



**Politecnico
di Torino**

**Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria della Produzione Industriale
e della Innovazione Tecnologica**

A.A. 2023/2024

Tesi di Laurea Magistrale

**La fiducia nell'IA per un'IA di fiducia.
Le nuove prospettive dell'intelligenza artificiale e
la sua applicazione alle Bill of Materials.**

Relatore

Prof. Abdollah Saboori

Candidato

Alessio Bonaguro

Ottobre 2024

Sommario

| | |
|--|-----------|
| RINGRAZIAMENTI | 7 |
| INTRODUZIONE | 9 |
| 1.1 L'intelligenza artificiale e l'IA "affidabile"..... | 12 |
| CAPITOLO 2 - IL LUNGO CAMMINO DELL'IA | 15 |
| 2.1 Le origini (1950s-1960s)..... | 15 |
| 2.2 Estate e inverno dell'IA: gli alti e bassi di un difficile percorso (1960-1980)..... | 17 |
| 2.3 La rinascita dell'IA dagli anni '90: ML, DL e Reti Neurali..... | 21 |
| 2.4 Lo stato attuale dell'IA..... | 24 |
| CAPITOLO 3 - SISTEMI E TECNOLOGIE DELL'IA | 25 |
| 3.1 I fondamenti concettuali dell'Intelligenza Artificiale: visioni e definizioni..... | 25 |
| 3.2 Approcci e tecniche dell'IA..... | 26 |
| 3.3 Tecnologie di Intelligenza Artificiale..... | 28 |
| 3.4 Sistemi di intelligenza artificiale..... | 31 |
| CAPITOLO 4 - APPLICAZIONI DELLA IA | 33 |
| 4.1 L'IA nel settore dell'agricoltura..... | 33 |
| 4.2 L'IA nel settore sanitario..... | 39 |
| 4.2.1 Casi di applicazione dell'intelligenza artificiale nel settore sanitario..... | 43 |
| 4.2.2 Le tre fasi di applicazione dell'IA nel settore sanitario..... | 45 |
| 4.2.3 La governance etica dell'intelligenza artificiale nel settore sanitario..... | 46 |
| 4.2.4 La trasformazione della forza lavoro sanitaria nell'era dell'IA..... | 47 |
| 4.3 AI nel settore Manufacturing..... | 50 |
| 4.3.1 L'Industry 4.0..... | 50 |
| 4.3.2 Applicazioni dell'IA nel settore manufacturing..... | 52 |
| 4.3.2.1 La manutenzione predittiva..... | 52 |
| 4.3.2.2 Processi di Business e Supply Chain..... | 55 |
| 4.3.2.3 Controllo di produzione e qualità..... | 56 |
| 4.3.2.4 Produzione e Robotica..... | 56 |
| 4.3.2.5 Digital Twin..... | 57 |
| 4.3.2.6 Progettazione, sviluppo, e innovazione dei prodotti..... | 58 |
| 4.3.4 Difficoltà di applicazione dell'IA nelle industrie..... | 58 |
| CAPITOLO 5 – LE BILL OF MATERIALS | 60 |
| 5.1 Cos'è una Bill of Materials (BOM)?..... | 60 |
| 5.2 Benefici di una BOM..... | 61 |
| 5.3 Componenti di una BOM..... | 63 |
| 5.5 La creazione di una BOM..... | 64 |
| 5.6 Tipi di Strutture BOM..... | 66 |

| | |
|--|------------|
| 5.6 Tipi di BOM..... | 68 |
| 5.6.1 EBOM | 68 |
| 5.6.2 MBOM | 69 |
| 5.6.3 Sales BOM..... | 70 |
| 5.6.4 Configurable BOM..... | 71 |
| 5.6.5 Production Bill of Material..... | 72 |
| 5.6.6 Assembly BOM..... | 73 |
| 5.6.7 Software BOM | 74 |
| CAPITOLO 6 – LA TECNOLOGIA APPLICATA ALLE BOM..... | 77 |
| 6.1 L’evoluzione della gestione della BOM..... | 77 |
| 6.2 Verso una distinta base unificata: tecnologie e strategie..... | 78 |
| 6.3 I fattori per una gestione intelligente della BOM..... | 81 |
| 6.4 Benefici della gestione intelligente della BOM | 83 |
| 6.5 La Bill of Materials e la Robotic Process Automation..... | 85 |
| 6.5.1 La Robotic Process Automation..... | 85 |
| 6.5.2 BOM & RPA..... | 86 |
| 6.5.3 Casi di applicazione della RPA nella gestione della BOM | 88 |
| 6.6 L’IA e la BOM..... | 90 |
| 6.6.1 Introduzione dell'Intelligenza Artificiale nella gestione delle BOM..... | 90 |
| 6.6.2 Le tecnologie IA applicate alle BOM..... | 91 |
| 6.6.3 Benefici connessi all’uso della IA nelle BOM..... | 92 |
| 6.6.4 Settori di applicazione della IA per la creazione e gestione della BOM..... | 93 |
| 6.6.5 Stato attuale e prospettive future | 94 |
| CAPITOLO 7 - PROSPETTIVE E COMPLESSITÀ dell'IA..... | 96 |
| 7.1 I rischi e le opportunità dell’intelligenza artificiale | 96 |
| CAPITOLO 8 – LEGISLAZIONI SULL'IA..... | 101 |
| 8.1 Il quadro normativo dell'IA: uno sguardo internazionale..... | 101 |
| 8.2 Lo European AI Act | 103 |
| 8.2.1 I livelli di rischio della IA | 105 |
| 8.2.2 Equilibrio tra innovazione e sicurezza: la sfida dello European AI Act | 107 |
| CONCLUSIONE | 110 |
| BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA..... | 115 |

Indice delle Figure

| | |
|--|----|
| Figura 1. IA, Machine Learning, Deep Learning..... | 23 |
| Figura 2. Single Level BOM..... | 67 |
| Figura 3. Multilevel BOM..... | 67 |

RINGRAZIAMENTI

Vorrei innanzitutto ringraziare il Professore Abdollah Saboori per il supporto, la disponibilità e la fiducia che mi ha garantito nella stesura della tesi.

Un grazie particolare ai miei genitori e a mio fratello, che mi sono sempre stati vicini in questi anni, aiutandomi e supportandomi in ogni momento, insegnandomi a non darmi mai per vinto, ed a continuare a lavorare e ad impegnarmi con grande spirito di iniziativa e volontà. Quel che sono oggi, è soprattutto merito vostro.

A mia nonna Chiara che mi ha sempre spronato a fare bene e che sono sicuro continuerà a sostenermi con tutto il suo affetto nelle future sfide della mia vita.

Ai miei nonni Ambrogio e Franco e a mia nonna Maria che, nonostante non possano assistere di presenza a questo mio importante traguardo, sono sicuro che mi saranno vicini.

E ancora vorrei ringraziare tutti i miei zii e le mie zie, tanto del Piemonte che della Sicilia, oltre che i miei numerosi cugini.

Un grazie anche a tutti i miei più cari amici per avermi accompagnato in questo percorso.

Infine, vorrei ringraziare i miei amici e compagni di università, e tutti coloro che ho avuto l'onore di conoscere in questi anni, grazie anche ai soggiorni all'estero: siamo riusciti a creare un bellissimo rapporto di amicizia, che spero continui anche negli anni a venire.

A voi tutti dedico questo mio importante traguardo.

INTRODUZIONE

Questo mio elaborato è nato fondamentalmente da due principi che considero fondamentali nel percorso umano e professionale di ogni persona: la curiosità e la necessità di una formazione continua, ossia del cosiddetto “lifelong learning”.

In una società quale quella attuale, in cui l’innovazione tecnologica viaggia ad una velocità incredibile, le sfide che ognuno di noi deve affrontare per migliorare le proprie conoscenze, capacità e competenze sono sempre più numerose e diversificate. Ma la sfida più rilevante del nostro presente e soprattutto del nostro prossimo futuro, quella che appare oggi più intrigante, stimolante ma al tempo stesso inquietante, ha un nome preciso che viene ripetuto, discusso, analizzato e sottoposto alla nostra quotidiana attenzione da diverse fonti e sotto diversi punti di vista: è l’intelligenza artificiale, detta anche AI oppure IA, nell’illusione forse di semplificare con una breve sigla un argomento che invece è molto complesso e controverso.

Ed è proprio l’esigenza di conoscere ed approfondire meglio questo nuovo importante strumento che sta entrando prepotentemente nelle nostre vite che mi ha dato lo stimolo di dedicare ad esso il mio elaborato, svolgendo un lavoro di ricerca, di documentazione, di approfondimento e di riflessione personale, allo scopo di avere le informazioni e gli strumenti necessari per capire se e come questa potente fonte di innovazione possa diventare un’alleata preziosa per il lavoro e per la vita quotidiana delle persone, senza danneggiarci o limitarci o peggio ancora prevaricarci.

In altre parole, mi sono chiesto quanto sia opportuno riporre la nostra fiducia sull’IA cercando però di fare in modo che questa sia un’IA degna di fiducia, ossia utile, vantaggiosa, etica, sostenibile, alleata. Uno strumento che possa supportarci nelle nostre attività anziché rischiare di toglierci le facoltà e le peculiarità proprie del nostro essere umani, pensanti, intelligenti e creativi per natura.

Il mio interesse verso l’IA è stato alimentato anche dall’esperienza di tirocinio come Technical Program Manager che ho svolto a Berlino per sei mesi (aprile-settembre 2024) presso la Gigafactory Berlin-Brandenburg di Tesla. In particolare, ho deciso di dedicare due capitoli (il quinto e il sesto) ad un argomento specifico, le Bill of Materials (BOM), che viene citato anche nel sottotitolo della mia tesi, in quanto costituisce un elemento di grande rilevanza in Tesla, e in molte altre aziende. Il mio lavoro di tirocinante mi ha dato modo di apprezzare l’importanza delle BOM, ma allo stesso tempo mi ha spinto a riflettere sulla possibilità di migliorare questo strumento attraverso un’efficace applicazione ad esse dell’IA, allo scopo di garantire una sempre maggiore semplificazione ed efficienza del lavoro. Non potendo trattare nello specifico informazioni e dati riservati relativi all’azienda, ho deciso di mantenere su questo argomento un approccio di generale analisi e documentazione, non fornendo di proposito dettagli particolari su quanto ho sperimentato nel corso del tirocinio svolto.

In sintesi, quindi, la mia tesi si articola nei seguenti capitoli.

Il primo capitolo introduce i concetti di intelligenza artificiale (IA) e di "IA affidabile", illustra l'importanza crescente dell'IA e ne evidenzia i benefici in vari settori mettendo però in evidenza anche alcuni rischi ad essa connessi. Pertanto, viene esplorata la necessità di un'IA che rispetti legalità, etica e robustezza, intesa come capacità di assicurare sicurezza dei dati e reagire in modo efficace per contrastare e risolvere le possibili vulnerabilità.

Il secondo capitolo traccia le origini e l'evoluzione dell'intelligenza artificiale (IA) dagli anni '50 agli anni '90, un periodo caratterizzato da successi entusiasmanti e momenti di disillusione, noti come "inverni dell'IA", fino ad arrivare alla rinascita e all'attuale ampio utilizzo dell'IA nella vita quotidiana e al suo impatto trasformativo su settori come il business e la ricerca scientifica.

Il terzo capitolo si concentra sull'analisi dei sistemi e delle tecnologie dell'Intelligenza Artificiale. Esplorando le definizioni fornite da esperti come Bernard Marr e Accenture, vengono delineati i diversi obiettivi e livelli di utilizzo dell'IA, oltre a esaminare le tecnologie emergenti, come la Cognitive Computing e la Blockchain. Infine, vengono esaminati i sistemi di IA, evidenziando il ruolo cruciale che essi svolgono in settori come la produzione e l'assistenza sanitaria.

Nel quarto capitolo l'IA è presentata come una forza motrice trasformativa nel mondo contemporaneo, i cui rapidi progressi hanno reso possibile la sua applicazione e il suo utilizzo in un'ampia gamma di ambiti.

In particolare, vengono illustrati alcuni dei principali settori in cui l'IA viene applicata, ossia l'agricoltura, la sanità e l'industria manifatturiera, riflettendo anche sulla necessità di una governance etica dell'IA, particolarmente in ambito sanitario in cui si ha a che fare con dati personali sensibili e legati alla sfera più intima e riservata di ogni persona. Il focus viene poi concentrato sull'utilizzo dell'IA nel settore Manufacturing, dove essa risulta efficace per la gestione e manutenzione dei macchinari, per i processi di Business e Supply Chain, per il controllo di produzione e qualità, per la Robotica e la Digital Twin, per la progettazione, sviluppo e innovazione dei prodotti. Al tempo stesso, vengono anche considerati i motivi che rendono ancora difficoltosa l'applicazione dell'IA nelle industrie.

I capitoli quinto e sesto sono invece dedicati ad un argomento specifico, le Bill of Materials (BOM), un elemento di grande rilevanza in molte aziende, che ho scelto di trattare nello specifico per i motivi già esposti precedentemente.

Specificamente, nel quinto capitolo viene introdotta e analizzata la Bill of Materials (BOM), fornendone dapprima una definizione e descrivendo successivamente i principali benefici associati a questo strumento, la sua struttura ed i passaggi necessari per implementarlo. Infine,

vengono presentate le diverse tipologie di Bill of Materials esistenti, prendendo in considerazione le diverse caratteristiche e finalità di ciascuna.

Il sesto capitolo si concentra, invece, sull'utilizzo delle tecnologie più moderne per la creazione, sviluppo e mantenimento delle Bill of Materials. Dopo un'analisi preliminare dell'evoluzione avvenuta nella gestione delle BOM, si esplora come applicare ad esse le tecnologie più avanzate, dalla Robotic Process Automation all'intelligenza artificiale. Per ogni tecnologia, vengono illustrati i vantaggi e presentati esempi di applicazione, in modo da comprendere meglio la situazione attuale e le prospettive future di una gestione intelligente delle BOM.

Il settimo capitolo riporta all'analisi delle implicazioni dell'Intelligenza Artificiale in diversi settori, mettendo in evidenza sia le opportunità che i rischi ad essa associati. Si discute pertanto delle sfide legate alla responsabilità legale, alla sicurezza dei dati e alla dipendenza tecnologica, specialmente nel contesto industriale. Viene evidenziata l'importanza di un approccio multidisciplinare, di una strategia e di una governance adeguate a massimizzare i benefici dell'IA e mitigare i suoi rischi, per fare in modo che siano sempre le persone e non le macchine a decidere consapevolmente e responsabilmente.

A questo proposito l'ottavo capitolo, in conclusione, fa il punto sulle varie legislazioni attualmente esistenti riguardo all'intelligenza artificiale, sia a livello internazionale che nel contesto europeo, in modo da capire in che direzione si stia andando e come si stiano attrezzando i vari Paesi per gestire quella che rappresenta oggi la più grande e rivoluzionaria trasformazione del lavoro e della società, allo scopo di massimizzarne i benefici, limitarne i rischi e trovare un giusto equilibrio tra innovazione, sicurezza e qualità della vita umana.

Alla fine di questo lavoro di analisi e di riflessione sui diversi aspetti e le varie utilizzazioni dell'IA, presenti e future, appare evidente l'importanza di alimentare un costante dialogo ed una proficua collaborazione tra legislatori, industria, aziende e società civile per sviluppare normative e prassi condivise, equilibrate, efficaci ed etiche, che favoriscano un'evoluzione tecnologica responsabile e sostenibile, in modo da rispettare i diritti e la dignità delle persone, salvaguardare e migliorare il lavoro, e promuovere il bene comune.

Dalla capacità di rispondere all'esigenza di tale equilibrio dipenderà il futuro, lavorativo e non solo, delle nuove generazioni nonché di tutta la società civile.

È questa la vera sfida, ed è già iniziata.

A noi la responsabilità delle scelte e la capacità di applicarle.

CAPITOLO 1 – L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Il seguente capitolo introduce i concetti di intelligenza artificiale (IA) e di "IA affidabile". Viene illustrata l'importanza crescente dell'IA, resa possibile dalla disponibilità di big data, algoritmi avanzati e infrastrutture informatiche potenti ed economiche. Si evidenziano i benefici dell'IA in vari settori, come la sanità e l'agricoltura, ma anche i rischi, come l'opacità decisionale e la discriminazione. Viene presentata una definizione condivisa di IA, dalle origini con John McCarthy alle attuali interpretazioni. Il capitolo esplora infine la necessità di un'IA che rispetti legalità, etica e robustezza, come delineato dai gruppi di esperti della Commissione Europea e dall'OCSE.

1.1 L'intelligenza artificiale e l'IA "affidabile"

Parlare e "fare" Intelligenza Artificiale sta diventando sempre più attuale, grazie alla disponibilità di big data generati o raccolti da vari dispositivi e applicazioni, ad algoritmi di apprendimento automatico migliorati e più affidabili, a sistemi informatici cloud e con alte prestazioni sempre più economici.

L'evoluzione delle tecnologie sta cambiando la vita di miliardi di persone in vari modi e in numerosi ambiti.

Lo "European Commission White Paper" sull'IA sottolinea come essa "cambierà le nostre vite migliorando l'assistenza sanitaria (ad esempio rendendo più precise le diagnosi e consentendo una migliore prevenzione delle malattie), aumentando l'efficienza dell'agricoltura, contribuendo alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici, migliorando l'efficienza dei sistemi di produzione attraverso la manutenzione predittiva, aumentando la sicurezza degli europei e in molti altri modi che possiamo solo iniziare a immaginare".

Allo stesso tempo, l'Intelligenza Artificiale (IA) comporta una serie di rischi potenziali, come le questioni inerenti all'affidabilità e qualità delle informazioni, l'opacità ossia la mancanza di trasparenza del processo decisionale, la discriminazione di genere, di etnia o di altro tipo, l'intrusione nella vita privata (privacy) e nei dati sensibili dei cittadini o il suo potenziale utilizzo per scopi criminali.¹ Per non parlare del rischio, paventato da più fonti, che l'IA possa "rubare" il lavoro alle persone in vari campi, sostituendosi ad esse.

Prima di concentrarsi su come l'Intelligenza Artificiale viene applicata, generando cambiamenti nei diversi settori dell'economia, della sanità e dell'industria manifatturiera, è importante introdurre una possibile definizione condivisa.

Il termine "Intelligenza Artificiale" fu usato per la prima volta nel 1956, quando John McCarthy (un informatico di Stanford) invitò un gruppo di ricercatori specializzati in diverse discipline

¹ Commissione Europea (19 febbraio 2020). "White Paper on Artificial Intelligence. A European approach to excellence and trust". Bruxelles

(simulazione del linguaggio, reti di neuroni, teoria della complessità, ecc.) al workshop "Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence" per discutere della possibile creazione di "macchine pensanti" che simulassero l'intelligenza umana, includendo la cibernetica, la teoria degli automi e l'elaborazione di informazioni complesse. La sua definizione di IA era: "La scienza e l'ingegneria della creazione di macchine intelligenti, in particolare di programmi informatici intelligenti".

Dopo più di 70 anni, l'Oxford Living Dictionary definisce l'Intelligenza Artificiale: "La teoria e lo sviluppo di sistemi informatici in grado di svolgere compiti che normalmente richiedono l'intelligenza umana, come la percezione visiva, il riconoscimento vocale, il processo decisionale e la traduzione tra le lingue".

L'Enciclopedia Britannica precisa che l'intelligenza artificiale (AI) è "la capacità di un computer digitale o di un robot controllato da un computer di eseguire compiti comunemente associati a esseri intelligenti". Gli esseri intelligenti sono quelli in grado di adattarsi a circostanze mutevoli.

Le diverse definizioni di IA si concentrano dunque sulla capacità delle macchine di lavorare e pensare come gli esseri umani. L'implementazione dell'intelligenza artificiale deve considerare anche i suoi rischi e, quindi, è necessaria una definizione che tenga conto dei potenziali impatti negativi sulle attività umane. A questo proposito, l'Intelligenza Artificiale può essere concepita in modo più preciso: "I sistemi di intelligenza artificiale (AI) sono sistemi software (ed eventualmente anche hardware) progettati dall'uomo che, dato un obiettivo complesso, agiscono nella dimensione fisica o digitale percependo l'ambiente circostante attraverso l'acquisizione di dati, interpretando i dati strutturati o non strutturati raccolti, ragionando sulla conoscenza o elaborando le informazioni ricavate da questi dati e decidendo le azioni migliori da intraprendere per raggiungere un determinato obiettivo. I sistemi di IA possono utilizzare regole simboliche o apprendere un modello numerico, e possono anche adattare il loro comportamento analizzando come l'ambiente è stato influenzato dalle loro azioni precedenti".²

Questa concezione comune di Intelligenza Artificiale (IA) proviene dal "Gruppo Indipendente di Esperti di Alto Livello sull'Intelligenza Artificiale", istituito dalla Commissione Europea per affrontare l'avvento dell'IA nell'attuale complesso contesto di trasformazione digitale.

Tale definizione evidenzia le principali componenti dell'IA: tecnologia digitale, dati e processi decisionali, necessari ma non sufficienti per garantire che l'IA possa migliorare il benessere e la libertà dell'uomo. Il Gruppo ha quindi lavorato ulteriormente sulla necessità di un'IA incentrata sull'uomo e integrata in ambienti sociotecnici, definendo un nuovo concetto di IA "affidabile",

² Gruppo Indipendente di Esperti di Alto Livello sull'Intelligenza Artificiale istituito dalla Commissione europea. (Aprile 2019). "A Definition of AI: Main Capabilities and Disciplines". Commissione Europea, p.6

cioè che massimizza i benefici dei sistemi di IA e allo stesso tempo ne previene e ne minimizza i rischi.³

Le componenti di questo concetto innovativo sono tre:

- Legalità (garantire il rispetto di tutte le leggi e i regolamenti applicabili);
- Etica (garantire l'adesione a principi e valori etici);
- Robustezza sia dal punto di vista tecnico che sociale (non causare danni non intenzionali).

L'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) è in linea con questa visione di un'IA affidabile e rispettosa dei diritti umani e dei valori democratici.⁴ Infatti, i principi essenziali adottati nel maggio 2019 dai 36 Paesi membri dell'OCSE (tra cui l'Italia) sono:

1. L'IA dovrebbe portare benefici alle persone e al pianeta, favorendo la crescita inclusiva, lo sviluppo sostenibile e il benessere.
2. I sistemi di IA dovrebbero essere progettati in modo da rispettare lo stato di diritto, i diritti umani, i valori democratici e la diversità, e dovrebbero includere adeguate salvaguardie - ad esempio, consentendo l'intervento umano ove necessario - per garantire una società equa e giusta.
3. I sistemi di IA devono essere caratterizzati da trasparenza e divulgazione responsabile, per garantire che le persone comprendano i risultati basati sull'IA e possano contestarli.
4. I sistemi di IA devono funzionare in modo robusto, sicuro e protetto per tutto il loro ciclo di vita e i rischi potenziali devono essere costantemente valutati e gestiti.
5. Le organizzazioni e gli individui che sviluppano, impiegano o gestiscono sistemi di intelligenza artificiale devono essere ritenuti responsabili del loro corretto funzionamento in linea con i principi sopra citati.

In linea con questi principi, la definizione di riferimento per questo studio è quella di “Intelligenza Artificiale Degna di Fiducia” - come definita dai gruppi di esperti della CE e convalidata dall'OCSE - che permette di prendere in considerazione anche i rischi potenziali e le possibili misure di emergenza e di considerare le potenziali lacune di implementazione dell'IA nella produzione.⁵

³ Marmo R. (2020). *Algoritmi per l'intelligenza artificiale. Progettazione dell'algoritmo, dati e machine learning, neural network, deep learning*. Hoepli.

⁴ OECD. (2019). “*Recommendation of the Council on Artificial Intelligence*”.
<https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>

⁵ EIT Digital. (2020). “*Overview on maturity of AI innovations in manufacturing*”.
https://eit.europa.eu/sites/default/files/overview_on_maturity_of_ai_innovations_in_manufacturing_20529-d11.pdf

CAPITOLO 2 - IL LUNGO CAMMINO DELL'IA

Il presente capitolo traccia le origini e l'evoluzione dell'intelligenza artificiale (IA) dagli anni '50 agli anni '90. Dagli esordi con le Tre Leggi della Robotica di Isaac Asimov e il Test di Turing, fino agli alti e bassi dell'IA negli anni '70 e '80, il percorso dell'IA è stato caratterizzato da successi entusiasmanti e periodi di disillusione, noti come "inverni dell'IA". Tuttavia, dagli anni '90 in poi, diversi fattori, come il successo della machine learning, la disponibilità di enormi quantità di dati e l'aumento della potenza di calcolo, hanno contribuito alla rinascita dell'IA. Il capitolo si conclude sottolineando l'ampio utilizzo dell'IA nella vita quotidiana e il suo impatto trasformativo su settori come il business e la ricerca scientifica.

2.1 Le origini (1950s-1960s)

Sebbene sia difficile da individuare, le radici dell'IA possono probabilmente essere fatte risalire agli anni '40, in particolare al 1942, quando lo scrittore americano di fantascienza Isaac Asimov pubblicò il racconto "Runaround". La sua trama - la storia di un robot sviluppato dagli ingegneri Gregory Powell e Mike Donovan - ruota attorno alle Tre Leggi della Robotica: (1) un robot non può ferire un essere umano o, attraverso l'inazione, permettere che un essere umano venga danneggiato; (2) un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, tranne nel caso in cui tali ordini siano in conflitto con la Prima Legge; e (3) un robot deve proteggere la propria esistenza, a patto che tale protezione non sia in conflitto con la Prima o la Seconda Legge.

L'opera di Asimov ha ispirato generazioni di scienziati nel campo della robotica, dell'IA e dell'informatica, tra cui lo scienziato cognitivo americano Marvin Minsky (che in seguito ha co-fondato il laboratorio di IA del MIT).

Più o meno nello stesso periodo, ma a oltre 3.000 miglia di distanza, il matematico inglese Alan Turing lavorò e sviluppò per il governo britannico una macchina per la decifrazione di codici chiamata Bombe, con lo scopo di decifrare il codice Enigma usato dall'esercito tedesco nella Seconda guerra mondiale.

Il Bombe, che aveva una dimensione di circa 7 x 6 x 2 piedi e un peso di circa una tonnellata, è generalmente considerato il primo computer elettromeccanico funzionante. Il modo potente in cui il Bombe riuscì a decifrare il codice Enigma, un compito impossibile anche per i migliori matematici umani, portò Turing a riflettere sull'intelligenza di tali macchine.

Nel 1950 pubblicò il suo articolo fondamentale "Computing Machinery and Intelligence", in cui descriveva come creare macchine intelligenti e in particolare come testarne l'intelligenza. Il Test di Turing è considerato ancora oggi un parametro di riferimento per identificare l'intelligenza di un sistema artificiale: se un essere umano interagisce con un altro essere umano e con una

macchina e non è in grado di distinguere la macchina dall'essere umano, allora si dice che la macchina è intelligente.⁶

Nel 1943, i neurofisiologi W. McCulloch e W. Pitts svilupparono il primo modello di rete neurale (noto come modello M-P). Questo modello rappresenta il primo tentativo di costruire un modello matematico che imitasse la struttura e il funzionamento dei neuroni biologici, ed è considerato una delle prime reti neurali artificiali.

Nel 1949, Hebb propose un meccanismo di apprendimento basato sulla neuropsicologia, noto come "regola di apprendimento di Hebb". Questa regola di apprendimento consente di estrarre caratteristiche statistiche dai set di addestramento e classificare i dati in base alla loro somiglianza, rappresentando così una delle prime idee di apprendimento automatico (ML) strettamente ispirate ai processi cognitivi umani.

Nel 1952, lo scienziato IBM Arthur Samuel sviluppò un programma del gioco "dama" capace di apprendere modelli impliciti dalla posizione attuale e guidare le mosse successive. In tale contesto, i programmi di scacchi rappresentarono uno dei primi esempi di computing evolutivo. L'algoritmo confronta una copia modificata con la versione migliore e il vincitore diventa il nuovo standard.

Il termine Intelligenza Artificiale fu coniato ufficialmente circa quattro anni dopo, quando nel 1956 Marvin Minsky e John McCarthy (un informatico di Stanford) ospitarono il "Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence (DSRPAI)", della durata di circa otto settimane, presso il Dartmouth College nel New Hampshire. Fu proprio John McCarthy a coniare il termine IA, ed è perciò considerato il padre dell'intelligenza artificiale.

Questo workshop, che segna l'inizio della Primavera dell'IA ed è stato finanziato dalla Rockefeller Foundation, ha riunito coloro che in seguito sarebbero stati considerati i padri fondatori dell'IA. Tra i partecipanti c'erano l'informatico Nathaniel Rochester, che in seguito progettò l'IBM 701, il primo computer scientifico commerciale, e il matematico Claude Shannon, fondatore della teoria dell'informazione.

L'obiettivo del DSRPAI era quello di riunire ricercatori di vari settori per creare una nuova area di ricerca finalizzata alla costruzione di macchine in grado di simulare l'intelligenza umana.

⁶ M. Haenlein, A. Kaplan. (Luglio 2019). *"A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence"*.
https://www.researchgate.net/publication/334539401_A_Brief_History_of_Artificial_Intelligence_On_the_Past_Present_and_Future_of_Artificial_Intelligence

Da questo evento, la ricerca sull'IA ha prodotto molti risultati notevoli, tra cui l'apprendimento automatico, la dimostrazione di teoremi, il riconoscimento di modelli, la risoluzione dei problemi, i sistemi esperti e l'elaborazione del linguaggio naturale.⁷

Nel 1957, lo psicologo americano Frank Rosenblatt presentò il modello del "Perceptron", un sistema che rivoluzionò il riconoscimento, essendo in grado di costruire sistemi per svolgere tale attività che utilizzano i "neuroni" artificiali.

Questa capacità di apprendimento ebbe un impatto significativo sullo sviluppo successivo delle reti neurali e dei loro meccanismi di connessione.

Il lavoro pionieristico sul Perceptron continua a essere un argomento di rilievo nei corsi introduttivi sull'intelligenza artificiale.

Nel 1960, l'algoritmo del Perceptron fu implementato in hardware fisico con il "Mark 1 Perceptron", un cervello artificiale composto da una serie di perceptron collegati a una telecamera. All'epoca, questo progresso fu considerato eccezionale e stimolante per successive scoperte, poiché dimostrava che una macchina poteva essere addestrata a riconoscere con ragionevole precisione se una persona in una fotografia fosse un maschio o una femmina.

Nello stesso anno, Newell e altri ricercatori raggrupparono le regole di pensiero umano attraverso esperimenti psicologici, sviluppando un programma generale di risoluzione dei problemi capace di affrontare undici diverse tipologie di problemi.

Questo periodo fu rivoluzionario nello studio dell'intelligenza artificiale, con risultati promettenti ed eccellenti prospettive future.

Nel frattempo, il campo dell'informatica si sviluppava rapidamente come una disciplina autonoma, con progressi annuali nei transistor e nelle architetture hardware e l'emergere di software e programmi informatici essenziali per implementare teorie e algoritmi dell'intelligenza artificiale.⁸

2.2 Estate e inverno dell'IA: gli alti e bassi di un difficile percorso (1960-1980)

La conferenza di Dartmouth del 1956 è stata seguita da un periodo di quasi due decenni che ha visto un successo significativo nel campo dell'intelligenza artificiale.

Un primo esempio è il famoso programma per computer ELIZA, creato tra il 1964 e il 1966 da Joseph Weizenbaum al MIT.

⁷ A. Rockwell. (28 Agosto 2017). "*The History of Artificial Intelligence*". <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/history-artificial-intelligence/>

⁸ Jiang, Y., Li, X., Luo, H. *et al.* "Quo vadis artificial intelligence?". *Discov Artif Intell* 2, 4 (2022). <https://doi.org/10.1007/s44163-022-00022-8>

ELIZA era uno strumento di elaborazione del linguaggio naturale in grado di simulare una conversazione con un essere umano (uno dei primi programmi in grado di tentare di superare il suddetto test di Turing sull'intelligenza di un sistema artificiale).

Un'altra storia di successo degli albori dell'IA è stato il programma General Problem Resolver, sviluppato dal premio Nobel Herbert Simon e dagli scienziati della RAND Corporation Cliff Shaw e Allen Newell, che è stato in grado di risolvere automaticamente alcuni tipi di problemi semplici.

Come risultato di queste stimolanti storie di successo, la ricerca sull'IA ha ricevuto finanziamenti sostanziali che hanno portato a un numero sempre maggiore di progetti ma hanno anche sollevato molti dubbi.

Nel 1970, Marvin Minsky rilasciò un'intervista a Life Magazine in cui affermava che una macchina con l'intelligenza generale di un essere umano medio poteva essere sviluppata in un arco di tre-otto anni. Tuttavia, solo tre anni dopo, nel 1973, il Congresso degli Stati Uniti iniziò a criticare aspramente l'elevata spesa per la ricerca sull'IA.

Nello stesso anno, il matematico britannico James Lighthill pubblicò un rapporto commissionato dal British Science Research Council in cui metteva in dubbio le prospettive ottimistiche fornite dai ricercatori di IA. Lighthill affermò che le macchine avrebbero raggiunto solo il livello di un "dilettante esperto" in giochi come gli scacchi e che il ragionamento basato sul buon senso sarebbe sempre stato al di là delle loro capacità. In risposta, il governo britannico interruppe il sostegno alla ricerca sull'IA in tutte le università tranne tre (Edimburgo, Sussex ed Essex) e il governo degli Stati Uniti seguì presto l'esempio britannico.

Questo periodo ha dato inizio al cosiddetto "inverno dell'IA", una espressione coniata per indicare i periodi in cui il finanziamento per lo sviluppo dell'intelligenza artificiale ha subito una significativa diminuzione.

Nella storia, sono stati identificati due di questi periodi.

Il primo si verificò appunto intorno agli anni '70. In quel periodo, i ricercatori avevano una fiducia eccessiva nei risultati preliminari della traduzione automatica. Un'eccessiva enfasi su un futuro ottimistico per la traduzione automatica attirava ingenti investimenti, soprattutto in un contesto in cui l'Establishment della Difesa degli Stati Uniti (predecessore di DARPA oggi) prevedeva una traduzione automatica russo-inglese durante la guerra fredda. Il governo era infatti particolarmente interessato a una macchina in grado di trascrivere e tradurre il linguaggio parlato e di elaborare dati ad alta velocità. Nel 1970 Marvin Minsky disse a Life Magazine: "Tra tre e otto anni avremo una macchina con l'intelligenza generale di un essere umano medio". Tuttavia, sebbene la prova di principio fosse già stata raggiunta, c'era ancora molta strada da fare prima di poter raggiungere gli obiettivi finali dell'elaborazione del linguaggio naturale, del pensiero

astratto e dell'auto-riconoscimento. Si scoprì, quindi, che la sfida era stata notevolmente sottovalutata: tra il 1967 e il 1976 si fecero pochi progressi.⁹

Uno dei più grandi ostacoli che venne affrontato fu la mancanza di potenza di calcolo per fare qualcosa di sostanziale: i computer, semplicemente, non avevano la capacità di immagazzinare abbastanza informazioni o di elaborarle abbastanza velocemente. Per comunicare, ad esempio, è necessario conoscere il significato di molte parole e comprenderle in molte combinazioni. Hans Moravec, all'epoca dottorando di McCarthy, affermò che "i computer erano ancora milioni di volte troppo deboli per dimostrare intelligenza".

Il fallimento della traduzione automatica deluse gli investigatori e influenzò negativamente lo sviluppo dell'intero campo dell'IA, bloccando di fatto la ricerca per quasi dieci anni.

Nel 1966, il Comitato consultivo per l'elaborazione automatica del linguaggio (ALPAC) presentò al governo degli Stati Uniti il rapporto "Lingua e macchine" in cui si metteva in discussione la fattibilità della traduzione automatica.

Nel 1969, i matematici-informatici Marvin Minsky e Seymour Papert pubblicarono "Perceptrons", un libro che evidenziava i significativi difetti del Perceptron (un modello di rete neurale artificiale, introdotto nel 1958 dallo psicologo statunitense Frank Rosenblatt), mostrando che poteva risolvere solo problemi lineari.

Nel 1973, il Consiglio Scientifico di Ricerca britannico (SRC) presentò al governo britannico il "Rapporto Lighthill", il quale criticava aspramente la ricerca sull'IA, provocando una significativa riduzione dei finanziamenti per la ricerca fondamentale.

Dopo che gli effetti del primo "inverno dell'IA" si attenuarono, si verificò un nuovo interesse per le tecnologie dell'IA orientate alle applicazioni commerciali. In questo periodo, i sistemi esperti basati su regole "se-then", create da esperti del settore, furono ampiamente implementati. Ancora una volta, si generò un eccessivo entusiasmo perché si aveva scarsa consapevolezza dei limiti di tali sistemi nell'affrontare compiti e sistemi altamente complessi, come la diagnosi medica e i sistemi di visione.

Nel 1984, John McCarthy evidenziò un difetto critico dei sistemi esperti: la mancanza di consapevolezza dei loro limiti.¹⁰

⁹ M. Haenlein, A. Kaplan. (Luglio 20219). "A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence".
https://www.researchgate.net/publication/334539401_A_Brief_History_of_Artificial_Intelligence_On_the_Past_Present_and_Future_of_Artificial_Intelligence

¹⁰ Jiang, Y., Li, X., Luo, H. *et al.* "Quo vadis artificial intelligence?". *Discov Artif Intell* 2, 4 (2022).
<https://doi.org/10.1007/s44163-022-00022-8>

Pertanto, alla fine degli anni '80, si verificò un secondo periodo di calo nello sviluppo dell'IA, con il ritiro dei finanziamenti e lo spostamento dell'interesse su altre tecnologie emergenti come i computer ad uso generale.

Nonostante le notevoli differenze nei contesti storici, diversi fattori comuni possono essere identificati come cause degli "inverni dell'IA".

I ricercatori avevano valutazioni insufficienti e prevenute sui pro e i contro dell'IA, il che portò a previsioni e conclusioni poco razionali, rigorose e pratiche.

Inoltre, i media contribuirono a deviare l'attenzione del pubblico dalle vere sfide affrontate dai ricercatori e dai praticanti.

Un altro fattore significativo fu la mancanza di strumenti adeguati dalle discipline correlate, come approcci algoritmici, risorse informative e potenza di calcolo. Gli investitori spesso sottovalutarono i rischi e il tempo necessario per la ricerca fondamentale, il che portò a significative oscillazioni nei finanziamenti dell'IA.

Infine, ulteriore fattore che contribuì, almeno inizialmente, a critiche e arretramenti nei finanziamenti dell'IA risiede nel modo specifico in cui i primi sistemi come ELIZA e il General Problem Solver hanno cercato di rappresentare l'intelligenza umana.

In particolare, si trattava di sistemi esperti, cioè di raccolte di regole che presuppongono che l'intelligenza umana possa essere formalizzata e ricostruita con un approccio dall'alto verso il basso come una serie di affermazioni "se-allora".

I sistemi esperti possono funzionare in modo impressionante in aree che si prestano a tale applicazione. Ad esempio, il programma di scacchi Deep Blue di IBM, che nel 1997 è stato in grado di battere il campione del mondo Gary Kasparov – e nel processo ha dimostrato che una delle affermazioni fatte da James Lighthill quasi 25 anni prima era sbagliata – è un sistema esperto di questo tipo.

Secondo quanto riferito, Deep Blue è stato in grado di elaborare 200 milioni di possibili mosse al secondo e di determinare la mossa successiva ottimale guardando 20 mosse avanti attraverso l'uso di un metodo chiamato ricerca ad albero.¹¹

Tuttavia, i sistemi esperti funzionano male in aree che non si prestano a tale formalizzazione. Ad esempio, un sistema esperto non può essere facilmente addestrato a riconoscere i volti o anche a distinguere tra un'immagine che mostra un muffin e una che mostra un chihuahua. Per tali compiti è necessario che un sistema sia in grado di interpretare correttamente i dati esterni, di imparare da tali dati e di utilizzare tali conoscenze per raggiungere obiettivi e compiti specifici attraverso un adattamento flessibile, caratteristiche che definiscono l'IA.

¹¹ M. Haenlein, A. Kaplan. (Luglio 2019). "A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence". https://www.researchgate.net/publication/334539401_A_Brief_History_of_Artificial_Intelligence_On_the_Past_Present_and_Future_of_Artificial_Intelligence

Poiché i sistemi esperti non possiedono tali capacità, tecnicamente parlando, non sono vere IA.

2.3 La rinascita dell'IA dagli anni '90: ML, DL e Reti Neurali

Dopo aver affrontato un periodo piuttosto complesso tra continui finanziamenti e passi indietro, a partire dai primi anni '90 diversi fattori portarono alla rinascita della IA. Tra questi si possono citare:

- Il successo dell'apprendimento automatico o Machine Learning. Il machine learning (ML) è un ramo dell'AI e dell'informatica che si basa sull'utilizzo di dati e algoritmi per imitare il modo in cui gli esseri umani apprendono, migliorando gradualmente la sua accuratezza. Dalla fine degli anni '80, sono state proposte una serie di importanti teorie e tecniche di Machine Learning, molte delle quali sono considerate ancora oggi riferimenti fondamentali. Tra queste si possono ricordare l'albero decisionale, proposto da J. R. Quinlan nel 1986; la macchina vettoriale di supporto, proposta da Vapnik e Cortes nel 1995; Adaboost, proposto da Freund e Schapire nel 1997; foreste casuali, proposto da Breiman nel 2001.

Per quanto riguarda il progresso legato alle reti neurali, fu solo a partire dalla pubblicazione di Nature nel 1986 di un articolo a riguardo che la comunità di ricerca ha iniziato a prestare attenzione a tali tematiche. I successi nel Machine Learning e gli altri progressi discussi di seguito diventano fattori complementari nel percorso di rinascita dell'IA. Attualmente, il machine learning è utilizzato ovunque. Quando interagiamo con le banche, acquistiamo online o utilizziamo i social media, vengono utilizzati gli algoritmi di machine learning per rendere la nostra esperienza efficiente, facile e sicura.

- La disponibilità di numerosi dati. Considerati come il vero carburante per l'addestramento dei modelli di IA, la qualità e la scala dei set di dati sono i fattori determinanti per le prestazioni di previsione e classificazione. Per questo, i ricercatori dedicano sforzi alla progettazione e alla realizzazione di esperimenti attendibili per raccogliere dati del mondo reale, che rappresentino le condizioni di lavoro effettive e usuali, e che possono rappresentare un'ottima base per un adeguato sviluppo dei sistemi o modelli di IA. I tipi di variabili e il modo in cui i dati vengono misurati e raccolti rappresentano una parte estremamente rilevante e significativa del processo.
- L'aumento significativo della potenza di calcolo. L'espansione delle scale fisiche delle macchine basate sull'intelligenza artificiale consente loro di affrontare compiti altamente complicati. Nel frattempo, viene ad essere inevitabilmente rallentata la trasmissione e l'elaborazione delle informazioni e si registra un notevole aumento nel consumo di energia. Questi aspetti vengono superati tramite l'applicazione di tecniche avanzate di accelerazione, utilizzate sia in ambito hardware che negli algoritmi software, e che

consentono di ridurre le attività di addestramento dei modelli basati su IA da diversi mesi a pochi giorni o addirittura ore.

- Il recupero della fiducia e dell'interesse dell'opinione pubblica nei confronti della IA. Diversi sistemi di intelligenza artificiale hanno infatti superato i migliori giocatori umani in gare e competizioni, contribuendo così ad impressionare il pubblico e ricostruire la fiducia nell'IA. Nel 2011, ad esempio, il sistema di intelligenza artificiale Watson di IBM ha vinto il campionato al popolare quiz televisivo americano "Jeopardy!". Sebbene non fosse connesso a Internet, aveva una memoria di quattro terabyte che copriva 200 milioni di pagine di informazioni, inclusa la versione completa di Wikipedia. Si tratta di un risultato notevole nell'implementazione di una macchina con capacità congiunte che vanno dalla ricerca di informazioni alla rappresentazione della conoscenza, al ragionamento automatico e all'elaborazione del linguaggio naturale.

Dal 2016 al 2017, AlphaGo ha sfidato giocatori professionisti di Go¹² e ha sconfitto oltre 60 maestri, tra cui il campione del mondo Lee Sedol e il giocatore più alto del ranking mondiale Ke Jie. A lungo si è creduto che i computer non sarebbero mai stati in grado di battere gli esseri umani in questo gioco. AlphaGo ha raggiunto le sue elevate prestazioni utilizzando un tipo specifico di rete neurale artificiale, chiamata Deep Learning. Lo sviluppatore di AlphaGo, ovvero il team di DeepMind di Google, ha successivamente costruito un nuovo sistema di intelligenza artificiale chiamato AlphaGo Zero, che è completamente autodidatta partendo da zero, con zero informazioni dai record di gioco umani. Il sistema ha superato migliaia di anni di conoscenza umana con l'apprendimento per rinforzo¹³ e ha scoperto in modo sbalorditivo nuove strategie in pochi giorni. Questi esempi mostrano il ruolo dominante del deep learning nella nuova era dell'intelligenza artificiale e dimostrano la velocità fenomenale con cui l'intelligenza artificiale può crescere.

Ma cos'è esattamente il Deep Learning?

Il deep learning guida molte applicazioni e servizi di intelligenza artificiale (AI) che migliorano l'automazione, svolgendo compiti analitici e fisici senza l'intervento umano. La tecnologia del deep learning è alla base degli algoritmi di riconoscimento delle immagini utilizzati da Facebook e di altri prodotti e servizi d'uso quotidiano (per esempio assistenti digitali, telecomandi TV

¹² Il Go è sostanzialmente più complesso degli scacchi; ad esempio, all'apertura ci sono 20 mosse possibili negli scacchi ma 361 nel Go.

¹³ Il Reinforcement Learning (RL, o apprendimento per rinforzo) è una tecnica di apprendimento automatico in cui un agente AI apprende a prendere decisioni attraverso l'interazione con un ambiente, con l'obiettivo di massimizzare una ricompensa cumulativa. Questo approccio è adatto per problemi dove è difficile definire regole esplicite o quando l'ambiente è dinamico e incerto.

vocali, sistemi per il rilevamento di frodi con carte di credito) così come di tecnologie emergenti (per esempio auto a guida autonoma).¹⁴

Oggi le Reti Neurali Artificiali e il Deep Learning (apprendimento profondo) costituiscono la base della maggior parte delle applicazioni che conosciamo sotto l'etichetta di IA.

Il deep learning è un sottoinsieme del machine learning, che è essenzialmente una rete neurale con tre o più livelli. Queste reti neurali tentano di simulare il funzionamento del cervello umano, anche se è lontano dall'eguagliare la sua capacità, permettendo al sistema di "imparare" da grandi quantità di dati. Se una rete neurale con un singolo livello è comunque in grado di fare previsioni approssimative, ulteriori livelli nascosti e profondi possono aiutare a ottimizzare la precisione. In pratica, l'apprendimento profondo si basa su diversi livelli di rappresentazione, corrispondenti a gerarchie di fattori o concetti, dove i concetti di alto livello sono definiti sulla base di quelli di basso. Per esempio, poniamo di avere un insieme di foto di diversi animali domestici e di volerle categorizzare per "gatto", "cane", "criceto" e così via. Gli algoritmi di deep learning sono in grado di determinare quali caratteristiche (le orecchie, per esempio) sono più importanti per distinguere un animale da un altro. Nel deep learning questa gerarchia di caratteristiche viene stabilita manualmente da un esperto umano (supervisione).

Quindi, attraverso i processi di discesa del gradiente (un algoritmo di ottimizzazione) e back-propagation (retro-propagazione a partire dall'errore, cioè dalla differenza tra il valore in uscita del sistema e quello desiderato), l'algoritmo di deep learning regola e migliora il proprio livello di precisione riuscendo a fare previsioni su una nuova foto di un animale.¹⁵

In pratica, il Deep Learning, il Machine Learning e le Reti Neurali Artificiali costituiscono dei sottoinsiemi dell'IA.

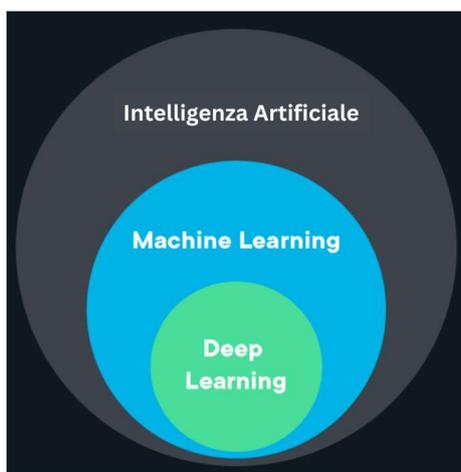


Figura 1. IA, Machine Learning, Deep Learning

¹⁴ IBM. *Cos'è il Deep Learning?*. <https://www.ibm.com/it-it/topics/deep-learning>

¹⁵ Jiang, Y., Li, X., Luo, H. *et al.* (2022). *“Quo vadis artificial intelligence?”*. <https://doi.org/10.1007/s44163-022-00022-8>

2.4 Lo stato attuale dell'IA

Nel panorama contemporaneo, l'Intelligenza Artificiale (IA) permea le vite quotidiane di milioni di persone con una penetrazione senza precedenti. Le tecnologie di IA sono ora onnipresenti, utilizzate in una vasta gamma di settori e applicazioni. Dai motori di ricerca che forniscono risposte istantanee alle domande complesse, alle app di assistenza virtuale che semplificano le attività quotidiane, l'IA è diventata un pilastro essenziale della vita moderna.

Gran parte delle attuali applicazioni di IA rientra nella categoria di Intelligenza Artificiale Stretta (ANI) o debole, progettate per compiti specifici e limitati. Questi sistemi eseguono funzioni predeterminate con una precisione e una velocità che superano spesso quelle umane. Ad esempio, i sistemi di navigazione GPS sui dispositivi mobili forniscono non solo indicazioni stradali, ma anche suggerimenti sul traffico in tempo reale e itinerari alternativi. I motori di ricerca analizzano enormi quantità di dati per restituire risultati pertinenti alle query che vengono poste dall'utente, mentre gli assistenti virtuali come Siri e Alexa aiutano le persone a gestire le loro attività quotidiane, dai promemoria agli appuntamenti.

Oltre ai compiti consumer-oriented, l'IA sta progressivamente trasformando il modo in cui le aziende operano. Dalle soluzioni di gestione del flusso di lavoro che ottimizzano le operazioni aziendali, alle analisi dei dati che informano ed influenzano le decisioni strategiche, l'IA sta sempre più diventando un prezioso alleato per migliorare l'efficienza e l'efficacia delle aziende. L'IA viene utilizzata anche per identificare schemi anomali o comportamenti sospetti, contribuendo a prevenire frodi e minacce alla sicurezza (cyber security).

La ricerca sull'IA è oggi in costante evoluzione, con importanti progressi che avvengono regolarmente in una vasta gamma di settori. Paesi come la Cina, gli Stati Uniti e l'Europa stanno investendo massicciamente nella ricerca e nello sviluppo dell'IA, con l'obiettivo di mantenere o raggiungere la leadership nel campo. Nuove tecniche e algoritmi vengono continuamente sviluppati, ampliando il potenziale dell'IA per risolvere problemi complessi e aprire nuove frontiere nell'innovazione.

In sintesi, l'Intelligenza Artificiale è oggi una realtà onnipresente e in continua evoluzione. Le sue applicazioni sono diffuse in molti aspetti della vita quotidiana e delle attività aziendali, offrendo nuove opportunità e sfide. Con il costante avanzamento della ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie, l'IA continuerà a giocare un ruolo sempre più significativo nel plasmare il futuro dell'umanità.

Ma in cosa consiste, più esattamente, l'IA? E attraverso quali sistemi, approcci e tecniche essa può essere implementata?

CAPITOLO 3 - SISTEMI E TECNOLOGIE DELL'IA

Il terzo capitolo si concentra sull'analisi dei sistemi e delle tecnologie dell'Intelligenza Artificiale (IA). Esplorando le definizioni fornite da esperti come Bernard Marr e aziende quali Accenture, vengono delineati i diversi obiettivi e livelli di utilizzo dell'IA, dalla replicazione del pensiero umano all'implementazione di IA specializzate per specifici compiti. Questo capitolo fornisce un quadro esauriente degli approcci e delle tecniche fondamentali dell'IA, inclusi il Machine Learning, il Machine Reasoning e la Robotica, oltre a esaminare le tecnologie emergenti identificate nel Gartner Hype Cycle, come la Cognitive Computing e la Blockchain. Infine, vengono esaminati i sistemi di IA, che vanno dai sistemi critici per la sicurezza ai sistemi adattivi e autonomi, evidenziando il ruolo cruciale che l'IA svolge in settori come la produzione o l'assistenza sanitaria.

3.1 I fondamenti concettuali dell'Intelligenza Artificiale: visioni e definizioni

Bernard Marr nel 2018 afferma - nel suo articolo di Forbes sulle possibili definizioni di IA - che gli obiettivi che si cerca di raggiungere con un sistema di IA sono al centro della sua stessa definizione e categorizzazione. In genere, "si investe nello sviluppo dell'IA per uno di questi tre obiettivi:

1. costruire sistemi che pensino esattamente come gli esseri umani ("IA forte");
2. ottenere che i sistemi funzionino senza capire come operi il ragionamento umano ("IA debole");
3. utilizzare il ragionamento umano come modello, ma non necessariamente come obiettivo finale".¹⁶

Accenture segue un approccio simile nel suo "ExplAIned - A guide for Executives"¹⁷, definendo quattro possibili livelli di utilizzo dell'IA, ovvero:

1. *IA debole*. Descrive il pensiero "simulato". È, cioè, un sistema che sembra comportarsi in modo intelligente, ma non ha alcun tipo di consapevolezza su ciò che sta facendo. Ad esempio, una chatbot (software che simula ed elabora le conversazioni umane, scritte o parlate, consentendo agli utenti di interagire con i dispositivi digitali) può sembrare che tenga una conversazione naturale, ma in realtà non si sa chi o perché stia parlando con l'utente.
2. *IA ristretta*. Descrive un'intelligenza artificiale che si limita a un singolo compito o a un numero prestabilito di compiti. Ad esempio, le capacità di Deep Blue di IBM, il

¹⁶ Marr B. (2018). *The Key Definitions of Artificial Intelligence (AI) That Explain Its Importance*. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/02/14/the-key-definitions-of-artificial-intelligence-ai-that-explain-its-importance/#27dfef874f5d>

¹⁷ Eitel-Porter R. (2018). *ExplAIned – A guide for Executives, Accenture Applied Intelligence Lead UKI*. <https://view.pagetiger.com/AI-Explained-A-Guide-for-Executives/2018>

computer che ha battuto il campione del mondo Gary Kasparov nel 1997, erano limitate al gioco degli scacchi. Non sarebbe stato in grado di vincere una partita, per esempio, a dama, e nemmeno di sapere come si gioca.

3. *IA forte*. Descrive il pensiero "reale". Cioè, si comporta in modo intelligente, pensando come un essere umano, con una mente cosciente e soggettiva. Ad esempio, quando due esseri umani conversano, molto probabilmente sanno esattamente chi sono, cosa stanno facendo e perché. Lo stesso accade quando si faccia uso di una "IA forte".
4. *IA generale*. Descrive un'intelligenza artificiale che può essere utilizzata per portare a termine un'ampia gamma di compiti in una vasta gamma di ambienti. In quanto tale, è molto più vicina all'intelligenza umana. Google DeepMind ha utilizzato il reinforcement learning (ovvero, l'apprendimento per rinforzo) per sviluppare un'IA che ha imparato a giocare a tutta una serie di giochi diversi che richiedono abilità diverse. L'IA ha raggiunto livelli di prestazioni simili a quelli umani in 29 videogiochi classici, utilizzando solo i pixel sullo schermo come input di dati.

Se quindi si può usare l'IA a diversi livelli, ciò significa che essa non è affatto una tecnologia a sé stante, ma piuttosto una combinazione di tecnologie diverse, tutte in rapida evoluzione, che messe insieme permettono alle macchine di agire con livelli di intelligenza apparentemente simili a quelli umani.

Si può quindi definire l'IA come una "costellazione di tecnologie organizzate in sistemi".

Questa visione dell'IA e la definizione data dal Gruppo Indipendente di Esperti di Alto Livello sull'Intelligenza Artificiale introducono le caratteristiche principali dell'Intelligenza Artificiale, ossia:

1. Approcci e tecniche
2. Tecnologie
3. Sistemi

3.2 Approcci e tecniche dell'IA

Come disciplina scientifica, l'IA comprende diversi approcci e tecniche, come il machine learning (di cui il deep learning e il reinforcement learning sono esempi specifici), il machine reasoning (che comprende la pianificazione, la programmazione, la rappresentazione e il ragionamento della conoscenza, la ricerca e l'ottimizzazione) e la robotica (che comprende il controllo, la percezione, i sensori e gli attuatori, nonché l'integrazione di tutte le altre tecniche nei sistemi cyber-fisici)¹⁸.

Di seguito ciascuno di questi approcci viene illustrato più nel dettaglio.

¹⁸ Gruppo Indipendente di Esperti di Alto Livello sull'Intelligenza Artificiale creato dalla Commissione Europea. (Aprile 2019). *A Definition of AI: Main Capabilities and Disciplines*. Commissione Europea, p.6

Machine Learning: Il machine learning è un sottoinsieme dell'intelligenza artificiale che si occupa dello sviluppo di algoritmi e tecniche che permettono ai computer di imparare dai dati e migliorare automaticamente le loro performance attraverso l'esperienza, senza essere esplicitamente programmati per svolgere specifici compiti. Queste tecniche consentono ai sistemi di intelligenza artificiale di risolvere problemi complessi legati a capacità di percezione, comprensione del linguaggio, previsione del comportamento e supporto decisionale. Il machine learning include l'apprendimento automatico, le reti neurali, l'apprendimento profondo, gli alberi decisionali e molte altre metodologie, permettendo ai computer di apprendere autonomamente e regolare le loro azioni senza l'intervento umano.

Machine Reasoning: Il machine reasoning per l'intelligenza artificiale si riferisce a un insieme di tecniche e algoritmi che permettono ai sistemi di AI di ragionare e prendere decisioni in modo autonomo. Queste tecniche consentono di effettuare ragionamenti (deduttivi, induttivi e abduttivi) sui dati provenienti dai sensori, trasformandoli in conoscenza (la cosiddetta "knowledge representation") e ragionando su di essi (knowledge reasoning), pianificando e programmando le attività, cercando e ottimizzando tra tutte le possibili soluzioni a problemi complessi. A differenza del machine learning, che si basa sull'apprendimento dai dati, il machine reasoning utilizza logica, regole e conoscenze predefinite per derivare conclusioni, risolvere problemi complessi, prendere decisioni sulle azioni da intraprendere e generare nuove informazioni a partire da quelle esistenti.

Robotics: definita anche come "IA in azione nel mondo fisico" o "embodied IA", la robotics per l'intelligenza artificiale si riferisce allo sviluppo e all'applicazione di algoritmi e tecniche di AI per progettare, costruire e controllare robot. Questa disciplina integra il machine learning, il machine reasoning, la percezione, la pianificazione, il controllo e l'ottimizzazione per permettere ai robot di interagire con l'ambiente, percepire e comprendere il mondo circostante, prendere decisioni autonome e compiere azioni fisiche. Un robot è infatti una macchina fisica che ha a che fare con un contesto fisico dinamico, incerto e complesso. Gli obiettivi della robotics per l'IA includono la realizzazione di robot capaci di eseguire compiti complessi, adattarsi a situazioni nuove e collaborare con gli esseri umani in vari contesti, dalla produzione industriale alla cura della salute, all'esplorazione spaziale e oltre.

Esempi di robot includono manipolatori robotici, veicoli autonomi (come automobili, droni e taxi volanti), robot umanoidi, aspirapolvere robotici e altro ancora. La manipolazione robotica intelligente, che coinvolge robot come la mano robotica "Soft Hand", sviluppata dall'Università di Pisa e dall'Istituto Italiano di Tecnologia di Genova, è particolarmente interessante per l'ingegneria robotica, l'industria e il settore medico. Questi sistemi utilizzano un'unica motricità per eseguire azioni simili a quelle della mano umana, adattandosi agli oggetti e fornendo soluzioni bioniche o protesiche per svolgere attività quotidiane.

3.3 Tecnologie di Intelligenza Artificiale

Nel Gartner Hype Cycle for Artificial Intelligence (2019) vengono identificate le tecnologie e le tecniche di riferimento per l'IA, distinguendo tra quelle più mature (come Cognitive Computer e Computer Vision) e quelle introdotte più recentemente (ad esempio AI Cloud Services, 5G, Cloud & Edge Computing, IoT, tecnologie di visione, Blockchain e AI Marketplaces).

Di seguito si provvede ad illustrarne alcune.

- *Cognitive Computing*: secondo la definizione di Bernard Marr¹⁹, il Cognitive Computing combina lo studio del cervello umano e del suo funzionamento - la cognitive science - e la computer science per simulare i processi di pensiero umani in un modello computerizzato. Utilizzando algoritmi di autoapprendimento che sfruttano il data mining, il riconoscimento dei modelli e l'elaborazione del linguaggio naturale, il computer può imitare il modo in cui funziona il cervello umano.

Un'altra definizione interessante è quella data da Dharmendra Modha: "La cognitive computing va ben oltre l'intelligenza artificiale e l'interazione uomo-macchina come la conosciamo: esplora i concetti di percezione, memoria, attenzione, linguaggio, intelligenza e coscienza".

In genere, nell'IA si crea un algoritmo per risolvere un problema particolare. La "cognitive computing" cerca un algoritmo universale per il cervello.

Tale algoritmo sarebbe in grado di risolvere una vasta gamma di problemi che hanno un impatto sulla vita privata delle persone, sulla sanità, sulle imprese e altro ancora²⁰.

- *Computer Vision*: come "sistemi in grado di identificare elementi, luoghi, oggetti o persone da immagini visive - quelle raccolte da una telecamera o da un sensore²¹". La computer vision ha e avrà diversi utilizzi, come il monitoraggio delle linee di produzione, l'impiego di telecamere a visione artificiale per rilevare prodotti difettosi o guasti alle apparecchiature, e telecamere di sicurezza per avvisare in caso di qualcosa di anomalo, senza la presenza umana.
- *5G*: quinta generazione di connettività Internet mobile che offre velocità di download e upload superveloci e connessioni più stabili con importanti implicazioni commerciali per le aziende in termini di abilitazione di macchine, robot e veicoli autonomi. Grazie a questo nuovo tipo di connessione, sono state sviluppate nuove potenzialità in termini di raccolta,

¹⁹ Marr B. (2016). *What Everyone Should Know About Cognitive Computing*.

<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/03/23/what-everyone-should-know-about-cognitive-computing/#645bfa995088>

²⁰ Roe C. (2014). *A Brief History of Cognitive Computing*. <https://www.dataversity.net/brief-history-cognitive-computing/>

²¹ Marr B. (2019). *The 7 Biggest Technology Trends In 2020 Everyone Must Get Ready For Now*.

<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/09/30/the-7-biggest-technology-trends-in-2020-everyone-must-get-ready-for-now/#7350158b2261>

trasferimento ed elaborazione dei dati, che hanno portato a progressi nell'area dell'Internet delle cose (IoT) e delle macchine intelligenti.

- *L'Edge Computing*: rappresenta un paradigma innovativo nell'ambito dell'elaborazione dei dati, mirato a spostare la capacità computazionale e lo storage più vicino alla fonte dei dati stessi. Questo approccio si distingue nettamente dal modello tradizionale, in cui i dati vengono inviati a grandi data center centralizzati per essere processati e archiviati. L'edge computing, invece, prevede che tali operazioni avvengano "al bordo" della rete, cioè vicino ai dispositivi che generano i dati, come sensori IoT, dispositivi mobili e vari endpoint.

L'edge, che può riferirsi a un server edge, al computer di un utente o a un dispositivo IoT, funziona come uno sportello bancomat. Ovunque ci si trovi, ce n'è sempre uno vicino che consente di prelevare i contanti in modo rapido, facile e prevedibile. L'elaborazione dei dati vicino alla posizione in cui si trovano utenti e dispositivi garantisce un accesso rapido e a bassa latenza da qualsiasi posizione, evitando esperienze spiacevoli agli utenti.

Uno dei principali vantaggi dell'edge computing risiede proprio nella riduzione della latenza, ovvero quel fastidioso periodo di attesa che intercorre fra l'accesso a un sito web e il caricamento della pagina corrispondente, oppure fra il tocco di un'app mobile e il completamento dell'azione richiesta. Poiché i dati vengono elaborati più vicino alla loro fonte, il tempo necessario per trasmetterli ai data center remoti e ricevere una risposta si riduce notevolmente. Questo è particolarmente cruciale per applicazioni che richiedono risposte in tempo reale, come i veicoli autonomi, la realtà aumentata e virtuale, e le operazioni di sorveglianza. Ad esempio, un'auto a guida autonoma deve prendere decisioni immediate basate sui dati dei sensori; un ritardo di pochi millisecondi può fare la differenza tra un viaggio sicuro e un incidente.

L'ottimizzazione della larghezza di banda è un altro beneficio significativo. In un contesto tradizionale, tutti i dati raccolti dai dispositivi IoT devono essere inviati ai data center per l'elaborazione, aumentando il carico di traffico sulla rete. Con l'edge computing, solo i dati essenziali vengono trasmessi, mentre le elaborazioni preliminari e meno critiche possono essere eseguite localmente. Questo non solo riduce il consumo di larghezza di banda, ma abbassa anche i costi associati alla trasmissione dei dati.

L'edge computing offre inoltre una maggiore resilienza e autonomia alle applicazioni. In situazioni in cui la connessione al data center centrale viene interrotta, le applicazioni che fanno uso dell'edge computing possono continuare a funzionare senza problemi, grazie alla capacità di elaborare dati localmente. Questa caratteristica è particolarmente utile in contesti critici, come nelle applicazioni sanitarie, dove i dispositivi medici connessi possono monitorare i pazienti in tempo reale e generare allarmi immediati senza dover dipendere da una connessione stabile al cloud.

Nonostante i numerosi vantaggi, l'adozione dell'edge computing comporta anche alcune sfide. La gestione della complessità operativa è una di queste. Coordinare e amministrare una vasta rete di dispositivi edge richiede infrastrutture robuste e competenze specializzate. Inoltre, la sicurezza rappresenta una preoccupazione primaria. Proteggere i dati e i dispositivi in un ambiente distribuito è più complesso rispetto a un singolo data center centralizzato. Le strategie di sicurezza devono essere avanzate e continuamente aggiornate per prevenire vulnerabilità e attacchi.

Infine, l'interoperabilità tra dispositivi e sistemi di diversi produttori può rappresentare un ostacolo. Garantire che tutti i componenti di una rete edge funzionino in sinergia senza problemi richiede standard comuni e soluzioni tecniche compatibili. La manutenzione e l'aggiornamento dei dispositivi edge, infine, possono risultare più onerosi rispetto a quelli centralizzati, necessitando di approcci innovativi per la gestione remota e l'automazione dei processi.

In conclusione, l'edge computing si configura come una soluzione potente e versatile per rispondere alle esigenze sempre più complesse delle moderne infrastrutture IT. La sua capacità di migliorare le prestazioni delle applicazioni, ottimizzare l'uso della larghezza di banda, e offrire maggiore resilienza e sicurezza, lo rende un elemento cruciale per il futuro delle tecnologie emergenti come l'IoT e le reti 5G. Tuttavia, per sfruttare appieno i suoi benefici, è necessario affrontare con successo le sfide legate alla gestione, sicurezza e interoperabilità.

- Il *cloud computing* è "l'erogazione di servizi informatici - tra cui server, storage, database, networking, software, analytics e intelligence - su Internet ("cloud") per offrire innovazione più rapida, risorse flessibili ed economie di scala²²". Il cloud computing offre numerosi vantaggi, quali: riduzione dei costi, produttività, prestazioni, velocità, affidabilità e sicurezza.
- L'*Internet of Things (IoT)* è - secondo la definizione di Jacob Morgan - "il concetto di collegare a Internet (e/o tra loro) qualsiasi dispositivo dotato di un interruttore on/off. Questo include tutto, dai telefoni cellulari, alle macchine per il caffè, alle lavatrici, alle cuffie, alle lampade, ai dispositivi indossabili e a quasi tutto ciò che si può pensare". Si tratta di una rete di oggetti fisici, "cose" che possono essere integrate con tecnologie, software e/o sensori, che aiutano a connettersi o a scambiare dati con altri dispositivi e/o sistemi via Internet e viceversa.
- La *blockchain* può essere definita come "un tipo di libro mastro distribuito, un elenco cronologico in espansione di record transazionali irrevocabili e firmati crittograficamente,

²² Microsoft Azure. *What is cloud computing?*. <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing/>

condiviso da tutti i partecipanti a una rete". Ciò consente a due (o più) parti che non si conoscono di scambiare valore senza la necessità di un'autorità centralizzata²³". L'uso più noto è quello della criptovaluta, ma può essere utilizzato per la tracciabilità dei prodotti, la loro certificazione, ecc.

3.4 Sistemi di intelligenza artificiale

I sistemi di intelligenza artificiale sono definiti dal gruppo di Esperti indipendenti di Alto Livello della Commissione Europea sull'IA come "qualsiasi componente, software e/o hardware basato sull'intelligenza artificiale". In effetti, di solito i sistemi di IA sono incorporati come componenti di sistemi più grandi, piuttosto che come sistemi autonomi. Come tali, percepiscono l'ambiente in cui il sistema è immerso attraverso alcuni sensori, quindi raccolgono e interpretano dati, ragionano su ciò che viene percepito o elaborano le informazioni derivate da questi dati, decidono quale sia l'azione migliore e agiscono di conseguenza, attraverso alcuni attuatori, modificando eventualmente l'ambiente. I sistemi di IA possono utilizzare regole simboliche o apprendere un modello numerico, e possono anche adattare il loro comportamento analizzando come l'ambiente è influenzato dalle loro azioni precedenti.

Analizzando l'uso dell'Intelligenza Artificiale nella produzione, i sistemi di interesse sono:

- *Sistemi critici per la sicurezza*: utilizzati per monitorare e ridurre i difetti di progettazione e gli errori di funzionamento, a supporto della procedura di certificazione. "I sistemi critici per la sicurezza sono quei sistemi il cui guasto potrebbe causare la perdita di vite umane, danni significativi alla proprietà o all'ambiente. Ci sono molti esempi noti in aree di applicazione come i dispositivi medici, il controllo degli aerei, le armi e i sistemi nucleari"²⁴.
- *I sistemi adattivi e autonomi*: combinano tecnologie avanzate per realizzare l'adattabilità (la capacità di migliorare le prestazioni imparando dall'esperienza) e l'autonomia (la capacità di eseguire compiti in ambienti complessi senza la guida costante di un utente). Questi sistemi consentono alle macchine "di sentire (percepire ed elaborare), comprendere (capire i modelli di riconoscimento), agire (intraprendere azioni basate sulla comprensione) e apprendere (ottimizzare le proprie prestazioni in base al successo o al fallimento di tali azioni), di prendere modelli comportamentali dall'esperienza passata dell'uomo e di agire di conseguenza senza avere il fattore umano delle circostanze che cambiano a causa di fattori esterni²⁵". Vengono utilizzati per migliorare l'efficienza della produzione grazie alla loro adattabilità alle mutevoli condizioni ambientali, alla

²³ Gartner. (2020). *Top 10 Strategic Technology Trends for 2020*. Gartner, p.11

²⁴ Knight J.C. (2002). *Safety critical systems: challenges and directions*. ICSE 2002

²⁵ Panerai F. (2018). *Artificial intelligence needs human ingenuity and moral*.

<https://medium.com/@FiPanerai/artificial-intelligence-needs-human-ingenuity-and-moral-a6f0bcad8ca0>

pianificazione autonoma e all'esecuzione di azioni adeguate a raggiungere l'obiettivo in tempo reale.

- I *sistemi di percezione avanzata* sono sistemi che non solo raccolgono dati, ma creano informazioni utilizzabili attraverso un processo attivo e adattivo per percepire, reagire, rispondere, adattarsi e prevedere gli eventi nell'ambiente. I sistemi di percezione avanzata combinano tecnologie di sensori, elaborazione del segnale, classificatori, filtri di stato e modelli ambientali per creare un rilevamento intelligente guidato dal contesto. I sistemi di percezione avanzata supportano le operazioni dei processi industriali con tecniche di ricerca all'avanguardia (DSP o digital signal processing, visione, controllo predittivo del modello, ecc.).
- I *sistemi diagnostici e predittivi* combinano il potenziale dell'analitica diagnostica ("processo di raccolta e interpretazione di diverse serie di dati per identificare anomalie, rilevare modelli e determinare relazioni²⁶") e dell'analitica predittiva (ovvero "l'uso di variabili descrittive e predittive del passato per analizzare e identificare la probabilità di un risultato futuro sconosciuto") per ridurre i tempi di fermo e migliorare l'efficienza della produzione grazie a piattaforme integrate utili all'analisi dei big data per la diagnosi, la prognosi e la manutenzione predittiva.²⁷

²⁶ Wilson E. (2020). *The Differences Between Descriptive, Diagnostic, Predictive & Cognitive Analytics*. <https://demand-planning.com/2020/01/20/the-differences-between-descriptive-diagnostic-predictive-cognitive-analytics/>

²⁷ Bécue A., Praça I., Gama J. (2021). *Artificial intelligence, cyber-threats and Industry 4.0: challenges and opportunities*. Springer.

CAPITOLO 4 - APPLICAZIONI DELLA IA

L'intelligenza artificiale è diventata una forza motrice trasformativa nel mondo contemporaneo, permeando molteplici settori e influenzando le vite quotidiane delle persone in modi spesso impercettibili ma profondamente significativi.

I rapidi progressi nelle capacità dell'intelligenza artificiale hanno reso possibile il suo utilizzo e applicazione in un'ampia gamma di settori. Basti pensare che, per esempio, quando si prenota un volo, spesso è un'intelligenza artificiale, e non più un essere umano, a decidere quanto si paga. Quando si arriva all'aeroporto, è un sistema di intelligenza artificiale a monitorare ciò che si fa in aeroporto. Una volta saliti sull'aereo, è sempre un sistema di IA ad assistere il pilota nel condurre l'aeromobile.

L'intelligenza artificiale non è più una tecnologia del futuro: l'IA è ormai assolutamente attuale, e molto di ciò che è realtà oggi sarebbe sembrato fantascienza solo poco tempo fa.

È opportuno quindi soffermarsi su alcuni dei principali settori in cui l'IA trova applicazione, in particolare quelli dell'agricoltura, della sanità e dell'industria manifatturiera.

4.1 L'IA nel settore dell'agricoltura

Dal 1974 la popolazione è raddoppiata e oggi sono 8 miliardi gli esseri umani che vivono su questo pianeta. Sebbene la crescita della popolazione sia rallentata, al ritmo attuale si dovrebbero raggiungere i 10 miliardi tra 20 anni.

Ma cosa serve per nutrire tutte queste persone?

In media, una persona ha bisogno di 2000 calorie al giorno per mantenere uno stile di vita sano. Il mondo si trova quindi di fronte a una sfida enorme: la crescita della popolazione richiede una maggiore produzione di cibo, mentre i cambiamenti climatici aumentano la pressione sulla produzione agricola e sulle risorse idriche.

La domanda di generi alimentari è infatti in aumento, mentre l'offerta deve far fronte a vincoli nei fattori di produzione della terra e dell'agricoltura. La crescita della popolazione mondiale richiederà un corrispondente aumento del 70% delle calorie disponibili per il consumo, anche se il costo degli input necessari per generare quelle calorie sta già aumentando. Entro il 2030, l'approvvigionamento idrico cadrà del 40 per cento, aggravando il problema del soddisfacimento del fabbisogno idrico globale.

L'aumento dell'energia, del lavoro e dei costi dei nutrienti incidono inoltre in modo significativo sui margini di profitto degli agricoltori. Per di più, circa un quarto dei terreni arabili è degradato e ha bisogno di interventi urgenti prima di poter nuovamente sostenere le colture su scala.²⁸

E poi ci sono crescenti pressioni ambientali, come il cambiamento climatico e l'impatto economico di eventi meteorologici catastrofici, e le pressioni sociali, tra cui la spinta per pratiche agricole più etiche e sostenibili, come gli standard più elevati per il benessere degli animali e l'uso ridotto di prodotti chimici e acqua.

Per sopravvivere oggi gli agricoltori devono essere quindi esperti, tra l'altro, di fertilizzanti e terreni, insetticidi specifici per le diverse colture, cicli di semina e irrigazione e impatto del tempo. A ciò si aggiunge, per esempio, il seguente dato: i parassiti, da soli, distruggono fino al 40% dei raccolti mondiali ogni anno e gli agricoltori devono produrre più cibo utilizzando meno energia e acqua.

A causa dell'urbanizzazione, dei problemi di immigrazione e del passaggio generazionale, inoltre, da anni si registra una carenza di manodopera agricola a livello globale, il che significa che anche gli agricoltori devono ridurre la loro dipendenza dalla forza lavoro.²⁹

È necessario, pertanto, un forte adattamento e sviluppo del settore agricolo.

A tal proposito, il settore agricolo si è già radicalmente trasformato negli ultimi 50 anni. I progressi nei macchinari hanno ampliato la scala, la velocità e la produttività delle attrezzature agricole, portando a una coltivazione più efficiente di una maggiore quantità di terreno. Anche i semi, l'irrigazione e i fertilizzanti sono notevolmente migliorati, aiutando gli agricoltori ad aumentare i raccolti.

Ora, l'agricoltura è nelle prime fasi di una nuova grande rivoluzione, al cui centro ci sono dati e connettività. L'intelligenza artificiale, l'analisi, i sensori interconnessi e altre tecnologie emergenti potrebbero aumentare ulteriormente i rendimenti, migliorare l'efficienza dell'acqua e di altri input, e generare più sostenibilità e resilienza nella coltivazione agricola, oltre che nell'allevamento di animali.

Senza una solida infrastruttura di connettività, tuttavia, nulla di tutto questo è possibile. Se la connettività viene implementata con successo in agricoltura, l'industria potrebbe realizzare \$500 miliardi di valore aggiunto al prodotto interno lordo globale entro il 2030, secondo una recente

²⁸ Goedde L., Katz J., Ménard A., Revellat J. (2020). *Agriculture's connected future: How technology can yield new growth*. <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agricultures-connected-future-how-technology-can-lead-new-growth>

²⁹ Gonzalez W. (2023). *How AI Is Cropping Up In The Agriculture Industry*.

<https://www.forbes.com/sites/forbesbusinesscouncil/2023/02/02/how-ai-is-cropping-up-in-the-agriculture-industry/>

ricerca. Ciò rappresenterebbe un miglioramento del 7-9% rispetto al totale previsto e allevierebbe gran parte dell'attuale pressione sugli agricoltori. Quello della agricoltura, infatti, è uno dei pochi settori che, alimentato da connettività avanzata, contribuirebbe ad un valore aggiuntivo al PIL globale da \$2 fino a \$3 trilioni di dollari.

Per affrontare tutte queste problematiche, l'agricoltura deve quindi adottare una trasformazione digitale resa possibile dalla connettività.

Eppure, l'agricoltura rimane meno digitalizzata rispetto a molti altri settori a livello globale.

I progressi passati erano per lo più meccanici, sotto forma di macchinari più potenti ed efficienti, e genetici, sotto forma di semi e fertilizzanti più produttivi. Ora sono necessari strumenti digitali molto più sofisticati per garantire il prossimo salto di produttività. Alcuni già esistono per aiutare gli agricoltori a utilizzare le risorse in modo più efficiente e sostenibile, mentre altri sono in fase di sviluppo. Queste nuove tecnologie possono migliorare il processo decisionale, consentendo una migliore gestione del rischio e della variabilità per ottimizzare i rendimenti e migliorare l'economia. Impiegati nella zootecnia, possono migliorare il benessere del bestiame, affrontando le crescenti preoccupazioni sul benessere degli animali.

Si viene così a delineare un nuovo concetto, l'”Agritech”. Con questo termine ci si riferisce all'uso delle innovazioni tecnologiche in agricoltura per aumentarne la resa, l'efficienza e la redditività. Ciò include l'utilizzo della tecnologia per ottenere, ad esempio, una semina più veloce, colture modificate che crescano bene in ambienti diversi e facilitazioni nella raccolta. Di grande utilità può rivelarsi l'uso di robot, big data, AI o qualsiasi metodo necessario per risolvere le sfide che il settore agricolo deve affrontare.

Diversi sono gli esempi di metodi o servizi Agritech che potrebbero essere utilizzati.

- *IoT e Crop Monitoring.* La connettività offre una varietà di modi per migliorare l'osservazione e la cura delle colture. L'integrazione dei dati meteorologici, dell'irrigazione, dei nutrienti e di altri sistemi potrebbe migliorare l'uso delle risorse e aumentare i rendimenti, identificando e prevedendo con maggiore precisione le eventuali carenze. Ad esempio, i sensori utilizzati per monitorare le condizioni del suolo potrebbero comunicare, indirizzando gli irrigatori per regolare l'applicazione di acqua e nutrienti. I sensori potrebbero anche fornire immagini da angoli remoti dei campi per aiutare gli agricoltori a prendere decisioni più informate e tempestive, e ottenere avvisi tempestivi di problemi come malattie o parassiti.

Un monitoraggio intelligente potrebbe anche aiutare gli agricoltori a ottimizzare il periodo di raccolta; un esempio è il monitoraggio delle colture per le caratteristiche di qualità, in cui l'analisi del contenuto di zucchero e del colore della frutta potrebbe aiutare gli agricoltori a massimizzare le loro colture e le relative entrate.

La maggior parte delle reti IoT oggi non supporta il trasferimento di immagini tra dispositivi, tantomeno l'analisi autonoma delle immagini, né può supportare un numero di dispositivi e una densità sufficientemente elevati per monitorare campi di grandi dimensioni con precisione.

Internet of Things a banda stretta (NB-IoT) e 5G promettono di risolvere questi problemi di larghezza di banda e densità di connessione. L'uso di connessioni più fluide tra suolo, attrezzature agricole e gestori di fattorie potrebbe produrre da 130 miliardi a 175 miliardi di dollari di valore entro il 2030.

- *Monitoraggio del bestiame.* Prevenire i focolai di malattia e individuare gli animali in difficoltà è fondamentale nella gestione del bestiame su larga scala, dove la maggior parte degli animali vengono allevati in ambienti ristretti, in un regime che garantisce che si muovano facilmente attraverso un sistema di elaborazione altamente automatizzato.

I chip e i sensori del corpo che misurano la temperatura, il polso e la pressione sanguigna, tra gli altri indicatori, potrebbero rilevare le malattie precocemente, prevenendo l'infezione della mandria e migliorando la qualità del cibo. Gli agricoltori stanno già utilizzando la tecnologia del marchio auricolare di fornitori come Smartbow per monitorare il calore, la salute e l'ubicazione delle vacche, o la tecnologia di aziende come Allflex per implementare un tracciamento elettronico completo in caso di focolai di malattia.

Analogamente, i sensori ambientali potrebbero innescare regolazioni automatiche della ventilazione o del riscaldamento nelle stalle, riducendo i disagi e migliorando le condizioni di vita che sempre più preoccupano i consumatori.

- *Precision Farming.* Chiamato anche Site Specific Crop Management (SSCM), sfrutta immagini satellitari o droni per ottimizzare le strategie e l'efficienza delle colture. Con la capacità di rilevare colture e mandrie su vaste aree in modo rapido ed efficiente, o come sistema per trasferire dati in tempo reale ad altre apparecchiature e installazioni connesse, i droni potrebbero anche usare la computer vision per analizzare le condizioni sul campo e fornire interventi precisi come fertilizzanti, nutrienti e pesticidi dove le colture più ne hanno bisogno. Oppure potrebbero piantare semi in località remote, riducendo i costi delle attrezzature e della forza lavoro. È stato stimato che l'uso di droni potrebbe generare tra 85 miliardi e 115 miliardi di dollari di valore.
- *Macchine agricole autonome.* Controlli GPS più precisi abbinati a visione computerizzata e sensori potrebbero far progredire l'implementazione di macchinari agricoli intelligenti e autonomi. Gli agricoltori potrebbero utilizzare una varietà di attrezzature sul loro campo contemporaneamente e senza intervento umano, liberando tempo e altre risorse. Le macchine autonome sono anche più efficienti e precise nel lavorare un campo rispetto a quelle gestite dall'uomo, e potrebbero dunque generare risparmi di carburante e rendimenti più elevati.

Aumentare l'autonomia dei macchinari attraverso una migliore connettività potrebbe creare da 50 a 60 miliardi di dollari di valore aggiunto entro il 2030.³⁰

- *Gestione degli edifici e delle attrezzature.* Chip e sensori per monitorare e misurare i livelli di silos e magazzini potrebbero innescare un riordino automatico, riducendo i costi di inventario per gli agricoltori, molti dei quali utilizzano già tali sistemi da aziende come Blue Level Technologies. Strumenti simili potrebbero anche ridurre le perdite post-raccolta, ottimizzando automaticamente le condizioni di stoccaggio. Anche il monitoraggio delle condizioni e dell'utilizzo di edifici e attrezzature può ridurre il consumo energetico. La visione computerizzata e i sensori collegati alle apparecchiature e ai sistemi di manutenzione predittiva potrebbero ridurre i costi di riparazione ed estendere la durata delle macchine e delle attrezzature, con risparmi veramente notevoli.

Con la digitalizzazione del settore agricolo, molti nuovi vantaggi diventeranno evidenti. Basti pensare ai fornitori di input che vendono sementi, nutrienti, pesticidi e attrezzature e che hanno sempre svolto un ruolo importante, dati i loro stretti legami con gli agricoltori, la loro conoscenza dell'agronomia e la loro esperienza nell'innovazione. Ad esempio, uno dei più grandi distributori di fertilizzanti al mondo oggi offre sia agenti fertilizzanti che software, i quali analizzano i dati sul campo per aiutare gli agricoltori a determinare dove applicare i loro fertilizzanti e in quale quantità. Analogamente, un produttore di apparecchiature di grandi dimensioni sta sviluppando controlli di precisione che utilizzano le immagini satellitari e le connessioni veicolo-veicolo per migliorare l'efficienza delle apparecchiature sul campo.³¹

Negli ultimi anni, molti agricoltori hanno iniziato a consultare dati su variabili essenziali come il suolo, le colture, il bestiame e il tempo. Eppure, pochi hanno avuto accesso a strumenti digitali avanzati che potrebbero aiutare a trasformare questi dati in preziose informazioni. Anche negli Stati Uniti, un Paese pioniere nella connettività, solo circa un quarto delle aziende agricole attualmente utilizzano qualsiasi apparecchiatura o dispositivi connessi per accedere ai dati. Inoltre, le reti a disposizione possono supportare solo un numero limitato di dispositivi e mancano delle prestazioni per il trasferimento dei dati in tempo reale.

L'industria agricola si trova oggi, quindi, ad affrontare due ostacoli significativi. Alcune aree del mondo non dispongono delle necessarie infrastrutture di connettività, rendendone urgente lo sviluppo. In quelle aree che invece dispongono già di un'infrastruttura di connettività, le aziende

³⁰ Sivakumar B. (2023). *What Is Agritech? – Use Cases, Examples, & Future.*

<https://www.feedough.com/what-is-agritech/#:~:text=Agritech%20is%20the%20term%20referring%20to%20the%20use,agriculture%20to%20increase%20its%20yield%2C%20efficiency%2C%20and%20profitability>

³¹ EIT Digital. (2020). *“Overview on maturity of AI innovations in manufacturing”*.

https://eit.europa.eu/sites/default/files/overview_on_maturity_of_ai_innovations_in_manufacturing_20529-d11.pdf

agricole sono state lente a implementare strumenti digitali perché il loro impatto positivo non è stato ancora sufficientemente dimostrato.

La sfida che l'industria si trova ad affrontare è quindi duplice: in certi luoghi occorre sviluppare le infrastrutture per consentire l'uso della connettività nell'agricoltura e, laddove già esiste la connettività, è necessario elaborare business-case forti per adottare soluzioni adeguate.

La buona notizia è che la copertura di connettività è in aumento quasi ovunque. Entro il 2030, ci si aspetta che infrastrutture di connettività avanzate di vario tipo coprano circa l'80 per cento delle aree rurali del mondo, con la sola eccezione dell'Africa dove solo un quarto del territorio sarà coperto. La chiave, quindi, è sviluppare strumenti digitali sempre più efficaci per l'industria agricola e favorirne un'ampia diffusione.

Tutti questi progressi tecnologici richiederanno ai principali attori del settore una grande capacità di collaborazione come aspetto essenziale del fare business. Ad esempio, i dati raccolti dai trattori autonomi dovrebbero fluire verso i dispositivi di controllo dell'irrigazione, che a loro volta dovrebbero essere in grado di utilizzare i dati delle stazioni meteorologiche per ottimizzare i piani di irrigazione.

Gli operatori agricoli in grado di sviluppare partnership con le telecomunicazioni acquisiranno una posizione significativa nel nuovo ecosistema agricolo connesso e saranno in grado di procurarsi hardware di connettività in modo più facile e a prezzi accessibili.

L'agricoltura, una delle industrie più antiche del mondo, si trova ad un bivio tecnologico che richiede notevoli investimenti in infrastrutture e un riallineamento dei ruoli tradizionali. È un'impresa enorme, con più di 500 miliardi di dollari in gioco. Il successo e la sostenibilità di una delle industrie più antiche del pianeta potrebbero dipendere da questa trasformazione tecnologica, e quelli che la realizzeranno fin dall'inizio potrebbero essere nella posizione migliore per prosperare nel futuro di un'agricoltura sempre più guidata dalla connettività.

4.2 L'IA nel settore sanitario

Nonostante i numerosi problemi e difficoltà, la sanità si è caratterizzata per un costante progresso, specialmente nell'epoca moderna. La scienza medica è migliorata rapidamente, incrementando l'aspettativa di vita delle persone di tutto il mondo.

Con l'aumentare della longevità, tuttavia, i sistemi sanitari affrontano una crescente domanda di servizi e di costi associati, a fronte di una forza lavoro che non sempre riesce a soddisfare le esigenze dei suoi pazienti.

La domanda è condizionata da una combinazione di fattori: l'invecchiamento della popolazione, il cambiamento delle aspettative e degli stili di vita dei pazienti, e il ciclo continuo di trasformazione e riorganizzazione della società, per citarne solo alcuni. In particolare, le implicazioni derivanti da una popolazione che invecchia sempre di più si distinguono maggiormente dalle altre. Entro il 2050, una persona su quattro in Europa e in Nord America avrà più di 65 anni, il che significa che i sistemi sanitari dovranno affrontare un maggior numero di pazienti con bisogni complessi. La gestione di tali pazienti è costosa e richiede che i sistemi si spostino da una filosofia basata sull'assistenza episodica a una più proattiva e focalizzata sulla gestione dell'assistenza a lungo termine.

La spesa sanitaria, però, non sta tenendo il passo. Senza grandi cambiamenti strutturali e di trasformazione, i sistemi sanitari faticeranno a rimanere sostenibili.

Anche i sistemi sanitari, infatti, hanno bisogno di una forza lavoro più numerosa; ma sebbene l'economia globale potrebbe creare 40 milioni di nuovi posti di lavoro nel settore sanitario entro il 2030, si prevede ancora un deficit di 9,9 milioni di medici, infermieri e ostetriche a livello globale nello stesso periodo, secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità.³²

Non è quindi necessario solo attrarre, formare e trattenere più professionisti della sanità, ma bisogna anche garantire che il loro tempo sia utilizzato in modo più proficuo per i pazienti.

Basandosi sull'automazione, l'intelligenza artificiale (IA) ha il potenziale necessario per rivoluzionare l'assistenza sanitaria e affrontare alcune delle sfide sopra descritte.

L'IA può portare a migliori risultati di cura e all'aumento della produttività e dell'efficienza del settore sanitario. Può anche migliorare la vita quotidiana degli operatori sanitari, consentendo loro di dedicare più tempo alla cura dei pazienti. Si possono anche ottenere trattamenti salvavita più veloci e meno costosi.

Allo stesso tempo, però, sono state sollevate domande sull'impatto che l'IA potrebbe avere su pazienti, professionisti e sistemi sanitari, e sui suoi potenziali rischi; a questo proposito, ci sono dibattiti etici su come l'IA e i dati che la sostengono dovrebbero essere utilizzati.

³² Spatharou A. (2020). *Transforming healthcare with AI: The impact on the workforce and organizations*. <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare/our-insights/transforming-healthcare-with-ai>

Di seguito vengono analizzati alcuni esempi dei vari campi di applicazione dell'IA al settore sanitario, e di come essa potrebbe essere utilizzata a beneficio del personale e dei pazienti.

- *Flusso di lavoro amministrativo*: gli operatori sanitari trascorrono molto tempo compilando documenti, cartelle cliniche e svolgendo altre attività amministrative. L'intelligenza artificiale e l'automazione possono contribuire a svolgere molti di questi compiti banali, liberando il tempo dei dipendenti per altre attività e per un contatto più costante e diretto con i pazienti. Ad esempio, l'IA generativa può aiutare i medici a prendere appunti e riassumere i contenuti, consentendo di mantenere le cartelle cliniche aggiornate e precise. L'intelligenza artificiale potrebbe anche semplificare la codifica accurata, la condivisione di informazioni tra vari dipartimenti e la fatturazione dei servizi erogati.
- *Assistenti infermieristici virtuali*: uno studio ha rilevato che il 64% dei pazienti è a suo agio con l'uso dell'IA per l'accesso 24 ore su 24 alle risposte che forniscono gli infermieri di supporto. Gli assistenti infermieri virtuali dell'IA, che sono chatbot, app o altre interfacce basate sull'IA, possono essere utilizzati per rispondere a domande su farmaci, inoltrare rapporti a medici o chirurghi, e aiutare i pazienti a pianificare una visita con un medico. Lo svolgimento di tali tipi di attività di routine da parte di una IA contribuirebbe a sgravare il lavoro del personale clinico, che potrebbe così dedicare più tempo alla cura diretta del paziente, dove il giudizio umano e l'interazione contano di più.
- *Riduzione dell'errore di dosaggio*: l'IA potrebbe essere utilizzata per aiutare a identificare gli errori nel modo in cui un paziente si auto-somministra i farmaci. Un esempio viene da uno studio che ha rilevato che fino al 70% dei pazienti non prende l'insulina come prescritto. Uno strumento alimentato dall'IA (molto simile a un router Wi-Fi) potrebbe essere quindi utilizzato per segnalare gli errori nel modo in cui il paziente si auto-somministra dei farmaci, come una dose di insulina o l'uso di un inalatore.
- *Interventi chirurgici meno invasivi*: i robot abilitati all'IA possono essere utilizzati (e in molti casi lo sono già) per aggirare organi e tessuti sensibili, per ridurre la perdita di sangue, il rischio di infezione e il dolore post-operatorio, velocizzando il percorso di guarigione del paziente.
- *Prevenzione delle frodi*: La frode nel settore sanitario è enorme, stimata in circa 380 miliardi di dollari all'anno, e contribuisce a provocare l'aumento del costo dei trattamenti medici e delle spese per le visite. L'implementazione dell'IA può aiutare a riconoscere modelli insoliti o sospetti nei reclami assicurativi, come la fatturazione per servizi costosi o procedure non eseguite, la disaggregazione (che è la fatturazione per le singole fasi di

una procedura come se fossero procedure separate) e l'esecuzione di test inutili per usufruire dei pagamenti assicurativi.

A tali esempi di applicazione dell'IA nel settore sanitario, si potrebbero ancora aggiungere:

- *Il miglioramento dell'esperienza sanitaria da parte del paziente:* uno studio recente ha rilevato che l'83% dei pazienti riferisce che la scarsa comunicazione è la parte peggiore della loro esperienza, dimostrando quindi la necessità di una interazione più chiara tra pazienti e personale sanitario. Le tecnologie dell'IA come l'elaborazione del linguaggio naturale (NLP), l'analisi predittiva e il riconoscimento vocale potrebbero aiutare i fornitori di servizi sanitari ad avere una comunicazione più efficace con i pazienti. L'IA potrebbe, ad esempio, fornire informazioni più specifiche sulle opzioni di trattamento di un paziente, consentendo all'operatore sanitario di avere conversazioni più significative per un processo decisionale condiviso.

- *L'aumento dell'efficienza nelle diagnosi sanitarie:* secondo la School of Public Health di Harvard, anche se è presto per questo uso, l'utilizzo dell'IA per fare diagnosi può ridurre i costi di trattamento fino al 50% e migliorare i risultati di salute del 40%.

Un esempio di caso d'uso è quello dell'Università delle Hawaii, dove un team di ricerca ha scoperto che l'implementazione della tecnologia IA del deep learning può migliorare la previsione del rischio di cancro al seno. Sono necessarie ulteriori ricerche, ma il team di responsabili ha sottolineato che un algoritmo di IA, a differenze di un radiologo, può essere addestrato su un insieme molto più grande di immagini, fino a un milione o più. Inoltre, tale algoritmo può essere replicato senza alcun costo, fatta eccezione per l'hardware.

A ciò si può aggiungere un ulteriore caso d'uso. Un gruppo del MIT ha sviluppato un algoritmo di Machine Learning per determinare quando è necessario l'intervento di un esperto umano. In alcuni casi, come l'identificazione di una cardiomegalia (aumento delle dimensioni del cuore) tramite i raggi X del torace, si è determinato che un sistema ibrido uomo-AI produce i migliori risultati.

Un altro studio pubblicato ha sancito che i sistemi di IA sono in grado di riconoscere il cancro della pelle molto meglio di tanti medici esperti. Ricercatori statunitensi, tedeschi e francesi hanno utilizzato il deep learning su oltre 100.000 immagini per identificarlo. Confrontando i risultati dell'IA con quelli di 58 dermatologi internazionali, hanno scoperto che la prima opera meglio.³³

³³ IBM Education. (2023). *The benefits of AI in healthcare*. <https://www.ibm.com/think/insights/ai-healthcare-benefits>

- *Il miglioramento nel monitoraggio sanitario e nello sviluppo di un'assistenza preventiva:* Man mano che i monitor per la salute e il fitness diventano più popolari e sempre più persone utilizzano app che monitorano e analizzano i dettagli sulla loro salute, si può pensare di condividere questi set di dati in tempo reale con i rispettivi medici, in modo così da tenere sotto controllo eventuali problemi di salute, ricevendo avvisi in caso di necessità.

Le soluzioni di intelligenza artificiale, come le applicazioni di big data, gli algoritmi di machine learning e di deep learning, potrebbero anche essere utilizzate per aiutare gli esseri umani ad analizzare grandi set di dati, per assistere nel processo decisionale clinico e di altro tipo. L'IA potrebbe anche essere utilizzata per individuare e monitorare le malattie infettive, come il COVID-19, la tubercolosi e la malaria.

- *Il collegamento dei dati sanitari disparati:* un vantaggio che l'uso dell'IA porta ai sistemi sanitari è quello di facilitare la raccolta e la condivisione delle informazioni, aiutando a tenere traccia dei dati dei pazienti in modo più efficiente.

Un esempio di applicazione è quello che riguarda il diabete. Secondo i Centers for Disease Control and Prevention, il 10% della popolazione statunitense ha il diabete. I pazienti possono oggi utilizzare dispositivi di monitoraggio indossabili e altri che forniscono riscontri sui loro livelli di glucosio, a sé stessi e al loro team medico. L'IA può aiutare i provider a raccogliere tali informazioni, archiviarle e analizzarle, e fornire informazioni basate sui dati di un gran numero di persone. Sfruttare queste informazioni può aiutare gli operatori sanitari a determinare come trattare e gestire meglio le malattie.

- *L'aumento della sicurezza sanitaria:* le organizzazioni stanno iniziando a utilizzare l'IA per contribuire a migliorare la sicurezza dei farmaci. L'azienda Selta Square, ad esempio, sta innovando il processo di farmacovigilanza (PV), una disciplina giuridicamente obbligatoria per individuare e segnalare gli effetti negativi dei farmaci, valutando e prevenendo tali effetti. A tale scopo, l'azienda utilizza una combinazione di IA e automazione per rendere il processo di farmacovigilanza più veloce e preciso, aiutando così a rendere i farmaci più sicuri per le persone in tutto il mondo.

- *La riduzione dei costi:* in alcuni casi, l'intelligenza artificiale potrebbe ridurre la necessità di testare fisicamente potenziali composti farmaceutici, il che si traduce in un enorme risparmio sui costi. Le simulazioni molecolari ad alta fedeltà possono essere eseguite sui computer senza incorrere nei costi elevati dei metodi di scoperta tradizionali.

- *Lo sviluppo della ricerca:* l'intelligenza artificiale ha il potenziale per aiutare gli esseri umani a prevedere la tossicità, la bio-attività e altre caratteristiche delle molecole oppure per creare da zero molecole farmaceutiche precedentemente sconosciute.³⁴

4.2.1 Casi di applicazione dell'intelligenza artificiale nel settore sanitario

Di seguito vengono presentati due ambiti di applicazione concreta dell'IA al settore sanitario, quello dell'assistenza diagnostica e quello delle attività di assistenza infermieristica e manageriale.

Assistenza diagnostica

Come illustrato in precedenza, l'applicazione dell'IA al settore sanitario potrebbe facilitare la diagnosi di pazienti con malattie specifiche.

È stato valutato che, ad oggi, gli errori diagnostici rappresentano il 60% di tutti gli errori medici, corrispondenti a un numero di decessi annui nei soli ospedali statunitensi da 40.000 a 80.000. Pertanto, l'uso di tecnologie basate sull'intelligenza artificiale può aiutare realmente a ridurre gli errori commessi dal giudizio umano.

Diversi sono gli esempi di realtà ospedaliere che hanno già applicato l'IA all'assistenza diagnostica ottenendo risultati soddisfacenti. Tra questi si può citare, per esempio, La Mayo Clinic, una delle principali organizzazioni sanitarie negli Stati Uniti nota per la sua innovazione nella cura dei pazienti e nella tecnologia sanitaria. Tale struttura ha per esempio utilizzato l'intelligenza artificiale per lo screening del cancro cervicale, per identificare i cambiamenti precancerosi nella cervice di una donna. La soluzione basata sull'intelligenza artificiale utilizza un algoritmo che impiega oltre 60.000 immagini cervicali del National Cancer Institute per identificare i segni precancerosi. I ricercatori hanno riferito che l'algoritmo funziona con un tasso di precisione molto più elevato (91%) rispetto a un esperto umano addestrato (69%).

Un ulteriore esempio è rappresentato dal Moorfields Eye Hospital di Londra, un ospedale specializzato della National Health Service Foundation (NHSF), che ha annunciato una soluzione AI per identificare i segni delle malattie degli occhi con la stessa efficacia di medici ed esperti leader a livello mondiale. La soluzione basata sull'intelligenza artificiale ha assimilato i dati raccolti da oltre 15.000 pazienti britannici, consentendo all'algoritmo di individuare le malattie degli occhi. L'ospedale ha annunciato che il sistema basato sull'intelligenza artificiale ha fornito "la corretta decisione di riferimento per oltre 50 malattie oculari con una precisione del 94%,

³⁴ IBM Education. (2023). *The benefits of AI in healthcare*. <https://www.ibm.com/think/insights/ai-healthcare-benefits>

confrontandosi con gli esperti oculistici leader a livello mondiale”. Ciò significa che l’assistenza della tecnologia basata sull’intelligenza artificiale può ridurre drasticamente i tempi diagnostici.³⁵

Assistenza infermieristica e manageriale

Come è ampiamente noto, il personale sanitario è spesso inondato di molte pratiche burocratiche nel processo di cura. Questo carico di lavoro ha spinto il settore a passare a sistemi elettronici che integrano e digitalizzano le cartelle cliniche, aiutati dalla tecnologia basata sull’intelligenza artificiale. Inoltre, l’uso delle chatbot è stato identificato come uno strumento potenzialmente efficace per avviare conversazioni con pazienti e familiari negli ospedali.

La Cleveland Clinic, un centro medico accademico multispecialistico senza scopo di lucro con sede a Cleveland, Ohio, ha iniziato, per esempio, a utilizzare l’assistente digitale AI di Microsoft Cortana nel 2016 per “identificare i pazienti potenziali a rischio sottoposti a cure in terapia intensiva” attraverso analisi predittive e avanzate. Cortana è integrata nel sistema e-Hospital della Cleveland Clinic e monitora “100 letti in 6 unità di terapia intensiva” dalle 19:00 alle 7 del mattino.

Inoltre, un sistema assistito dall’intelligenza artificiale del Centro medico dell’Università di Pittsburgh può anche ascoltare e imparare dalle conversazioni tra medici e pazienti nelle stanze d’ospedale.

Non per ultimo, nel marzo 2016, il Johns Hopkins University Hospital, un centro medico accademico senza scopo di lucro a Baltimora, nel Maryland, ha annunciato una collaborazione con i partner sanitari di GE HealthCare (azienda leader a livello mondiale nell’innovazione della tecnologia medica, della diagnostica farmaceutica e delle soluzioni digitali) per utilizzare l’analisi predittiva basata su tecnologie di intelligenza artificiale e favorire così un flusso operativo più efficiente. Il centro di comando del Johns Hopkins Hospital riceve “500 messaggi al minuto e integra i dati di 14 diversi sistemi IT su 22 monitor di computer ad alta risoluzione abilitati al touchscreen”. James Scheulen, direttore amministrativo per i servizi di emergenza e la gestione della capacità presso la Johns Hopkins, ha riferito che, grazie alla tecnologia dell’intelligenza artificiale, “ai pazienti del pronto soccorso viene assegnato un letto il 30% più velocemente; i ritardi nei trasferimenti dalle sale operatorie sono stati ridotti del 70%; le ambulanze vengono inviate 63 minuti prima per prelevare i pazienti da altri ospedali; e la capacità di accettare pazienti con patologie complesse da altri ospedali regionali e nazionali è migliorata del 60%”.

Altri esempi reali che applicano tecnologie basate sull’intelligenza artificiale nel sistema sanitario comprendono la chirurgia robotica e gli assistenti infermieristici virtuali.

³⁵ Chen M., Decary M., et al. (2019). *Artificial intelligence in healthcare: An essential guide for health leaders*. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0840470419873123>

La chirurgia assistita da robot è per esempio preferita dai chirurghi per la sua elevata precisione, controllabilità e flessibilità. La chirurgia assistita da robot può consentire ai chirurghi, infatti, di eseguire interventi chirurgici molto complicati o precedentemente impossibili.

I miglioramenti tecnologici avanzati consentono ai medici di visualizzare ulteriori informazioni sul paziente in tempo reale, anche durante l'intervento chirurgico, combinando dati in tempo reale con cartelle cliniche, beneficiando così delle tecnologie di intelligenza artificiale che sfruttano dati precedentemente acquisiti relativi allo stesso tipo di interventi chirurgici.

Il Cedars-Sinai Hospital, un ospedale terziario senza scopo di lucro da 958 posti letto situato a Los Angeles, in California, utilizza i robot Alexa sviluppati da Amazon come assistenti infermieristici virtuali nelle stanze di degenza. Alexa completa i compiti ripetitivi degli infermieri per assistere i pazienti nella loro routine quotidiana, ricorda ai pazienti di assumere farmaci o di presentarsi agli appuntamenti e aiuta a rispondere a domande mediche.

All'ospedale Eunpyeong St. Mary's dell'Università Cattolica della Corea, il robot AI Paul assiste il personale medico durante i giri di visita ai pazienti e fornisce un elenco dei pazienti ricoverati che devono essere curati. Il robot accompagna il personale medico in reparto, ne riconosce le voci e converte le parole in testo per trascrivere le cartelle cliniche elettroniche in tempo reale. Fornisce inoltre informazioni sui pazienti, come, immagini mediche e risultati di test, in tempo reale attraverso il sistema ospedaliero per assistere il personale medico durante i suoi turni. Questo robot può ridurre il lavoro di registrazione da parte del personale medico, controllare in modo accurato e rapido gli esami medici dei pazienti, e ispezionare le informazioni in tempo reale, oltre a fornire risposte attraverso l'apprendimento automatico.

Nell'atrio dell'ospedale, il robot-guida Maria fornisce ai clienti indicazioni sulle aree dell'ospedale. Quando un paziente tocca il robot utilizzando la propria tessera sanitaria, Maria lo guida all'orario degli appuntamenti e all'ubicazione dello studio medico. Maria può anche guidare i pazienti verso un particolare reparto medico dell'ospedale.

Gli esempi di diagnostica basata sull'intelligenza artificiale e di assistenza al lavoro amministrativo presentati sopra, evidenziano l'ambito di espansione dell'intelligenza artificiale in varie aree del sistema sanitario.

4.2.2 Le tre fasi di applicazione dell'IA nel settore sanitario

Dopo aver analizzato alcune delle possibili applicazioni dell'IA al settore sanitario, occorre precisare che, allo stato attuale, ci si ritrova ancora in una condizione prettamente embrionale. Tuttavia, considerando anche i casi concreti precedentemente citati, si prevede che l'IA troverà una sua concreta e più costante applicazione nel settore sanitario attraverso tre fasi principali.

In primo luogo, è evidente che la prima applicazione dell'IA riguardi i compiti di routine, ripetitivi e in gran parte amministrativi, che assorbono molto tempo da parte di medici e infermieri, consentendo di ottimizzare e velocizzare tali operazioni lavorative. In questa prima fase si includono anche applicazioni di intelligenza artificiale basate sull'imaging, già in uso in specialità come radiologia, patologia e oftalmologia.

Nella seconda fase, si prospettano più soluzioni di intelligenza artificiale che favoriscano il passaggio dall'assistenza ospedaliera a quella domiciliare, come il monitoraggio remoto, i sistemi di allarme basati sull'intelligenza artificiale o gli assistenti virtuali, poiché i pazienti assumono sempre più responsabilità nelle loro cure. Questa fase potrebbe includere anche un maggiore uso dell'intelligenza artificiale in un numero più ampio di specialità, come l'oncologia, la cardiologia o la neurologia, dove si stanno già facendo progressi. Tale aumento della diffusione dell'intelligenza artificiale sarebbe alimentato da una combinazione di progressi tecnologici, ad esempio deep learning, PNL (neuro-linguistic programming, ossia programmazione neurolinguistica), connettività, ecc.

Nella terza fase, infine, si prevedono più soluzioni di intelligenza artificiale nella pratica clinica basate sulle evidenze provenienti da studi clinici, con una particolare attenzione al miglioramento degli strumenti di supporto alle decisioni cliniche (CDS). In definitiva, ci si aspetta di vedere riconosciuta l'intelligenza artificiale come parte integrante della catena del valore dell'assistenza sanitaria, dal modo in cui si apprende, si investiga e si fornisce assistenza, al modo in cui si può migliorare la salute delle popolazioni.

Importanti condizioni affinché l'intelligenza artificiale possa esprimere il suo pieno potenziale nell'assistenza sanitaria europea e mondiale saranno l'integrazione di set di dati più ampi tra le varie organizzazioni, una forte governance per migliorare continuamente la qualità dei dati e una maggiore fiducia da parte di organizzazioni, professionisti e pazienti sia nelle soluzioni di intelligenza artificiale che nella capacità di gestire i relativi rischi.

4.2.3 La governance etica dell'intelligenza artificiale nel settore sanitario

Proprio in relazione alla capacità di gestione dei rischi collegati all'uso dell'IA nel settore sanitario, è bene sottolineare come, man mano che vengano sviluppate sempre più applicazioni mediche dell'intelligenza artificiale, sia necessario stabilire una governance etica e normativa.

Le questioni che destano maggiore preoccupazione includono la possibilità di bias, ossia mancanza di trasparenza, preoccupazioni sulla privacy relative ai dati utilizzati per l'addestramento dei modelli di intelligenza artificiale, e tutte le problematiche legate alla sicurezza e responsabilità.

“La governance dell’intelligenza artificiale è necessaria, soprattutto per le applicazioni cliniche della tecnologia”, ha affermato Laura Craft, VP Analyst di Gartner. “Tuttavia, poiché le nuove tecniche di intelligenza artificiale sono in gran parte un territorio nuovo per la maggior parte [delle organizzazioni sanitarie], mancano regole, processi e linee guida comuni che gli imprenditori desiderosi possano seguire mentre sviluppano i loro progetti pilota”.³⁶

L’Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha trascorso 18 mesi discutendo con i maggiori esperti di etica, tecnologia digitale, diritto e diritti umani e vari membri dei Ministeri della Salute per produrre un rapporto intitolato “Etica e governance dell’intelligenza artificiale per la salute”. Questo rapporto identifica le sfide etiche e i rischi legati all’utilizzo dell’IA nel settore sanitario, e delinea pertanto sei principi di consenso per garantire che l’IA funzioni a beneficio del pubblico:

- Tutelare l'autonomia
- Promuovere la sicurezza e il benessere umano
- Garantire la trasparenza
- Promuovere la responsabilità
- Garantire l'equità
- Promuovere strumenti reattivi e sostenibili

Il rapporto dell’OMS fornisce inoltre raccomandazioni utili a garantire che la gestione dell’IA per l’assistenza sanitaria massimizzi le promesse della tecnologia ma renda anche gli operatori sanitari responsabili e reattivi nei confronti delle comunità e delle persone con le quali e per le quali lavorano.

4.2.4 La trasformazione della forza lavoro sanitaria nell'era dell'IA

Il settore sanitario europeo si trova ad affrontare un significativo divario di forza lavoro che è destinato solo ad ampliarsi.

L’Organizzazione Mondiale della Sanità stima che la domanda complessiva di operatori sanitari salirà a 18,2 milioni in tutta Europa entro il 2030 e, allo stesso tempo, afferma che l’attuale offerta di 8,6 milioni di infermieri, ostetriche e assistenti sanitari non soddisferà le esigenze attuali o previste per il futuro.

L’automazione potrebbe, di fatto, alleviare la carenza di forza lavoro nel settore sanitario.³⁷ Ma l’impatto sarà molto più grande dei posti di lavoro persi o guadagnati: sarà il lavoro stesso a cambiare. Al centro di ogni cambiamento c’è l’opportunità di focalizzarsi nuovamente e migliorare la cura del paziente.

³⁶ IBM Education. (2023). *The benefits of AI in healthcare*. <https://www.ibm.com/think/insights/ai-healthcare-benefits>

³⁷ Spatharou A. (2020). *Transforming healthcare with AI: The impact on the workforce and organizations*. <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare/our-insights/transforming-healthcare-with-ai>

L'intelligenza artificiale, come già detto, può aiutare a eliminare o ridurre al minimo il tempo impiegato in attività amministrative di routine, che possono richiedere fino al 70% del tempo di un operatore sanitario. Ma l'intelligenza artificiale può andare oltre. Può potenziare una serie di attività cliniche e aiutare gli operatori sanitari ad accedere a informazioni essenziali per raggiungere risultati migliori per i pazienti ed una migliore qualità delle cure. Può ottimizzare la velocità e la precisione della diagnostica, può consentire ai professionisti il monitoraggio remoto e l'empowerment del paziente attraverso la cura di sé. Tutto ciò richiederà l'introduzione di nuove attività e competenze nel settore e cambierà l'educazione sanitaria, spostando sempre più l'attenzione all'innovazione, all'imprenditorialità, all'apprendimento continuo e al lavoro multidisciplinare. Il passo più grande di tutti sarà la necessità di incorporare competenze digitali e di intelligenza artificiale all'interno delle organizzazioni sanitarie, non solo per i medici ma per tutto il personale in prima linea, in modo da integrare l'intelligenza artificiale nel proprio flusso di lavoro. Si tratta di un cambiamento significativo nella cultura e nelle capacità organizzative, che richiederà un'azione parallela da parte di professionisti, organizzazioni e sistemi che lavorano tutti insieme.

L'effetto finale sulla forza lavoro sarà l'introduzione di nuove professionalità. Emergeranno molteplici ruoli dall'intersezione tra competenze mediche e utilizzo dei dati. Ad esempio, i leader del settore medico dovranno modellare un'intelligenza artificiale clinicamente significativa che contenga gli approfondimenti e le informazioni per supportare le decisioni e approfondire la comprensione dei loro pazienti.

Di certo sarà richiesto il contributo dei sistemi di supporto decisionale basati sull'intelligenza artificiale all'interno di protocolli clinici più ampi. I progettisti specializzati nelle interazioni uomo-macchina nell'ambito del processo decisionale clinico, contribuiranno a creare nuovi flussi di lavoro. Gli architetti dei dati saranno fondamentali nel definire come registrare, archiviare e strutturare i dati clinici in modo che gli algoritmi possano fornire approfondimenti rispettando la privacy e i diritti di ciascuno. Anche i leader della governance e dell'etica svolgeranno un ruolo importantissimo, data la delicatezza delle informazioni e delle questioni personali trattate.

In altre aree ricche di dati, come la genomica ossia la medicina personalizzata che utilizza le informazioni codificate all'interno del genoma di ogni persona, i nuovi professionisti includerebbero ruoli "ibridi", come bioinformatici clinici, specialisti in medicina genomica e consulenti genomici.³⁸

Le istituzioni dovranno sviluppare team con esperienza nella collaborazione, nell'acquisizione e nell'implementazione di prodotti di intelligenza artificiale. Organizzare l'introduzione di nuove specializzazioni provenienti dalla scienza e dall'ingegneria dei dati nell'ambito dell'assistenza

³⁸ Coursera. (2024). *AI in Health Care: Applications, Benefits, and Examples*. <https://www.coursera.org/articles/ai-in-health-care>

sanitaria diventerà di per sé una competenza fondamentale. Ci sarà un'urgente necessità che i sistemi sanitari attraggano e trattengano tali talenti rari e preziosi, ad esempio, sviluppando percorsi di carriera flessibili ed entusiasmanti, nonché percorsi orientati verso ruoli di leadership.³⁹

³⁹ Lichtenthaler U. (2020). *Integrated Intelligence. Combining Human and Artificial Intelligence for Competitive Advantage*. Campus.

4.3 AI nel settore Manufacturing

Dall'avvento della rivoluzione industriale, l'obiettivo principale è stato sempre trovare modi innovativi per potenziare il processo di produzione a favore dell'efficienza produttiva, della riduzione dei costi e della qualità del prodotto.

La rivoluzione industriale si è evoluta attraverso quattro fasi principali: la prima si è concentrata sull'automazione attraverso la meccanizzazione alimentata a vapore ed acqua; la seconda fase si è concentrata sull'elettrificazione e sulla produzione di massa; la terza fase ha adottato la robotica e le tecnologie digitali per guadagnare efficienza; la quarta fase, infine, si è concentrata sui sistemi cyber fisici⁴⁰ e sull'intelligenza artificiale. Proprio quest'ultima è conosciuta con il nome di Industria 4.0.

4.3.1 L'Industry 4.0

L'Industria 4.0, o Quarta Rivoluzione Industriale, rappresenta l'attuale fase di sviluppo industriale caratterizzata dall'integrazione di tecnologie digitali avanzate, compresa l'Intelligenza Artificiale (IA), nelle attività di produzione e gestione aziendale.

L'IA gioca un ruolo cruciale nell'Industria 4.0, consentendo una maggiore automazione e una maggiore personalizzazione dei processi produttivi. Le tecnologie AI, come il machine learning e il deep learning, sono utilizzate per ottimizzare la produzione, migliorare la qualità, prevedere la manutenzione degli impianti e gestire in tempo reale l'intera catena di approvvigionamento.

L'interconnessione di macchine, dispositivi e sistemi software attraverso l'IoT (Internet of Things⁴¹) e la creazione di "fabbriche intelligenti" in cui le macchine comunicano e cooperano autonomamente sono caratteristiche chiave dell'Industria 4.0. Questa trasformazione digitale non solo aumenta l'efficienza e riduce i costi di produzione, ma apre anche nuove opportunità di innovazione e sviluppo di prodotti e servizi.

Nell'ambito dell'Industria 4.0, è emerso il concetto di "produzione intelligente", in cui "macchine intelligenti" e "processi intelligenti" apprendono dai dati per ottimizzare continuamente i processi di produzione, in gran parte con poco o nessun intervento umano.

In sintesi, la storia della Rivoluzione Industriale ha segnato una progressione continua verso l'automazione e l'integrazione di tecnologie sempre più avanzate nelle attività produttive. Tuttavia, se le prime fasi della Rivoluzione Industriale erano prevalentemente basate su un

⁴⁰ I CPS (Cyber Physical Systems) sono definibili come un'integrazione di sistemi di diversa natura, il cui scopo principale è il controllo di un processo fisico e, attraverso il feedback, il suo adattamento in tempo reale a nuove condizioni operative. Un risultato che si ottiene dalla fusione di oggetti e processi fisici, piattaforme computazionali e reti di telecomunicazioni.

⁴¹ L'Internet of Things (IoT) si riferisce a una rete di dispositivi fisici, veicoli, apparecchi e altri oggetti fisici incorporati con sensori, software e connettività di rete che consentono di raccogliere e condividere dati

tentativo di adottare nuove tecnologie che permettessero di velocizzare e migliorare dei processi manuali, la moderna era dell'informazione fa molto affidamento su una quantità sempre crescente di dati e sull'importanza di prendere decisioni informate utilizzando i dati in modo tempestivo, con il principale obiettivo di battere la concorrenza e ottenere un vantaggio competitivo.⁴²

L'avvento dell'Industria 4.0, con l'Intelligenza Artificiale al centro, rappresenta quindi solo l'ultimo capitolo di questo lungo percorso, promettendo di trasformare radicalmente il modo in cui si producono beni e si gestiscono le operazioni aziendali nell'era digitale.⁴³

L'Industria 4.0 è quindi un'intersezione di varie tecnologie, tra cui Big Data e Cloud Computing, Internet of Things (IoT), Intelligenza Artificiale e Machine Learning. La combinazione di queste tecnologie consente di acquisire e archiviare dati ottenuti da più fonti, analizzarli per il processo decisionale e imparare da essi.

In questo senso è però necessaria una precisazione: sebbene l'intelligenza artificiale sia spesso utilizzata come sinonimo di machine learning, i due concetti sono molto diversi tra loro.

L'intelligenza artificiale si riferisce infatti alla capacità generale dei computer di emulare il pensiero umano e svolgere compiti in ambienti reali, mentre il Machine Learning (o apprendimento automatico), si riferisce alle tecnologie e agli algoritmi che permettono ai sistemi, in modo autonomo, di identificare schemi, prendere decisioni e migliorarsi attraverso l'esperienza e i dati.

In altre parole, il Machine Learning mette insieme dati provenienti da diverse fonti e aiuta a capire come essi funzionino, perché e le correlazioni con altri dati. Aiuta quindi a risolvere un problema particolare prendendo prove storiche nei dati, indicando così le probabilità tra le varie scelte, e quale scelta abbia funzionato meglio in passato. Inoltre, è in grado di fornire la probabilità futura dei risultati.

L'intelligenza artificiale, invece, è ciò che agisce in base a una raccomandazione fornita dal machine learning, è il campo che si occupa dello sviluppo di computer e robot capaci di comportarsi in modi che imitano e superino le capacità umane. Per usare un'analogia con una stufa calda, quando si metta la mano sopra la stessa, il cervello indica, dall'esperienza passata e dal formicolio alle dita, cosa potrebbe succedere e cosa bisognerebbe fare: è come il machine learning. L'intelligenza artificiale è invece l'abilità tecnica di tirare indietro la mano prima di scottarsi.

⁴² Harris A. (2022). *AI in manufacturing: How it's used and why it's important for future factories*. <https://www.autodesk.com/design-make/articles/ai-in-manufacturing>

⁴³ Zohaib J., Farhad A., Wolfgang M., et al. (2023). *Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities*. El Sevier.

Le macchine e i processi abilitati all'intelligenza artificiale hanno visto una rapida crescita negli ultimi due decenni e sono diventati uno dei principali contributori all'Industria 4.0. Attualmente, quasi tutti i settori industriali stanno perseguendo processi abilitati all'intelligenza artificiale, compresi i settori manifatturiero, finanziario, dei trasporti, sanitario e scientifico.

Le tecnologie di intelligenza artificiale hanno profondamente rimodellato il modo in cui operano alcuni settori. Ad esempio, l'emergere della manutenzione predittiva (Yan et al., 2017), dell'ottimizzazione completa della catena di fornitura (Shao et al., 2021) e dei gemelli digitali hanno rivoluzionato il modo in cui operano le industrie manifatturiere e dei servizi.

4.3.2 Applicazioni dell'IA nel settore manufacturing

Di seguito, vengono illustrati alcuni casi di applicazione della IA nell'odierno settore manufacturing.

4.3.2.1 La manutenzione predittiva

In un impianto manifatturiero, e in generale in qualsiasi attività che impieghi macchinari, è indispensabile implementare piani di manutenzione regolare per garantire la continuità operativa. Un guasto ai macchinari può causare disservizi e, nei casi più gravi, l'interruzione della produzione, con conseguenti significative perdite economiche. Pertanto, per mantenere la competitività sul mercato, le aziende del settore devono assicurare efficienza e continuità operativa.

Con l'avvento delle nuove tecnologie 4.0, le tradizionali tecniche di manutenzione correttiva, in cui la riparazione viene effettuata solo dopo il verificarsi di un guasto, e la manutenzione preventiva, basata su interventi programmati in base a scadenze predefinite o all'utilizzo dell'asset, sono state progressivamente affiancate dalla manutenzione predittiva. Questa metodologia, abilitata dall'Internet of Things (IoT), utilizza software e tecniche di condition monitoring per monitorare costantemente lo stato di salute dei macchinari durante il loro funzionamento, individuando eventuali anomalie e risolvendole prima che causino avarie, riducendo così il rischio di interruzioni e ottimizzando i processi.

La manutenzione predittiva è una tecnologia in rapida crescita nel settore manutentivo.

Il fattore abilitante della manutenzione predittiva è la raccolta di dati in tempo reale sulle condizioni di funzionamento delle macchine e il loro invio a una piattaforma IoT. Il monitoraggio continuo è reso possibile proprio dalla diffusione di dispositivi e applicazioni IoT, dalla disponibilità di software analitici avanzati e dall'evoluzione delle tecnologie di intelligenza

artificiale (AI) e machine learning (ML), che permettono l'integrazione di sensori intelligenti nei macchinari e la loro connessione in rete.⁴⁴

Grazie alle informazioni raccolte sul campo, è possibile effettuare un'analisi molto dettagliata sul funzionamento dell'impianto sia durante l'installazione, in fase di set up, che in fase di esercizio. In base ai dati raccolti, è possibile elaborare dei modelli predittivi che consentono di ottimizzare la strategia di manutenzione.

Sulla base della visualizzazione dei dati in tempo reale e delle serie storiche vengono, invece, effettuate delle analisi di tipo comparativo, monitorati eventuali disallineamenti dal funzionamento atteso in tempo reale e da determinati valori nominali, e attivati di conseguenza degli alert per il cliente.

Maggiore è il volume di dati acquisiti dai sensori, migliore è la capacità di prevedere le condizioni delle macchine, consentendo un perfezionamento continuo delle metodologie di manutenzione.

Secondo Statista, il mercato globale della manutenzione predittiva crescerà significativamente nei prossimi anni, raggiungendo i 64,3 miliardi di dollari entro il 2030⁴⁵. Questa crescita riflette l'aumento dell'adozione di queste tecnologie, ritenute vantaggiose dalle organizzazioni per diverse ragioni, tra cui:

- *Riduzione dei costi e della complessità delle riparazioni:* il costo di un guasto non previsto ad un asset contribuisce in modo significativo al costo totale di gestione dell'impianto. La capacità di prevedere ed evitare guasti consente alle aziende di risparmiare tempo e denaro, con un miglioramento della pianificazione della manutenzione che può portare a risparmi variabili tra il 10% e il 40%.
- *Ottimizzazione della pianificazione degli interventi manutentivi:* rilevando difetti e guasti precocemente, le squadre di manutenzione possono ottimizzare la frequenza degli interventi sulla base delle proprie disponibilità e possono decidere le priorità o programmare la sostituzione anticipata di alcuni componenti, adottando un approccio proattivo.
- *Estensione della vita utile dell'asset:* potendo prevenire i guasti alla macchina ed agli impianti, si limita la propagazione dei difetti e si migliora la longevità degli asset stessi.

⁴⁴ Charalambous E., Feldmann R., Richter G., Schmitz C. (2019). *AI in production: A game changer for manufacturers with heavy assets*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/ai-in-production-a-game-changer-for-manufacturers-with-heavy-assets>

⁴⁵ Rapp K. (2022). *Artificial Intelligence in Manufacturing: Real World Success Stories and Lessons Learned*. <https://www.nist.gov/blogs/manufacturing-innovation-blog/artificial-intelligence-manufacturing-real-world-success-stories>

- *Pianificazione dei fermi macchina*: la manutenzione predittiva consente di programmare se e quando effettuare dei fermi macchina, scegliendo preferibilmente tempi convenienti per la produzione, e di pianificare per tempo l'approvvigionamento di tutti i pezzi di ricambio, nel rispetto delle effettive necessità delle attrezzature, e il reperimento del personale necessario. Questo consente anche di ottimizzare la gestione delle scorte di materiali e pezzi di ricambio, e di rispettare le normative e gli standard di conformità vigenti.
- *Miglioramento della produttività*: la riduzione dei down time permette di aumentare la produttività, garantendo la continuità operativa dell'azienda.

La manutenzione predittiva rappresenta, quindi, una delle principali sfide dell'industria contemporanea.

Una diretta conseguenza del sempre maggiore interesse verso la manutenzione predittiva è sicuramente la crescente domanda di soluzioni IoT, che a sua volta comporterà inevitabilmente un aumento delle connessioni nei prossimi anni.

I Digital Twin (DT), inoltre, si riveleranno un importante alleato per la manutenzione predittiva, diventando sempre più popolari nell'approccio dell'Industria 4.0 grazie all'analisi dei dati e all'IIoT (Industrial IoT). I gemelli digitali, ossia la riproduzione virtuale di un processo o di un servizio reale realizzato attraverso dati raccolti da sensori, offrendo una conoscenza completa della vita del prodotto, forniranno strumenti previsionali sempre più specifici per applicazioni destinate alla manutenzione predittiva, al rilevamento dei guasti e alle operazioni di manutenzione correttiva. Grazie al modello del Digital Twin, sarà possibile esplorare diverse modalità di risoluzione dei problemi ed effettuare simulazioni di intervento più rapide, guidando i tecnici attraverso la realtà aumentata (Augmented Reality).

Un ulteriore contributo significativo deriverà dall'accelerazione dei processi di automazione, dall'evoluzione del percorso di trasformazione digitale delle aziende e dalla ripresa delle catene del valore. Inoltre, lo sviluppo del 5G creerà le condizioni per reti più performanti, facilitando l'affermazione dell'Edge Computing, una delle tecnologie più rilevanti per la manutenzione predittiva. Grazie alla riduzione della latenza di elaborazione, l'Edge Computing favorirà ambienti IT ibridi e distribuiti che permetteranno di monitorare facilmente le prestazioni dei singoli dispositivi e delle apparecchiature, elaborando le informazioni direttamente sul campo. I dati ottenuti in tempo reale ottimizzeranno la produzione, riducendo costi e rischi, e velocizzeranno l'automazione delle iniziative di manutenzione predittiva.⁴⁶

⁴⁶ MaticMind. (2023). *Manutenzione predittiva e IoT: 5 benefici per il business*. <https://insight.maticmind.it/insights/manutenzione-predittiva-e-iiot-5-benefici-per-il-business>

4.3.2.2 Processi di Business e Supply Chain

L'intelligenza artificiale supporta vari processi aziendali a diversi livelli di operatività, tra cui la gestione della catena di fornitura, la gestione del rischio, la previsione dei prezzi, l'assistenza e i servizi al cliente, la personalizzazione di prodotti e offerte. Tuttavia, solo l'8% delle implementazioni di intelligenza artificiale industriale riguarda miglioramenti nelle filiere industriali.

L'efficacia della catena di fornitura è fondamentale per la produttività e l'efficienza complessive del settore manifatturiero. L'intelligenza artificiale, combinata con l'IoT, ha un potenziale enorme. Alcuni casi d'uso identificabili sono i seguenti:

- *Il monitoraggio in tempo reale dei veicoli di rifornimento:* questo permette un utilizzo più efficiente della flotta logistica, ottimizzando il programma di produzione complessivo.
- *La previsione e l'ottimizzazione dei tempi di spedizione e consegna:* l'applicazione di algoritmi AI consente di prevedere con precisione i tempi e ottimizzare le operazioni.

Un ulteriore possibile esempio è l'applicazione dell'IA per migliorare la gestione dell'inventario. In particolare, si parla di gestione predittiva dell'inventario, che utilizza l'analisi predittiva per numerose attività, come la riduzione dei tempi di pianificazione, la minimizzazione dei costi, l'ottimizzazione delle riparazioni e l'individuazione di punti di riordino ottimali.

Le tecniche comunemente impiegate includono l'analisi delle serie temporali, la modellazione probabilistica (modelli Markov e Bayesiani) e le simulazioni (ad esempio, la simulazione Monte-Carlo).

Le soluzioni di Machine Learning e IA sono efficaci per gestire la previsione della domanda e la pianificazione dell'offerta, promuovendo così la pianificazione delle scorte. Gli strumenti di previsione della domanda basati sull'intelligenza artificiale offrono risultati più accurati rispetto ai metodi tradizionali (come ARIMA⁴⁷ e il livellamento esponenziale⁴⁸) utilizzati negli impianti di produzione. Questi strumenti permettono alle aziende di gestire meglio i livelli di inventario, riducendo la probabilità di scenari di sovrapposizione e carenza di scorte.

⁴⁷ ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) è un modello statistico utilizzato per l'analisi e la previsione delle serie temporali. Nella gestione dei magazzini, ARIMA viene utilizzato per prevedere la domanda futura dei prodotti.

⁴⁸ Noto anche come smoothing esponenziale, è una tecnica di previsione delle serie temporali che assegna pesi decrescenti ai dati storici man mano che ci si allontana nel tempo. Nella gestione dei magazzini, il livellamento esponenziale viene utilizzato per prevedere la domanda futura dei prodotti.

4.3.2.3 Controllo di produzione e qualità

L'ispezione e la garanzia della qualità rappresentano un'ulteriore categoria di casi d'uso dell'IA industriale.

L'intelligenza artificiale può consentire, infatti, di comprendere limiti o carenze degli attuali processi di produzione, e di identificare diverse opportunità di miglioramento. Inoltre, l'utilizzo di un'intelligenza artificiale complessa come la visione artificiale per esplorare i difetti negli articoli prodotti può essere un ottimo modo per garantire la qualità del prodotto.⁴⁹

Il vantaggio principale di questi casi d'uso è la riduzione dei costi, e i potenziali beneficiari sono i grandi impianti di produzione, dove una piccola riduzione degli scarti o dei tempi di test può produrre risparmi molto elevati.⁵⁰

Le tecnologie utilizzate sono quelle legate al monitoraggio dei processi produttivi sia con sensori e tecnologie IoT, sia con la computer vision. Queste tecnologie consentono l'ispezione ottica e non solo, testando guasti catastrofici (ad esempio componente mancante) e/o difetti di qualità (ad esempio dimensione o forma del raccordo o inclinazione del componente). Edge e cloud computing supportano la raccolta e l'elaborazione dei dati utilizzando tecnologie di machine learning e cognitive computing.⁵¹

4.3.2.4 Produzione e Robotica

Forse il caso d'uso dell'intelligenza artificiale più ovvio, ma comunque uno dei più difficili da implementare, è l'ottimizzazione del processo di produzione automatizzato.

Questa ottimizzazione avviene attraverso macchine o robot autonomi. L'idea alla base di queste risorse autonome è che possano replicare le attività umane monotone nel processo di produzione, risparmiando così sui costi. Prima di essere messe in produzione, le macchine o robot autonomi eseguono ripetutamente lo stesso compito, imparando ogni volta fino a raggiungere una precisione sufficiente. La tecnica dell'apprendimento per rinforzo viene spesso utilizzata per addestrare robot e macchinari autonomi. Con questa tecnica, un robot può imparare in tempi relativamente brevi a svolgere un compito sotto la supervisione di un essere umano. Il "cervello" di un robot o macchina di questo tipo è solitamente costituito da reti neurali.⁵²

⁴⁹ Mahesh K. (2019). *The Role of Artificial Intelligence in Manufacturing: 15 High Impact AI Use Cases*.

<https://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/the-role-of-artificial-intelligence-in-manufacturing-15-high>

⁵⁰ IoT Analytics. (2019). *The Top 10 Industrial AI use cases*. <https://iot-analytics.com/the-top-10-industrial-ai-use-cases/>

⁵¹ EIT Digital. (2020). *"Overview on maturity of AI innovations in manufacturing"*.

https://eit.europa.eu/sites/default/files/overview_on_maturity_of_ai_innovations_in_manufacturing_20529-d11.pdf

⁵² IoT Analytics. (2019). *The Top 10 Industrial AI use cases*. <https://iot-analytics.com/the-top-10-industrial-ai-use-cases/>

Sebbene attualmente i robot siano piuttosto diffusi nell'automazione delle officine manifatturiere, la presenza dell'intelligenza artificiale può migliorare il ruolo dei robot nella gestione delle attività. Si raggiungerebbe, in questo modo, una maggiore efficacia degli stessi sotto forma di potenti software, consentendo loro di svolgere compiti complessi. Non solo la complessità, ma anche la versatilità dei compiti svolti verrebbe potenziata dall'intelligenza artificiale.

A ciò si aggiungerebbe, inoltre, una migliore interazione uomo-robot, per consentire così un utilizzo più efficace di tali macchine. In questo senso, i “cobot”⁵³ stanno emergendo come potenziali abilitatori in questo settore.

Per quel che riguarda le tecnologie utilizzate, le principali per la robotica sono: tecnologie visive, sonore, tattili e di percezione, sensori, IoT.

Queste tecnologie consentono ai robot di muoversi e lavorare sulla produzione. Edge e cloud computing supportano la raccolta e l'elaborazione dei dati, utilizzando tecnologie di machine learning e cognitive computing.

4.3.2.5 Digital Twin

I gemelli digitali sono rappresentazioni virtuali di fattori/prodotti/servizi e dei loro attributi fisici nel mondo reale; questi “doppi” virtuali sono realizzati utilizzando sensori, fotocamere e altri metodi di raccolta ed elaborazione dati per prevedere i comportamenti. I digital twin sono usati nella produzione per simulare vari processi produttivi.

Poiché i gemelli digitali possono fornire una visione in tempo reale di ciò che sta accadendo alle apparecchiature o ad altre risorse fisiche, essi si sono rivelati molto utili nel settore manifatturiero per ridurre i problemi di manutenzione e garantire un risultato produttivo ottimale. Chevron Corporation (azienda petrolifera statunitense) prevede di risparmiare milioni di dollari in costi di manutenzione grazie alla tecnologia del gemello digitale che avrà implementato sulle apparecchiature entro il 2024 nei giacimenti petroliferi e nelle raffinerie.⁵⁴

Le tecnologie utilizzate sono quelle legate all'IoT e alla raccolta dati: cloud ed edge computing per trasmettere e raccogliere dati, machine learning e cognitive computing per elaborarli.⁵⁵

⁵³ Un cobot, o robot collaborativo, è un tipo di robot progettato per lavorare insieme agli esseri umani in un ambiente condiviso.

⁵⁴ Bernard M. (2019). *7 Amazing Examples of Digital Twin Technology In Practice*.
<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/04/23/7-amazing-examples-of-digital-twin-technology-in-practice/#77f6cbf16443>

⁵⁵ Mahesh K. (2019). *The Role of Artificial Intelligence in Manufacturing: 15 High Impact AI Use Cases*.
<https://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/the-role-of-artificial-intelligence-in-manufacturing-15-high>

4.3.2.6 Progettazione, sviluppo, e innovazione dei prodotti

L'intelligenza artificiale generativa può trasformare la concettualizzazione del prodotto, analizzando le tendenze del mercato, evidenziando i cambiamenti nella conformità normativa, riassumendo la ricerca sui prodotti e il feedback dei clienti, ecc.

Sulla base di queste informazioni, i progettisti di prodotto possono innovare e migliorare i prodotti e garantirne la conformità, confrontando le specifiche con gli standard e le normative pertinenti. Gli algoritmi possono generare rapidamente progetti innovativi che vanno oltre le capacità dei metodi tradizionali. Ciò significa che i produttori possono ottimizzare gli attributi del prodotto che ritengono più importanti: sicurezza, prestazioni, estetica o persino redditività. Ad esempio, nel 2019, General Motors ha utilizzato il design generativo per prototipare una staffa del sedile più leggera e resistente per i suoi veicoli elettrici.

Inoltre, utilizzando soluzioni di intelligenza artificiale e software di simulazione, i produttori possono sviluppare, testare e perfezionare la progettazione dei prodotti senza la necessità di costruire prototipi fisici: ciò riduce tempi e costi di sviluppo, e aumenta le prestazioni del prodotto.⁵⁶

4.3.4 Difficoltà di applicazione dell'IA nelle industrie

Nonostante le diverse possibilità di applicazione e i grandi investimenti già effettuati, i produttori non sono ancora in grado di appropriarsi di tutti i vantaggi derivanti dall'applicazione dell'intelligenza artificiale.

In un sondaggio condotto su oltre 3.000 organizzazioni di vari settori e aree geografiche, solo il 10% ha affermato di ottenere guadagni finanziari significativi derivanti dall'applicazione dell'IA. Ciò è in linea con i risultati del sondaggio Infosys Generative AI Radar – Nord America, in cui circa il 30% delle grandi aziende, ma meno del 10% di quelle con un guadagno compreso tra 500 milioni e 10 miliardi di dollari, aveva stabilito casi d'uso di IA generativa che garantivano risultati positivi in termini di valore aziendale.⁵⁷

Pertanto, sebbene i produttori riconoscano l'importanza di incorporare l'intelligenza artificiale nei loro processi aziendali, essi restano spesso scoraggiati dai risultati.

Il white paper del World Economic Forum del dicembre 2022 intitolato “Unlocking Value from Artificial Intelligence in Manufacturing” identifica sei ostacoli all'adozione dell'intelligenza artificiale nel settore manifatturiero, tra cui:

⁵⁶ Crispino F. (2023). *L'ia generativa nell'industria 4.0: una rivoluzione produttiva*.
<https://www.focusindustria40.com/ia-generativa-nellindustria-4-0/>

⁵⁷ Dilmegani C. (2024). *Manufacturing AI: 15 tools & 13 Use Cases / Applications in '24*.
<https://research.aimultiple.com/manufacturing-ai/>

- *Assenza di dati adeguati:* per funzionare correttamente gli algoritmi di intelligenza artificiale devono essere innanzitutto addestrati su enormi set di dati puliti, accurati e imparziali. Poiché avere a disposizione tali tipo di dati può essere particolarmente difficile per i produttori, molte aziende ricorrono all'uso di dati piccoli, frammentati, incoerenti o di scarsa qualità, con risultati non ottimali.⁵⁸
- *Discrepanza tra capacità di intelligenza artificiale ed esigenze operative:* i produttori spesso selezionano progetti di intelligenza artificiale senza considerare quali siano le reali esigenze dell'azienda, e senza valutare eventuali soluzioni alternative. Pertanto, molto spesso può capitare che le soluzioni di intelligenza artificiale scelte possono essere tecnicamente fattibili, ma non riescono a risolvere un problema rilevante per le operations aziendali. Ciò causa una mancata corrispondenza alle aspettative e ne ostacola una più ampia adozione nel settore manifatturiero.
- *Assenza di un approccio strategico e di comunicazione della leadership:* l'applicazione di nuovi metodi e tecnologie richiede un incondizionato appoggio da parte della forza lavoro. Spesso, invece, un'adeguata comunicazione dell'approccio strategico e dei vantaggi derivanti da tali tecnologie risulta assente, determinando una certa riluttanza della forza lavoro alla loro applicazione. A ciò si aggiunge altresì la frequente mancanza di modelli di intelligenza artificiale spiegabili, che risultano così complessi, non trasparenti e non facilmente comprensibili.⁵⁹
- *Competenze insufficienti:* per avere successo, le applicazioni di intelligenza artificiale richiedono lo sviluppo e l'implementazione da parte di team inter-funzionali con competenze diversificate nella convergenza di IT, tecnologia operativa (OT), dati e tecnologie di intelligenza artificiale. Ciò richiede il miglioramento delle competenze della forza lavoro e l'attrazione di nuovi talenti nel settore manifatturiero.⁶⁰

⁵⁸ World Economic Forum. (2022). *Unlocking Value from Artificial Intelligence in Manufacturing*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_AI_in_Manufacturing_2022.pdf

⁵⁹ Silva Peres R., Jay L., Xiadong J., et al. (2020). *Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0 - Systematic Review, Challenges and Outlook*. IEEE Access

⁶⁰ Fant S. (2022). *Manutenzione predittiva: predire il futuro risparmiando risorse*. <https://www.renewablematter.eu/articoli/article/manutenzione-predittiva-predire-il-futuro-risparmiando-risorse>

CAPITOLO 5 – LE BILL OF MATERIALS

Nel seguente capitolo viene presentato uno strumento di rilevante importanza in diverse aziende, la Bill of Materials (BOM). In particolare, viene dapprima data una definizione di Bill of Materials; in seguito, vengono illustrati i principali benefici ad essa connessa, oltre che la sua struttura e i passaggi che devono essere seguiti per la sua creazione. In seguito, vengono proposte le diverse tipologie di Bill of Materials esistenti. Queste informazioni sono basilari per comprendere il successivo capitolo 6 che sarà dedicato alle strategie e alle tecnologie necessarie per una gestione innovativa e intelligente delle BOM.

5.1 Cos'è una Bill of Materials (BOM)?

Negli ultimi anni, i progressi nel campo dell'intelligenza artificiale hanno iniziato a rivoluzionare le tradizionali pratiche di gestione delle distinte base.

Le tecnologie di intelligenza artificiale, come gli algoritmi di apprendimento automatico e l'elaborazione del linguaggio naturale (NLP), offrono nuove funzionalità per semplificare la creazione, la manutenzione e l'analisi delle distinte base.

Una delle prime applicazioni dell'intelligenza artificiale nella gestione delle distinte base è stata il miglioramento dell'accuratezza e dell'efficienza attraverso l'automazione e l'analisi predittiva.

Prima però di analizzare come l'IA possa essere applicata in questo ulteriore ambito, è importante capire esattamente cosa sia una BOM.

Una distinta base (BOM, ovvero Bill of Materials) è un elenco completo di tutti i materiali, componenti e sotto assiemi necessari per fabbricare un prodotto in modo ripetibile, introducendo così un certo grado di standardizzazione nel processo di produzione.⁶¹

In parole semplici, una distinta base è una ricetta per la produzione di un articolo.

Una distinta base solitamente contiene la quantità o il volume di ciascun articolo utilizzato e potrebbe anche contenere informazioni quali costi, tempi di consegna, fattori di spreco e altri dati rilevanti necessari per produrre l'articolo finito.

La creazione di una distinta base è il primo passo per avviare una produzione. Se non si dispone delle materie prime, dei livelli o delle risorse necessarie, il monitoraggio dei profitti e una corretta comunicazione in fabbrica diventano un ostacolo.

È possibile creare una distinta base per i prodotti regolarmente disponibili in magazzino (Make to Stock), per quelli realizzati quando richiesto (Make to Order) o per quelli realizzati con

⁶¹ Mecalux. (2020). *Distinta base (BOM): il miglior alleato nella catena di produzione*.
<https://www.mecalux.it/blog/distinta-base-bom>

specifiche speciali quando richiesto (Engineer to Order). Indipendentemente dal metodo di produzione, le distinte materiali vengono utilizzate ovunque.

È facile supporre che le piccole aziende manifatturiere potrebbero non aver bisogno di distinte base strutturate e ben realizzate perché, con le loro dimensioni e un portafoglio di prodotti più ridotto, sono perfettamente consapevoli di tutte le parti e le materie prime necessarie.

È anche facile supporre che, poiché un prodotto è semplice o è costituito solo da un numero limitato di componenti (o da un singolo componente), queste non siano necessarie.

Tuttavia, entrambe queste ipotesi sono errate.

Non disporre di una distinta base, o avere una distinta base imprecisa, può portare a sprechi, inefficienza ed errori nel processo di produzione. Significa anche che, invece di avere dati di processo sistematici che possono essere trasmessi ai futuri dipendenti man mano che l'azienda si espande o quando i vecchi dipendenti lasciano l'azienda, la conoscenza è frammentata e isolata tra diversi lavoratori o sistemi software, lasciando l'azienda esposta a perdita di ripetibilità.

5.2 Benefici di una BOM

La distinta base (BOM) è di fondamentale importanza in un'azienda per diversi motivi, tra cui:

- *Definizione della struttura del prodotto:* come illustrato precedentemente, una distinta base definisce la struttura di un prodotto, descrivendo in dettaglio tutti i componenti e i sotto assiemi necessari per la sua fabbricazione. Questa rappresentazione strutturata è essenziale per comprendere come viene costruito il prodotto e garantire la coerenza tra i processi di produzione.
- *Pianificazione efficace delle risorse:* con una distinta base, le aziende possono pianificare e allocare con precisione risorse come materiali, manodopera e attrezzature necessarie per la produzione. Ciò garantisce che le risorse giuste siano disponibili al momento adeguato, ottimizzando l'efficienza operativa e riducendo al minimo gli sprechi.
- *Stima e controllo dei costi:* la distinta base fornisce un punto di partenza per la stima e il controllo dei costi associati alla produzione. Dettagliando tutti i componenti e i materiali insieme alle relative quantità, la distinta base consente calcoli accurati dei costi, aiutando le aziende a prendere decisioni informate per gestire le spese e migliorare la redditività.
- *Gestione dell'inventario:* le distinte base sono fondamentali per la gestione dell'inventario poiché specificano le quantità di ciascun componente richiesto per la produzione. Queste informazioni consentono alle aziende di mantenere livelli di inventario ottimali, evitare mancanze o eccessi di scorte, ridurre i costi di trasporto.

- *Garanzia di qualità:* le distinte base svolgono un ruolo fondamentale nel garantire la qualità e la coerenza del prodotto. Elencando componenti e materiali approvati, la distinta base aiuta a garantire gli standard di qualità e la conformità ai requisiti normativi durante tutto il processo di produzione.
- *Coordinamento della catena di fornitura:* le distinte base facilitano una gestione efficace della catena di fornitura fornendo informazioni dettagliate sui requisiti dei materiali e sulle dipendenze dei fornitori. Ciò consente alle aziende di stabilire solide relazioni con i fornitori, ottimizzare le strategie di approvvigionamento e ridurre al minimo i rischi della catena di fornitura.
- *Mezzo di comunicazione e di facilitazione della collaborazione:* la distinta base funge da punto di riferimento centrale per la collaborazione inter-funzionale tra i team di ingegneria, progettazione, approvvigionamento, produzione e controllo qualità. Promuove una comunicazione chiara e un allineamento tra i reparti, favorendo flussi di lavoro efficienti e la risoluzione dei problemi. Le distinte base sono anche un mezzo di comunicazione tra il cliente, il responsabile della produzione, e gli addetti alla produzione stessa.
- *Supporto alle modifiche tecniche:* man mano che i prodotti si evolvono o subiscono modifiche progettuali, la distinta base viene aggiornata di conseguenza, per evidenziare le modifiche tecniche. Ciò garantisce che tutte le parti interessate siano a conoscenza delle revisioni, riducendo al minimo il rischio di errori e discrepanze durante la produzione.
- *Gestione del ciclo di vita:* durante tutto il ciclo di vita di un prodotto, la distinta base fornisce informazioni preziose per la gestione della manutenzione, della riparazione e della fine del ciclo di vita stesso. Aiuta a identificare le parti di ricambio, a gestire le varianti di prodotto e a pianificarne aggiornamenti o interruzioni.
- *Conformità e documentazione:* le distinte base fungono da documentazione a fini di controllo e conformità normativa. Forniscono una registrazione tracciabile dei materiali utilizzati nella produzione, aiutando le aziende a dimostrare il rispetto degli standard di qualità e delle normative di settore.
- *Scalabilità:* man mano che un produttore cresce, la capacità di aumentare la produzione diventa cruciale. Una distinta base ben mantenuta facilita tale scalabilità fornendo una chiara tabella di marcia per aumentare i volumi di produzione.

In sintesi, una distinta base funge da documento fondamentale che sostiene vari aspetti dello sviluppo del prodotto, della produzione e della gestione della catena di fornitura, contribuendo in

definitiva all'efficienza operativa, al controllo dei costi, alla garanzia della qualità e al successo aziendale complessivo.⁶²

5.3 Componenti di una BOM

I componenti di una distinta base (BOM) possono variare a seconda della complessità del prodotto e del settore. Tuttavia, vi sono alcuni elementi principali che sempre possono essere ritrovati, tra cui:

1. *Numero dell'item o identificatore*: a ciascun componente nella distinta base viene assegnato un numero o identificatore univoco per un facile riferimento ed identificazione. Questo numero aiuta a organizzare e strutturare la gerarchia della distinta base.
2. *Descrizione del componente*: viene fornita una breve descrizione di ciascun componente per identificare chiaramente di cosa si tratta e il suo scopo all'interno del prodotto. Questa descrizione può includere dettagli come nome della parte, tipo, specifiche e attributi funzionali. Un esempio è “Vite M4 x 14 mm SHCS SS”. In questo esempio la codifica è “Nome, Dimensione x Lunghezza, Tipo, Materiale”. Ovunque nella distinta base in cui questo specifico componente venga usato, viene usata la stessa codifica.⁶³
3. *Quantità*: la quantità di ciascun componente richiesto per l'assemblaggio del prodotto è specificata nella distinta base. Questa quantità indica quante unità del componente sono necessarie per costruire un prodotto completo.
4. *Unità di misura*: l'unità di misura (ad esempio, metro, chilogrammo, litro) per la quantità di ciascun componente è specificata per rappresentare accuratamente il modo in cui il componente viene misurato e approvvigionato.
5. *Reference Designators*: sono codici alfanumerici assegnati ai componenti per indicare la loro posizione fisica o posizionamento all'interno dell'insieme del prodotto. Questi codici vengono spesso utilizzati insieme ai disegni tecnici per facilitare l'assemblaggio e la risoluzione dei problemi.
6. *Part Number*: il codice articolo del produttore o del fornitore è incluso per identificare in modo univoco ciascun componente ai fini dell'approvvigionamento e della gestione dell'inventario. Ciò aiuta a garantire che venga acquistata e utilizzata nella produzione la parte corretta.
7. *Livello di revisione*: il livello di revisione di ciascun componente specifica la versione o variante della parte che dovrebbe essere utilizzata nella produzione. Ciò aiuta a gestire le modifiche tecniche e garantisce coerenza nella produzione.

⁶² Inbound Logistics. (2023). *Bill of Materials (BOM): Definition, Impact, and Components*. <https://www.inboundlogistics.com/articles/bill-of-materials/>

⁶³ Product Resources. *A Guide to Manufacturing Complex Products*. <https://prodres.com/manufacturing-guide/getting-started/input-documentation/bill-of-materials/>

8. *Materiali e specifiche*: le specifiche dettagliate dei materiali utilizzati per la produzione di ciascun componente sono fornite nella distinta base. Ciò può includere tipo di materiale, grado, dimensioni, tolleranze e altri dettagli tecnici rilevanti.
9. *Sottogruppi e struttura gerarchica*: la distinta base può includere relazioni gerarchiche che definiscono il modo in cui i componenti vengono raggruppati in sotto assiemi o assiemi di livello superiore. Questa struttura gerarchica aiuta a visualizzare la composizione del prodotto e la sequenza di assemblaggio.
10. *Note e istruzioni*: ulteriori note, istruzioni o commenti possono essere inclusi nella distinta base per fornire informazioni importanti relative all'approvvigionamento dei componenti, alle procedure di assemblaggio, ai requisiti di qualità o a considerazioni speciali.
11. *Informazioni sui costi*: facoltativamente, è possibile includere nella distinta base informazioni sui costi quali costo unitario, costo totale per assemblaggio e ripartizione dei costi per componente, in modo da supportare la stima dei costi e l'impostazione del budget.
12. *Stato del ciclo di vita*: lo stato del ciclo di vita di ciascun componente (ad esempio, attivo, obsoleto, eliminato gradualmente) può essere indicato per monitorare la disponibilità e la sostenibilità delle parti nel tempo.
13. *Informazioni sulla qualità e sulla regolamentazione*: le informazioni relative al controllo di qualità, alla conformità normativa, alle certificazioni e ai requisiti di test per i componenti possono essere documentate nella distinta base per garantire la qualità del prodotto e la conformità agli standard.

Incorporando tutti questi componenti dettagliati in una distinta base, i produttori possono gestire in modo efficace le strutture dei prodotti, ottimizzare le operazioni della catena di fornitura, garantire il controllo di qualità e facilitare processi di produzione efficienti.

5.5 La creazione di una BOM

Creare e gestire una distinta base non è un compito facile, poiché il livello di precisione e dettaglio richiesto può essere molto elevato.

La creazione di una distinta base non è solo un passaggio necessario nel processo di sviluppo del prodotto, ma è anche ciò che rende la progettazione del prodotto una realtà.

La maggior parte delle distinte base passa attraverso più iterazioni man mano che il prodotto e i processi di produzione si evolvono, il che significa che è altamente probabile che più distinte base riguardanti lo stesso prodotto vengano gestite da più persone nel corso del tempo.

Una gestione efficace della distinta base implica quindi la necessità di stabilire un sistema a prova di errore che garantisca a chiunque vi acceda l'utilizzo della versione più recente.

Una distinta base efficace aiuta le aziende a ridurre al minimo i rischi della catena di fornitura garantendo una produzione efficace. Tracciando e pianificando i requisiti dei componenti, identificando e fissando il prezzo di tutti i materiali e garantendo il controllo dell'inventario, le aziende possono mitigare le carenze, l'obsolescenza dei componenti e altre interruzioni della catena di fornitura o della produzione.⁶⁴

Per creare una distinta base efficace, è necessario:

- Determinare il tipo, l'obiettivo e i dati necessari all'interno della distinta base, definendo anche il grado di dettaglio della stessa.
- Creare una distinta base centralizzata interdipartimentale: affinché la distinta base rimanga accurata e coerente tra i diversi reparti, è necessario disporre dello stesso sistema informativo. Anche l'aggiornamento della distinta base è più semplice quando è presente un singolo record.
- Individuare le persone responsabili dell'aggiornamento delle informazioni per garantirne l'accuratezza e ridurre i rischi di errori.
- Identificare i rischi relativi ai componenti e alla catena di fornitura, come la dipendenza dai fornitori e la disponibilità delle parti.
- Perfezionare e tenere traccia di eventuali modifiche alla catena di fornitura.
- Decidere il modo in cui tenere traccia delle revisioni della distinta base: poiché le distinte base possono essere riviste molte volte, è meglio garantire che tutte le modifiche vengano monitorate. Ciò di cui tenere traccia include l'eventuale modifica apportata, chi la effettua, quando e perché si sia resa necessaria.
- Selezionare la presentazione della distinta base: il modo in cui la distinta base viene presentata può essere a livello singolo o multilivello, a seconda della complessità del prodotto.
- Elencare tutti i materiali necessari: a seconda del grado di dettaglio desiderato, è necessario creare un elenco più o meno dettagliato di tutti i materiali, le parti e i componenti che formano il prodotto. È altresì molto importante specificare le quantità, le descrizioni, ecc.

Sebbene il concetto di distinta base sia semplice, la creazione e la gestione delle distinte base può diventare complicata, soprattutto per prodotti composti da centinaia o migliaia di parti. Le modifiche a componenti, fornitori o fasi di progettazione del prodotto devono essere costantemente tracciate, generando così una grande quantità di dati.

⁶⁴ GeniusERP. *How to Make a Bill of Materials (BOM) the Right Way*.
<https://www.geniuserp.com/resources/blog/how-to-make-a-bill-of-materials-the-right-way>

Avere accesso ai dati della distinta base e all'ultima versione aggiornata permette di valutare i rischi della catena di fornitura, di rafforzare la distinta base e di raggiungere gli obiettivi di produzione.⁶⁵

5.6 Tipi di Strutture BOM

Esistono due principali tipologie di strutture BOM, la Single Level BOM e la Multi Level BOM.

Single Level BOM

Una distinta base Single Level, ovvero a livello singolo, è un elenco piuttosto semplice che mostra il prodotto finale e le parti necessarie per produrlo. Tale tipo di BOM funziona bene per prodotti con assemblaggio semplice, come la produzione di mobili o l'elettronica di base.

Come accennato, le distinte base sono tipicamente strutturate in formato gerarchico; per le distinte base a livello singolo, ciò implica che siano costituite da due livelli. Innanzitutto, si ha il prodotto finale al livello più alto, poi seguono le parti e i componenti elencati al livello più basso, che confluiscono nel livello più alto. Questo perché ogni singolo pezzo del prodotto finale è già assemblato e, pertanto, tutto ciò che resta da fare è mettere insieme tutti i componenti per costruire il prodotto finale.

Di conseguenza, le distinte base a livello singolo sono chiare e di facile lettura; offrono una visione organizzata, chiara e diretta della composizione del prodotto, rendendolo uno strumento prezioso per il controllo di base dell'inventario, la pianificazione degli acquisti e le istruzioni di assemblaggio iniziali.

Di seguito viene riportato, ad esempio, la Single Level BOM di una bicicletta, costruita assemblando cinque parti. Le prime parti sono il telaio e la sella, che devono essere prodotti, non acquistati. Una distinta base a livello singolo non spiegherà i materiali necessari e il processo di produzione per costruire il telaio e la sella in modo che siano pronti per essere assemblati.⁶⁶

⁶⁵ MageStore. (2022). *What is a bill of materials (BOM)? 7 steps to create a BOM.* <https://www.magestore.com/blog/what-is-a-bill-of-materials-bom/>

⁶⁶ Statii. (2023). *Bill of Materials (BOM) – An Essential Guide for Manufacturers.* <https://www.statii.co.uk/blog/bill-of-materials-bom-manufacturing-guide>

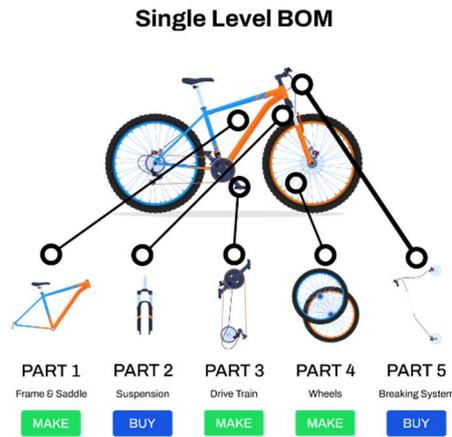


Figura 2. Single Level BOM

Multi-Level BOM

Una distinta base multilivello è una rappresentazione dettagliata di tutti i componenti, sotto assiemi e materiali necessari per produrre prodotti finiti. Non solo elenca gli elementi principali che costituiscono il prodotto, ma scompone anche ciascuno di questi componenti nelle sue singole parti, andando a tutti i livelli di profondità necessari fino a raggiungere le materie prime.

Utilizzando nuovamente l'esempio dell'assemblaggio della bicicletta, una distinta base multilivello inizierebbe con il prodotto finale, la bicicletta, al livello più alto. Quindi scomporrebbe ciascuno dei suoi componenti in sotto assiemi e singole parti. Ad esempio, nella terza parte, il gruppo propulsore è composto da quattro parti, la parte 3.1 richiede acquisto e produzione, i materiali per la 3.2 sono tenuti in inventario e richiedono assemblaggio, e le parti 3.3 e 3.4 sono acquistate su ordinazione; quindi, necessitano solo di un ordine di acquisto.

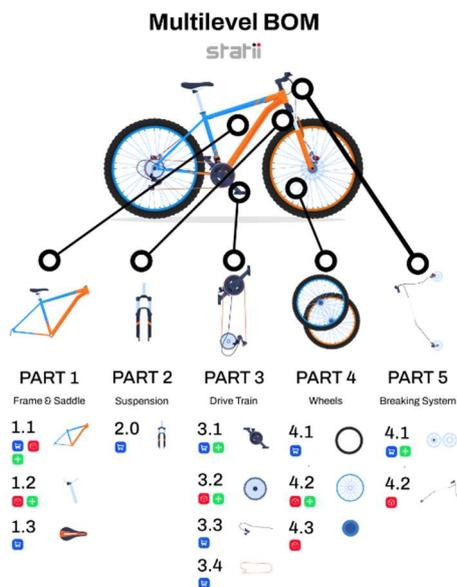


Figura 3. Multilevel BOM

Questo processo di decostruzione continua fino a che tutti i componenti non vengano elencati fino al livello delle materie prime. In questo modo, la distinta base multilivello fornisce una visione completa del processo di produzione dall'inizio alla fine.

La distinta base Multi-Level, quindi, offre una visione dettagliata della struttura del prodotto, aiutando a pianificare, determinare i costi e programmare in modo più accurato. Inoltre, facilita una migliore comprensione e comunicazione tra i vari reparti, dalla progettazione e ingegneria all'approvvigionamento e alla produzione.⁶⁷

5.6 Tipi di BOM

5.6.1 EBOM

La Engineering Bill Of Materials (EBOM) è un tipo di distinta base che contiene un elenco completo di tutti i componenti, parti, assiami e sotto assiami necessari per fabbricare un prodotto secondo le sue specifiche tecniche, come progettato dai dipartimenti di ingegneria. Include solitamente un disegno tecnico e meccanico di un prodotto, che ne descrive la funzionalità.

La distinta base tecnica copre anche i fattori che influiscono sul costo del prodotto.

Nella maggior parte dei processi sono presenti più EBOM perché la progettazione di un prodotto solitamente subisce numerose revisioni.

Una EBOM riguarda la prospettiva di progettazione di un prodotto piuttosto che quella di produzione. Comunemente, sono gli strumenti come Electronic Design Automation (EDA) o CAD - Computer-Aided Design, che gli ingegneri utilizzano per sviluppare una EBOM.

Inoltre, per un determinato progetto di prodotto è possibile creare più di una EBOM. Ad esempio, la distinta base per il gruppo scheda a circuito stampato (PCBA) progettata da un ingegnere elettrico elenca resistori, condensatori e chip. La distinta base del prodotto progettato da un ingegnere meccanico include parti personalizzate e l'hardware acquistato, come un display LCD, pulsanti e viti.

L' EBOM funge quindi da documento di riferimento per ingegneri, progettisti e produttori, descrivendo in dettaglio i materiali, le quantità e le specifiche esatte necessarie per ciascuna parte nel processo di progettazione del prodotto.

In genere include informazioni quali codici prodotto, descrizioni, dimensioni, materiali e qualsiasi altro dato tecnico rilevante necessario per la produzione.

⁶⁷ Statii.(2023).*Bill of Materials(BOM) – An Essential Guide for Manufacturers*. <https://www.statii.co.uk/blog/bill-of-materials-bom-manufacturing-guide>

La EBOM è fondamentale per garantire che il prodotto finale sia fabbricato correttamente e soddisfi i requisiti di progettazione previsti.

L'accuratezza di una EBOM è fondamentale poiché la MBOM, o distinta base di produzione, illustrata in seguito, dipende da essa. Una EBOM piena di errori potrebbe generare costi di prodotto errati, livelli di inventario errati, contabilità non valida e anche revisioni ripetute.

Al contrario, una corretta EBOM può migliorare le decisioni di acquisto delle parti richieste, può fornire informazioni di produzione integrate ed evitare revisioni non necessarie.⁶⁸

5.6.2 MBOM

Se la EBOM riguarda il modo in cui viene progettato un prodotto, la distinta base di produzione (MBOM) è un documento che elenca tutti i componenti, parti, sotto assiemi e materiali necessari per fabbricare un prodotto durante il processo di produzione ed è organizzata per supportare l'assemblaggio del prodotto.

A differenza della distinta tecnica dei materiali (EBOM), che si concentra sugli aspetti di progettazione e ingegneria di un prodotto, la MBOM è quindi adattata specificamente al processo di produzione.

Differisce inoltre dall' EBOM sia per struttura, che per livello di dettaglio.

I dati della MBOM derivano dalla distinta base tecnica (EBOM) ma spesso contengono più informazioni della EBOM, poiché forniscono istruzioni dettagliate su come utilizzare ciascuna parte durante la produzione del prodotto. Può includere informazioni come processi di produzione specifici da utilizzare, quantità di produzione, informazioni di routing, istruzioni di produzione e di assemblaggio, materiali specifici da reperire e kitting (ovvero l'aggregazione di tutti i prodotti finiti, accessori, documenti, ecc. in un pacchetto), e qualsiasi altro dato necessario per la produzione efficiente e accurata del prodotto.

Serve da guida per i pianificatori della produzione, i team di approvvigionamento e il personale di officina, garantendo che i componenti corretti siano disponibili al momento giusto e nelle adeguate quantità per assemblare il prodotto finale secondo le specifiche.

Ma perché è importante costruire una MBOM dettagliata e accurata?

La MBOM facilita la conversione finale di un'idea in un prodotto tangibile, è uno strumento essenziale per ottimizzare le operazioni di produzione e garantire qualità e coerenza nella produzione.

⁶⁸ OptiProERP. *The 10 Types of Bill of Materials (BOMs)*. <https://www.optiproerp.com/blog/10-types-boms-explained/>

Paragonata anche ad una vera e propria tabella di marcia per fabbricare un prodotto, la MBOM è infatti un documento di riferimento in ambito produttivo.

Di conseguenza, una MBOM mal preparata può comportare dei costi molto elevati per un'azienda e può ostacolare il regolare svolgimento del processo di produzione.

D'altro canto, una MBOM ben scritta ha un impatto positivo sull'intero processo di produzione e può aiutare a garantire che i partner della produzione e della catena di fornitura possano consegnare nei tempi e nel budget previsti.

Di seguito sono riportati alcuni vantaggi derivanti da una MBOM completa e accurata:

- *Migliore processo decisionale e pianificazione:* una MBOM ben strutturata include istruzioni dettagliate su cosa, dove e come ottenere tutti i materiali e le parti necessarie per costruire il prodotto. In questo modo, si è in grado di adattare l'ambito del progetto al budget esistente e di fare scelte migliori su come consegnare il prodotto al cliente, in modo economicamente vantaggioso ed efficiente.
- *Previene le carenze ed elimina gli sprechi:* avere un elenco dettagliato dei componenti e delle loro quantità può aiutare a prevenire l'esaurimento delle scorte necessarie per l'assemblaggio o la manutenzione del prodotto. Ciò è particolarmente utile in una situazione di carenza della catena di approvvigionamento, in cui è difficile ottenere regolarmente materiali e parti.

Quando invece vengano ordinati componenti o quantità errate, si avranno parti extra che dovranno essere immagazzinate o componenti inutilizzabili che dovranno essere restituiti. La correzione di questi errori comporta costi in termini di tempo e denaro, e ciò potrebbe influire in modo significativo sui profitti dell'azienda.

- *Facilita il processo di produzione:* una buona MBOM fornisce indicazioni chiare su quali azioni intraprendere per semplificare le operazioni di produzione. La capacità di un'azienda di progettare, costruire, ampliare e introdurre con successo un nuovo prodotto dipende in gran parte dalla correttezza e dalla completezza della MBOM.⁶⁹

5.6.3 Sales BOM

Una Sales BOM è un documento commerciale che elenca i componenti e i prodotti necessari per completare una vendita. In altre parole, la distinta base di vendita funge da "progetto" per il sistema di elaborazione degli ordini di vendita.

⁶⁹ Siemens. *Manufacturing bill of materials*. <https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/manufacturing-bill-of-materials-mbom/>

In genere include descrizioni dei prodotti, SKU⁷⁰, codici articolo, quantità e prezzi per ciascun articolo, nonché eventuali sconti o altre promozioni applicabili, termini e condizioni eventualmente associati alla vendita, come garanzie, termini di consegna e di pagamento.

La Sales BOM è un documento essenziale in quanto fornisce il quadro per garantire una catalogazione accurata e coerente dei prodotti, la gestione dell'inventario e l'evasione degli ordini. Può essere utilizzato anche dai rappresentanti del servizio clienti per rispondere in modo efficiente a domande su prodotti, prezzi e disponibilità. Inoltre, è essenziale per prevedere con precisione la domanda di inventario, nonché per la definizione del budget.

Si differenzia dalla distinta base ingegneristica (EBOM) e dalla MBOM in quanto si concentra sulla prospettiva del cliente piuttosto che sul processo di progettazione o produzione.

Creare una può richiedere molto tempo, ma ne vale la pena in quanto garantisce che tutti i soggetti coinvolti, dal personale di vendita a quello del servizio clienti, abbiano un quadro chiaro di ciò che è necessario per completare la transazione.

Aiuta inoltre a ottimizzare la gestione dell'inventario, garantendo che i prodotti giusti siano sempre disponibili in magazzino.

Al fine di garantire precisione e correttezza delle informazioni riportate al suo interno, è importante controllarla più volte prima di inviarla. Ciò include la verifica che tutti i prodotti e i prezzi siano corretti, nonché la garanzia che tutti i componenti necessari siano inclusi.

Inoltre, è importante incrociare la distinta base di vendita con la distinta base di produzione per assicurarsi che tutti gli articoli necessari siano inclusi nell'ordine di vendita.

Una Sales BOM è quindi un componente fondamentale del sistema di vendita e di elaborazione degli ordini di qualsiasi azienda, poiché fornisce le informazioni necessarie per un'accurata evasione degli ordini. Costruendo correttamente la Sales BOM, si può garantire che i clienti ricevano i prodotti di cui hanno bisogno, quando ne hanno bisogno, e che tutti gli ordini vengano completati in modo tempestivo ed efficiente.

5.6.4 Configurable BOM

Una distinta base configurabile (CBOM) è un tipo di distinta base che consente di acquisire variazioni e configurazioni di un prodotto in modo strutturato. È particolarmente utile nei settori in cui i prodotti possono essere personalizzati o configurati in base alle esigenze del cliente, ad esempio nella produzione, nell'ingegneria e nello sviluppo di software.

⁷⁰ Acronimo di Stock Keeping Unit, è una sequenza di caratteri alfanumerici univoci che le aziende utilizzano per identificare e tracciare i propri prodotti all'interno del magazzino, semplificandone la localizzazione e impedendone la confusione tra articoli diversi.

Di seguito, alcune caratteristiche chiave di una distinta base configurabile:

- *Modularità*: le CBOM hanno generalmente una struttura modulare, con componenti raggruppati in moduli o opzioni che possono essere mescolati e abbinati per creare diverse configurazioni di prodotto.
- *Varianti*: le CBOM tengono conto delle diverse varianti di un prodotto, elencando componenti alternativi, oppure opzioni per caratteristiche, o funzionalità specifiche. Ciò consente di garantire flessibilità nel soddisfare le diverse preferenze dei clienti o le esigenze del mercato.
- *Regole e logica*: le CBOM spesso incorporano regole e logica per definire configurazioni valide e garantire che i componenti selezionati siano compatibili tra loro. Ciò aiuta a prevenire errori e garantisce che vengano generate solo le configurazioni realizzabili.
- *Gestione della configurazione*: le CBOM includono strumenti e processi per la gestione delle configurazioni del prodotto durante l'intero ciclo di vita, dalla progettazione e ingegneria iniziali alla produzione e manutenzione. Ciò può comportare il controllo della versione, la gestione delle modifiche e la convalida della configurazione.
- *Integrazione con altri sistemi*: le CBOM sono spesso integrate con altri sistemi come configuratori di prodotto, sistemi ERP (Enterprise Resource Planning) e sistemi PLM (Product Lifecycle Management) per semplificare il processo di configurazione e garantire coerenza tra le diverse fasi di sviluppo e produzione del prodotto.

Nel complesso, una distinta base configurabile fornisce un quadro strutturato per la gestione delle configurazioni dei prodotti e consente alle aziende di produrre in modo efficiente prodotti personalizzati mantenendo il controllo su costi, qualità e conformità.⁷¹

5.6.5 Production Bill of Material

Una distinta base di produzione (PBOM) è un elenco strutturato di componenti, parti, materiali e assemblaggi necessari per la fabbricazione o la produzione di un prodotto specifico.

Serve come guida dettagliata per il processo di produzione, garantendo che tutti gli elementi necessari siano disponibili e assemblati correttamente per produrre il prodotto finale.⁷²

La PBOM si concentra quindi principalmente sui materiali e sui componenti necessari per la produzione (descrivendo in dettaglio la struttura del prodotto e specificando le parti necessarie per assemblarlo), mentre la MBOM include ulteriori informazioni specifiche per guidare il

⁷¹ Lukteich B. *Definition bill of materials (BOM)*. <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/bill-of-materials-BoM>

⁷² Jenkins A. (2022). *What Is a Bill of Materials (BOM)? Expert Guide & Tips*. <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/erp/bill-of-materials-bom.shtml>

processo di produzione (come il percorso che il materiale deve seguire lungo la linea di produzione, istruzioni di produzione, requisiti di risorse).

Di seguito, alcune caratteristiche chiave di una distinta base di produzione:

- *Componenti dettagliati*: la PBOM include tutti i singoli componenti e le parti necessarie per costruire il prodotto, comprese quantità, descrizioni e numeri di parte.
- *Struttura dell'assemblaggio*: delinea la struttura gerarchica del prodotto, mostrando come i componenti vengono assemblati insieme per creare sotto assiemi e il prodotto finale.
- *Informazioni sul percorso*: la PBOM può includere informazioni sul percorso che specificano la sequenza di operazioni e processi necessari per assemblare il prodotto. Ciò aiuta i pianificatori e i lavoratori della produzione a comprendere il flusso di lavoro della produzione. Tali informazioni sono comunque maggiormente presenti nella MBOM.
- *Allocazione delle risorse*: la PBOM può specificare le risorse necessarie per la produzione, come attrezzature, strumenti, manodopera e stime dei tempi per ciascuna fase di produzione.
- *Tracciabilità*: facilita la tracciabilità dei componenti, rendendo più semplice risalire a eventuali problemi di qualità o difetti di produzione.
- *Controllo della versione*: come altri tipi di distinte base, la PBOM può essere sottoposta a revisioni e aggiornamenti durante l'intero ciclo di vita del prodotto. Il controllo della versione garantisce che per la produzione venga utilizzata la versione corretta della PBOM.

Nel complesso, la distinta base di produzione è un documento fondamentale per la pianificazione e la gestione della produzione, la pianificazione delle scorte e l'assemblaggio del prodotto. Garantisce che il processo di produzione si svolga in modo fluido ed efficiente fornendo indicazioni chiare su materiali, componenti e processi necessari per fabbricare il prodotto.⁷³

5.6.6 Assembly BOM

La Assembly BOM (ABOM) è un tipo di distinta base che si concentra sull'assemblaggio o sulla costruzione di un prodotto, fornendo un elenco strutturato di tutti i componenti, parti, sotto assiemi e materiali necessari.⁷⁴

⁷³ Statii. (2023). *Bill of Materials (BOM) – An Essential Guide for Manufacturers*. <https://www.statii.co.uk/blog/bill-of-materials-bom-manufacturing-guide>

⁷⁴ Jenkins A. (2022). *What Is a Bill of Materials (BOM)? Expert Guide & Tips*. <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/erp/bill-of-materials-bom.shtml>

Sebbene la ABOM possa derivare da altre distinte base come EBOM o MBOM, è focalizzata specificamente sulle informazioni relative all'assieme e potrebbe non includere tutti i dettagli presenti in altre distinte base. Tuttavia, dovrebbe essere coerente e complementare ad altre distinte base per garantire che il processo di assemblaggio sia in linea con i requisiti di progettazione e produzione.

L'ABOM include in genere le seguenti informazioni:

- *Componenti e parti*: un elenco dettagliato di tutti i singoli componenti e le parti necessarie per l'assemblaggio, comprese quantità, descrizioni e numeri di parte.
- *Sotto assiemi*: se il prodotto è composto da sotto assiemi, l'ABOM include anche questi, dettagliando i componenti e le parti necessarie per ciascun di essi.
- *Istruzioni di assemblaggio*: istruzioni o linee guida su come assemblare il prodotto, inclusa la sequenza di assemblaggio, gli strumenti richiesti, le tolleranze e qualsiasi altra istruzione pertinente, come orientamento delle parti, metodi di fissaggio e requisiti di qualità.
- *Struttura della distinta base*: la ABOM spesso riflette la struttura gerarchica del prodotto, mostrando come i componenti vengono assemblati insieme per creare sotto assiemi per arrivare al prodotto finale.
- *Componenti opzionali*: qualsiasi componente o configurazione opzionale che può essere inclusa nell'assieme, oltre ai costi o alle variazioni associati.
- *Ausili visivi*: a volte, la ABOM può includere aiuti visivi come diagrammi, disegni o illustrazioni per aiutare a chiarire le istruzioni di assemblaggio o il posizionamento dei componenti.

Nel complesso, la ABOM costituisce un documento di riferimento fondamentale per gli addetti all'assemblaggio, fornendo loro le informazioni e le istruzioni necessarie per assemblare correttamente il prodotto secondo le specifiche, garantendo coerenza, precisione, efficienza e qualità.

5.6.7 Software BOM

Secondo il rapporto Open Source Security and Risk Analysis del 2021, il 75% del codice che compone in media i software è costituito da software open source. In altre parole, quando si analizza il codice di un tipico software moderno, si scopre che tre quarti di quel codice provengono da progetti open source. È qui che entra in gioco la SBOM.

La SBOM è un elenco completo di tutti i componenti e le relative dipendenze utilizzati nella creazione di un prodotto o di un'applicazione software. Simile a una distinta base tradizionale utilizzata nelle industrie manifatturiere, una SBOM offre trasparenza e visibilità nella catena di

fornitura del software, consentendo alle organizzazioni di comprendere e gestire la composizione delle proprie risorse software.

Le SBOM riguardano essenzialmente l'integrità dei "materiali" digitali con cui si lavora, concentrandosi su fiducia e sicurezza. Possono identificare i componenti di cui è composto un software, l'origine di questi file, il modo in cui sono stati creati e se sono stati firmati in modo sicuro da persone fidate.

Le SBOM sono uno strumento che gli sviluppatori di software e i consumatori possono utilizzare per promuovere la fiducia e la credibilità nel ciclo di vita dello sviluppo e della distribuzione del software stesso.

Gartner stima che entro il 2025, il 60% delle organizzazioni che sviluppano o acquistano software per infrastrutture critiche saranno obbligate a utilizzare le SBOM; ciò rappresenterebbe un forte aumento rispetto al dato inferiore al 20% registrato nel 2022.

Ma perché è così importante una SBOM?

Il vantaggio principale di avere una SBOM è che consente alle aziende di controllare il rischio, permettendo l'identificazione e la mitigazione tempestive dei sistemi vulnerabili o del codice sorgente che viola la licenza. Gli sviluppatori dovrebbero mantenere un elenco completo dei componenti in ogni versione di un'applicazione software, in modo così da identificare il codice vulnerabile e obsoleto.

Inoltre, la SBOM può essere utilizzata per monitorare la sicurezza di ciascuna applicazione in seguito alla distribuzione, identificando il potenziale impatto di nuove vulnerabilità.

La mancanza di visibilità sistemica sulla composizione e sulla funzionalità delle soluzioni software contribuisce in modo significativo al rischio di sicurezza informatica nonché ai costi di sviluppo, di approvvigionamento e di manutenzione.

Inoltre, le SBOM possono contribuire a migliorare la governance sulle licenze software. Ogni software è infatti costituito da una licenza che indica l'uso e la distribuzione legale del software stesso. Codici diversi nelle applicazioni della catena di fornitura possono avere molte licenze diverse per i singoli componenti. L'azienda che distribuisce una particolare applicazione ha l'obbligo legale di rispettare le licenze. Una SBOM può aiutare l'azienda per comprendere quali licenze sono necessarie e come rispettarle.

Gli aspetti di sicurezza degli ambienti IT complessi e l'integrità della catena di fornitura stanno incoraggiando lo sviluppo di un manuale informativo standardizzato, ovvero una SBOM, che

descrive gli elementi costituenti un software e le fonti dei suoi componenti, per garantire la trasparenza del software stesso.⁷⁵

⁷⁵ ERPNext. (2020). *What is Bill Of Materials, its types, and uses? All you need to know.*
<https://erpnext.com/blog/manufacturing/bill-of-materials>

CAPITOLO 6 – LA TECNOLOGIA APPLICATA ALLE BOM

A questo punto, dopo una prima analisi dell'evoluzione nella gestione delle BOM, è opportuno considerare l'utilizzo delle più moderne tecnologie, dalle RPA all'intelligenza artificiale, per la creazione, lo sviluppo e il mantenimento delle BOM stesse. Per ognuna di esse, vengono illustrati benefici e casi di applicazione all'interno di questo capitolo.

6.1 L'evoluzione della gestione della BOM

Nel corso della storia industriale, il processo di gestione e creazione della Bill of Materials (BOM), o lista dei materiali, ha subito una trasformazione significativa, passando da metodi manuali, a soluzioni più tecnologiche e automatizzate.

In passato, la creazione di una BOM era un processo laborioso e suscettibile di errori umani. Gli ingegneri e i responsabili di produzione dovevano compilare manualmente una lista dettagliata di tutti i materiali necessari per la fabbricazione di un prodotto, incluse parti, componenti e quantità richieste. Questo processo richiedeva un'attenta revisione e verifica per assicurarsi che tutti i componenti fossero inclusi e che non ci fossero errori di digitazione o omissioni.

Con l'avanzare della tecnologia, sono emerse soluzioni software che hanno rivoluzionato il modo in cui viene gestita la BOM. I sistemi informatici e i software di gestione del ciclo di vita del prodotto (PLM) hanno reso possibile automatizzare e ottimizzare il processo di creazione e gestione della BOM. Questi strumenti consentono agli ingegneri di creare e modificare facilmente le BOM in modo digitale, con funzionalità di tracciamento delle modifiche e di gestione della configurazione.

Inoltre, l'integrazione delle BOM con altri sistemi aziendali, come l'ERP (Enterprise Resource Planning), ha reso possibile una gestione più efficiente dei materiali e una maggiore visibilità lungo l'intera catena di approvvigionamento. Le BOM digitali, inoltre, possono essere facilmente condivise e aggiornate in tempo reale tra diverse funzioni aziendali, consentendo una collaborazione più efficace e una riduzione dei tempi ciclo.

Oltre alla gestione delle BOM, la tecnologia ha anche rivoluzionato il modo in cui vengono utilizzati i dati relativi ai materiali. L'adozione di tecnologie come la tracciabilità RFID (Radio-Frequency Identification) e la blockchain ha reso possibile una maggiore trasparenza e tracciabilità lungo l'intera catena di approvvigionamento, consentendo alle aziende di identificare e risolvere rapidamente eventuali problemi di qualità o di conformità.

In conclusione, il passaggio dalla creazione e dall'uso delle BOM manuali a soluzioni più tecnologiche e automatizzate ha portato ad una maggiore efficienza operativa, una migliore gestione dei materiali e una maggiore visibilità lungo l'intera catena di approvvigionamento. Queste innovazioni continuano a guidare l'evoluzione del processo di gestione delle BOM,

consentendo alle aziende di rimanere competitive in un ambiente commerciale sempre più complesso e globale.⁷⁶

Certo, la rapida evoluzione della tecnologia e della produzione ha creato nuove opportunità, ma anche nuove sfide e rischi.

Due sono principalmente le caratteristiche dell'attuale mercato: la prima è costituita dal bisogno di promuovere nuovi prodotti a breve tempo l'uno dall'altro, per evitare che il cliente si diriga verso la concorrenza; la seconda caratteristica è la necessità di sviluppare prodotti sempre più tecnologici, quindi più complessi.

Di fronte a queste nuove sfide, la fase di progettazione di un prodotto, e quindi la relativa BOM, assume un ruolo fondamentale. Non è molto difficile, infatti, vedere come processi di progettazione e sviluppo del prodotto inadeguati possano avere un impatto sulle aziende e sui loro clienti. Multinazionali come Samsung e Apple hanno avuto la loro parte di prodotti che non hanno funzionato, almeno inizialmente. Il lancio del telefono pieghevole di Samsung è solo un esempio: l'azienda è stata costretta a ritardare di mesi l'uscita del nuovo prodotto a causa di difetti di progettazione. Lanciare rapidamente il prodotto sul mercato, prima che fosse effettivamente pronto, si è rivelata una scelta azzardata, determinando un imbarazzo per Samsung nei confronti dei propri clienti.

6.2 Verso una distinta base unificata: tecnologie e strategie

La complessità del prodotto, guidata dai progressi tecnologici come l'IoT e l'intelligenza artificiale (AI), richiede oggi una cooperazione progettuale multidisciplinare tra i diversi dipartimenti aziendali.

Per immettere sul mercato prodotti di alta qualità è necessaria, infatti, una collaborazione coerente e chiara tra un'ampia gamma di sistemi e team distribuiti.

La collaborazione tra team è l'obiettivo standard di ogni azienda produttrice, ma raggiungere questo obiettivo può essere impegnativo.

I partner di produzione a contratto e le loro catene di fornitura devono infatti lavorare di concerto con l'azienda sia nelle prime fasi che durante l'intero ciclo di vita del prodotto.

Per ottenere e mantenere un vantaggio competitivo, tutti coloro che sono responsabili della fornitura di una parte del prodotto, devono poter accedere ad un unico e affidabile strumento che contenga tutte le informazioni a riguardo. In questo senso, una distinta base controllata a livello centrale può fare la differenza nel determinare il successo, o meno, di un prodotto e della azienda stessa.

⁷⁶ Arena. *Today's Product Innovators Need Intelligent BOM Management*. <https://www.arenasolutions.com/wp-content/uploads/intelligent-bom-management-for-todays-product-innovations.pdf>

Tuttavia, troppo spesso le distinte base vengono gestite su più sistemi da team di progettazione e produzione differenti. Ciò porta a processi di sviluppo disconnessi che spesso si traducono in ritardi nel lancio del prodotto, problemi di qualità, errori di produzione, costosi scarti e rilavorazioni.

Ciò di cui si necessita è invece l'uso di soluzioni BOM più intelligenti e automatizzate, in modo da centralizzare il controllo dell'intero record di un prodotto e della BOM stessa, per eliminare gli eventuali ostacoli e garantire un risultato di qualità.

La collaborazione in tempo reale su un'unica BOM da parte di team differenti è migliorata con soluzioni basate su cloud che consentono ai team di prodotto di comunicare durante l'intero processo di sviluppo del prodotto stesso. Con una soluzione di gestione intelligente delle distinte base, tutti i team e i livelli della catena di fornitura globale possono accedere facilmente alle informazioni e collaborare sempre e ovunque.

Diversi sono i vantaggi chiave che possono essere raggiunti:

- Cicli di rilascio del prodotto più rapidi con creazione e modifiche più semplici (ad esempio, la capacità di importare dati e informazioni da altri sistemi, di effettuare modifiche collettive in tutti gli assiemi in cui un certo prodotto o componente venga utilizzato, ecc.).
- Maggiore precisione con le relazioni di assieme strutturate.
- Migliore visibilità con il reporting di distinte base singole, multilivello e consolidate.
- Miglioramento della ricerca per trovare componenti, sottoassiemi e sopra insiemi.

Sebbene si sia tentato di introdurre modi più efficaci per creare, modificare e rilasciare le distinte base, la maggior parte delle tecnologie non è ancora riuscita a fornire vantaggi all'intero team di prodotto, dalla progettazione iniziale fino alla produzione.

Di seguito, vengono illustrati i principali vantaggi e punti deboli per ciascuna tecnologia introdotta.

- *Distinte base tabellate disegnate:*
 - Benefici:
 - Possibilità di osservare l'elenco delle parti direttamente sul disegno.
 - Svantaggi:
 - Soluzione non intelligente, non scalabile e che richiede molto tempo.
- *Distinta base rappresentata tramite fogli di calcolo (ad esempio Excel):*
 - Benefici:
 - Introdotta la struttura genitore/figlio e la relazione di base.
 - Svantaggi:

- Soluzione disconnessa dai disegni, con possibilità di modifica delle diverse relazioni tra componenti e dei relativi livelli.
 - Difficoltà nel controllare le modifiche e nel tenere traccia dell'utilizzo.
- *Database relazionali:*
 - Benefici:
 - Capacità di classificazione dei dati (ad esempio, l'anagrafico articolo, i dati del produttore approvato potrebbero essere associati ai dati della struttura della distinta base).
 - Garantita la capacità di gestire la distinta base multilivello e di cercare dove gli assiemi vengono utilizzati.
 - Svantaggi:
 - I primi database richiedevano risorse IT/tecniche ed erano soluzioni ancora non efficienti.
 - Soluzione separata dai sistemi e dai processi che gestivano ordini di modifica, disegni, file e altra documentazione.
- *Progettazione assistita da computer (CAD):*
 - Benefici:
 - Aumento della produttività e della qualità dei progetti meccanici o elettrici (rispetto ai progetti manuali e disegnati a mano).
 - Possibilità di generare distinte base rapidamente ed esportarle per l'utilizzo nei sistemi downstream.
 - Svantaggi:
 - Sistemi di progettazione disconnessi (ad esempio EDA, CAD, software).
- *Gestione dei dati di prodotto (PDM):*
 - Benefici:
 - Collaborazione semplificata tra i team di progettazione tecnica quando si lavora simultaneamente sugli stessi progetti.
 - Svantaggi:
 - Non sono stati introdotti dei reali vantaggi per la creazione o l'uso della BOM, oltre a quanto offerto dalla soluzione CAD.
 - Le soluzioni PDM in genere si rivolgono a un solo strumento CAD e non forniscono un modo completo per gestire tutti gli aspetti della progettazione (ad esempio aspetti elettrici, meccanici, software).
- *Pianificazione dei requisiti aziendali (ERP):*
 - Benefici:

- Ha contribuito a migliorare e aiutare nel processo di automatizzazione della pianificazione della produzione, dell'approvvigionamento e dei processi di produzione.
- È stata garantita la possibilità di gestire la registrazione della distinta base in modo più efficace.
- Svantaggi:
 - Soluzione incentrata sulla distinta base più recente utilizzata per la produzione e la pianificazione, e non anche su tutte le revisioni preproduzione in fase di progettazione e sviluppo.
 - Non ha affrontato il problema della collaborazione nella catena di fornitura.

Quando queste soluzioni furono introdotte, molte aziende ne sfruttarono più di una, dando vita a sistemi disparati all'interno dell'azienda. Ciò ha portato a un mosaico di sistemi in cui i team interessati hanno avuto difficoltà a identificare la revisione o la corretta progettazione del prodotto.

6.3 I fattori per una gestione intelligente della BOM

Selezionare la soluzione più adeguata alla gestione della BOM può consentire di migliorare il processo di introduzione di un nuovo prodotto, riducendo i costi, migliorandone l'affidabilità e aumentando i margini di profitto per l'azienda.

Di seguito vengono elencate le cinque aree funzionali chiave da considerare quando si debba scegliere un modo più intelligente di gestire la distinta base.

1. *Centralizzare il controllo della distinta base, del record del prodotto e dei processi di modifica:* i team di progettazione e produzione sono soliti utilizzare molti sistemi specifici, diversi tra loro, per i relativi ruoli lavorativi.

È importante, invece, adottare un approccio che consenta di aggregare tutte le informazioni relative ad un determinato prodotto in un unico sistema, favorendo così una collaborazione semplificata.

Avere una distinta base centralizzata, infatti, fornisce un migliore controllo, semplificando al tempo stesso le connessioni tra le informazioni sul prodotto e le persone, accelerando così anche i processi di sviluppo. Inoltre, le soluzioni cloud semplificano l'accesso alle informazioni, indipendentemente da dove si trovino i team coinvolti.

Il controllo centralizzato implica molto più che avere un unico sistema per archiviare le informazioni sul prodotto. È infatti l'elemento fondamentale necessario per uno sviluppo di prodotto efficace, che aiuta a collegare tutte le informazioni relative al prodotto stesso e al relativo processo di creazione e sviluppo. Aiuta anche nei processi di modifica, collegando le

informazioni chiave dei record del prodotto. Infine, elimina eventuali confusioni, garantendo ai team la possibilità di creare e modificare tutti gli aspetti della progettazione del prodotto in un unico spazio condiviso.

2. *Fornire accesso sicuro e responsabilità ai team*: alcune soluzioni di gestione delle BOM non sono ancora in grado di fornire modi semplici e sicuri per accedere e condividere le informazioni sui prodotti tra i diversi team coinvolti. Molto spesso, infatti, continuano a fare affidamento su metodi di collaborazione obsoleti, che non si adattano bene alle esigenze delle aziende odierne, caratterizzate dalla collaborazione tra team altamente dispersi. A volte, infatti, possono essere presenti dei team che sono coinvolti solo in alcune fasi della creazione e gestione di una BOM. Di conseguenza, i livelli di accesso e la condivisione delle informazioni, specie per prodotti con grandi e complesse catene di approvvigionamento, non sono sempre uguali per tutti i team. È quindi fondamentale valutare come i sistemi di gestione delle BOM garantiscono accessi e responsabilità, distinguendo tra sistemi che offrono un'unica licenza per tutti i diversi tipi di utenti, e quelli che garantiscono licenze "su misura", con diverse possibilità di accesso e modifica a seconda dei ruoli e delle responsabilità.
3. *Fornire capacità complete di gestione della Bill of Materials (BOM)*: i sistemi intelligenti di gestione della Bill of Materials (BOM) dovrebbero offrire la possibilità per creare, importare, modificare, condividere, confrontare e approvare le BOM durante l'intero ciclo di vita del prodotto. Prima di selezionare un sistema di gestione della BOM, è quindi consigliabile raccogliere e valutare i requisiti di tutti i team, per garantire che la collaborazione interfunzionale possa essere raggiunta.
4. *Migliorare la collaborazione con comunicazioni formali e informali*: la maggior parte delle soluzioni per una gestione intelligente delle BOM offrono opzioni formali e controllate per la collaborazione tra i diversi team. Tuttavia, ci sono momenti in cui sono necessari metodi di collaborazione meno formali e più flessibili. La capacità di fornire input su articoli, insiemi, BOM e altre informazioni sul prodotto al di fuori dei processi formali di modifica e di prodotto migliora lo sviluppo del prodotto stesso e, alla fine, accelera i processi di NPDI (ovvero, New Product Development and Introduction).
5. *Eseguire valutazioni proattive della salute e del rischio sui componenti della BOM*: le aziende produttrici di prodotti complessi e i loro partner nella catena di approvvigionamento devono eliminare i rischi legati all'approvvigionamento di componenti disponibili sul mercato, ma non conformi alle normative. Per esempio, la capacità di individuare e reperire parti che soddisfano i requisiti di conformità ambientale è fondamentale per ridurre i costi dei prodotti, assicurare la consegna tempestiva e rimanere all'interno del budget. Fornire informazioni sul ciclo di vita dei componenti e sulla conformità degli stessi lungo tutta la catena di

approvvigionamento è essenziale per garantire la qualità, ridurre i costi ed evitare ritardi non necessari.⁷⁷

6.4 Benefici della gestione intelligente della BOM

Ci sono molteplici vantaggi che un'azienda può ottenere dall'avere una soluzione tecnologica di gestione della Bill of Materials (BOM). Di seguito ne vengono riportati cinque.

1. *Fornire dati sul prodotto all'inizio del processo.* Nel portare un prodotto sul mercato, diverse parti sono coinvolte. Ad esempio, nella maggior parte dei casi il processo di sviluppo del prodotto inizia con l'ingegneria. Fino a quando i disegni non vengono revisionati e approvati, i team di produzione e i fornitori sono costretti ad attendere. Questa situazione genera difficoltà perché i team di produzione, qualità e regolamentazione non possono avanzare nei loro compiti fino a quando il disegno approvato non risulti disponibile.

Una delle funzionalità che una soluzione tecnologica di gestione della BOM dovrebbe offrire è un semplice controllo dell'accesso alla gestione del ciclo di vita del prodotto. In questo modo, i team di disegno, per esempio, potrebbero semplicemente "promuovere" le informazioni a uno stato adatto alla collaborazione. Di conseguenza, le altre parti interessate potrebbero accedere a tali informazioni aggiornate, tracciabili e accurate, via via che siano rese disponibili. Ciò consentirebbe una maggiore collaborazione attiva, oltre che un risparmio di tempi e costi.

2. *Gestire diverse strutture della BOM.* I produttori a volte possono creare BOM utilizzando diverse fonti (ad esempio, strumenti multi-CAD, Excel, strumenti interni). Le BOM possono essere strutturate in base al tipo di prodotti e alla strategia di vendita utilizzata per portare il prodotto sul mercato (ad esempio, assemblaggio a stock, assemblaggio su ordinazione e ingegnerizzazione su ordinazione).

Il produttore può quindi creare delle varianti della BOM in base a una vasta gamma di esigenze dei clienti.

Tutti questi fattori generano diverse strutture di BOM che devono essere supportate e gestite.

Una gestione efficace della BOM dovrebbe consentire un approccio modulare e configurabile che permetta di creare un'unica BOM, da cui poi poter ottenere diverse varianti a seconda dei requisiti, in modo che il produttore possa offrire prodotti configurabili che si adattano a una vasta gamma di esigenze di mercato e dei clienti.

⁷⁷ Melgarejo C. (2022). *5 Key Considerations When Selecting the Right BOM Management Software*. <https://www.ptc.com/en/blogs/plm/selecting-the-right-bom-management-software>

Questo design modulare può essere sfruttato per esigenze successive, fornendo una definizione comune per la pianificazione della produzione, il servizio e la catena di approvvigionamento. Ciò ridurrebbe il numero di iterazioni tardive, il numero di modifiche di progettazione e il tempo necessario per identificare i problemi. La piattaforma modulare e la logica non sarebbero più nascoste in molti fogli di calcolo, ma verrebbero gestite e rese disponibili in tutta l'azienda, rendendone possibile anche la condivisione con sistemi successivi, come l'ERP.

3. *Gestire in modo completo le configurazioni della BOM.* Durante il processo di sviluppo del prodotto, si verificano variazioni multiple. Lavorare con sistemi disconnessi non permette di avere una visione chiara dei dati e di comprendere adeguatamente le esigenze di tutti i partecipanti al processo, né di distinguere le interdipendenze.

Una soluzione efficace di gestione della BOM fornisce visibilità su come il prodotto si evolve e mostra quali informazioni sul prodotto sono disponibili per ingegneria, produzione, catena di approvvigionamento, ecc. Ogni team può ottenere informazioni dettagliate sul prodotto e raccogliere tutti i dati rilevanti di cui necessita. Una caratteristica chiave è abilitare il confronto tra le strutture dei prodotti, incluse eventuali differenze nei componenti, nella BOM, nei CAD, nei documenti e la possibilità di visualizzarli in 3D.

4. *Visualizzare prodotti, parti e dati.* Quando si condivide una BOM in tutta l'azienda, avere una rappresentazione visiva del prodotto e delle sue parti è fondamentale. Le parti interessate che non sono direttamente coinvolte nel lavoro di progettazione del prodotto devono avere una migliore visibilità e coinvolgimento. La visualizzazione aiuta nel riconoscimento delle parti e consente di utilizzare modelli digitali durante tutto lo sviluppo del prodotto, ottimizzando i processi e i deliverable successivi.

Affinché la visualizzazione del prodotto offra il massimo valore in tutta l'azienda, i dati rappresentati devono essere accurati e completi. Queste rappresentazioni visive possono fare la differenza per un produttore. Una soluzione completa di gestione della BOM consentirebbe di vedere le configurazioni del prodotto in 3D, di eseguire controlli di interferenza, ricerca codificata a colori, confronto visivo e altro ancora.

5. *Aumentare il riutilizzo dei componenti e ridurre i costi.* I nuovi componenti possono essere costosi, e il loro inserimento a sistema potrebbe risultare complesso. Il riutilizzo dovrebbe essere, invece, una priorità per contribuire a ridurre i costi e aumentare l'efficienza. Inoltre, può contribuire a ridurre al minimo la complessità dell'inventario, migliorando l'utilizzo della catena di approvvigionamento e riducendo le difficoltà nella manutenzione post-vendita.

Una gestione tecnologica della BOM fornisce il supporto di cui l'organizzazione ha bisogno per risolvere la sfida del riutilizzo delle parti in due modi:

- *Classificazione*: vengono aggiunti dati extra alla descrizione della parte per semplificarne la suddivisione per categoria. Queste categorie potrebbero includere hardware, componenti elettrici, componenti forniti e altro ancora. Accedere a questo tipo di informazioni consente agli utenti di trovare facilmente le parti esistenti che soddisfano le loro esigenze di progettazione, evitando la necessità di crearne delle nuove.
- *Gestione dei fornitori*: tenere traccia dei fornitori, dei produttori e delle parti offerte da ognuno è fondamentale. Ottimizzare il riutilizzo del prodotto significa che l'azienda deve capire quali parti possono essere fornite da quali fornitori mentre il prodotto è in fase di definizione. Per comprendere meglio la definizione del prodotto, la BOM può mostrare la relazione tra la parte e il/i fornitore/i.⁷⁸

6.5 La Bill of Materials e la Robotic Process Automation

6.5.1 La Robotic Process Automation

Nell'ambito dell'automazione, l'industria manifatturiera è stata pioniera di svariati decenni rispetto ad altri settori. Ha infatti utilizzato, per esempio, robot fisici per assemblare, completare e testare prodotti al fine di ottimizzare le linee di montaggio e produrre beni di qualità superiore, a costi più bassi e in tempi più rapidi.

Nonostante ciò, la maggior parte dei produttori continua ad avere difficoltà nel perseguire l'obiettivo di automatizzare alcuni dei loro processi back-office più complessi, come la comunicazione con i fornitori, l'elaborazione dei pagamenti e la generazione di report.

E anche se il 70% dei produttori ha una strategia di trasformazione digitale in corso, o ne sta pianificando una, un rapporto del 2020 del World Economic Forum ha rilevato che la mancanza di competenze specializzate a livello locale e di leadership sono le principali barriere all'adozione della tecnologia da parte dei produttori.

In tale contesto, l'Automazione dei Processi Robotici (RPA, Robotic Process Automation) è emersa come soluzione a queste sfide.

In particolare, per quanto riguarda il settore manifatturiero, la RPA è una parte critica dell'innovazione all'interno dell'Industria 4.0, la cosiddetta quarta rivoluzione industriale, che riduce la linea di separazione tra mondi digitali e fisici. La RPA può aiutare i produttori a

⁷⁸ Melgarejo C. (2022). *5 Key Considerations When Selecting the Right BOM Management Software*. <https://www.ptc.com/en/blogs/plm/selecting-the-right-bom-management-software>

migliorare la produttività, offrire un'esperienza clienti eccellente e favorire l'innovazione eliminando errori e riducendo i costi.

Il mercato globale della RPA ha infatti generato 214 miliardi di dollari alla fine del 2021, di cui circa 29 miliardi, ossia il 14%, provenivano dal solo settore manifatturiero.

In particolare, la RPA consente ai produttori di creare robot software, i cosiddetti "bot RPA". Questi non sono altro che software specializzati usati per automatizzare attività ripetitive e ad alto volume, per accelerare e garantire la correttezza dei processi aziendali digitali. Proprio come i robot fisici eliminano il lavoro manuale dalle attività ripetitive, i bot fanno lo stesso per il lavoro digitale. Inserire dati da documenti cartacei nei sistemi, spostare dati da un sistema all'altro, preparare fatture o compilare moduli sono tutti esempi di compiti in cui i bot RPA eccellono. Poiché utilizzano principi di basso codice/nessun codice, non richiedono particolari competenze di programmazione, quindi gli utenti aziendali possono imparare facilmente ad utilizzare tali strumenti; inoltre è possibile creare bot RPA che si integrano perfettamente con i sistemi esistenti, senza iniziative di sviluppo software lunghe e costose.

I bot RPA possono quindi:

- Ridurre il tempo e la manodopera umana impiegati nelle attività di routine
- Ridurre il tempo di commercializzazione
- Aumentare la qualità dei dati e ridurre gli errori di processo, evitando l'interferenza umana
- Mantenere una traccia di audit

Le aziende manifatturiere stanno scoprendo che la RPA, e i bot RPA, sono particolarmente utili per automatizzare la generazione delle loro liste di materiali (BOM). Di seguito, si cerca di dimostrare come la RPA possa semplificare ed eliminare inaccurately nella creazione e gestione delle BOM per risparmiare tempo e denaro ai produttori ed eliminare sprechi.⁷⁹

6.5.2 BOM & RPA

Come già illustrato precedentemente, la distinta base (BOM) è uno dei documenti più critici e importanti nella produzione. Consiste nell'elenco di materie prime, sotto assemblaggi, assemblaggi intermedi, sottocomponenti e parti, necessari per fabbricare un prodotto. Ogni riga di una distinta base contiene il numero della parte, una descrizione, un'unità di misura e un tipo di approvvigionamento che specifica se la parte viene acquistata o prodotta, oltre che la relativa quantità. Ad essa sono allegati i disegni e i documenti tecnici essenziali.

⁷⁹ Dilmegani C. (2024). *RPA BOM: 6 Ways BOM Automation Helps Manufacturers in '24*. <https://research.aimultiple.com/rpa-bom/>

I dipendenti fanno riferimento alla distinta base come elemento centrale da cui ottenere informazioni dettagliate su cosa, dove, quando e come acquistare materiali per la fabbricazione di un prodotto. Senza la distinta base, i produttori non potrebbero immettere sul mercato un prodotto vendibile.

La distinta base contiene dati e istruzioni su tutto, dall'assemblaggio all'imballaggio. In breve, la BOM è ciò che rende possibile trasformare un concetto in un prodotto fisico reale.

Il problema, però, sta proprio nella gestione di queste complesse liste di materiali. Ogni articolo in una distinta base deve, infatti, essere spostato tra le applicazioni, preservandone le proprietà e garantendo che tutta la documentazione richiesta sia archiviata in modo sicuro.

Sfortunatamente, i documenti di progettazione non sono sempre archiviati correttamente, le proprietà e gli attributi non sempre vengono trasmessi e le chat informali tra i dipendenti (che non lasciano una traccia verificabile) non aiutano a colmare i buchi di una distinta base, rendendone manualmente difficile la realizzazione ottimale.

I produttori cercano da tempo di far sì che tutti i dati necessari per ciascun materiale vengano acquisiti accuratamente nella distinta base, in modo da garantirne la tracciabilità nel caso in cui qualcosa vada storto.

Inoltre, quando si creano manualmente le distinte base, gli esseri umani possono commettere degli errori che possono avere gravi conseguenze, dal ritardo nella produzione, alla perdita di reputazione sul mercato da parte dell'azienda. Pertanto, è fondamentale eliminare gli errori che possono verificarsi durante la definizione dei componenti.

La possibile soluzione a tutte queste problematiche sta proprio nella Robotic Process Automation. La RPA può affrontare queste sfide, distribuendo modelli standard che i dipendenti possono utilizzare quando richiedono una nuova distinta base.

Diversi sono i vantaggi che essa comporta:

- La RPA può essere implementata per garantire che tutta la documentazione dei componenti sia archiviata in un luogo designato.
- Può essere utilizzata per estrarre informazioni dai documenti presenti nella distinta base, oltre che per avvisare i dipendenti quando le informazioni o la documentazione richieste risultano mancanti.
- Se necessario, i robot RPA possono anche identificare componenti alternativi dai database di produzione.
- Inoltre, possono creare distinte base in cui ogni dato sia riconducibile alla sua fonte.

- Infine, i robot RPA possono essere combinati con il riconoscimento ottico dei caratteri o la visione artificiale, possono essere programmati per estrarre dati specifici su prodotti o elementi e replicare i passaggi umani necessari per generare una distinta base.

In altre parole, la RPA aiuta i produttori a:

- Smettere di utilizzare Excel per costruire manualmente le distinte base
- Eliminare le risme di carta che tipicamente accompagnano le distinte base
- Avvisare automaticamente i dipendenti se qualcosa manca o è sbagliato in una distinta base
- Sostenere una catena di fornitura snella
- Rispettare in modo più completo i mandati normativi

Il risultato? Tempi accelerati per generare una distinta base, con drastica riduzione o eliminazione degli errori.

A differenza di altre soluzioni di automazione, i produttori non hanno nemmeno bisogno di grandi investimenti o infrastrutture particolari: la RPA può coesistere con i sistemi già presenti, senza costosi lavori di integrazione.

6.5.3 Casi di applicazione della RPA nella gestione della BOM

Di seguito vengono illustrati alcuni esempi di applicazione della RPA nella gestione delle BOM, indicando per ognuno di essi i possibili benefici che si potrebbero ottenere.

1. *Calcolo accurato della quantità di input richiesta.* Ogni scheda di progettazione del prodotto dettaglia la quantità e le categorie di merci intermedie necessarie per realizzarlo. Come per l'automazione della generazione dei contratti, le aziende possono creare modelli standardizzati di BOM, che i bot RPA riempiono estraendo documenti dalla scheda di progettazione.

I bot RPA possono estrarre la quantità dell'ordine del prodotto e, combinando i dati della BOM e dell'ordine, possono calcolare precisamente il fabbisogno necessario di ogni merce intermedia.

Il beneficio sarà una BOM basata sui dati e priva di errori che indica esattamente al responsabile della produzione la quantità di merci e i tipi di strumenti necessari per creare un prodotto finito.

2. *Archiviazione digitalizzata della BOM.* Le soluzioni di automazione basate su cloud consentono di archiviare e accedere alle BOM nel cloud. Ciò elimina la necessità di conservare registrazioni fisiche delle BOM.

Inoltre, le aziende possono sfruttare le chatbot abilitate dalla RPA che consentono a manager, ingegneri, assemblatori e altro personale di richiedere una specifica BOM, attraverso il relativo "nome" o "numero ID", senza doverla cercare manualmente.

3. *Monitoraggio in tempo reale delle scorte.* I ripiani "intelligenti" nel settore al dettaglio e della grande distribuzione sono già in uso.

I magazzini delle industrie possono dotare i loro ripiani di sensori IoT simili che:

- Monitorano in tempo reale i livelli di inventario delle merci intermedie
- Inviano un avviso al responsabile ogni volta che un determinato articolo viene prelevato dallo scaffale, insieme alla rimanente scorta.

Le RPA possono quindi essere impostate per estrarre il livello di inventario rimanente di ciascun articolo e includerlo nella BOM.

Ad esempio, la BOM potrebbe indicare che per produrre ogni monitor per computer è necessario un pannello LCD, e che ne sono disponibili 12 in magazzino. Tale numero diminuirebbe/aumenterebbe ogni volta che un pannello viene aggiunto/rimosso dallo scaffale.

Le aziende possono anche programmare i bot RPA per inviare una notifica al responsabile degli acquisti ogni volta che il livello di inventario delle merci intermedie scende al di sotto di una certa soglia, in modo che possa approvare un riordino automatico.

4. *Monitoraggio delle spedizioni in tempo reale.* Non tutti i materiali grezzi che entrano nella produzione di un prodotto provengono da posizioni vicine. Ad esempio, le parti che compongono un Airbus A321 arrivano da diverse regioni in 4 diversi Paesi Europei.

I bot RPA possono essere collegati al software di gestione della catena di approvvigionamento e logistica che tiene traccia della consegna delle merci intermedie. Possono estrarre i dati da tale software, creare una nuova colonna "ETA" (Estimated Time of Arrival) sul foglio di calcolo che contiene i dati della BOM e inserirli.

Il risultato sarebbe una BOM che specifica non solo quante viti sono necessarie per l'assemblaggio di un bene, ma anche l'ETA in tempo reale del prossimo lotto.

Anche la gestione della flotta di trasporto sta diventando più intelligente, grazie ai dispositivi di movimento. Quindi, ogni volta che si verifica la minima interruzione nei camion per le spedizioni, ad esempio per una gomma bucata, il bot RPA regolerà automaticamente l'ETA sul software di gestione della catena di approvvigionamento, e aggiornerà di conseguenza l'ETA del prodotto sulla BOM.

Il vantaggio è che i responsabili del magazzino sapranno quando aspettarsi le consegne, potendo così anche informare il team di vendita.

5. *Aggiornamenti in tempo reale della BOM.* Gli aggiornamenti del prodotto corrispondono a modifiche che i produttori apportano dopo aver ascoltato il feedback dei consumatori. Tali aggiornamenti sono solitamente piccoli aggiustamenti, come il cambiamento del fornitore, la forma o il materiale di una merce intermedia.

Per fare un esempio, supponiamo che un produttore di lavelli da cucina decida di utilizzare resine di poliestere invece di resine fenoliche, perché le prime conferiscono al lavabo una maggiore resistenza al calore. Una volta che il cambiamento diventa ufficiale, la scheda di progettazione e la BOM dovrebbero riflettere immediatamente le nuove modifiche.

Il software RPA può essere configurato per monitorare continuamente l'elenco dei fornitori dell'azienda e i prodotti che forniscono, al fine di segnalare eventuali cambiamenti per entrambe le categorie. Pertanto, il bot RPA può utilizzare le sue capacità per leggere l'articolo precedente sulla BOM, eliminarlo e sostituirlo con quello nuovo non appena il fornitore di un determinato input cambia.⁸⁰

6.6 L'IA e la BOM

6.6.1 Introduzione dell'Intelligenza Artificiale nella gestione delle BOM

Un ulteriore passo in avanti nella gestione intelligente delle BOM, è quello che riguarda l'integrazione dell'intelligenza artificiale (IA) nella creazione, gestione e manutenzione delle distinte basi (BOM).

Grazie alla sua capacità di elaborare e organizzare informazioni in modo logico e strutturato per risolvere problemi complessi, un modello di IA, attraverso l'addestramento, può imparare ad agire in modo intelligente e robusto, generando automaticamente BOM per una vasta gamma di materiali e prodotti.

Sono stati sviluppati diversi sistemi basati sull'IA per la gestione delle BOM, ciascuno mirato a risolvere specifici problemi aziendali. Ad esempio, ci sono sistemi di ottimizzazione delle reti di approvvigionamento che utilizzano l'IA per migliorare l'efficienza e ridurre i costi. Inoltre, esistono sistemi di produzione intelligente che sfruttano le BOM generate dall'IA per ottimizzare processi ingegneristici complessi.

Come verrà illustrato in seguito, gli studiosi hanno anche sfruttato le potenzialità delle reti neurali artificiali per prevedere e ottimizzare le BOM. Per esempio, alcuni hanno utilizzato reti neurali feed-forward⁸¹ per stimare la BOM per ponti stradali, basando le loro previsioni su una serie di

⁸⁰ Dilmegani C. (2024). *RPA BOM: 6 Ways BOM Automation Helps Manufacturers in '24.*
<https://research.aimultiple.com/rpa-bom/>

⁸¹ Una rete neurale feed-forward (con "flusso in avanti") è una rete neurale artificiale dove le connessioni tra i nodi non formano cicli. Le informazioni si muovono in una sola direzione, in avanti, ossia dall'input attuale all'output.

variabili, come la larghezza del ponte e il tipo di struttura. Altri ancora hanno applicato reti neurali a retro-propagazione⁸² per prevedere le BOM e ottimizzare la quantità di materiale necessario, utilizzando dati provenienti da aziende del settore.

Ulteriori ricerche sono state condotte per migliorare l'applicazione dell'IA nella generazione automatizzata delle BOM. Ad esempio, l'utilizzo di reti neurali artificiali per stimare i costi preliminari di costruzione o produzione, oppure l'analisi dell'impatto dei cambiamenti nella BOM dell'industria dell'aviazione.

In sintesi, l'integrazione dell'IA nella gestione delle BOM offre un potenziale significativo per migliorare l'efficienza, ridurre gli errori umani e ottimizzare i processi aziendali, contribuendo così a una maggiore competitività e successo nell'ambito della produzione e dell'ingegneria.

6.6.2 Le tecnologie IA applicate alle BOM

L'integrazione dell'intelligenza artificiale (IA) nella gestione e creazione delle BOM coinvolge diverse tecnologie avanzate, tra cui reti neurali artificiali, algoritmi di apprendimento automatico e tecniche di ottimizzazione dei dati. È bene soffermarsi in modo specifico su ciascuna di esse.

Le reti neurali artificiali rappresentano una delle tecnologie chiave utilizzate nell'analisi e nella generazione delle BOM. Queste reti sono in grado di apprendere da grandi quantità di dati e identificare pattern complessi, consentendo loro di generare BOM accurate e ottimizzate. Ad esempio, le reti neurali "feed-forward" sono spesso impiegate per stimare la BOM per prodotti complessi come veicoli o aeromobili, utilizzando dati dettagliati sui componenti e le specifiche di produzione.

Altre tecnologie dell'IA comunemente utilizzate includono gli algoritmi di apprendimento automatico, che consentono ai sistemi di analizzare grandi dataset e identificare relazioni significative tra i dati. Questi algoritmi possono essere impiegati per prevedere la domanda di materiali, ottimizzare la pianificazione della produzione e identificare potenziali problemi nelle BOM esistenti.

Infine, vengono utilizzate tecniche di ottimizzazione dei dati per migliorare la precisione e l'efficienza della gestione delle BOM. Queste tecniche possono includere l'ottimizzazione dei parametri del modello, la riduzione della dimensionalità dei dati e la selezione delle caratteristiche più rilevanti per la generazione delle BOM.⁸³

⁸² La retropropagazione o back propagation, confronta il valore in uscita del sistema con il valore desiderato (obiettivo). Sulla base della differenza così calcolata (errore), l'algoritmo modifica i pesi sinaptici della rete neurale, facendo convergere progressivamente il set dei valori di uscita verso quelli desiderati.

⁸³ Chowdhury A. M., Moon S. (2023). *Generating integrated bill of materials using mask R-CNN artificial intelligence model*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522005143>

Complessivamente, l'IA rappresenta una risorsa preziosa per le aziende che cercano di ottimizzare la creazione e la gestione delle BOM, consentendo loro di generare BOM accurate e ottimizzate che soddisfino i requisiti specifici di ogni progetto o prodotto.

6.6.3 Benefici connessi all'uso della IA nelle BOM

L'introduzione dell'Intelligenza Artificiale (IA) nella creazione e gestione delle Bill of Materials (BOM) ha quindi il potenziale di rivoluzionare completamente il modo in cui vengono preparate e utilizzate queste liste per una vasta gamma di prodotti, offrendo una serie di vantaggi e opportunità.

In primo luogo, l'IA consente un'automazione del processo di preparazione della BOM, riducendo il tempo e lo sforzo richiesto per completare questa attività. Gli algoritmi di IA possono essere addestrati per riconoscere automaticamente i componenti e le loro quantità dai disegni tecnici, migliorando l'efficienza complessiva della catena di approvvigionamento e produzione.

Inoltre, l'IA migliora la precisione e riduce gli errori nella BOM. Grazie alla capacità di analizzare grandi quantità di dati in modo rapido e accurato, l'IA è in grado di identificare e correggere eventuali discrepanze o omissioni eventualmente presenti nella BOM, garantendo una stima più accurata dei costi e delle risorse necessarie per la produzione.

Un altro vantaggio dell'IA nella gestione della BOM è la sua capacità di adattarsi alle specifiche del progetto e alle esigenze del cliente. Gli algoritmi di IA possono essere, infatti, personalizzati per tener conto di requisiti unici di progettazione e produzione, consentendo una maggiore flessibilità e adattabilità nel processo di generazione della BOM stessa.⁸⁴

Inoltre, l'IA supporta l'ottimizzazione dei materiali e dei costi, analizzando i dati storici e le tendenze di mercato per identificare le migliori opzioni di approvvigionamento e ridurre i costi complessivi del prodotto. Ciò si traduce in una maggiore competitività sul mercato e in una migliore gestione delle risorse finanziarie.

Infine, l'IA offre un supporto decisionale avanzato, fornendo analisi dettagliate e raccomandazioni basate sui dati per migliorare le decisioni relative alla pianificazione e alla gestione della BOM. Ciò consente alle aziende di prendere decisioni più informate e tempestive, migliorando l'efficienza operativa e la soddisfazione del cliente.

In conclusione, l'integrazione dell'IA nella creazione e gestione delle BOM rappresenta un passo in avanti significativo nell'ottimizzazione dei processi di produzione e approvvigionamento.

⁸⁴ Siemens. (2021). *Enable a Verified Manufacturing Bill of Materials (MBOM)*.

<https://blogs.sw.siemens.com/teamcenter-manufacturing/2021/08/23/enable-a-verified-manufacturing-bill-of-materials-mbom/>

Grazie alla sua capacità di automazione, precisione, adattabilità e supporto decisionale, l'IA offre un vantaggio competitivo alle aziende in una vasta gamma di settori e industrie.⁸⁵

6.6.4 Settori di applicazione della IA per la creazione e gestione della BOM

L'integrazione dell'intelligenza artificiale (IA) nella gestione e creazione delle BOM sta rivoluzionando numerosi settori, offrendo soluzioni innovative per ottimizzare processi e migliorare l'efficienza aziendale.

Un esempio tangibile di applicazione dell'IA alle BOM è il settore automobilistico. Le aziende automobilistiche utilizzano sistemi basati sull'IA per generare BOM per la progettazione e la produzione di veicoli. Questi sistemi sono in grado di analizzare una vasta gamma di dati, inclusi disegni CAD, specifiche dei componenti e requisiti di produzione, per generare BOM dettagliate e ottimizzate. Inoltre, l'IA può essere impiegata per monitorare e aggiornare automaticamente le BOM in tempo reale, in risposta a modifiche nel processo di produzione o nella disponibilità dei materiali.

Un altro settore che sta beneficiando dell'applicazione dell'IA alla gestione delle BOM è l'industria aerospaziale. Le aziende del settore aerospaziale devono infatti gestire BOM estremamente complesse per la progettazione e la produzione di aerei e veicoli spaziali. L'IA viene impiegata per analizzare grandi quantità di dati provenienti da diverse fonti, compresi disegni tecnici, specifiche dei materiali e requisiti di sicurezza, al fine di generare BOM accurate e ottimizzate. Inoltre, l'IA può essere utilizzata per prevedere e mitigare i rischi associati alla gestione delle BOM, ad esempio identificando potenziali problemi di approvvigionamento o di compatibilità dei materiali.

Al di là dei settori automobilistico e aerospaziale, l'IA viene applicata alle BOM in una vasta gamma di contesti industriali. Ad esempio, nel settore dell'elettronica di consumo, le aziende utilizzano sistemi basati sull'IA per gestire BOM complesse per la progettazione e la produzione di dispositivi elettronici. Questi sistemi sono in grado di analizzare specifiche tecniche dei componenti, requisiti di produzione e costi dei materiali, per generare BOM ottimizzate che soddisfano i requisiti di qualità e prestazioni del prodotto finale.

Nel settore delle costruzioni, l'IA viene impiegata per gestire BOM per progetti di infrastrutture complesse, come ponti, strade ed edifici. I sistemi basati sull'IA possono analizzare dati

⁸⁵ SemaSoftware. (2023). *Generative AI Bill of Materials (GBOM)TM: A Primer*.
<https://www.semasoftware.com/blog/generative-ai-bill-of-materials-gbom-tm-a-primer>

topografici, specifiche dei materiali e requisiti di ingegneria per generare BOM dettagliate e ottimizzate che tengono conto di fattori come la resistenza strutturale, la durabilità e i costi.⁸⁶

In sintesi, l'IA sta rivoluzionando la gestione e la creazione delle BOM in una vasta gamma di settori industriali, offrendo soluzioni innovative per ottimizzare processi, ridurre gli errori umani e migliorare l'efficienza aziendale. Attraverso l'analisi avanzata dei dati e l'apprendimento automatico, l'IA è in grado di generare BOM sempre più accurate e aggiornate, che possano soddisfare i requisiti specifici di ogni progetto o prodotto.

6.6.5 Stato attuale e prospettive future

Al momento, l'applicazione dell'intelligenza artificiale (IA) e delle relative tecnologie alla gestione e creazione delle BOM è in uno stato avanzato, ma continua a evolversi rapidamente. Numerose aziende stanno implementando l'uso dell'IA per ottimizzare i processi di gestione delle BOM, migliorandone la precisione e l'efficienza operativa.

Un esempio è rappresentato da Siemens, una multinazionale tedesca attiva nei settori delle tecnologie, della mobilità e dei servizi. Siemens ha sviluppato soluzioni basate sull'IA per ottimizzare la progettazione e la produzione di prodotti complessi, come macchinari industriali e impianti energetici. Utilizzando algoritmi avanzati di apprendimento automatico, Siemens è in grado di analizzare dati provenienti da diverse fonti e generare BOM accurate e affidabili che soddisfano i requisiti specifici dei loro clienti.⁸⁷

Un altro esempio è IBM, azienda statunitense del settore informatico, tra le più importanti al mondo, che produce e commercializza hardware, software per computer, middleware e servizi informatici. IBM si è orientata all'utilizzo dell'IA per migliorare la gestione delle BOM nel settore manifatturiero. Il colosso americano offre così piattaforme di intelligenza artificiale e analisi avanzate che consentono alle aziende di analizzare grandi quantità di dati e identificare pattern e tendenze significative nella gestione delle BOM. Queste soluzioni aiutano le aziende a ottimizzare i processi di approvvigionamento, ridurre i costi e migliorare la qualità dei loro prodotti.⁸⁸

⁸⁶ Arena. *Today's Product Innovators Need Intelligent BOM Management*. <https://www.arenasolutions.com/wp-content/uploads/intelligent-bom-management-for-todays-product-innovations.pdf>

⁸⁷ Siemens. (2024). *Industrial AI and sustainability at scale: Siemens redefines industrial innovation at Hannover Messe*. <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/industrial-ai-and-sustainability-scale-siemens-redefines-industrial-innovation>

⁸⁸ IBM. (2021). *IBM Expands AI-Driven Materials Discovery Capabilities and Signs New Industry Collaborations*. <https://uk.newsroom.ibm.com/2021-11-29-IBM-Expands-AI-Driven-Materials-Discovery-Capabilities-and-Signs-New-Industry-Collaborations>

Altre aziende, come Dassault Systèmes⁸⁹ e SAP⁹⁰, stanno anche sviluppando soluzioni basate sull'IA nei loro rispettivi settori, offrendo software avanzati che integrano funzionalità di intelligenza artificiale e analisi dei dati per ottimizzare i processi di progettazione, produzione e gestione delle BOM.

Complessivamente, lo stato attuale dell'applicazione dell'IA alla gestione e creazione delle BOM è caratterizzato da un crescente interesse e da un diffuso impiego da parte delle aziende in una vasta gamma di settori industriali. Le soluzioni basate sull'IA stanno dimostrando di essere estremamente efficaci nel migliorare l'efficienza operativa, riducendo i costi e migliorando la qualità dei prodotti finali. Con il continuo sviluppo di nuove tecnologie e l'evoluzione delle capacità dell'IA, appare molto probabile che l'applicazione di queste tecnologie alla gestione delle BOM continui a crescere e a migliorare nel tempo.

⁸⁹ Società europea del settore software che sviluppa soluzioni di progettazione in 3D, digital mock-up 3D e gestione del ciclo di vita dei prodotti (PLM)

⁹⁰ Multinazionale europea per la produzione di software gestionali, una delle principali aziende al mondo nel settore degli ERP e in generale nelle soluzioni informatiche per le imprese.

CAPITOLO 7 - PROSPETTIVE E COMPLESSITÀ dell'IA

Nel seguente capitolo si esaminano le implicazioni dell'Intelligenza Artificiale (IA) in diversi settori, evidenziando sia le opportunità che i rischi ad essa associati. Mentre l'IA promette vantaggi economici e miglioramenti della vita umana, sorgono preoccupazioni riguardo al suo impatto sociale, al suo sottoutilizzo, ai possibili abusi e criticità. Si discute anche delle sfide legate alla responsabilità legale, alla sicurezza dei dati e alla dipendenza tecnologica, specialmente nel contesto industriale. Infine, si sottolinea l'importanza di un approccio multidisciplinare e di una governance adeguata al fine di massimizzare i benefici dell'IA e mitigarne i rischi.

7.1 I rischi e le opportunità dell'intelligenza artificiale

Nel panorama sempre mutevole del progresso tecnologico, l'Intelligenza Artificiale presenta sia opportunità eccezionali che importanti rischi. Per questo, mentre l'IA continua a permeare settori che vanno dalla sanità alla finanza, dalla produzione ai trasporti e a tanti altri, comprendere le sue potenziali implicazioni è assolutamente fondamentale.

È stato illustrato precedentemente come l'IA e le tecnologie ad essa collegate stiano già iniziando a migliorare la vita dell'essere umano in una miriade di modi, dalla semplificazione degli acquisti al progresso delle esperienze sanitarie.

Anche il loro valore per le aziende è diventato innegabile: quasi l'80% dei dirigenti delle aziende che stanno implementando soluzioni basate sull'intelligenza artificiale ha recentemente affermato di apprezzarne già il valore aggiunto.

Nel mondo degli affari l'uso dell'intelligenza artificiale è ancora agli inizi ma il potenziale è enorme. Una ricerca del McKinsey Global Institute suggerisce infatti che entro il 2030 l'intelligenza artificiale potrebbe fornire una produzione economica globale aggiuntiva di 13 trilioni di dollari all'anno.⁹¹

Per le imprese, l'intelligenza artificiale può consentire lo sviluppo di una nuova generazione di prodotti e servizi, anche nei settori in cui le aziende hanno già posizioni forti: economia verde e circolare, macchinari, agricoltura, sanità, moda, turismo. L'IA può incrementare le vendite, contribuire alla manutenzione predittiva e conservativa delle macchine, aumentare la produzione e la qualità, migliorare il servizio clienti e risparmiare energia. A ciò si aggiunge anche la stima del Parlamento Europeo che prevede un aumento tra l'11% e il 37% della produttività del lavoro legata all'intelligenza artificiale entro il 2035.

Utilizzata nei servizi pubblici, l'IA può ridurre i costi e offrire nuove possibilità nei trasporti pubblici, nell'istruzione, nella gestione dell'energia e dei rifiuti, e potrebbe anche migliorare la

⁹¹ European Parliament. (2020). *Artificial intelligence: threats and opportunities*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20200918STO87404/artificial-intelligence-threats-and-opportunities>

sostenibilità dei prodotti. In questo modo l'IA potrebbe contribuire al raggiungimento degli obiettivi del Green Deal dell'UE. Si stima infatti un potenziale contributo dell'IA nel ridurre le emissioni di gas serra globali entro il 2030 tra il 1,5% e il 4%.⁹²

Tuttavia, insieme a queste opportunità, l'IA introduce una serie di rischi che richiedono una considerazione attenta e opportune strategie di mitigazione.

Di seguito vengono riportati alcuni rischi potenziali:

1. *Sottoutilizzo e abuso dell'intelligenza artificiale.* Il sottoutilizzo dell'intelligenza artificiale è considerato una minaccia significativa: le opportunità mancate derivanti dalla non applicazione della IA potrebbero tradursi in importanti perdite economiche per diverse aziende, oltre che in una scarsa attuazione dei principali programmi, come il Green Deal dell'Unione Europea, la perdita di vantaggio competitivo rispetto ad altre parti del mondo, e la stagnazione economica. Il sottoutilizzo dell'IA potrebbe derivare dalla sfiducia del pubblico e delle imprese, a causa di infrastrutture inadeguate, mancanza di iniziativa, scarsi investimenti, oppure dalla mancanza di dati, da cui l'IA dipende, o ancora dalla presenza di mercati digitali frammentati.

D'altra parte, l'uso eccessivo dell'IA può altresì rappresentare un problema, investendo in applicazioni che si rivelino inutili o inadeguate, ad esempio utilizzando l'IA per spiegare questioni sociali complesse.⁹³

2. *Responsabilità per eventuali danni causati dall'IA.* Una sfida cruciale consiste nel determinare chi sia responsabile dei danni causati da un dispositivo o servizio gestito dall'intelligenza artificiale: per esempio, in un incidente che coinvolge un'auto a guida autonoma, il danno dovrebbe essere coperto dal proprietario, dal produttore dell'auto o dal programmatore?

Se il produttore fosse completamente esente da responsabilità, potrebbe non esserci alcun incentivo a fornire un buon prodotto o servizio, minando la fiducia delle persone nella tecnologia; oppure, al contrario, le normative potrebbero essere eccessivamente rigide e soffocare l'innovazione.

3. *Minacce dell'intelligenza artificiale ai diritti fondamentali e alla democrazia.* I risultati prodotti dall'intelligenza artificiale dipendono dalla sua progettazione e dai dati utilizzati. Sia la progettazione che i dati possono essere distorti, intenzionalmente o meno. Ad esempio, alcuni aspetti importanti di un problema potrebbero non essere programmati nell'algoritmo o potrebbero essere programmati per riflettere e replicare pregiudizi

⁹² Cheatham B., Javanmardian K., Samandari H. (2019). *Confronting the risks of artificial intelligence*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/confronting-the-risks-of-artificial-intelligence>

⁹³ Metz C. (2023). *What Exactly Are the Dangers Posed by A.I.?*. <https://www.nytimes.com/2023/05/01/technology/ai-problems-danger-chatgpt.html>

strutturali a danno di alcune categorie di persone. Inoltre, l'uso dei numeri e degli algoritmi per rappresentare una realtà sociale complessa potrebbe far sembrare l'intelligenza artificiale neutrale, precisa e obiettiva quando in effetti non lo è. Questo fenomeno è talvolta definito come *mathwashing*.⁹⁴

Se non implementata correttamente, l'intelligenza artificiale potrebbe quindi portare a decisioni influenzate dai dati sull'etnia, sul sesso, sull'età, nel momento dell'assunzione o del licenziamento di un lavoratore, della concessione di prestiti o persino nell'ambito di procedimenti penali.

L'intelligenza artificiale potrebbe compromettere gravemente il diritto alla privacy e alla protezione dei dati. Potrebbe essere utilizzata, ad esempio, nei sistemi di riconoscimento facciale o per il tracciamento e la profilazione online degli individui. Inoltre, l'intelligenza artificiale consente di unire le informazioni fornite da una persona in nuovi dati, il che può portare a risultati inaspettati per l'individuo.

L'IA può anche rappresentare una minaccia per la democrazia; l'intelligenza artificiale è già stata accusata di creare camere di risonanza virtuali basate sul precedente comportamento online di una persona, mostrando solo determinati contenuti ed influenzando le scelte politiche, invece di creare un ambiente per un dibattito pubblico pluralistico, accessibile e inclusivo. L'IA può anche essere utilizzata per creare immagini, video e audio falsi ma estremamente realistici, noti come *deepfake*, che possono danneggiare la reputazione di una persona o di un'azienda, mettere alla prova il processo decisionale o comportare dei rischi finanziari, influenzare l'opinione pubblica manipolando persino le elezioni.

L'intelligenza artificiale potrebbe anche svolgere un ruolo nel danneggiare la libertà di riunione e di protesta poiché potrebbe tracciare e profilare individui legati a determinate convinzioni o azioni.⁹⁵

4. *Impatto dell'IA sui posti di lavoro*. Si prevede che l'uso dell'intelligenza artificiale porterà all'eliminazione di un gran numero di posti di lavoro. Molte delle attività che oggi vengono svolte dall'essere umano, potrebbero infatti essere in parte o completamente sostituite dall'IA. Allo stesso tempo, tuttavia, si prevede che l'intelligenza artificiale creerà nuovi posti di lavoro, per i quali però sarà necessaria una adeguata e specifica formazione. In questo senso, l'istruzione e la formazione avranno un ruolo cruciale nel prevenire la disoccupazione a lungo termine e garantire una forza lavoro qualificata.

⁹⁴ Thomas M. (2024). *12 Risks and Dangers of Artificial Intelligence (AI)*. <https://builtin.com/artificial-intelligence/risks-of-artificial-intelligence>

⁹⁵ Marr B. (2019). *Is Artificial Intelligence Dangerous? Six AI Risks Everyone Should Know About*. <https://fully-human.org/wp-content/uploads/2019/08/6-AI-Risks.pdf>

5. *Concorrenza*. L'accumulo di informazioni potrebbe portare a distorsioni della concorrenza poiché le aziende con maggiori informazioni potrebbero ottenere un vantaggio ed eliminare di fatto i concorrenti.
6. *Rischi per la sicurezza e la salute*. Le applicazioni di intelligenza artificiale che sono in contatto fisico con gli esseri umani o integrate nel corpo umano (ad es. chip sottocutanei o impiantati nel cervello) potrebbero comportare rischi per la sicurezza poiché potrebbero essere mal progettate, utilizzate in modo improprio o hackerate. Inoltre, l'uso scarsamente regolamentato dell'intelligenza artificiale anche nelle armi potrebbe portare alla perdita del controllo umano, specie su quelle più pericolose.⁹⁶

Concentrandosi poi maggiormente sugli eventuali rischi connessi all'applicazione dell'IA nel settore delle industrie, se ne possono identificare diversi, tra cui:

1. *Sicurezza dei dati*. Con un maggiore utilizzo dell'IA, le aziende possono accumulare grandi quantità di dati sensibili. Questi dati possono essere vulnerabili e soggetti a violazioni della sicurezza, compromettendo la privacy dei clienti e dei dipendenti, causando danni reputazionali significativi e multe per la non conformità alle normative sulla protezione dei dati stessi.
2. *Bias algoritmico e rischi reputazionali*. Gli algoritmi di IA possono essere influenzati dai pregiudizi presenti nei dati utilizzati per il loro addestramento. Ciò può portare a decisioni discriminatorie o ingiuste che danneggiano la reputazione dell'azienda e potrebbero anche portare ad azioni legali. Inoltre, se le decisioni critiche sono delegate principalmente ai sistemi di IA, senza una supervisione umana adeguata, le aziende potrebbero perdere il controllo sui processi decisionali, andando incontro a risultati imprevedibili o dannosi.
3. *Dipendenza tecnologica*. Un'eccessiva dipendenza dall'IA potrebbe rendere le aziende vulnerabili a malfunzionamenti tecnici o a interruzioni dei servizi se i sistemi non sono adeguatamente mantenuti o aggiornati. Questo può causare gravi interruzioni delle operazioni aziendali e perdite finanziarie.
4. *Sostituzione dei lavoratori*. Se l'IA è implementata per automatizzare compiti precedentemente eseguiti da esseri umani, essa potrebbe portare alla perdita di posti di lavoro per i dipendenti. Questo può generare tensioni sociali e richiedere programmi di formazione e riqualificazione per garantire che i lavoratori non vengano lasciati indietro dalla tecnologia.

⁹⁶ Bécue A., Praça I., Gama J. (2021). *Artificial intelligence, cyber-threats and Industry 4.0: challenges and opportunities*. Springer.

5. *Concorrenza eccessiva.* L'adozione diffusa dell'IA può aumentare la competizione tra le aziende, specialmente se alcuni settori investono massicciamente in tecnologie avanzate, mentre altri rimangono indietro. Questa eventualità può mettere a rischio la sopravvivenza delle imprese meno competitive e portare ad una maggiore concentrazione del mercato.
6. *Rischio di obsolescenza tecnologica.* L'IA è un campo in rapida evoluzione, con nuove tecnologie e approcci che emergono costantemente. Le aziende che investono in modo essenziale su una determinata tecnologia di IA potrebbero scoprire che questa diventa rapidamente obsoleta, rendendo i loro investimenti inutili o meno competitivi nel tempo.
7. *Problemi di integrazione dei sistemi.* L'implementazione di sistemi di IA può comportare sfide nella loro integrazione con i sistemi esistenti all'interno delle aziende. Ciò può causare interruzioni delle operazioni aziendali e richiedere investimenti aggiuntivi per garantire una transizione fluida e senza problemi.

Poiché l'intelligenza artificiale è una forza relativamente nuova nel mondo degli affari, in pochi hanno ancora avuto l'opportunità di affinare il proprio intuito sull'intera portata dei rischi sociali, organizzativi e individuali, o di sviluppare una conoscenza pratica dei fattori associati, che vanno dai dati forniti ai sistemi di intelligenza artificiale al funzionamento di modelli algoritmici e alle interazioni tra uomo e macchina. Di conseguenza, i dirigenti spesso trascurano i potenziali pericoli o sopravvalutano le capacità di mitigazione del rischio di un'organizzazione. È anche comune commettere l'errore di raggruppare i rischi legati specificamente all'intelligenza artificiale con altri gestiti da specialisti nelle organizzazioni IT e di analisi.⁹⁷

In conclusione, la ricerca sull'intelligenza artificiale è stata tradizionalmente intrapresa da scienziati informatici e cognitivi. Ma le sfide poste oggi da tale tecnologia non sono solo tecniche. Tutte le aree dell'indagine umana, e in particolare le scienze sociali, devono essere incluse in un ampio dibattito sul futuro dell'IA. Anche i governi devono essere coinvolti; alcuni hanno già iniziato a considerare e ad affrontare le opportunità e le sfide poste dall'intelligenza artificiale, ma procedono ancora troppo lentamente.

Ridurre al minimo gli impatti negativi sulla società e valorizzare quelli positivi richiede in definitiva la considerazione di tutto il mondo accademico e il contributo dell'intera società.⁹⁸

⁹⁷ Nadimpalli M. (2017). *Artificial Intelligence Risks and Benefits.*

https://www.researchgate.net/publication/319321806_Artificial_Intelligence_Risks_and_Benefits

⁹⁸ Walsh T., Sonenberg L. (2021). *Major new report explains the risks and rewards of artificial intelligence.*

<https://www.weforum.org/agenda/2021/10/artificial-intelligence-ieverday-lives-aii00-report/>

CAPITOLO 8 – LEGISLAZIONI SULL'IA

Data la complessità delle implicazioni pratiche ed etiche legate all'uso dell'IA, appare opportuno a questo punto analizzare le direttive e le diverse legislazioni sull'intelligenza artificiale messe in atto in varie nazioni, evidenziando l'importanza di regolamentare sempre di più questa tecnologia emergente.

Inizialmente si analizzano gli approcci ideologici e/o normativi adottati nel Regno Unito, in Canada, a Singapore e in Cina, che riflettono i diversi contesti giuridici e culturali di questi Paesi. Particolare attenzione viene poi dedicata allo "European AI Act". L'AI Act costituisce un passo significativo verso una regolamentazione globale dell'IA in cui l'Europa gioca un ruolo fondamentale, con l'obiettivo di bilanciare l'esigenza di innovazione con la protezione dei diritti fondamentali dei cittadini.

In ogni caso appare evidente l'importanza di un costante dialogo tra legislatori, imprese e società civile per sviluppare normative equilibrate, efficaci ed etiche che favoriscano l'innovazione tecnologica in modo responsabile e sostenibile.

8.1 Il quadro normativo dell'IA: uno sguardo internazionale

Con l'IA che si sta sempre più diffondendo in ogni sfera della vita delle persone, i legislatori stanno lavorando per regolamentarne l'applicazione, considerando l'intera gamma di potenziali effetti che da questa tecnologia potrebbero derivare, sia in termini di benefici che di potenziali rischi. Non sorprende che diversi Paesi abbiano adottato approcci differenti alla regolamentazione dell'intelligenza artificiale, ciascuno dei quali riflette i rispettivi sistemi giuridici, le peculiari culture e tradizioni.

Nel Regno Unito, la Ministra per la scienza, l'innovazione e la tecnologia Michelle Donelan ha recentemente pubblicato (a marzo 2024) un libro bianco⁹⁹, ossia un documento ufficiale in cui sostiene l'obiettivo di rendere il proprio Paese una "superpotenza dell'intelligenza artificiale". La strategia adottata dalla Donelan fornisce un quadro per identificare e affrontare i rischi presentati da tale tecnologia, adottando un approccio "proporzionato" e "pro-innovazione", che possa attirare investimenti. La sua posizione si discosta in parte da quella più rigida dell'UE, in quanto afferma che normare troppo presto potrebbe ostacolare l'innovazione.

Inoltre, il 1° aprile 2024 il Regno Unito ha firmato a Washington un accordo storico con gli Stati Uniti sull'intelligenza artificiale; i due Paesi sono così i primi a cooperare formalmente su come testare e valutare i rischi dei modelli emergenti di IA. L'accordo, firmato dal ministro britannico della scienza Michelle Donelan e dal segretario al commercio statunitense Gina Raimondo,

⁹⁹ Un "libro bianco" è un documento ufficiale che viene pubblicato da un governo, un'organizzazione, o un ente per spiegare una particolare politica, proposta, o posizione su una questione specifica

stabilisce come i due governi metteranno in comune conoscenze tecniche, informazioni e talenti sulla sicurezza dell'AI.¹⁰⁰

Questo permetterà specificamente al nuovo Istituto di Sicurezza dell'AI del Regno Unito (AISI), istituito a novembre, e al suo equivalente statunitense, che deve ancora iniziare il suo lavoro, di scambiarsi competenze attraverso distacchi di ricercatori da entrambi i Paesi. Gli istituti collaboreranno anche su come valutare in modo indipendente i modelli privati di IA sviluppati da aziende come OpenAI e Google. Dato che molte delle aziende di IA più avanzate sono attualmente basate negli Stati Uniti, l'esperienza del governo americano è fondamentale sia per comprendere i rischi dell'IA, sia per far rispettare agli imprenditori i loro impegni.

Gli USA stanno adottando poi delle linee guida precise per l'uso responsabile dell'IA, in particolar modo da parte delle agenzie federali (tra cui CIA, FBI, NSA, etc.), le quali svolgono attività di intelligence, ossia raccolta di dati segreti e riservati, considerate necessarie per gestire le relazioni internazionali e garantire la sicurezza nazionale negli USA.

Secondo quanto affermato dalla vicepresidente Kamala Harris a novembre 2023 nel corso del AI Safety Summit di Londra, le agenzie federali statunitensi sono tenute a promuovere l'uso sicuro, protetto e responsabile dell'IA. Questo annuncio rispecchia la politica governativa della Casa Bianca, tesa a limitare i rischi dell'IA e a massimizzarne i benefici per tutti i cittadini americani, preservandone la privacy e i diritti civili.

Le tre fondamentali norme sull'IA per le agenzie federali annunciate da Kamala Harris sono centrate su principi molto importanti.

La prima norma stabilisce che le agenzie governative dovranno sempre verificare che gli strumenti di intelligenza artificiale utilizzati non mettano in pericolo i diritti e la sicurezza dei cittadini.

Il secondo requisito richiesto sarà la trasparenza, garantendo che tutti abbiano il diritto di sapere quando e come il governo stia utilizzando l'IA e che questa venga utilizzata in modo responsabile.

Il terzo requisito impone alle agenzie federali di designare un Chief AI Officer per supervisionare tutte le tecnologie di IA utilizzate da ciascuna di esse.

Spostandosi in Canada, la proposta di legge sull'intelligenza artificiale e sui dati fa parte di un più ampio aggiornamento delle leggi sulla privacy del Paese ed è uno dei tre atti legislativi che compongono il disegno di legge C-27, approvato in seconda lettura alla Camera dei Comuni ad aprile 2023.

Muovendosi invece verso il continente asiatico, la strategia nazionale per l'intelligenza artificiale di Singapore è già stata avviata nel 2019, con il lancio del suo modello di governance dell'IA,

¹⁰⁰ Sandonini P. (2024). *Accordo storico UK-USA sulla sicurezza dell'AI*. <https://www.ai4business.it/intelligenza-artificiale/accordo-storico-uk-usa-sulla-sicurezza-dellai/>

della guida di implementazione e autovalutazione per le organizzazioni e del compendio dei casi d'uso, che evidenzia esempi pratici di governance dell'intelligenza artificiale a livello organizzativo.

Inoltre, l'11 aprile 2023, la Cyberspace Administration of China, ossia l'autorità nazionale di regolamentazione e censura di Internet della Repubblica popolare cinese, ha pubblicato la sua bozza di misure amministrative per i servizi di intelligenza artificiale generativa, che mirano a garantire che i contenuti creati dall'intelligenza artificiale generativa siano coerenti con "l'ordine sociale e la morale sociale", evitino la discriminazione, siano accurati e rispettino i diritti intellettuali.¹⁰¹

8.2 Lo European AI Act

Dopo aver effettuato una panoramica sui principali provvedimenti in materia di IA nel mondo, ci si concentra ora sull'analisi delle misure adottate nel contesto europeo.

Come accennato in precedenza, il Regolamento sull'Intelligenza Artificiale, noto come European AI Act, approvato prima dal Parlamento Europeo il 13 marzo 2024 e poi, in via definitiva, dal Consiglio Europeo il 21 maggio 2024, rappresenta il primo quadro legale mai esistito sull'IA, il quale affronta i rischi ad essa connessi e posiziona l'Europa in primo piano, svolgendo un ruolo di guida a livello globale.¹⁰²

Lo European AI Act mira a fornire agli sviluppatori e ai fruitori di IA requisiti e obblighi chiari riguardanti specifici utilizzi della tecnologia, secondo un approccio basato sul livello di rischio che la stessa IA può generare. Allo stesso tempo, il regolamento cerca di ridurre gli oneri amministrativi e finanziari per le imprese, in particolare per quelle piccole e medie (PMI).

Un altro aspetto chiave dell'AI Act è il concetto di conformità, che richiede ai fornitori di sistemi di IA ad alto rischio di sottoporre i loro prodotti a valutazioni di conformità da parte di organizzazioni indipendenti, prima di poter essere immessi sul mercato dell'UE. Questo processo mira ad assicurare che tali sistemi rispettino i requisiti stabiliti per garantire la sicurezza e la protezione dei diritti fondamentali dei cittadini.

Inoltre, l'AI Act istituisce un'Autorità Europea per l'IA, un organo di governance e di controllo indipendente, responsabile della supervisione e dell'applicazione delle disposizioni dell'atto.

¹⁰¹ Fazlioglu M. (2023). *US federal AI governance: Laws, policies and strategies*.
<https://iapp.org/resources/article/us-federal-ai-governance/>

¹⁰² European Parliament. (2020). *AI rules: what the European Parliament wants*.
<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20201015STO89417/ai-rules-what-the-european-parliament-wants>

Questa autorità svolgerà un ruolo cruciale nell'assicurare che le normative siano rispettate e nell'affrontare eventuali violazioni o controversie.¹⁰³

Lo European AI Act fa parte in realtà di un più ampio pacchetto di misure politiche volte a sostenere lo sviluppo di un'IA affidabile, che include anche il “Pacchetto Innovazione IA” e il “Piano Coordinato sull'IA”. Insieme, queste misure mirano a promuovere un'IA affidabile in Europa, che garantisca la sicurezza e i diritti fondamentali delle persone e delle imprese. Rafforzeranno inoltre l'adozione, gli investimenti e l'innovazione in materia di IA in tutta l'UE.¹⁰⁴

Ma perché si ha bisogno di regole sull'IA?

L'AI Act vuole garantire che i cittadini europei possano fidarsi di ciò che l'IA ha da offrire. Sebbene la maggior parte dei sistemi di IA comporti rischi limitati o nulli e possa contribuire a risolvere molte sfide sociali, alcuni sistemi di IA creano rischi che è necessario affrontare per evitare risultati indesiderati.

Ad esempio, spesso non è possibile scoprire perché un sistema di IA abbia preso una decisione o previsto un'azione specifica. Di conseguenza, potrebbe diventare difficile valutare se qualcuno è stato svantaggiato in modo ingiusto, ad esempio in un processo di assunzione o in una richiesta di godimento di particolari benefici pubblici.

Sebbene la legislazione esistente fornisca una certa protezione, essa è insufficiente per affrontare le sfide specifiche che i sistemi di IA possono comportare. Ecco perché è nata l'esigenza di una normativa ad-hoc.¹⁰⁵

In definitiva, le norme proposte con lo European AI Act:

- affrontano specificamente i rischi creati dalle applicazioni di IA;
- proibiscono pratiche di IA che comportano rischi inaccettabili;
- determinano un elenco di applicazioni ad alto rischio e i relativi requisiti, definendone obblighi specifici per i fruitori e i fornitori;
- richiedono una valutazione di conformità prima che un determinato sistema di IA venga messo in servizio o posto sul mercato, introducendo un sistema di “marchiatura CE”;
- mettono in atto misure di controllo dopo che un determinato sistema di IA è stato posto sul mercato;

¹⁰³ Espinoza J. (2023). *EU agrees landmark rules on artificial intelligence*. <https://www.ft.com/content/d5bec462-d948-4437-aab1-e6505031a303>

¹⁰⁴ Feingold S. (2023). *The European Union's Artificial Intelligence Act, explained*. <https://www.weforum.org/agenda/2023/06/european-union-ai-act-explained/>

¹⁰⁵ European Parliament. (2022). *The future of AI: the Parliament's roadmap for the EU*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20220422STO27705/the-future-of-ai-the-parliament-s-roadmap-for-the-eu>

- impongono l'obbligo per i fornitori di sistemi di intelligenza artificiale di adottare misure per garantire la sicurezza e la protezione dei dati.
- istituiscono una struttura di governance a livello europeo e nazionale

8.2.1 I livelli di rischio della IA

Il quadro normativo stabilito nell'AI Act Europeo definisce quattro livelli di rischio per i sistemi di IA: inaccettabile, elevato, limitato, minimo (o nullo).

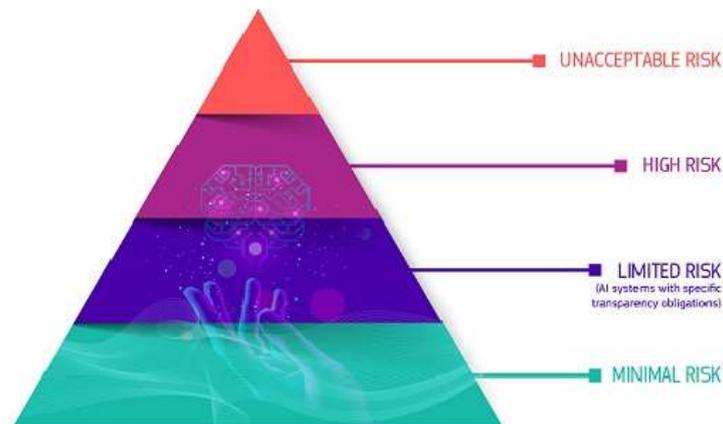


Figura 3. Piramide dei Rischi per i sistemi di IA - European AI Act

1. Rischio inaccettabile

I sistemi di intelligenza artificiale che vengano classificati come caratterizzati da un rischio inaccettabile sono considerati una minaccia per le persone e saranno vietati. Tra essi vengono inclusi:

- Manipolazione cognitivo comportamentale di persone o specifici gruppi vulnerabili: ad esempio giocattoli ad attivazione vocale che incoraggiano comportamenti pericolosi nei bambini;
- Punteggio sociale: classificare le persone in base al comportamento, allo stato socioeconomico o alle caratteristiche personali;
- Identificazione biometrica e categorizzazione delle persone;
- Sistemi di identificazione biometrica in tempo reale e remota, come il riconoscimento facciale.

Alcune eccezioni possono essere consentite per scopi di applicazione della legge, ad esempio per perseguire reati gravi, e solo dopo l'approvazione del tribunale.

2. *Rischio elevato*

I sistemi di intelligenza artificiale identificati come ad alto rischio includono la tecnologia AI utilizzata in:

- Infrastrutture critiche (ad esempio, i trasporti), che potrebbero mettere a rischio la vita e la salute dei cittadini;
- Formazione educativa o professionale, che potrebbe determinare l'accesso all'istruzione e al percorso professionale di un privato (ad esempio, la valutazione degli esami);
- Componenti di sicurezza dei prodotti (ad esempio, le applicazioni di AI nella chirurgia assistita da robot);
- Occupazione, gestione dei lavoratori e accesso all'impiego (come software di selezione dei CV per procedure di assunzione);
- Servizi privati e pubblici essenziali (ad esempio, valutazione del credito che nega ai cittadini l'opportunità di ottenere un prestito);
- Applicazioni di legge che potrebbero interferire con i diritti fondamentali delle persone (come la valutazione dell'affidabilità delle prove);
- Gestione della migrazione, asilo e controllo delle frontiere (ad esempio, l'esame automatizzato delle domande di visto);
- Amministrazione della giustizia e processi democratici (come soluzioni AI per la ricerca di sentenze giudiziarie).

I sistemi di intelligenza artificiale ad alto rischio saranno soggetti a rigorosi obblighi prima di poter essere messi sul mercato. Saranno necessari, per esempio:

- Dei sistemi adeguati di valutazione e mitigazione del rischio;
- Un'alta qualità dei dati che alimentano il sistema per ridurre al minimo i rischi e le discriminazioni;
- La registrazione delle attività per garantire la tracciabilità dei risultati;
- Una documentazione dettagliata che fornisca tutte le informazioni necessarie sul sistema e il suo scopo per consentire alle autorità di valutarne la conformità;
- La disponibilità di informazioni chiare e adeguate;
- Delle misure di supervisione umana adeguate a ridurre al minimo il rischio;
- Un elevato livello di robustezza, sicurezza e precisione.

Tutti i sistemi di identificazione biometrica remota sono considerati ad alto rischio e soggetti a rigorosi requisiti.

Le eccezioni limitate sono rigorosamente definite e regolamentate, ad esempio quando necessario per cercare un bambino scomparso, per prevenire una minaccia terroristica specifica ed imminente o per individuare, localizzare, identificare o perseguire un autore o sospetto di un grave reato.

3. *Rischio limitato*

Il rischio limitato si riferisce ai rischi associati alla mancanza di trasparenza nell'uso dell'intelligenza artificiale.

Lo AI Act introduce specifici obblighi di trasparenza per garantire che gli esseri umani siano informati quando necessario. Ad esempio, quando si utilizzano sistemi di intelligenza artificiale come chatbot, gli esseri umani devono essere informati che stanno interagendo con una macchina in modo che possano prendere una decisione informata. I fornitori di sistemi IA dovranno anche garantire che i contenuti generati dall'intelligenza artificiale siano identificabili. Inoltre, i testi generati dall'intelligenza artificiale pubblicati con lo scopo di informare il pubblico su questioni di interesse collettivo devono essere contrassegnati come generati artificialmente.

4. *Rischio minimo o nullo*

Lo European AI Act consente l'uso libero di tecnologie con intelligenza artificiale a rischio minimo. Ciò include applicazioni come video giochi abilitati dall'intelligenza artificiale o filtri antispam. La stragrande maggioranza dei sistemi di intelligenza artificiale attualmente utilizzati nell'UE rientra in questa categoria.¹⁰⁶

8.2.2 Equilibrio tra innovazione e sicurezza: la sfida dello European AI Act

Poiché l'intelligenza artificiale è una tecnologia in rapida evoluzione, la normativa proposta ha un approccio verso il futuro, consentendo alle regole di adattarsi ai cambiamenti tecnologici.

Eppure, anche se la legge è stata acclamata come un'essenziale svolta normativa, rimangono domande su quanto efficace possa essere. Molti aspetti della norma non si prevedeva entrassero in vigore per almeno 12 o 24 mesi, un periodo considerevole per lo sviluppo dell'IA. E fino all'ultima fase delle negoziazioni, i legislatori e i Paesi membri hanno combattuto per il linguaggio da utilizzare nella norma, oltre che su come bilanciare la promozione dell'innovazione con la necessità di salvaguardare società e imprese da eventuali effetti collaterali negativi collegati all'uso dell'IA.

In gioco ci sono infatti trilioni di dollari di valore stimato, poiché ci si aspetta che l'IA modifichi l'economia globale. "La dominanza tecnologica precede la dominanza economica e politica", ha detto Jean-Noël Barrot, ministro francese della transizione digitale e delle telecomunicazioni.

La regolamentazione dell'IA ha acquisito urgenza dopo il rilascio di ChatGPT nel 2022, che è diventata una rivoluzione mondiale dimostrando le capacità in rapida evoluzione dell'IA.

¹⁰⁶ European Parliament. (2023). *EU AI Act: first regulation on artificial intelligence*.

<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20230601STO93804/eu-ai-act-first-regulation-on-artificial-intelligence>

L'Europa è stata una delle regioni più avanzate nella regolamentazione dell'IA, avendo iniziato a lavorare già dal 2018 su ciò che sarebbe diventato l'AI Act.

Una prima bozza dell'AI Act era stata pubblicata nel 2021. Ma i responsabili delle politiche europee si sono trovati a riscrivere la legge man mano che emergevano progressi tecnologici. La versione iniziale, per esempio, non faceva menzione di modelli di IA a uso generale come quelli che alimentano ChatGPT.

I responsabili delle politiche hanno quindi concordato quello che hanno chiamato un "approccio basato sul rischio" alla regolamentazione dell'IA, illustrato precedentemente, in cui un insieme definito di applicazioni è sottoposto ad una maggiore supervisione e risulta essere soggetto a restrizioni più forti.

Il dibattito all'interno dell'Unione Europea è stato controverso, segno di quanto l'IA abbia messo alla prova i legislatori. I funzionari dell'UE erano divisi su quanto approfonditamente regolare i nuovi sistemi di IA per paura di penalizzare le start-up europee, che cercano di raggiungere le aziende americane come Google e OpenAI.

Le nuove normative saranno seguite attentamente a livello globale. Avranno un impatto non solo sui principali sviluppatori di IA come Google, Meta, Microsoft e OpenAI, ma anche su altre imprese che si prevede utilizzeranno la tecnologia in settori come l'istruzione, la sanità e la finanza.

L'applicazione dell'AI Act rimane comunque da sperimentare e comporterà dei problemi. Per esempio, richiederà l'assunzione di nuovi esperti in un momento in cui i bilanci governativi sono limitati. Inoltre, porterà a probabili controversie legali, man mano che le aziende si confronteranno con le nuove regole.

Tuttavia, l'approvazione dell'AI Act da parte del Parlamento Europeo rappresenta indubbiamente un importante passo avanti nell'istituzione di un quadro normativo globale. Questo atto non solo affronta i rischi associati all'IA, ma cerca anche di promuovere l'innovazione e la competitività europea nel settore, garantendo che questa tecnologia sia sviluppata e utilizzata in modo sicuro, responsabile ed etico, nel rispetto dei valori e dei diritti fondamentali dei cittadini.

Certo, le sfide rimangono, soprattutto quelle legate all'applicazione pratica della legge. Fondamentale sarà la capacità di mantenere un dialogo continuo tra legislatori, industria e società civile, essenziale per garantire che le normative sull'IA continuino ad essere equilibrate, efficaci ed etiche, promuovendo al contempo l'innovazione e il progresso tecnologico in modo da non rimanere indietro in questo passaggio epocale.

Solo attraverso un approccio collaborativo e orientato al futuro sarà possibile affrontare le sfide e cogliere le opportunità offerte dall'intelligenza artificiale in modo responsabile e sostenibile.¹⁰⁷

¹⁰⁷ European Commission. (2024). *AI Act*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>

CONCLUSIONE

Le recenti tendenze nell'ambito dell'innovazione e dell'adozione dell'intelligenza artificiale stanno plasmando in modo significativo il panorama economico e sociale globale. Nonostante le incertezze sulle sue implicazioni, è chiaro che l'IA ha il potenziale per rivoluzionare, tra gli altri, i settori industriali e le pubbliche amministrazioni, portando con sé opportunità e sfide senza precedenti.

L'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE), nel suo rapporto Economic Outlook di maggio 2024, ha evidenziato le grandi potenzialità dell'IA nell'incrementare la produttività e promuovere l'innovazione digitale e sostenibile. Tuttavia, l'attuale incapacità di quantificarne l'impatto riflette la complessità di questo fenomeno e le sfide che esso pone nel poter valutare con precisione il suo contributo economico.

Inoltre, mentre alcuni Paesi come Stati Uniti, Cina, Giappone e Corea del Sud hanno fatto progressi significativi nell'adozione e nello sviluppo dell'IA, l'Europa sta lottando per tenere il passo, affrontando sfide legate alla guerra, alla crisi energetica e all'instabilità economica.¹⁰⁸

In questo senso, nonostante la maggior parte dei leader aziendali europei (76%) abbia compreso l'importanza dell'uso dell'intelligenza artificiale nell'ottica di rimanere competitivi sul mercato, il 50% di loro teme che la propria azienda non abbia piani ad hoc per l'implementazione di questa nuova tecnologia.

I collaboratori d'altra parte percepiscono questo immobilismo, e cresce di conseguenza il fenomeno del ByoAI (Bring your own AI). In altre parole, i dipendenti agiscono in autonomia: il 73% dei lavoratori, infatti, utilizza strumenti di AI, al di fuori del perimetro aziendale, per svolgere i propri task.

A dirlo è il Work Trend Index 2024, il report pubblicato da Microsoft, che delinea un panorama lavorativo generale in forte cambiamento. Secondo lo studio, infatti, l'utilizzo dell'intelligenza artificiale generativa è quasi raddoppiato negli ultimi sei mesi, offrendo nuove opportunità e benefici in vari settori. Il 60% dei lavoratori italiani, in particolare, dichiara di usare strumenti di IA all'interno delle proprie attività per ridurre il tempo impiegato nello svolgere determinati compiti e potersi focalizzare su quelli più strategici.

Dall'indagine, condotta a livello globale, emerge inoltre il sempre più urgente tema delle competenze: se il 76% del campione internazionale di lavoratori afferma di sentire l'esigenza di acquisire abilità specifiche per l'utilizzo dell'IA in modo da rimanere competitivi nel mercato del lavoro, il 79% è convinto che le competenze di IA offriranno loro maggiori opportunità di trovare

¹⁰⁸ Licata P. (2024). *Intelligenza artificiale, Ocse: "Impatto su produttività dipenderà da molti fattori"*. <https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/intelligenza-artificiale-ocse-impatto-su-produttivita-dipendera-da-molti-fattori/>

un'occupazione. Queste affermazioni trovano riscontro anche da parte delle aziende, con il 62% dei manager che sostiene di non voler assumere risorse che non abbiano competenze in ambito di IA.

Sempre secondo lo studio, tra gli utenti che oggi stanno facendo un utilizzo importante di strumenti AI per svolgere le loro attività, il 92% ha affermato che l'IA rende tutte le attività più semplici da gestire e offre un grande supporto per aumentare la creatività, mentre per il 93% l'IA favorisce la concentrazione sulle attività più importanti e stimola la motivazione a svolgere meglio il proprio lavoro.¹⁰⁹

L'intelligenza artificiale generativa si conferma quindi in generale un valido alleato per le persone all'interno delle organizzazioni. Tuttavia, la concentrazione delle iniziative innovative in pochi Paesi e in grandi aziende solleva interrogativi sulle implicazioni distributive dell'IA. Se da un lato le grandi aziende possono sfruttare appieno il suo potenziale, utilizzando le economie di scala e le risorse finanziarie per l'innovazione, le piccole e medie imprese (PMI) potrebbero trovarsi invece in una posizione di svantaggio, rischiando di rimanere indietro nell'adozione di queste tecnologie trasformative.

Un esempio di grande azienda che ha saputo sfruttare bene il suo potenziale, investendo ampie risorse finanziarie sull'utilizzo dell'IA, e che sta puntando, già da diversi anni, sul continuo studio ed ampliamento delle possibili applicazioni di tale tecnologia, è sicuramente Tesla.

Il CEO Elon Musk lo ha detto in occasione della presentazione dei dati del primo trimestre 2021: Tesla non è più solo un'azienda produttrice di auto elettriche, ha spiegato, ma sta investendo nell'intelligenza artificiale con lo sviluppo di uno dei team di intelligenza artificiale hardware e software più forti al mondo.

Secondo Musk, Tesla, dopo aver già implementato con successo il sistema Autopilot¹¹⁰, sarebbe in procinto di vincere la sfida del veicolo a guida autonoma basato su sei telecamere, machine learning e un cervello computerizzato in grado di reagire a velocità sovrumane.¹¹¹

¹⁰⁹ Aliperto D. (2024). *GenAI, in Italia si fa strada il modello "Bring your own AI" per colmare i gap aziendali*. <https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/genai-in-italia-si-fa-strada-il-modello-bring-your-own-ai-per-colmare-i-gap-aziendali/>

¹¹⁰ L'Autopilot di Tesla è un sistema avanzato di assistenza alla guida che utilizza telecamere, sensori e software per funzioni come il mantenimento della corsia e il controllo adattivo della velocità. Il conducente deve rimanere sempre attento e pronto a intervenire.

¹¹¹ Pictet. (2021). *Tesla e l'intelligenza artificiale: quali sono i piani di Elon Musk*.

<https://am.pictet.it/blog/articoli/tecnologia-e-innovazione/tesla-e-l-intelligenza-artificiale-quali-sono-i-piani-di-elon-musk>

Di certo l'impegno di Tesla nello sviluppo dell'intelligenza artificiale da applicare alla guida autonoma è forte. La banca di investimenti Goldman Sachs ritiene che l'azienda texana potrebbe acquisire ulteriore valore mettendo in atto iniziative, quali la concessione su licenza del proprio software per la guida autonoma o del suo supercomputer Dojo (la cui costruzione, però, più volte annunciata fin dal 2021, non è ancora partita a causa degli altissimi costi).

Questo esempio mette bene in evidenza la posizione di svantaggio in cui molte imprese si ritrovano, di fronte a colossi della tecnologia del calibro dell'azienda texana, giustificando gli interrogativi sulle implicazioni distributive dell'IA.

Un'altra questione cruciale è l'impatto dell'IA sul mercato del lavoro. Mentre alcuni temono che l'automatizzazione e l'intelligenza artificiale possano portare alla perdita di posti di lavoro, altri sostengono che l'IA potrebbe creare nuove opportunità lavorative e aumentare la produttività complessiva. La verità probabilmente risiede in un punto intermedio: sebbene alcune mansioni possano essere completamente automatizzate, l'IA potrebbe anche migliorare le capacità umane, supportando e potenziando il lavoro anziché sostituirlo.

Di fronte a queste sfide e opportunità, è imperativo che governi, imprese e istituzioni sviluppino politiche e strategie per massimizzare i benefici dell'IA e mitigarne i rischi.

Ciò potrebbe includere investimenti nella formazione professionale per garantire che i lavoratori siano pronti ad affrontare le sfide dell'economia digitale, nonché la promozione della collaborazione internazionale per garantire un'adozione equa e sostenibile dell'IA in tutto il mondo.

Un esempio significativo dell'uso "virtuoso" dell'IA è quello di Deloitte Italia, un'azienda che offre servizi di consulenza e revisione contabile. La società, presente in oltre 150 Stati del mondo, fa parte delle cosiddette "Big Four", cioè le quattro più grandi aziende di revisione, con una forte propensione alla consulenza informatica e alle competenze STEM (ossia tecnologiche e scientifiche). In questo quadro, Deloitte Italia punta decisa sullo sviluppo dell'intelligenza artificiale e delle sue applicazioni. "Per questo - sottolinea il CEO Fabio Pompei - abbiamo moltiplicato le nostre assunzioni di professionisti dell'IA e realizzato un competence center per l'intelligenza artificiale generativa. Solo per questa divisione, nella quale oggi lavorano 100 professionisti, prevediamo di assumere altre 500 persone nei prossimi tre anni"¹¹².

La sfida non è solo tecnologica ma anche etica. "Sin dall'inizio abbiamo sostenuto l'importanza di una governance dell'IA, capace di orientarne in senso positivo lo sviluppo". In tale contesto

¹¹² Ansa. (2024). "Talento, innovazione, IA": le armi di Deloitte per crescita Italia. https://www.ansa.it/sito/notizie/topnews/2024/05/11/talentoinnovazioneale-armi-di-deloitte-per-crescita-italia_ec53bead-8074-4649-91f3-e97ee8264c56.html

organizzativo si inserisce il progetto "Impact for Italy" che ha come obiettivo lo sviluppo e la competitività dell'Italia. Un progetto che coinvolge tra l'altro istituzioni, terzo settore e università, per la crescita delle imprese a livello di realtà locali, con investimenti nel Sud che aiutano i giovani talenti a sviluppare le carriere professionali nelle loro città e nelle loro regioni.¹¹³

L'esempio di Deloitte Italia è significativo in quanto fornisce diversi spunti di riflessione sul futuro dell'intelligenza artificiale, sul suo impatto in ambito lavorativo e sulle sue implicazioni pratiche ed etiche.

In conclusione, è evidente che l'IA rappresenti una delle forze trainanti dell'innovazione e della trasformazione economica nel XXI secolo. Tuttavia, per sfruttare appieno il suo potenziale, è necessario affrontare le sfide legate alla sua adozione, garantire che i suoi benefici siano equamente distribuiti e che i suoi potenziali rischi siano limitati e tenuti costantemente sotto controllo. L'obiettivo è che l'intelligenza artificiale sia al servizio dell'uomo e non il contrario, in modo da preservare l'essenza e la qualità della vita umana.

In questo cammino rapido verso il futuro, che è già presente, appare essenziale la collaborazione tra istituzioni, legislatori, imprenditori e lavoratori, in un'ottica che tenda al bene comune e non soltanto alla logica del profitto. Solo attraverso un approccio collaborativo e lungimirante è possibile plasmare un futuro in cui l'IA sia realmente uno strumento al servizio dell'umanità, contribuendo a creare un mondo più sostenibile, inclusivo e prospero per tutti.

Insomma, è giusto e ragionevole accordare la nostra fiducia all'IA, ma rimanendo sempre vigili e attenti affinché continui a meritarsela.

¹¹³ Ansa. (2024). *"Talento, innovazione, IA": le armi di Deloitte per crescita Italia.*
https://www.ansa.it/sito/notizie/topnews/2024/05/11/talentoinnovazioneale-armi-di-deloitte-per-crescita-italia_ec53bead-8074-4649-91f3-e97ee8264c56.html

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Quintarelli S. (2020). *Intelligenza artificiale. Cos'è davvero, come funziona, che effetti avrà*. Bollati Boringhieri.

Marmo R. (2020). *Algoritmi per l'intelligenza artificiale. Progettazione dell'algoritmo, dati e machine learning, neural network, deep learning*. Hoepli.

Bécue A., Praça I., Gama J. (2021). *Artificial intelligence, cyber-threats and Industry 4.0: challenges and opportunities*. Springer.

Neapolitan E. R., Jiang X. (2012). *Contemporary Artificial Intelligence*. CRC Press.

Gartner. (2020). *Top 10 Strategic Technology Trends for 2020*. Gartner

Lichtenthaler U. (2020). *Integrated Intelligence. Combining Human and Artificial Intelligence for Competitive Advantage*. Campus.

Silva Peres R., Jay L., Xiadong J., et al. (2020). *Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0 - Systematic Review, Challenges and Outlook*. IEEE Access

Alugubelli R. (2016). *Exploratory Study of Artificial Intelligence in Healthcare*. ResearchGate.

Bajwa J., Munir U., Nan A., Williams B. (2021). *Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine*. Future Healthcare Journal.

Zohaib J., Farhad A., Wolfgang M., et al. (2023). *Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities*. El Sevier.

Knight J.C. (2002). *Safety critical systems: challenges and directions*. ICSE 2002

Baruchelli P., Botto F., Cimatti A. (2020). Overview on maturity of AI innovations in manufacturing. [online]
<<https://www.airproducts.com/company/history>>
[Consultato il 12 aprile 2024]

Rockwell A. (2017). *The History of Artificial Intelligence*. [online]
<<https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/history-artificial-intelligence/>>
[Consultato il 13 aprile 2024]

Roser M. (2022). *The brief history of artificial intelligence: the world has changed fast — what might be next?*. [online]
<<https://ourworldindata.org/brief-history-of-ai>>
[Consultato il 13 aprile 2024]

Jiang Y. Li X., Luo H. et al. (2022). *Quo vadis artificial intelligence*. [online]
<<https://doi.org/10.1007/s44163-022-00022-8>>
[Consultato il 14 aprile 2024]

Haenlein M., Kaplan A. (Luglio 2019). *A Brief History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence*. [online]
<https://www.researchgate.net/publication/334539401_A_Brief_History_of_Artificial_Intelligence_On_the_Past_Present_and_Future_of_Artificial_Intelligence>
[Consultato il 15 aprile 2024]

Martinez D., Malyska N., Streilein D., et al. (2019). *Artificial Intelligence: Short History, Present Developments, and Future Outlook*. [online]
<https://www.ll.mit.edu/sites/default/files/publication/doc/2021-03/Artificial%20Intelligence%20Short%20History%2C%20Present%20Developments%2C%20and%20Future%20Outlook%20-%20Final%20Report%20-%202021-03-16_0.pdf>
[Consultato il 15 aprile 2024]

Maad M. Mijwil. (2015). *History of Artificial Intelligence*. [online]
<https://www.researchgate.net/publication/322234922_History_of_Artificial_Intelligence>
[Consultato il 15 aprile 2024]

Burrows L. (2021). *The present and future of AI*. [online]
<<https://seas.harvard.edu/news/2021/10/present-and-future-ai>>
[Consultato il 16 aprile 2024]

Hikkila M., Heaven D.W. (2022). *What's next for AI*. [online]
<<https://www.technologyreview.com/2022/12/23/1065852/whats-next-for-ai/>>
[Consultato il 16 Aprile 2024]

Thomas M., (2024). *The Future of AI: How Artificial Intelligence Will Change the World*. [online]
<<https://builtin.com/artificial-intelligence/artificial-intelligence-future>>
[Consultato il 17 aprile 2024]

McKinsey & Company. (2022). *The state of AI in 2022—and a half decade in review*. [online]
<<https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2022-and-a-half-decade-in-review>>
[Consultato il 17 aprile 2024]

IBM. *What is artificial intelligence (AI)*. [online]
<<https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence>>
[Consultato il 17 aprile 2024]

Roser M. (2022). *How has AI developed over the years and what's next?*. [online]
<<https://www.weforum.org/agenda/2022/12/how-ai-developed-whats-next-digital-transformation/>>
[Consultato il 18 aprile 2024]

McCallum S., Vallance C., Clarke M J. (2023). *What is AI, how does it work and what can it be used for?*. [online]
<<https://www.bbc.com/news/technology-65855333>>
[Consultato il 18 aprile 2024]

Marr B. (2018). *The Key Definitions of Artificial Intelligence (AI) That Explain Its Importance*. [online]

<<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/02/14/the-key-definitions-of-artificial-intelligence-ai-that-explain-its-importance/#27dfef874f5d>>

[Consultato il 20 aprile 2024]

Eitel-Porter R. (2018). *ExplAIned – A guide for Executives, Accenture Applied Intelligence Lead UKI*. [online]

<<https://view.pagetiger.com/AI-Explained-A-Guide-for-Executives/2018>>

[Consultato il 20 aprile 2024]

Roe C. (2014). *A Brief History of Cognitive Computing*. [online]

<<https://www.dataversity.net/brief-history-cognitive-computing/>>

[Consultato il 20 aprile 2024]

Microsoft Azure. *What is cloud computing?*. [online]

<<https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing/>>

[Consultato il 21 aprile 2024]

Marr B. (2019). *The 7 Biggest Technology Trends In 2020 Everyone Must Get Ready For Now*. [online]

<<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/09/30/the-7-biggest-technology-trends-in-2020-everyone-must-get-ready-for-now/#7350158b2261>>

[Consultato il 21 aprile 2024]

Panerai F. (2018). *Artificial intelligence needs human ingenuity and moral*. [online]

<<https://medium.com/@FiPanerai/artificial-intelligence-needs-human-ingenuity-and-moral-a6f0bcad8ca0>>

[Consultato il 22 aprile 2024]

Wilson E. (2020). *The Differences Between Descriptive, Diagnostic, Predictive & Cognitive Analytics*. [online]

<<https://demand-planning.com/2020/01/20/the-differences-between-descriptive-diagnostic-predictive-cognitive-analytics/>>

[Consultato il 22 aprile 2024]

Gonzalez W. (2023). *How AI Is Cropping Up In The Agriculture Industry*. [online]

<<https://www.forbes.com/sites/forbesbusinesscouncil/2023/02/02/how-ai-is-cropping-up-in-the-agriculture-industry/>>

[Consultato il 25 Aprile 2024]

Goedde L., Katz J., Ménard A., Revellat J. (2020). *Agriculture's connected future: How technology can yield new growth*. [online]

<<https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agricultures-connected-future-how-technology-can-yeild-new-growth>>

[Consultato il 25 Aprile 2024]

Sivakumar B. (2023). *What Is Agritech? – Use Cases, Examples, & Future*. [online]

<<https://www.feedough.com/what-is-agritech/#:~:text=Agritech%20is%20the%20term%20referring%20to%20the%20use,agriculture%20to%20increase%20its%20yield%2C%20efficiency%2C%20and%20profitability>>

[Consultato il 25 Aprile 2024]

- Coursera. (2024). *AI in Health Care: Applications, Benefits, and Examples*. [online]
< <https://www.coursera.org/articles/ai-in-health-care> >
[Consultato il 28 aprile 2024]
- Spatharou A. (2020). *Transforming healthcare with AI: The impact on the workforce and organizations*. [online]
< <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare/our-insights/transforming-healthcare-with-ai> >
[Consultato il 28 aprile 2024]
- IBM Education. (2023). *The benefits of AI in healthcare*. [online]
< <https://www.ibm.com/think/insights/ai-healthcare-benefits> >
[Consultato il 30 aprile 2024]
- Chen M., Decary M., et al. (2019). *Artificial intelligence in healthcare: An essential guide for health leaders*. [online]
< <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0840470419873123> >
[Consultato il 30 Aprile 2024]
- Rodriguez I., Rodriguez J., Shirvanizadeh N., Ortiz A., Pardo-Quiles D. (2021). *Applications of Artificial Intelligence, Machine Learning, Big Data and the Internet of Things to the COVID-19 Pandemic: A Scientometric Review Using Text Mining*. [online]
< <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/16/8578> >
[Consultato il 2 Maggio 2024]
- World Health Organization. (2021). *WHO issues first global report on Artificial Intelligence (AI) in health and six guiding principles for its design and use*. [online]
< <https://www.who.int/news/item/28-06-2021-who-issues-first-global-report-on-ai-in-health-and-six-guiding-principles-for-its-design-and-use> >
[Consultato il 2 Maggio 2024]
- World Health Organization. (2021). *WHO issues first global report on Artificial Intelligence (AI) in health and six guiding principles for its design and use*. [online]
< <https://www.who.int/news/item/28-06-2021-who-issues-first-global-report-on-ai-in-health-and-six-guiding-principles-for-its-design-and-use> >
[Consultato il 2 maggio 2024]
- Bernard M. (2019). *7 Amazing Examples of Digital Twin Technology In Practice*. [online]
< <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/04/23/7-amazing-examples-of-digital-twin-technology-in-practice/#77f6cbf16443> >
[Consultato il 27 aprile 2024]
- Mahesh K. (2019). *The Role of Artificial Intelligence in Manufacturing: 15 High Impact AI Use Cases*. [online]
< <https://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/the-role-of-artificial-intelligence-in-manufacturing-15-high> >
[Consultato il 28 aprile 2024]
- IoT Analytics. (2019). *The Top 10 Industrial AI use cases*. [online]
< <https://iot-analytics.com/the-top-10-industrial-ai-use-cases/> >
[Consultato il 30 aprile 2024]
- MaticMind. (2023). *Manutenzione predittiva e IoT: 5 benefici per il business*. [online]
< <https://insight.maticmind.it/insights/manutenzione-predittiva-e-iot-5-benefici-per-il-business> >
[Consultato il 30 aprile 2024]

- Crispino F. (2023). *L'ia generativa nell'industria 4.0: una rivoluzione produttiva*. [online]
<<https://www.focusindustria40.com/ia-generativa-nellindustria-4-0/>>
[Consultato il 5 maggio 2024]
- The Manufacturer. (2021). *How artificial intelligence is transforming manufacturing*. [online]
<<https://www.themanufacturer.com/articles/ai-transforming-manufacturing/>>
[Consultato il 2 maggio 2024]
- Dilmegani C. (2024). *Manufacturing AI: 15 tools & 13 Use Cases / Applications in '24*. [online]
<<https://research.aimultiple.com/manufacturing-ai/>>
[Consultato il 2 Maggio 2024]
- Fant S. (2022). *Manutenzione predittiva: predire il futuro risparmiando risorse*. [online]
<<https://www.renewablematter.eu/articoli/article/manutenzione-predittiva-predire-il-futuro-risparmiando-risorse>>
[Consultato il 3 maggio 2024]
- World Economic Forum. (2022). *Unlocking Value from Artificial Intelligence in Manufacturing*. [online]
<https://www3.weforum.org/docs/WEF_AI_in_Manufacturing_2022.pdf>
[Consultato il 3 maggio 2024]
- Rapp K. (2022). *Artificial Intelligence in Manufacturing: Real World Success Stories and Lessons Learned*. [online]
<<https://www.nist.gov/blogs/manufacturing-innovation-blog/artificial-intelligence-manufacturing-real-world-success-stories>>
[Consultato il 5 maggio 2024]
- Charalambous E., Feldmann R., Richter G., Schmitz C. (2019). *AI in production: A game changer for manufacturers with heavy assets*. [online]
<<https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/ai-in-production-a-game-changer-for-manufacturers-with-heavy-assets>>
[Consultato il 5 maggio 2024]
- Harris A. (2022). *AI in manufacturing: How it's used and why it's important for future factories*. [online]
<<https://www.autodesk.com/design-make/articles/ai-in-manufacturing>>
[Consultato il 6 maggio 2024]
- Mecalux. (2020). *Distinta base (BOM): il miglior alleato nella catena di produzione*. [online]
<<https://www.mecalux.it/blog/distinta-base-bom>>
[Consultato il 12 maggio 2024]
- Inbound Logistics. (2023). *Bill of Materials (BOM): Definition, Impact, and Components*. [online]
<<https://www.inboundlogistics.com/articles/bill-of-materials/>>
[Consultato il 12 maggio 2024]
- Product Resources. *A Guide to Manufacturing Complex Products*. [online]
<<https://prodres.com/manufacturing-guide/getting-started/input-documentation/bill-of-materials/>>
[Consultato il 13 Maggio 2024]

- GeniusERP. *How to Make a Bill of Materials (BOM) the Right Way*. [online]
<<https://www.geniuserp.com/resources/blog/how-to-make-a-bill-of-materials-the-right-way>>
[Consultato il 13 Maggio 2024]
- MageStore. (2022). *What is a bill of materials (BOM)? 7 steps to create a BOM*. [online]
<<https://www.magestore.com/blog/what-is-a-bill-of-materials-bom/>>
[Consultato il 14 Maggio 2024]
- Statii. (2023). *Bill of Materials (BOM) – An Essential Guide for Manufacturers*. [online]
<<https://www.statii.co.uk/blog/bill-of-materials-bom-manufacturing-guide>>
[Consultato il 14 Maggio 2024]
- OptiProERP. *The 10 Types of Bill of Materials (BOMs)*. [online]
<<https://www.optiproerp.com/blog/10-types-boms-explained/>>
[Consultato il 17 Maggio 2024]
- Siemens. *Manufacturing bill of materials*. [online]
<<https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/manufacturing-bill-of-materials-mbom/>>
[Consultato il 17 Maggio 2024]
- Luktevich B. *Definition bill of materials (BOM)*. [online]
<<https://www.techtarget.com/searcherp/definition/bill-of-materials-BoM>>
[Consultato il 18 maggio 2024]
- Jenkins A. (2022). *What Is a Bill of Materials (BOM)? Expert Guide & Tips*. [online]
<<https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/erp/bill-of-materials-bom.shtml>>
[Consultato il 18 Maggio 2024]
- ERPNext. (2020). *What is Bill Of Materials, its types, and uses? All you need to know*. [online]
<<https://erpnext.com/blog/manufacturing/bill-of-materials>>
[Consultato il 18 Maggio 2024]
- Arena. *Today's Product Innovators Need Intelligent BOM Management*. [online]
<<https://www.arenasolutions.com/wp-content/uploads/intelligent-bom-management-for-todays-product-innovations.pdf>>
[Consultato il 18 maggio 2024]
- Melgarejo C. (2022). *5 Key Considerations When Selecting the Right BOM Management Software*. [online]
<<https://www.ptc.com/en/blogs/plm/selecting-the-right-bom-management-software>>
[Consultato il 18 maggio 2024]
- Dilmegani C. (2024). *RPA BOM: 6 Ways BOM Automation Helps Manufacturers in '24*. [online]
<<https://research.aimultiple.com/rpa-bom/>>
[Consultato il 20 maggio 2024]
- Chowdhury A. M., Moon S. (2023). *Generating integrated bill of materials using mask R-CNN artificial intelligence model*. [online]
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522005143>>
[Consultato il 20 Maggio 2024]

- Siemens. (2021). *Enable a Verified Manufacturing Bill of Materials (MBOM)*. [online]
<<https://blogs.sw.siemens.com/teamcenter-manufacturing/2021/08/23/enable-a-verified-manufacturing-bill-of-materials-mbom/>>
[Consultato il 20 maggio 2024]
- SemaSoftware. (2023). *Generative AI Bill of Materials (GBOM)™: A Primer*. [online]
<<https://www.semasoftware.com/blog/generative-ai-bill-of-materials-gbom-tm-a-primer>>
[Consultato il 21 maggio 2024]
- Siemens. (2024). *Industrial AI and sustainability at scale: Siemens redefines industrial innovation at Hannover Messe*. [online]
<<https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/industrial-ai-and-sustainability-scale-siemens-redefines-industrial-innovation>>
[Consultato il 21 Maggio 2024]
- IMB. (2021). *IBM Expands AI-Driven Materials Discovery Capabilities and Signs New Industry Collaborations*. [online]
<<https://uk.newsroom.ibm.com/2021-11-29-IBM-Expands-AI-Driven-Materials-Discovery-Capabilities-and-Signs-New-Industry-Collaborations>>
[Consultato il 21 maggio 2024]
- European Parliament. (2020). *Artificial intelligence: threats and opportunities*. [online]
<<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20200918STO87404/artificial-intelligence-threats-and-opportunities>>
[Consultato il 23 maggio 2024]
- Cheatham B., Javanmardian K., Samandari H. (2019). *Confronting the risks of artificial intelligence*. [online]
<<https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/confronting-the-risks-of-artificial-intelligence>>
[Consultato il 23 maggio 2024]
- Metz C. (2023). *What Exactly Are the Dangers Posed by A.I.?*. [online]
<<https://www.nytimes.com/2023/05/01/technology/ai-problems-danger-chatgpt.html>>
[Consultato il 23 maggio 2024]
- Thomas M. (2024). *12 Risks and Dangers of Artificial Intelligence (AI)*. [online]
<<https://builtin.com/artificial-intelligence/risks-of-artificial-intelligence>>
[Consultato il 24 maggio 2024]
- Marr B. (2019). *Is Artificial Intelligence Dangerous? Six AI Risks Everyone Should Know About*. [online]
<<https://fully-human.org/wp-content/uploads/2019/08/6-AI-Risks.pdf>>
[Consultato il 24 maggio 2024]
- Nadimpalli M. (2017). *Artificial Intelligence Risks and Benefits*. [online]
<https://www.researchgate.net/publication/319321806_Artificial_Intelligence_Risks_and_Benefits>
[Consultato il 24 maggio 2024]
- Walsh T., Sonenberg L. (2021). *Major new report explains the risks and rewards of artificial intelligence*. [online]
<<https://www.weforum.org/agenda/2021/10/artificial-intelligence-ieveryday-lives-aii00-report/>>
[Consultato il 24 maggio 2024]

Gocen A. Asan R. (2023). *Generative Artificial Intelligence: Risks and Benefits for Educational Institutions*. [online]

<https://www.researchgate.net/publication/374909507_Generative_Artificial_Intelligence_Risks_and_Benefits_for_Educational_Institutions>

[Consultato il 24 maggio 2024]

Fazlioglu M. (2023). *US federal AI governance: Laws, policies and strategies*. [online]

<<https://iapp.org/resources/article/us-federal-ai-governance/>>

[Consultato il 26 maggio 2024]

European Parliament. (2020). *AI rules: what the European Parliament wants*. [online]

<<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20201015STO89417/ai-rules-what-the-european-parliament-wants>>

[Consultato il 26 maggio 2024]

Espinoza J. (2023). *EU agrees landmark rules on artificial intelligence*. [online]

<<https://www.ft.com/content/d5bec462-d948-4437-aab1-e6505031a303>>

[Consultato il 26 maggio 2024]

Feingold S. (2023). *The European Union's Artificial Intelligence Act, explained*. [online]

<<https://www.weforum.org/agenda/2023/06/european-union-ai-act-explained/>>

[Consultato il 26 maggio 2024]

European Parliament. (2022). *The future of AI: the Parliament's roadmap for the EU*. [online]

<<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20220422STO27705/the-future-of-ai-the-parliament-s-roadmap-for-the-eu>>

[Consultato il 27 maggio 2024]

European Parliament. (2023). *EU AI Act: first regulation on artificial intelligence*. [online]

<<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20230601STO93804/eu-ai-act-first-regulation-on-artificial-intelligence>>

[Consultato il 27 maggio 2024]

European Commission. (2024). *AI Act*. [online]

<<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>>

[Consultato il 27 maggio 2024]

Licata P. (2024). *Intelligenza artificiale, Ocse: "Impatto su produttività dipenderà da molti fattori"*. [online]

<<https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/intelligenza-artificiale-ocse-impatto-su-produttivita-dipendera-da-molti-fattori/>>

[Consultato il 29 maggio 2024]

Aliperto D. (2024). *GenAI, in Italia si fa strada il modello "Bring your own AI" per colmare i gap aziendali*. [online]

<<https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/genai-in-italia-si-fa-strada-il-modello-bring-your-own-ai-per-colmare-i-gap-aziendali/>>

[Consultato il 29 maggio 2024]

Ansa. (2024). *"Talento, innovazione, IA": le armi di Deloitte per crescita Italia*. [online]

<https://www.ansa.it/sito/notizie/topnews/2024/05/11/talentoinnovazioneiale-armi-di-deloitte-per-crescita-italia_ec53bead-8074-4649-91f3-e97ee8264c56.html>

[Consultato il 29 maggio 2024]

Sandonnini P. (2024). *Accordo storico UK-USA sulla sicurezza dell'AI*. [online]
<<https://www.ai4business.it/intelligenza-artificiale/accordo-storico-uk-usa-sulla-sicurezza-dellai/>>
[Consultato il 25 giugno 2024]

Pictet. (2021). *Tesla e l'intelligenza artificiale: quali sono i piani di Elon Musk*. [online]
<<https://am.pictet.it/blog/articoli/tecnologia-e-innovazione/tesla-e-l-intelligenza-artificiale-quali-sono-i-piani-di-elon-musk>>
[Consultato il 27 giugno 2024]