzione Industriale (oggi) –L'era di intelligenza artificiale, robotica avanzata, Internet of Things, Big Data e automazione pervasiva. Questa rivoluzione si distingue per la velocità esponenziale con cui evolve e per la portata globale del cambiamento: tecnologie digitali intelligenti stanno trasformando praticamente ogni settore economico in ogni parte del mondo. Come le rivoluzioni precedenti, anche l'odierna sconvolge i modelli produttivi tradizionali: l'IA e i robot sono in grado di svolgere non solo compiti manuali ripetitivi, ma anche mansioni cognitive e decisionali un tempo riservate agli esseri umani. Ciò solleva timori di un'ampia sostituzione tecnologica del lavoro umano; tuttavia, analogamente al passato, sta

anche creando nuove attività e professioni prima inesistenti, che vanno dallo sviluppatore di AI al data scientist, dagli esperti di cyber-security ai tecnici della robotica. In breve, la Quarta Rivoluzione Industriale comporta profondi cambiamenti socioeconomici che riecheggiano quelli delle fasi storiche precedenti, ma su scala più ampia e in tempi molto più rapidi.

Nonostante le differenze di contesto storico, il filo conduttore che unisce tutte queste trasformazioni è chiaro: ogni rivoluzione tecnologica ha inizialmente rimesso in discussione le precedenti strutture economiche e lavorative, suscitando paure e tensioni, ma alla lunga ha alimentato crescita economica e nuova occupazione in modi spesso imprevedibili. Come ricordato dallo storico economico Joel Mokyr, ogni grande innovazione porta con sé “disturbi e dolori” nel breve termine, ma è anche capace di creare domanda di lavoro nuova per svolgere attività che prima non esistevano. Questo insegnamento storico invita a guardare all’attuale rivoluzione dell’IA con cauto ottimismo: se ben governata, l’innovazione tecnologica può tradursi, come in passato, in prosperità diffusa dopo la fase di transizione.

Guardando al presente e al futuro prossimo, l’impatto dell’intelligenza artificiale sull’economia e sul lavoro si presenta potenzialmente enorme, con una mescolanza di opportunità significative e rischi non trascurabili. I capitoli precedenti hanno approfondito gli effetti positivi e negativi dell’adozione crescente dell’IA; qui li riepiloghiamo per trarre una visione complessiva, riportando i molteplici fattori positivi, ma senza tralasciare i rischi e le incertezze che derivano da tale “distruzione con il passato”

Dal lato opportunità, l’IA promette di aumentare la produttività e favorire una nuova ondata di crescita economica. Studi recenti indicano effetti macroeconomici rilevanti: ad esempio, secondo la società di analisi IDC, ogni dollaro investito in soluzioni e servizi di IA potrebbe generare 4,6 dollari di valore nell’economia globale entro il 2030. Si tratta di un potenziale moltiplicatore che lascia intravedere un impatto economico positivo paragonabile a quello di precedenti innovazioni di portata storica. Del resto, anche istituzioni finanziarie e società di consulenza concordano su scenari incoraggianti: Goldman Sachs stima che l’adozione diffusa dell’AI possa incrementare il PIL globale di circa un 7% nei prossimi anni, mentre McKinsey e altri osservatori parlano di trilioni di dollari di nuova ricchezza generata dalle applicazioni dell’IA in svariati settori. In un periodo in cui molte economie mature faticano a trovare nuovi driver di crescita, l’IA appare dunque come un volano di innovazione potenzialmente capace di rivitalizzare interi comparti produttivi, dall’industria manifatturiera ai servizi avanzati.

Anche sul fronte occupazionale, l'IA non equivale necessariamente a disoccupazione di massa, anzi può diventare un fattore di creazione di nuovi posti di lavoro. Il bilancio netto tra posti eliminati e posti creati dall'AI dipenderà da come governeremo la transizione. Alcune analisi prospettano esiti positivi: il World Economic Forum prevede, nel suo *Future of Jobs Report 2025*, un saldo attivo di decine di milioni di posti di lavoro grazie all'IA da qui al 2030. In particolare, il WEF stima 170 milioni di nuovi impieghi a livello globale a fronte di 92 milioni di lavori tradizionali eliminati, con un saldo netto di circa +78 milioni di posti nei prossimi anni. I settori legati alla tecnologia, ai dati e all'AI stessa saranno tra i più dinamici in termini di domanda di lavoro, ma crescerà anche il bisogno di personale in ambiti complementari (come l'assistenza alla persona, l'educazione, la sanità), dove l'elemento umano rimane insostituibile nonostante l'innovazione digitale. In sintesi, se ben indirizzata, l'adozione dell'IA può aprire più opportunità di quante ne chiuda, liberando i lavoratori da compiti pesanti o ripetitivi e permettendo loro di concentrarsi su attività a maggior valore aggiunto.

Tuttavia, non sarebbe onesto descrivere il contesto ignorando le sfide e i fattori di rischio evidenziati in precedenza. L'introduzione accelerata dell'IA comporta rischi concreti per determinate categorie di lavoratori e per la società nel suo complesso. Nel breve periodo, è plausibile che molti posti di lavoro vengano soppressi o trasformati: le mansioni più ripetitive, prevedibili e codificabili sono già oggi svolte con efficienza dalle macchine intelligenti. Ad esempio, si stima che ruoli impiegatizi di base e amministrativi (cassieri, addetti all'immissione dati, segretariato, contabilità di routine, etc.) subiranno un calo drastico, inoltre interi settori come quello bancario e finanziario potrebbero vedere un'ondata di automazione (solo a Wall Street l'AI minaccia 200 mila posti nei prossimi anni, secondo analisi citate dal Bloomberg). Questa "distruzione creativa" tecnologica, per quanto accompagnata dalla creazione di nuovi ruoli altrove, rischia di lasciare indietro numerosi lavoratori, specialmente quelli con competenze obsolete o difficili da riqualificare. Come discusso, il fenomeno di polarizzazione del lavoro potrebbe accentuarsi ulteriormente: senza correttivi, vedremo crescere la domanda sia di profili altamente qualificati (sviluppatori di AI, esperti di dati, manager dell'innovazione) sia di lavori manuali nei servizi essenziali, mentre i lavoratori intermedi potrebbero subire una contrazione delle opportunità e dei redditi. Il risultato sarebbe un aumento delle disuguaglianze economiche e sociali; uno scenario già osservato, in parte, durante la Terza Rivoluzione Industriale e che la quarta potrebbe esasperare se non gestita adeguatamente.

Un altro fattore critico è la carenza di competenze adatte al nuovo mercato del lavoro digitale. Le tecnologie dell'IA richiedono skill tecniche e trasversali spesso non diffuse tra la forza lavoro attuale. Il *Future of Jobs Report* sopra citato avverte che, su 100 lavoratori a livello mondiale, 59 avranno bisogno di una riqualificazione professionale sostanziale entro il 2030, e per almeno 11 di essi tale

aggiornamento potrebbe non avvenire in tempo. Ciò significa che oltre 120 milioni di persone rischiano di trovarsi tecnicamente disoccupabili nel medio termine se governi e imprese non investiranno abbastanza in formazione e aggiornamento. Questa skill gap rappresenta una minaccia concreta: da un lato le aziende faticano a trovare talenti qualificati nelle nuove discipline (IA, data science, cybersecurity, ecc.), dall'altro molti lavoratori rischiano l'esclusione dal mondo del lavoro perché privi delle competenze richieste dai nuovi processi produttivi. Pertanto, la sfida della formazione continua e della riconversione professionale è centrale: senza un investimento massiccio in capitale umano, l'IA potrebbe aggravare la disoccupazione strutturale anziché alleviarla.

Accanto alle implicazioni economiche, non vanno dimenticati i dilemmi etici e normativi posti dall'intelligenza artificiale, che abbiamo accennato nei capitoli precedenti. L'IA è uno strumento potentissimo e “plastico”: il suo impatto finale dipenderà dall'uso che ne faremo. Per far sì che l'IA sia “buona” – cioè al servizio del benessere collettivo – saranno necessarie regole forti ed efficaci. In assenza di linee guida e principi condivisi, rischiamo scenari distopici: dalla violazione della privacy all'uso discriminatorio degli algoritmi, fino alla concentrazione del potere tecnologico ed economico in poche mani. Molti esperti sottolineano l'urgenza di interventi in questo campo: ad esempio, Dario Amodè (CEO di *Anthropic*) ha avvertito che l'AI potrebbe causare una “strage di colletti bianchi” se lasciata senza controllo, esortando i legislatori ad agire prontamente e le aziende a maggiore trasparenza nello sviluppo di queste tecnologie. Allo stesso modo, analisi come quella di Goldman Sachs ricordano che la sfida cruciale è gestire la transizione senza infliggere danni sociali profondi, soprattutto alle fasce più vulnerabili del mercato del lavoro. In altre parole, innovare senza preparare la società può avere costi elevatissimi: politiche del lavoro, sistemi educativi e reti di protezione sociale devono evolvere di pari passo con l'innovazione tecnica.

Parallelamente, tuttavia, cresce la consapevolezza globale sull'importanza di un'IA responsabile. Già oggi sono in fase di elaborazione normative e strategie per governare il fenomeno: l'Unione Europea, ad esempio, sta definendo regolamentazioni (come l'AI Act) e investendo in infrastrutture pubbliche per l'IA con l'obiettivo di garantire uno sviluppo sicuro, etico e aperto dell'intelligenza artificiale. Iniziative come il nuovo Tecnopolo di Bologna, che ospiterà un'AI Factory europea coordinata dal consorzio pubblico CINECA, mirano proprio a evitare che il controllo dell'IA finisca concentrato in poche grandi corporation private, assicurando invece che la potenza del supercalcolo e dell'AI sia accessibile a imprese, istituzioni e ricerca pubblica. Questi sforzi indicano la strada da percorrere: accompagnare l'innovazione con la governance, tenendo ben presenti i valori democratici, i diritti fondamentali e la coesione sociale.

In definitiva, il quadro d'insieme che emerge è fatto di luci e ombre. Da un lato, l'IA rappresenta una straordinaria leva di trasformazione economica: può far compiere salti di produttività, aprire nuovi mercati, migliorare servizi e prodotti, e persino aiutarci ad affrontare sfide epocali (pensiamo al contributo dell'AI nella ricerca medica o nella gestione efficiente dell'energia e dei trasporti). Dall'altro lato, la transizione che abbiamo innanzi richiede prudenza e capacità di adattamento: senza interventi mirati rischiamo disoccupazione, disuguaglianze più accentuate e tensioni sociali. La lezione della storia, tuttavia, offre motivi di speranza. Come le rivoluzioni industriali passate hanno mostrato, l'umanità è in grado di assorbire gli shock tecnologici e, col tempo, trarne beneficio. Ciò avverrà anche con l'IA, a patto di governarla con saggezza. Dovremo investire sulle persone, sulla loro educazione e sulle loro competenze, perché in un mondo più automatizzato il capitale umano rimane la risorsa più preziosa. Dovremo riscrivere regole e istituzioni, affinché proteggano i lavoratori e incentivino un uso positivo dell'innovazione. E dovremo mantenere al centro i valori etici, assicurando che le macchine intelligenti potenzino – e non sopprimano – la dignità e la creatività umane.

In uno scenario ideale, esseri umani e intelligenze artificiali lavoreranno in sinergia. Le macchine potranno assumersi i lavori più gravosi, ripetitivi o pericolosi, mentre le persone potranno dedicarsi maggiormente a compiti creativi, strategici, relazionali e di cura, dove l'empatia e il pensiero critico sono fondamentali. Già oggi si intravedono segnali di questa complementarità: nelle imprese che adottano l'IA in modo accorto, essa non sostituisce il lavoro umano ma lo ottimizza, migliorando la produttività e perfino il benessere dei lavoratori stessi. In Italia, ad esempio, l'introduzione di sistemi di AI generativa ha portato il 27% dei lavoratori a riportare un impatto positivo sul proprio lavoro (in termini di carico, efficacia, apprendimento), e le aziende evidenziano una riduzione del turnover del personale quando l'IA viene usata per liberare tempo e risorse da reinvestire in attività più gratificanti. Sono segnali che confermano come un'IA a misura d'uomo sia non solo auspicabile ma anche possibile.

Concludendo questa analisi, possiamo affermare che la “quarta rivoluzione” è un bivio: da un lato il rischio di accentuare problemi economici e sociali, dall'altro l'opportunità di inaugurare una nuova era di prosperità condivisa. Scegliere la direzione giusta dipende da noi. Le decisioni che verranno prese oggi, in ambito politico, imprenditoriale e accademico, plasmeranno il modo in cui l'IA inciderà sul nostro tessuto economico e sociale domani. Se prevarranno visione e responsabilità, l'intelligenza artificiale potrà divenire un motore di crescita sostenibile e inclusiva, aiutandoci a costruire un mondo in cui il progresso tecnologico vada di pari passo con il benessere diffuso. In caso contrario, rischieremo di subire passivamente il cambiamento, con esiti potenzialmente traumatici.

La sfida è impegnativa, ma le potenzialità positive dell'IA autorizzano un ottimismo della volontà. In fondo, tutte le rivoluzioni industriali hanno richiesto coraggio nell'affrontare l'ignoto e capacità di adattamento: quella attuale non fa eccezione. Armati delle lezioni del passato e con una guida etica solida, possiamo affrontare anche questa rivoluzione con speranza. L'economia del futuro, arricchita dall'intelligenza artificiale, potrebbe rivelarsi più efficiente, più creativa e auspicabilmente più umana. Sta a noi fare in modo che l'IA non sia un fattore di divisione, ma uno strumento per migliorare la vita di tutti. Con lungimiranza, innovazione responsabile e politiche adeguate, la "buona" AI potrà davvero contribuire a un futuro di progresso condiviso, continuando quel cammino di evoluzione economica e sociale che da due secoli accompagna ogni rivoluzione industriale.

Come osservato da Jamie Dimon, amministratore delegato di JP Morgan, l'impatto dell'intelligenza artificiale potrebbe essere paragonabile a quello di alcune tra le più grandi invenzioni degli ultimi secoli come la stampa, il motore a vapore, l'elettricità, il computer, e Internet, inaugurando un nuovo mondo del lavoro che, per quanto trasformato dalla tecnologia, non potrà fare a meno della componente umana.

Bibliografia

- Barocas S., Hardt M., Narayanan A., *Fairness and Machine Learning. Limitations and Opportunities*, 2019.
- Battilossi S., 2002, *Le rivoluzioni industriali*, Carocci, Roma.
- Battilossi S., 2011, *Storia economica. La rivoluzione industriale e lo sviluppo dell'economia europea*, Laterza, Roma-Bari.
- Berkeley Executive Education, *Maximizing Leadership Potential with AI Tools*, 2023.
- Brynjolfsson E., McAfee A., *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, W. W. Norton & Company, New York, 2014.
- Brynjolfsson E., McAfee A., *La nuova rivoluzione delle macchine*, Feltrinelli, Milano, 2014.
- Burns T., Stalker G. M., *The Management of Innovation*, Tavistock Publications, London, 1961; ristampa Oxford University Press, Oxford, 1994.
- Burrell J., *How the algorithmic imaginary shapes our understanding of the algorithmic*, in «Big Data & Society».
- Censis – Confcooperative, *Intelligenza artificiale: lavoro ed economia*, 2025.
- Cipriani A., Gramolati A., Mari G., *Il lavoro 4.0. La Quarta Rivoluzione Industriale e le trasformazioni delle attività lavorative*, Firenze University Press, Firenze, 2018.
- Cipriani G., Gramolati G., Mari G., *Il lavoro 4.0. La Quarta rivoluzione industriale e le trasformazioni delle attività lavorative*, Ediesse, Roma, 2018.
- Commissione Europea, *Data Flow and Economic Value EU Framework: Modelling Update and Data Collection*, a cura di S. Snelson, F. Cilauro, F. Bruni, R. Woodhard, D. Burton, Publications Office of the European Union, Lussemburgo, 2024.
- Commissione Europea, *Digital Education Action Plan 2021–2027*, Bruxelles, 2024.
- Consob, *La fintech e i suoi impatti sul sistema finanziario: definizioni e classificazioni*, disponibile su www.consob.it.
- Daugherty P., Wilson H. J., *Human + Machine. Reimagining Work in the Age of AI*, Harvard Business Press, Boston, 2018.
- Drucker P. F., *The Practice of Management*, Harper & Brothers, New York, 1954; *Management: Tasks, Responsibilities, Practices*, Harper & Row, New York, 1973.
- Fayol H., *Administration industrielle et générale*, Dunod, Parigi, 1916.

Giné M., AI is increasing demand for managers — and changing their skill sets, IESE Insight, 14 novembre 2024.

Goldman Sachs, The Potentially Transformative Impact of Generative AI, 2023.

Harvard Business Review Italia, 2023, Il ruolo strategico dell'IA nei processi decisionali.

Herzberg F. I., One more time: how do you motivate employees? in «Harvard Business Review», settembre 1968.

International Labour Organization (ILO), Work for a Brighter Future – Global Commission on the Future of Work, Ginevra, 2021.

Kagermann H., Wahlster W., Helbig J., Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0, acatech – National Academy of Science and Engineering, Monaco, 2013.

Kimbrough K., AI is shifting the workplace skillset. But human skills still count, World Economic Forum, 21 gennaio 2025.

Kumar S., Jagatheesaperumal R., Rahouti M., Ahmad K., Al-Fuqaha A., Guizani M., The Duo of Artificial Intelligence and Big Data for Industry 4.0: Review of Applications, Techniques, Challenges, and Future Research Directions, arXiv preprint, 6 aprile 2021.

Lombardi M., Macchi M., Il lavoro tra intelligenza umana e intelligenza artificiale, in Cipriani A., Gramolati A., Mari G. (a cura di), Il lavoro 4.0. La Quarta Rivoluzione Industriale e le trasformazioni delle attività lavorative, Firenze University Press, Firenze, 2018.

Lombardi M., Macchi M., Il lavoro tra intelligenza umana e intelligenza artificiale, in La quarta rivoluzione industriale, 2018.

Mayo E., The Human Problems of an Industrial Civilization, Macmillan, New York, 1933.

McKinsey & Company, The Bio Revolution: Innovations Transforming Economies, Societies, and Our Lives, McKinsey Global Institute, 2022.

McKinsey & Company, The Future of Work after COVID-19, McKinsey Global Institute, 2022.

McKinsey & Company, The state of AI in 2022 – and a half decade in review, McKinsey Global Institute, 2022.

McKinsey & Company, Transforming healthcare with AI: The impact on the workforce and organizations, 2022.

Microsoft, Work Trend Index 2023: Annual Report.

Organizzazione Mondiale della Sanità, Ethics and Governance of Artificial Intelligence for Health: WHO Guidance, Ginevra, 2021.

Osservatorio Innovazione Digitale in Sanità – Politecnico di Milano, Rapporto 2023, disponibile su www.osservatori.net.

Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea, Regolamento (UE) 2016/679 del 27 aprile 2016 relativo alla protezione delle persone fisiche con riguardo al trattamento dei dati personali (GDPR), in «Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea», L 119, 4 maggio 2016.

Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea, Regolamento (UE) 2024/1689 del 13 giugno 2024 che stabilisce norme armonizzate sull'intelligenza artificiale (AI Act), in «Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea», L 237, 12 luglio 2024.

Rifkin J., La terza rivoluzione industriale. Come il potere laterale sta trasformando l'energia, l'economia e il mondo, Mondadori, Milano, 2011.

Schrage M., Kiron D., Manager e AI: chi decide? MIT Sloan Management Review (ed. italiana), n. 2/2025.

Schwab K., La quarta rivoluzione industriale, FrancoAngeli, Milano, 2016.

Srnicek N., Capitalismo delle piattaforme, Luiss University Press, Roma, 2017.

Taylor F. W., The Principles of Scientific Management, Harper & Brothers, New York, 1911.

The role of digital labour platforms in transforming the world of work, Ginevra, 2021.

Weber M., Economia e società (Wirtschaft und Gesellschaft), a cura di G. Roth e C. Wittich, Università Bocconi Editore, Milano, 1978 (ed. orig. 1922).

World Economic Forum, The Future of Jobs Report 2020.

World Economic Forum, The Future of Jobs Report 2023 e 2025, Davos.

Sitografia

<https://rodaleinstitute.org/it/perché-biologico/pratiche-di-agricoltura-biologica/rotazioni-colturali/>

<https://universeit.blog/intelligenza-artificiale-e-industria-40/>

<https://www.treccani.it/enciclopedia/rivoluzione-industriale/>