



**UNIVERSITÀ
DI PAVIA**

Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali

Corso di Laurea magistrale in Economia e

gestione delle imprese

L'UTILIZZO DELL'IA NELLA LOGISTICA

Relatore:

Chiar.mo Prof. Alessandro Zardini

**Tesi di Laurea
di Torre Filippo**

Matr. n.461834

Anno Accademico 2025-2026

Sommario

Introduzione.....	4
Capitolo 1 Il cambiamento organizzativo: evoluzione storica e impatti sulla logistica	7
1.1 Il concetto di cambiamento organizzativo	7
1.1.1 Cos'è il cambiamento organizzativo	7
1.1.2 Cambiamento radicale, cambiamento incrementale ed il modello di John Kotter	10
1.1.3 il ruolo del management nella gestione del cambiamento.....	17
1.2 Evoluzione storica delle organizzazioni e dei sistemi logistici	20
1.2.1 Dalla rivoluzione industriale alla produzione di massa	20
1.2.2 Dal Taylorismo al Fordismo.....	25
1.2.3 Modelli che hanno influenzato maggiormente il XX secolo	30
1.3 Evoluzione della logistica nel corso della storia.....	33
1.3.1 Storia della Logistica	33
1.3.2 Globalizzazione nella logistica, passaggio da modello just in time a just in case	37
1.3.3 Digitalizzazione e logistica 4.0.....	40
Capitolo 2 L'Intelligenza Artificiale nei processi logistici.....	44
2.1 Definizione e caratteristiche dell'Intelligenza Artificiale.....	44
2.1.1 Cos'è l'IA e come funziona.....	44
2.1.2 Machine learning, Deep learning e Big Data.....	46
2.1.3 Automazione ed Intelligenza Artificiale.....	51
2.2 Applicazioni della IA nella logistica	56
2.2.1 Previsione della domanda.....	56
2.2.2 Ottimizzazione delle rotte e trasporti.....	60
2.2.3 Gestione intelligente delle scorte.....	64
2.3 Automazione dei processi logistici e vantaggi competitivi	67
2.3.1 Automazione del magazzino	67
2.3.2 Logistica 4.0 e robotica collaborativa.....	70
2.3.3 Miglioramenti e vantaggi che l'automazione ha portato nel contesto logistico	73
Capitolo 3: Impatti organizzativi dell'Intelligenza Artificiale nella logistica	75
3.1 Trasformazione delle competenze professionali	75
3.1.1 Sviluppo di nuove figure professionali.....	75
3.1.2 Upskilling e reskilling.....	78
3.1.3 Competenze tecniche e soft skills emergenti	81
3.2 Resistenza interna dovuta al Change Management	84
3.2.1 Paura della sostituzione tecnologica e resistenza al cambiamento	84
3.2.2 Ruolo della formazione e della comunicazione interna.....	88
3.3 Implicazioni etiche e sociali.....	91
3.3.1 Automazione ed occupazione	91
3.3.2 Controllo digitale e Privacy.....	94
3.3.3 Responsabilità decisionale degli algoritmi	98
Capitolo 4: Analisi Empirica Su Intelligenza artificiale Applicata in Amazon.....	102

4.1	Metodologia della ricerca.....	102
4.1.1	Metodo Qualitativo.....	102
4.1.2	Struttura dell'intervista	104
4.2	Caso studio: Amazon	106
4.2.1	Modello Organizzativo	106
4.2.2	Utilizzo dell'IA nei processi logistici.....	108
4.2.3	Impatto su capitale umano, formazione e ridefinizione del lavoro.....	110
4.3	Discussione risultato e risultanze Empiriche	112
4.3.1	Analisi empirica dei dati e codifica tematica.....	112
4.3.2	Confronto critico tra evidenze empiriche e letteratura scientifica	116
4.3.3	Validazione dei dati con metriche del settore e trend quantitativi.....	118
	Conclusione	120
	Bibliografia.....	122

Introduzione

Negli ultimi anni il settore logistico ha attraversato una fase di trasformazione senza precedenti, dovuta principalmente alla diffusione di tecnologie digitali sempre più sofisticate ed alla crescente centralità che la gestione della catena di approvvigionamento ha assunto per la competitività delle imprese. In questo contesto, l'intelligenza artificiale si è progressivamente affermata come uno degli strumenti più rilevanti a disposizione delle aziende, non solo per ottimizzare le operazioni quotidiane, ma anche per ripensare in modo strutturale i processi organizzativi e le competenze richieste ai lavoratori.

Il presente elaborato si propone di analizzare l'utilizzo dell'intelligenza artificiale nell'ambito logistico, indagando sia gli aspetti più prettamente tecnologici ed applicativi, sia le implicazioni che tale adozione comporta dal punto di vista organizzativo, gestionale e sociale. L'obiettivo non è unicamente quello di descrivere le tecnologie disponibili, ma soprattutto di comprendere in che modo l'introduzione dell'intelligenza artificiale stia ridefinendo il rapporto tra uomo e macchina all'interno dei contesti produttivi e distributivi, con particolare attenzione alle dinamiche di cambiamento organizzativo che ne derivano.

Per poter affrontare in modo strutturato un argomento tanto ampio quanto attuale, il lavoro è stato suddiviso in quattro capitoli, ciascuno dedicato ad un livello di analisi differente ma strettamente interconnesso con gli altri.

Il primo capitolo pone le basi teoriche del lavoro, ripercorrendo il concetto di cambiamento organizzativo e la sua evoluzione storica, dal Taylorismo al Fordismo, fino ai modelli che hanno maggiormente influenzato il ventesimo secolo. Parallelamente, viene ricostruita l'evoluzione dei sistemi logistici nel corso della storia, fino ad arrivare alla logistica 4.0 ed alla progressiva digitalizzazione dei processi, elementi che costituiscono il terreno su cui si innesta successivamente

l'intelligenza artificiale.

Il secondo capitolo entra nel merito della tecnologia, fornendo una definizione delle principali caratteristiche dell'intelligenza artificiale, del machine learning, del deep learning e dei big data, per poi analizzare in modo specifico le sue applicazioni nel contesto logistico: dalla previsione della domanda, all'ottimizzazione delle rotte e dei trasporti, fino alla gestione intelligente delle scorte ed all'automazione dei magazzini.

Il terzo capitolo sposta l'attenzione sugli impatti organizzativi che l'adozione dell'intelligenza artificiale comporta, approfondendo la trasformazione delle competenze professionali richieste ai lavoratori, i fenomeni di resistenza interna connessi al change management, il ruolo della formazione e della comunicazione interna, nonché le implicazioni etiche e sociali legate a temi come l'occupazione, il controllo digitale e la responsabilità decisionale degli algoritmi.

Il quarto ed ultimo capitolo presenta infine un'analisi empirica condotta attraverso un caso studio incentrato su Amazon, azienda che rappresenta un punto di riferimento a livello globale per l'adozione di tecnologie di intelligenza artificiale e robotica in ambito logistico. Attraverso un approccio qualitativo, basato su un'intervista semi-strutturata, si è cercato di verificare in che misura le evidenze raccolte sul campo confermino o arricchiscano i modelli teorici presentati nei capitoli precedenti, offrendo così un ponte concreto tra la teoria e la pratica aziendale.

Nel complesso, il presente lavoro intende offrire una lettura integrata del fenomeno, capace di tenere insieme la dimensione tecnologica e quella umana, nella convinzione che l'intelligenza artificiale, se correttamente gestita, non rappresenti una minaccia per il lavoro, ma piuttosto un'opportunità di trasformazione ed evoluzione per le organizzazioni e per le persone che ne fanno parte.

Capitolo 1 Il cambiamento organizzativo: evoluzione storica e impatti sulla logistica

1.1 Il concetto di cambiamento organizzativo

1.1.1 Cos'è il cambiamento organizzativo

Il cambiamento organizzativo o change management viene definito come un processo attraverso il quale un'azienda cambia le componenti chiave della propria strategia e delle operazioni, svariando da quelli che possono essere le modifiche dal punto di vista culturale, dalle tecnologie che vengono utilizzate fino alla struttura stessa e gli obiettivi che vengono prefissati dall'azienda stessa in termini operativi.

Le possibili motivazioni per le quali un'azienda è orientata ad intraprendere un processo di mutamento organizzativo può derivare da diversi punti di vista e motivazioni, più nello specifico può essere dovuto da:

1. Demografia organizzativa: L'avanzamento dal punto di vista anagrafico dei lavoratori all'interno dell'azienda è uno dei motivi per il quale può variare la struttura ed il processo organizzativo di un'azienda, l'introduzione di figure più giovani può aiutare per affrontare nuove sfide future, più coerenti anche con l'evoluzione nel contesto
2. Tecnologia: l'avanzamento tecnologico può consentire un miglioramento e l'automazione di determinati processi, andando così a cambiare i processi interni
3. Globalizzazione: a seconda della capacità da parte dell'azienda di adattarsi al contesto mondiale può essere visto come un punto di forza da sfruttare oppure una minaccia
4. Cambiamenti nelle condizioni di mercato: il cambiamento del mercato può portare delle variazioni nelle mansioni del singolo lavoratore che sull'intera struttura
5. Crescita: man mano con la crescita di un'organizzazione, orientata ad un

miglioramento dal punto di vista delle prestazioni è anche necessario che apporti dei cambiamenti strategici per poter migliorare le proprie strategie da applicare nel contesto produttivo

6. Scarse prestazioni: se le prestazioni che si sviluppano nel contesto lavorativo non sono considerate di livello dal punto di vista di risultati, apportare un cambio strategico sicuramente può essere utile per tentare un cambiamento strategico e cercare di cambiare il risultato verso una direzione positiva¹

Esistono diversi tipi di approcci al cambiamento organizzativo, che portano a nuovi tipi di strategie che se svolti nel modo corretto possono apportare un vantaggio in termini di cambiamento, apportando ad un netto miglioramento nell'ambito nel quale si vuole agire, tra i seguenti possiamo trovare:

- Cambiamento strutturale: fa riferimento a delle modifiche che vengono apportate al sistema gerarchico dell'azienda oppure agisce anche in cambiamenti in termini di proprietà dell'azienda, questi tipi di pratiche possono derivare anche da attività di acquisizioni o fusioni
- Modifica del processo: questo tipo di processo è focalizzato su migliorare l'efficienza dell'azienda stessa, questo tipo di attività è possibile grazie l'attività che viene svolta da tecnologie oppure miglioramenti della quantità di lavoro, approcci di questi tipi consentono di mantenere un certo livello di agilità in termini di produttività
- Cambiamento culturale: questo aspetto invece agisce in quelli che sono dei cambiamenti dei valori aziendali, delle relazioni che sviluppa l'azienda ed in ambito normativo, si tratta di un aspetto estremamente impegnativo e dispendioso per l'azienda, dato che richiede un cambiamento di approccio da

¹ twproject, «Il cambiamento organizzativo in Azienda,»

parte del lavoratore, spesso non troppo facile da apportare, considerando che spesso si tratta di attività che agisce su ogni livello dell'organizzazione.

- Cambiamento strategico: cambiamenti di questi tipi invece portano ad una variazione significativa della Mission dell'azienda, dal proprio modello di Business e del tipo di prodotti che vengono offerti sul mercato

1.1.2 Cambiamento radicale, cambiamento incrementale ed il modello di John Kotter

Quando si parla di effettuare un cambiamento in un contesto organizzativo, orientato a sviluppare un qualcosa di innovativo ed apportare un'innovazione nel contesto organizzativo, non si fa riferimento solamente ad apportare qualcosa di completamente nuovo, ma bensì le strade da percorrere possono essere 2, una strada orientata a sviluppare un'innovazione incrementale ed un'altra orientata invece ad un'innovazione radicale.

L'innovazione radicale è considerata come un qualcosa di nuovo, con la possibilità di sviluppare e creare un nuovo settore di mercato per l'azienda, si tratta di un aspetto che comporta una introduzione di nuovi paradigmi, regole e modalità di approccio.

Invece per quanto riguarda innovazione di tipo incrementale fa riferimento ad un arricchimento di un prodotto consentendo lo sviluppo di nuove funzionalità, con l'obiettivo di non sviluppare un nuovo mercato, ma raggiungere invece un target di clienti che fa riferimento ad un determinato mercato ancora non raggiunti, comportando in sé un cambiamento dal punto di vista organizzativo e strategico.

Per poter determinare quale dei due cambiamenti può apportare un miglioramento a livello strategico e può essere più utile per l'impresa, varia a seconda delle risorse disponibili dell'azienda stessa, dal contesto nella quale opera ed anche dalla strategia che viene sviluppata dalla concorrenza stessa.²

Ovviamente innovazione portata nel contesto organizzativo non fa riferimento solo la strategia delle grandi aziende, ma può essere apportato anche da aziende di dimensioni più piccole.

Un modello che tipicamente è correlato con il cambiamento di tipo incrementale e

² S. Chiara, «Mente Innovativa,» 08 04 2020..

radiale è il modello di Kotter, ovvero un modello sviluppato da un professore dell'Università di Harvard Business School, un grande esperto del cambiamento organizzativo ed autore del libro “Guidare il cambiamento”.

Il modello che viene sviluppato dal professore consiste in otto diversi Step, il primo di questi otto consiste nello sviluppare una necessità per l'azienda, in modo che parta proprio dall'azienda la ricerca verso il cambiamento, andando a sviluppare un clima di urgenza correlata alla necessità di procedere verso il cambiamento stesso.

Lo scopo di andare a sviluppare un'urgenza per l'azienda, ovviamente non ha lo scopo di mettere in cattiva luce l'andamento dell'azienda, ma bensì la possibilità di instaurare una relazione con l'azienda e più nello specifico i collaboratori che si occupano dell'area che sarà soggetta a cambiamento, consentendo anche alle figure di vertice di comunicare che la situazione attuale che si riversa sul mercato è ben diversa e che di conseguenza, perseverare e mantenere la strategia attuale, non darà alcun risultato.

Le azioni che possono essere svolte in questa fase sono:

- Comunicare eventuali problematiche e minacce che derivano dall'ambiente esterno
- Sviluppare eventuali analisi predittive, in modo da avere una visione migliore sulle situazioni future
- Individuare eventuali opportunità ancora non colte dal mercato
- Sviluppare delle situazioni di confronto tra le persone che agiscono dal punto di vista operativo per poter dialogare sulla situazione di urgenza

Si tratta di una fase chiave, perché se in grado di sviluppare un livello di urgenza elevato da trasmettere ai lavoratori e dipendenti, di conseguenza anche le altre fasi

avranno un'incisione sugli altri 7 step.

Il secondo step da dover sviluppare seguendo le indicazioni del modello di Porter riguarda la possibilità di sviluppare alleanze e collegamenti con collaboratori, di conseguenza prevede la necessità di un determinato livello di compattezza tra le figure di vertice dell'azienda, quindi il top management e le persone più importanti dell'organizzazione, tutte orientate verso un unico obiettivo e sfruttando le loro abilità di leadership.

Uno degli aspetti fondamentali da dover sviluppare in questa fase, non è ricercare di sviluppare una buona relazione con le figure di vertice, si tratta ovviamente di un aspetto positivo che se si riuscisse a fare ciò ne gioverebbe la situazione, ma bensì se non si ha la possibilità di accedervi almeno è importante trovare le persone che hanno ed esercitano una buona influenza sui colleghi e che di conseguenza possano essere i traghettatori di questo modello, guidandoli verso il cambiamento.

Altri aspetti da dover sviluppare in questa seconda fase troviamo:

- Sviluppare relazioni con le persone giuste
- Sviluppare delle relazioni anche dal punto di vista emotivo
- Se trovo delle aree più deboli della mia squadra, rimediare e cercare contatto invece con figure più leader
- Non concentrarsi solo in un'unica area, ma bensì cercare di sviluppare delle relazioni con persone che provengono da aree diverse, con compiti diversi, in modo da raggiungere funzioni diverse dell'azienda in modo più rapido

Il terzo step invece prevede lo sviluppo di una Vision, spesso la determinazione di una vision deriva da proposte che vengono comunicate da parte delle figure di spicco dell'azienda, oppure di proposte anche da figure con carichi di responsabilità

inferiore rispetto ai manager.

Generalmente in queste situazioni tutte le proposte che vengono effettuate è meglio che vengano conservate in qualche modo, così da conservarle e riutilizzarle proprio nel momento in cui viene determinata la nuova vision dell'azienda, dovuta al cambiamento che deve essere apportato.

Le attività da tenere in considerazione per centrare una vision che sia comunque in linea con i cambiamenti che si vogliono apportare ma comunque che abbia un legame con la vision precedente sono:

- I valori di base dell'azienda del processo di cambiamento
- Immaginarsi la situazione dell'azienda dopo i cambiamenti che verranno apportati all'azienda
- Sviluppare una strategia correlata con la nuova vision
- Essere sicuri che i lavoratori saranno in grado di capire i tipi di lavori ed attività che svolgeranno in futuro

Connesso con lo sviluppo di una Vision dovuto al cambiamento organizzativo che viene sviluppato c'è anche il modo in cui viene comunicata la nuova Vision, che si tratta di un aspetto altrettanto importante, si tratta di una comunicazione che deve distinguersi rispetto alle altre.

Dato che si tratta di un messaggio estremamente importante, è rilevante anche che questo tipo di comunicazione venga effettuato con un elevato livello di frequenza e con forza, ovviamente per agire sotto il punto di vista della comunicazione della vision, non riguarda solo una comunicazione a livello di parlato, ma anche attraverso azioni concrete, che diano in modo di avere una comprensione migliore della nuova vision.

Il miglior modo per essere credibili agli occhi dei lavoratori è mostrare tramite i fatti quello che bisogna fare e soprattutto anche per stimolare i lavoratori stessi.

Per avere ottimi risultati nel quarto step, le attività che hanno dato maggior risultato sono le seguenti:

- Parlare con molta frequenza della vision
- Ascoltare attentamente le paure delle persone dovute dal cambiamento
- Fare in modo che la nuova vision trovi applicazione nel quotidiano
- Essere da esempio per i lavori e di conseguenza essere considerato da loro come una guida

Arrivati al Quinto step, è già stata superata la metà del modello, in questa fase bisogna stare attenti agli ostacoli che si potrebbero incontrare, ovvero prestare attenzione a figure che potrebbero essere di intralcio con l'applicazione di un nuovo modello o processo produttivo.

La rimozione di ostacoli od eventuali resistenze al cambiamento, ovviamente consente di raggiungere la nuova vision in modo più rapido, evitando anche quelli che potrebbero essere dei problemi dal punto di vista comunicativo.

Tra le migliori attività da sviluppare in questa quinta fase sicuramente troviamo quelle di riconoscere pubblicamente le persone che hanno supportato le attività di cambiamento, oppure al contrario, per le persone che hanno sviluppato maggiore resistenza, comprendere quali sono le loro motivazioni e rimuovere le barriere di ogni tipo trovando delle soluzioni per i problemi che sono emersi.

La sesta fase si concentra invece sullo sviluppo di obiettivi di breve periodo, questo deriva dal fatto che un dipendente/lavoratore interno all'azienda, se in grado di poter

raggiungere un determinato obiettivo, questo comporterà una maggiore motivazione, orientando per il lavoratore stesso una maggiore operatività, si tratta di operazioni che consentono di mantenere motivate le persone e di conseguenza mantenerle pure concentrate e focus sul cambiamento; tra le altre attività connesse con questa fase vengono suggerite:

- Concentrarsi su quelli che sono gli obiettivi più raggiungibili,
- I primi obiettivi da fissare devono essere quelli più economici
- Gli obiettivi con più punti di forza e punti di debolezza devono essere avviati per primi
- Dare un'adeguata ricompensa alle figure interne all'azienda che collaborano nelle diverse fasi di lavoro e che aiutano a portare avanti gli obiettivi

La penultima fase consiste nella capacità del change management di costruire il cambiamento, di conseguenza porre particolare attenzione a non dichiarare successo troppo rapidamente quando si concentra in una determinata fase del cambiamento organizzativo, solo attraverso il tempo ed il sostegno si può costruire un reale cambiamento.

In questa fase bisogna concentrarsi su attività di analisi, più nello specifico sui vari obiettivi raggiunti e soprattutto anche andare a sviluppare nuovi obiettivi, in modo da sviluppare una progressione costante in termini di cambiamento.

L'ottava ed ultima fase del Modello di Kotter prevede la capacità del change management di incorporare il cambiamento nella cultura aziendale, che si tratta di un aspetto centrale per i futuri cambiamenti implementati.

Se non si monitora che i lavoratori utilizzino ed applichino le nuove strategie, ovviamente da parte dei dipendenti si ritornerà sui processi precedenti, dato che

sono quelli che magari conoscono in modo migliore rispetto ad una nuova tecnica.³

³ S. d. Qualitiamo, «Qualitiamo,» 15 1 2026.

1.1.3 il ruolo del management nella gestione del cambiamento

Come abbiamo anticipato nei sottocapitoli precedenti, apportare cambiamenti organizzativi in modo corretto ed efficace si tratta di un passaggio estremamente fondamentale per le organizzazioni per approdare in nuovi mercati e sviluppare dei nuovi business, ma altrettanto importanti sono le figure che guidano attività di change management e di come attuano le proprie strategie per far sì che il cambiamento porti ad un risultato concreto in un miglioramento dell'attività.

Per chi fa parte della funzione strategica e della funzione risorse umane, hanno il ruolo di portare un cambiamento a livello culturale in primis, con il compito di orientare l'azienda da un approccio più vecchio, ad una situazione invece nuova, attraverso l'applicazione di una politica di change management.

Il compito dell'area risorse umane in questi contesti è di supportare l'intera organizzazione per consentire un approccio verso una nuova realtà vitale, difatti in contesti come questi, oltre alla figura di HR Business Partner che guida questi cambiamenti, un'altra figura che emerge è quella dell'Innovation partner, chiave sia nel processo di trasformazione dell'azienda che nel concretizzare i progetti e le iniziative.

Al giorno d'oggi, le figure di riferimento interne all'azienda che lavorano in ambito risorse umane, hanno il compito di captare con anticipo quelli che sono i trend del mercato, in modo da avere una visione strategica per poter attivare delle politiche in ambito HR, sviluppando quelle che sono le capacità di decisione e di problem solving, effettuando anche un'attività di comunicazione chiara e correlata con quelli che sono gli obiettivi fissati dall'azienda, connessi con le nuove strategie stabilite.

Correlata con quella che è l'attività che viene svolta da parte degli Hr manager per sviluppare quella che è l'attività di change management, allo stesso tempo deve essere svolta un'attività di leadership da parte del personale all'apice dell'organizzazione, portando un contributo a quello che è il cambiamento

organizzativo dell'impresa.⁴

La comunicazione che viene utilizzata dai manager rientra tra gli strumenti utilizzati per orientare l'azienda verso un cambiamento organizzativo, di conseguenza che siano capaci anche di guidare il personale in momenti dove è presente più resistenza, coinvolgendo e valorizzando i lavoratori suddetti al raggiungimento dell'obiettivo prefissato.

Altre metodologie che possono essere utilizzate da parte dei manager per orientare l'azienda al cambiamento sono:

1. Coinvolgere: capacità di ascolto e di dialogo sono fondamentali, per far sì che il cambiamento possa essere implementato all'interno dell'azienda è anche necessario che siano i lavoratori stessi a comprendere del perché di questo cambiamento e che comprendano anche l'esigenza dell'azienda nell'attuare questo piano
2. Dare l'esempio: le figure con maggiori incarichi nei contesti organizzativi devono essere di riferimento per le figure sottostanti, se manca un comportamento corretto con quelle che sono le politiche e le strategie che vengono indicate dall'azienda stessa, pure i lavoratori inferiori avranno un comportamento scorretto bloccando quelli che sono i cambiamenti dell'azienda
3. Delegare: svolgere una funzione di questo tipo sicuramente consente di ottenere una maggiore responsabilizzazione per i lavoratori con meno incarichi e di minor importanza, in questo modo invece, affidare esclusivamente determinati compiti può consentire di condurre il cambiamento verso l'obiettivo prefissato.

Sempre correlati con il contesto del change management, generalmente viene rappresentato da diverse tipologie di azioni, che si differenziano in due categorie,

⁴ T. Reverse, «Cos'è il Change Management e come gestire il cambiamento in azienda,» 27 07 2020..

che come indicato anche precedentemente attraverso queste azioni e decisioni si delinea il cambiamento in azienda, la distinzione che viene effettuata tra i 2 diversi tipi di azioni, fanno riferimento a cambiamenti adattivi, ovvero piccole variazioni che vengono messe in atto da parte di manager e da organizzazioni, per poter sopravvivere al contesto esterno all'azienda e le novità quotidiane sotto forma di sfida.

Rispetto ai cambiamenti trasformativi che verranno citati successivamente, i cambiamenti adattivi vengono applicati in situazioni dove si è orientati a perfezionare un determinato prodotto o processo, che già è strutturato, ma necessita semplicemente una piccola variazione.

Quanto parliamo invece di cambiamenti trasformativi che vengono o svolti dal change management, porta un'innovazione improvvisa e drammatica, che vengono svolti generalmente a causa delle forze esterne che portano l'azienda a dover effettuare delle variazioni in termini produttivi o di servizi, in più, un'attività di tipo trasformativa prevede un coinvolgimento dell'intera organizzazione, sia dal punto di vista delle attività che vengono svolte ma anche dal punto di vista mentale, portando i lavoratori e dipendenti a credere che il cambiamento che verrà apportato sia qualcosa di positivo, che apporti effettivamente un miglioramento organizzativo.

Attività di questo tipo generalmente prevedono lo sviluppo di un piano altamente dettagliato, con un orientamento anche verso a quelli che sono i feedback dei dipendenti, in modo da avere un riscontro maggiore sulle attività che sono variate, oltre ovviamente ad obiettivi chiari ⁵

⁵ S. Ghirardelli, «Change Management: come gestire il cambiamento in azienda,» 11 02 2025.

1.2 Evoluzione storica delle organizzazioni e dei sistemi logistici

1.2.1 Dalla rivoluzione industriale alla produzione di massa

I settori della produzione industriale e del commercio, tra il 1800 e 1900, subiscono la scoperta di importanti innovazioni che modificano i settori citati precedentemente, comportando anche delle modifiche negli stili di vita e dei bisogni delle popolazioni europee.

La prima figura di riferimento che ha sviluppato questo cambiamento di strategia che consente di sviluppare un nuovo modello di produzione è Frederick Taylor, ideando la “catena di montaggio”, consentendo una maggior divisione razionale del lavoro, che avrebbe consentito un aumento dei profitti e di conseguenza una diminuzione dei costi.

La prima figura di rilevanza nel diciottesimo secolo ad applicare le tecniche associate al Teylorismo fu l'americano Henry Ford, imprenditore statunitense, tra i quali fondatori della Ford Motor company, tramite le seguenti tecniche implementate nel mondo del lavoro consentì di creare una netta separazione tra la figura dell'artigiano e la figura dell'operaio specializzato, consentendo un ridimensionamento della concezione del lavoro.

- Artigiano: trattasi di una figura più creativa, che crea i propri manufatti e si tratta di oggetti unici e costosi, generalmente si tratta anche di figure che sono proprietarie degli strumenti che utilizza e proprietario di una bottega, tramite la sua esperienza ha delle capacità che sono trasmissibili ad un suo allievo.
- Operaio: si tratta di un lavoratore addetto ad una determinata posizione in un processo che fa riferimento ad una catena di montaggio, l'attività che viene svolta dall'operaio generalmente è ripetitiva, poco gratificante e trattasi di un lavoro non qualificato, in aggiunta a differenza dell'artigiano non è proprietario degli strumenti e dei macchinari ai quali consente di portare a termine i propri compiti e si tratta di un tipo di attività non gratificante e non trasmissibile ad un

eventuale allievo, dato che si tratta di un'operazione lavorativa base.

Tramite questo esempio riportato possiamo intuire che la catena di montaggio si tratta di una metodologia che “disumanizza” l'attività che viene svolta dall'operaio, rendono di base una macchina al servizio di un'altra macchina, diventando semplicemente un ingranaggio che fa parte di un sistema.

Per quanto riguarda i progressi dal punto di vista tecnico scientifico, alla fine del 1800, i macchinari ed i vari sistemi di produzione si trovavano in una condizione avanzata del tempo, tramite la combinazione della scienza e della tecnologia, venivano sviluppati macchine molto più veloci dal punto di vista produttivo, consentendo una progressione in tre dimensioni dell'ambito industriale:

- Standardizzazione: veniva applicata su prodotti e sui mezzi di produzione, consentendo una precisione maggiore orientata al perfezionamento di tali prodotti e dei mezzi di misurazione
- La possibilità di effettuare una produzione sistematica dei pezzi, sia come prodotto finito che come intercambiabilità del bene stesso, con l'aumento dell'intercambiabilità portò ad una maggiore praticità che un miglioramento dal punto di vista economico ponendo una base sulla produzione su larga serie
- Le macchine utensili subirono una progressione dal punto di vista della specializzazione, dando la possibilità di poter compiere lavori particolari ed altamente specifici

L'apporto della tecnologia oltre a consentire una progressione in termini di lavoro che viene svolto, ha portato anche ad una progressione in termini di ingrandimento della dimensione delle fabbriche, consentendo di conseguenza un ampliamento dei complessi industriali; nel diciannovesimo secolo la presenza di un migliaio di lavoratori all'interno delle fabbriche era un aspetto estremamente raro, cosa che

invece si modificò con il passare del tempo, alla fine del 1800 e l'inizio del 1900, la fusione tra le imprese e l'espansione dal punto di vista produttivo, hanno dato il via al concetto di gigantismo industriale.

Situazioni di questo tipo portarono sicuramente degli esiti sia positivi, ovvero che si trattava di una risposta logica per andare incontro a quelle che erano le richieste del mercato e le esigenze che derivavano dalla produzione su larga scala, dal punto di vista negativo invece si presentarono diverse problematiche organizzative, nuove in questa fase di evoluzione, che di conseguenza necessitavano di trovare soluzioni diverse rispetto alle vecchie.

L'espansione produttiva dell'industria richiedeva un maggior afflusso della manodopera, comportando un reclutamento anche di figure che agivano nel contesto agricolo, non solo persone provenienti dal contesto proletario, dato che la manodopera richiesta era molto alta.

Da tenere in considerazione sicuramente che la manodopera richiesta in questo contesto storico prevedeva un elevato livello di mobilità da entrambe le parti, l'impresa non garantiva nessuna sicurezza dal punto di vista del lavoro, dato che i lavoratori ed operai erano in continua ricerca per un lavoro migliore e più appagante, portando ad un livello molto elevato di ricambio, comportando problematiche per l'apprendimento di determinati compiti o mansioni.⁶

Oltre alle strategie messe in atto da parte di Taylor che saranno esaminate e prese in considerazione nel sottocapitolo successivo, una figura che emerge per risolvere varie problematiche in ambito industriale e produttivo è Henry Fayol, applicando quello che è il modello e le soluzioni presentate da parte di Taylor per le funzioni amministrative; la persona precedentemente indicata agisce in periodo che va dal 1916 al 1925, portando una divisione e distinzione tra la gestione e la direzione.

⁶ A. Ottieri, «SECONDA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE E SOCIETÀ DI MASSA,» 22 10 2017

Faylor parte con l'osservazione di due fenomeni, un primo che riguarda l'esistenza di un elevato numero di prassi gestionali, diverse tra loro, per far fronte al medesimo problema di dubbia validità, il secondo invece fa riferimento alla necessità di sviluppare un codice sulle "verità dimostrate" sfruttando i mezzi della discussione in pubblico e l'esperienza.

Secondo Fayol la dottrina orientata sulla direzione, si deve sviluppare con l'utilizzo del metodo cartesiano, dove da un lato è prevista la scomposizione del problema e lo studio approfondito dei singoli aspetti, dall'altro lato invece effettuare un'osservazione, raccolta e catalogazione dei fatti, comprenderli e se ne richiede necessità fare degli esperimenti.

Fayol per strutturare tale modello sviluppa determinati principi:

- Suddivisione del lavoro: man mano che si sviluppa una crescita dell'organizzazione necessita una suddivisione ed un raggruppamento delle risorse, tenendo conto della singola specializzazione
- Autorità e responsabilità: le figure che ricoprono un livello di responsabilità verso terzi devono essere dotate pure di autorità
- Disciplina: In caso di mancanza di disciplina, di conseguenza causa una riduzione del principio di autorità
- Direzione e comando: Per un gruppo di lavoratori e di operai che hanno a che fare con un unico obiettivo, devono essere supervisionati da un solo capo, e quest'ultimo deve impartire ordini ed i suddetti riferirsi solo a lui
- Organigrammi: le linee di comando devono essere strutturate in modo chiaro, dove possibili anche brevi
- Remunerazione: Il salario deve soddisfare gli interessi dell'organizzazione e del

lavoratore

- Equilibrio: i vari settori e parti dell'organizzazione devono essere tutti di uguale importanza, e nessuna di esse deve essere considerata di maggior importanza a discapito delle altre

Un'ulteriore analisi che viene posta da Fayol viene effettuata sulla distinzione tra la funzione di direzione e quella di gestione, la funzione direttiva trova il suo ruolo nel dirigere, programmare le varie attività, coordinare le varie azioni e di controllo, mentre la funzione di gestione viene concepita come essenza del funzionamento dell'impresa, e del coordinamento delle funzioni aziendali, che spaziano da attività tecnica, commerciale, finanziaria, di sicurezza e di contabilità.

Successivamente viene sottolineato come la funzione direzionale è caratterizzata da due elementi fondamentali:

- Universalità: le competenze amministrative anche se sono migliorabili con la pratica, non si tratta di competenze che si acquisiscono solamente con l'esperienza, ma attraverso lo studio delle teorie che provengono dal contesto amministrativo, le regole e metodologie sperimentate tramite l'applicazione
- Diffusione: non può essere attribuita solamente dal vertice, ma che venga effettuata anche se in dosi ridotte da parte di tutti i dipendenti, ogni funzione, richiede una specifica competenza di combinare la conoscenza con la qualità⁷

⁷ C. Cerruti, «La nascita, l'affermazione del sistema di produzione di massa,»

1.2.2 Dal Taylorismo al Fordismo

Spesso il taylorismo ed il fordismo vengono considerati come due concetti uguali, ma in realtà si tratta di due aspetti del contesto organizzativo aziendale caratterizzati da importanti innovazioni dal punto di vista tecnologiche, possono anche essere presi in considerazione come uno l'evoluzione dell'altro, e come delle strategie che hanno consentito uno sviluppo e miglioramento nell'ambito della produzione industriale.

Le basi che vengono poste nel modello Taylorista derivano dallo “scientific management”, fondato da Frederick Taylor, fondate tramite lo studio e le analisi empiriche alla fine del 1800, tramite le pubblicazioni nei testi intitolati “shop Management” nel 1903 e successivamente nell'opera successiva “The Principles of scientific management”, nel 1911, derivante dall'esperienza sviluppata e dalla sperimentazione all'interno delle fabbriche.

Secondo Taylor, le disfunzioni che si sviluppano nel contesto organizzativo derivano dal mancato raggiungimento della efficienza produttiva, derivante dalla tendenza degli operai al Soldiering, ovvero intesi come scansafatiche, derivante dall'aspetto che nel contesto lavorativo, secondo le analisi svolte da Taylor, le figure che applicavano il massimo delle loro energie nel contesto lavorativo venivano considerate come dei perdenti, reazione opposta in contesti diversi come nello sport dove invece se una persona non metteva nell'attività svolta il massimo delle energie veniva considerata un perdente.

Tale problematica derivante da una mancanza di impegno sufficiente da parte di lavoro, secondo Taylor trovava origine però dalle competenze e dal mancato apporto che veniva effettuato dal management, una mancata conoscenza approfondita delle singole mansioni dei lavoratori e del tipo di attività che veniva svolta.

A seguito di questa osservazione, Taylor identifica quattro fondamenti che mettono le basi per sviluppare lo Scientific Management:

1. Sviluppare una scienza per ogni compito del lavoro
2. Una selezione scientifica di ogni singolo lavoratore, in modo da affidare a loro compiti e mansioni più adatti ai tratti caratteristici della persona
3. Sviluppare un metodo che portasse ad una maggiore cooperazione tra i vari lavoratori
4. Una netta divisione a livello di responsabilità tra gli operai ed i quadri⁸

Il Fordismo invece trova le sue origini sul mettere in pratica quelle che erano le analisi che sono state fatte da parte di Taylor, vennero messe in pratica da parte di Hanry Ford all'interno delle sue fabbriche automobilistiche, difatti il fordismo non deve essere preso in considerazione come una teoria organizzativa, ma piuttosto come un modello socioeconomico di stampo capitalista, che vuole utilizzare alla base le regole introdotte da parte di Taylor.

Lo scopo del fordismo, è quello di riuscire ad andare oltre in contesto aziendale, ma bensì riuscire ad influenzare anche i rapporti dal punto di vista economico, sociale, di Welfare aziendale e di Stato.

Secondo Bob Jessop, ovvero uno studioso ed economista dell'epoca, il Fordismo può essere caratterizzato da 4 diverse categorie o accezioni.

La prima e la più importante riguarda la produzione di massa, caratterizzata dalla presenza di una catena di montaggio per semplificare l'attività lavorativa che deve essere svolta dagli operai, concentrato su quella che è un'alta divisione tecnica del lavoro, facendo riferimento alle linee guida che derivano dal modello di Taylor.

La seconda accezione che viene applicata al Fordismo fa riferimento anche al

⁸ F. Sghezzi, «Tra taylorismo e fordismo: il lavoratore».

definirlo come un “regime di accumulazione circolare e auto-centrico”, si tratta di un aumento della produttività, che consentirebbe e porterebbe all’aumento anche di salari, portando di conseguenza ad una crescita della domanda del bene prodotto da parte del mercato, originando il consumo di massa.

Conseguentemente la vendita del bene garantirebbe ingenti investimenti in ambito tecnologico, grazie ai profitti generati, consentendo nuovamente un aumento della produttività.

La terza interpretazione che viene data al Fordismo fa riferimento ad una tipologia sociale di regolamentazione economica, secondo Jassop gi genera una riproduzione del capitale all’interno del Fordismo, mettendo a stretto contatto lo Stato e tutti gli aspetti economici dell’impresa, come la dinamica salariale, la natura monetaria e del capitale commerciale, portando il salario ad essere oggetto di scambio data la sua crescita, che varia in base alla produttività, non subendo però quella che è la fluttuazione del mercato, ma bensì tenendo costante il potere d’acquisto dei dipendenti ed operai.

L’ultima accezione che il Fordismo può avere dal punto di vista di Jessop sarebbe la possibilità di un nuovo modello di società, che parta dalla rottura di legami, fondando un tipo di comunità indipendente e portando ad una società di stampo salariale.

Per effettuare questo tipo di passaggio sono previste 2 fasi, dove per primo bisogna cercare di mantenere i salari fissi, che non siano soggetti a fluttuazione, garantendo in questo modo la possibilità che tramite il salario, i lavoratori possano togliersi le proprie soddisfazioni e bisogni individuali.

A questa caratteristica, la seconda fase è contraddistinta dall’equilibrio dello Stato dove una delle attività principali è quella di fornire dei servizi e che consentono di conseguenza al consumatore di mantenere il proprio status.

Di conseguenza, questo modello produttivo innovativo per l'epoca, fu resa possibile la sua applicazione grazie alle analisi scientifiche condotte da parte di Taylor, e soprattutto anche grazie al metodo sviluppato sempre da parte dello stesso definito come "Scientific Management", che grazie alla combinazione di caratteristiche produttive, suggerite da parte di Ford stesso, hanno dato avvio ad un modello teorico.

Il sistema ideato da Taylor e poi rifinito tramite ideazione della catena di montaggio da parte di Ford ebbe un impatto importante sull'economia degli Stati Uniti di quel periodo, successivamente tali pratiche vennero prese di riferimento da fabbriche di tutto il mondo, difatti si trattò del modello produttivo che consentì alla fine del 1900 di passare da quella che era una semplice produzione industriale per poi accedere ad un modello di società dei consumi per gli anni successivi.

Una volta terminata la Seconda guerra mondiale, dovuto soprattutto anche alla crisi che si sviluppò negli anni 70, il Taylorismo ebbe un rilievo minore nel contesto industriale, tanto che venne abbandonato come modello industriale, dato che aveva fallito nel suo obiettivo principale, ovvero la capacità di costituire armonia tra capitale e chi lavora in fabbrica.

Per quanto riguarda il Fordismo invece subì lo stesso esito, nonostante un successo non da poco sul piano della produttività e nonostante la netta separazione tra il lavoratore ed il lavoro che veniva condotto.

L'errore che venne condotto in questo caso fu che la convinzione di concedere ai lavoratori un salario maggiore, potesse bastare per far accettare uno sforzo lavorativo maggiore, sempre lo stesso nel tempo e ripetitivo, portando a diversi problemi e tensioni sindacali nelle fabbriche.

Modelli di questi tipi vennero poi definitivamente abbandonati quando venne raggiunto un determinato livello tecnologico, che consentì un maggior livello di

automazione e computazione da parte delle macchine.⁹

⁹ E. d. Rauso, «Taylorismo, Fordismo e Toyotismo: le tre più grandi Rivoluzioni del lavoro,» 24 05 2020

1.2.3 Modelli che hanno influenzato maggiormente il XX secolo

In questo sottocapitolo gli argomenti che andremo a trattare sono vari modelli industriali ed organizzativi che hanno influenzato il contesto industriale del ventesimo secolo e che hanno avuto un impatto maggiore in quel secolo.

Dato che il modello di riferimento preso in analisi nel paragrafo precedente è stato il Modello di Taylor e di Ford, come prima analisi ed argomento prendiamo di riferimento quello che è il Modello e periodo definito come “Post-Fordismo”, questo periodo trova una sua fase di espansione come indicato precedentemente a seguito di una crisi che avviene nella seconda metà del ventesimo secolo.

In questa fase si svilupparono diverse innovazioni in ambito lavorativo, come il Just in time, attività di telelavoro, attività date in outsourcing oppure anche centralini e call center, portando ad un elevato livello di diversificazione del lavoro, passando soprattutto da una società basata sul lavoro, ad una società invece che poggiava le proprie basi sui lavori, al plurale, dato che la centralità della società derivava proprio da una pluralità di attività lavorative.

L'evento che da inizio a questo periodo coincide con il primo reale shock petrolifero, in data 1973, anche se le prime problematiche nel contesto industriale ed automobilistico si erano già presentate precedentemente.

Un altro modello che diede vita ad una nuova fase produttiva e che cambiò le “regole” dal punto di vista organizzativo fu l'applicazione di una produzione più snella, scelta che venne presa in considerazione da parte della fabbrica giapponese della Toyota, inizialmente incentrata sulla fabbricazione e produzione di camion che successivamente passò anche al commercio delle automobili, riuscendo ad eguagliare gli standard produttivi proposti dalle fabbriche di veicoli tedesche.

La chiave che consentì un successo produttivo da parte dell'azienda giapponese fu l'applicazione del modello dal punto di vista produttivo definito “just in Time”, che

prevedeva l'abolizione di scorte di beni non ancora considerati come prodotto finito, ma mettendo in fabbricazione solo quello che è stato già comprato e di conseguenza ordinato da parte dei clienti.

Applicando questa metodologia a livello di produzione, ha consentito di apportare al comparto produttivo un aumento della produttività tramite una serie di modifiche di modeste dimensioni, senza apportare grandi stravolgimenti nei processi e nell'acquisto di macchinari costosi, consentendo anche un'enorme riduzione di sprechi, consentendo anche un maggior livello di autonomia per ciascun lavoratore in modo da integrarsi in modo migliore nel contesto organizzativo, accrescendo anche il livello di elasticità per il lavoratore stesso.

Uno dei principali cambiamenti che portò il modello Post-fordista comportò una variazione di approccio ed un modo diverso delle interazioni da parte di imprenditori e manager per quanto riguardava gli schemi di funzionamento dell'impresa e la natura stessa.

Il processo di integrazione, fino a quel periodo era realizzato all'interno dell'impresa, ma a seguito di questo modello cambiò le metodologie che venivano utilizzate, portando ad una relazione maggiore di integrazione tra le imprese stesse.

Le piccole imprese si strutturano a livello locale come se fossero un'unica grande impresa, mentre quelle di maggiori dimensioni si comportano come se fossero un insieme di piccole organizzazioni, portando ad una maggiore specializzazione dell'impresa stessa, e migliorando le relazioni con aziende esterne anch'esse specializzate.

Il Postfordismo portò anche ad un livello maggiore di conciliazione tra la variabilità della domanda e con una maggiore stabilità della manodopera, trattandosi però di un passaggio estremamente complicato per ogni tipo di organizzazione, dalla più grande alla più piccola, comportando una riduzione del personale a seconda delle

necessità e usufruendo invece di servizi esterni sfruttando manodopera indiretta fornita da ditte specializzate esterne all'azienda.

Questo portò ad un cambiamento incredibile nel contesto industriale, il vecchio schema di funzionamento prevedeva che per combinare in un modo migliore i fattori produttivi, bisognasse effettuare un processo di integrazione di ogni attività verticalmente al proprio interno; invece, in questa fase tutto viene integrato in modo orizzontale con l'esterno, normalizzando la presenza di imprese esterne con le quali viene stretta una migliore relazione dal punto di vista operativo e produttivo.

Oltre all'aspetto produttivo variò anche la struttura del mercato del lavoro, introducendo svariati elementi di diversificazione delle competenze, andando a sviluppare concetti di "atomizzazione del mercato" e "individualizzazione dei profili", comportando un aumento della selettività dal alto della domanda.

Il contesto professionale dei lavoratori subisce un estremo cambiamento, comportando un aumento del turnover, aumentando di conseguenza la varietà dei mestieri, con una prospettiva di carriere più discontinue.¹⁰

¹⁰ A. Accornero, «Dal fordismo al post-fordismo: il lavoro e i lavori,» 1 04 2001

1.3 Evoluzione della logistica nel corso della storia

1.3.1 Storia della Logistica

Quando si parla di logistica, generalmente si tratta di un concetto che si riconduce al processo che prevede la movimentazione della merce, in realtà però la mansione di compiti che viene svolta da tale aspetto è molto più ampio che il trasporto di beni e prodotti.

Una reale definizione della logistica non esiste, ma stando a quanto detto da parte dell'Associazione Italiana di Logistica si tratta di “La logistica è l'insieme di tutti quei processi di ordine organizzativo, gestionale e strategico, interni ad un'azienda, dalla fornitura alla distribuzione finale dei prodotti”, se invece si vuole prendere di riferimento la definizione data da parte del Council of Logistics Management, presenta una definizione più ampia; “La logistica è il processo di pianificazione, implementazione e controllo dell'efficiente ed efficace flusso e stoccaggio di materie prime, semilavorati e prodotti finiti e delle relative informazioni dal punto di origine al punto di consumo con lo scopo di soddisfare le esigenze dei clienti”.

Da come si può evincere da queste definizioni, il concetto della logistica va ben oltre al semplice riferimento di trasporto merci, con un coinvolgimento ben superiore di diversi tipi di settori, dal settore di approvvigionamento di materie prime fino alla distribuzione della merce, prendendo di riferimento anche processi di ordine e di ritiro di beni che vengono resi.

Ognuno di questi aspetti influisce su tutti gli altri, essendo ormai uno degli aspetti che più influisce l'andamento di un'azienda, posso determinare il successo oppure insuccesso dal punto di vista imprenditoriale e di servizi offerti.

La logistica aziendale non è riconducibile ad una sola tipologia, ma bensì esistono diversi tipi di logistica, che svolge diverse funzioni e mansioni a seconda del processo e del livello di specializzazione, che contribuisce a svolgere un'attività lavorativa più efficiente ed efficace, con lo scopo di ottenere un piazzamento

migliore sul mercato in relazione ai vari competitors.

Le diverse tipologie di logistica sono:

- Logistica di ingresso: fa riferimento a compiti e gestione di magazzino, con una relazione stabile con i fornitori ed effettuando controlli sulle scorte in termini di materie prime
- Logistica interna: si distingue da quella precedente per il tipo di operazioni, con un focus su attività di smaltimento e per attività di comunicazione all'interno dei diversi reparti, con lo scopo finale di consentire una produzione continua.
- Logistica distributiva: svolge attività riguardanti la rete di distribuzione delle merci
- Logistica inversa: si occupa di attività di reso e di rientro di beni, seguendo le attività di smaltimento e di trasporto del bene

Attraverso la nascita della supply chain, riusciamo ad arrivare al concetto odierno di logistica, ovvero ciascuna fase dei vari processi produttivi, assumono una maggiore centralità all'interno dell'azienda, portando di conseguenza ad un business orientato sul fornire prodotti, servizi ed informazioni destinate ai consumatori, portando ad un cambiamento concettuale della logistica, consentendo il passaggio ad un aspetto strategico per lo sviluppo delle singole aziende.¹¹

In questo ultimo periodo attività di trasporto e di movimentazione di materie prime e prodotti vengono gestite in outsourcing, tramite questa metodologia questa attività viene affidata a persone terze, esterne all'azienda.

Attività di questo tipo vengono svolte generalmente per essere più concentrati sulle

¹¹ R. Perez, «L'evoluzione della logistica dall'inizio del XX secolo a oggi,» 16 5 2023

attività di core business ed anche per consentire una riduzione di costi.

Attraverso la tecnologia digitale ed un livello maggiore di connettività globale rispetto agli anni passati, il contesto della logistica ha subito nuovamente dei miglioramenti, trovandosi in una condizione evolutiva costante nel tempo, spesso di pari passo con la tecnologia messa a disposizione in questo settore, si è verificata una crescita dal punto di vista del commercio elettronico, portando a rispondere ad una domanda di mercato maggiore e dovendo trovare delle soluzioni logistiche più rapide.

L'automazione e la robotica nei magazzini di oggi sono sempre più centrali, consentendo una riduzione dei processi di movimentazione delle merci.

Tramite l'intelligenza artificiale invece è possibile migliorare l'efficienza delle operazioni che si svolgono nei contesti logistici, consentendo una maggior precisione su attività di analisi dati, ottimizzazione dei percorsi, capacità di prevedere la domanda e l'automazione di attività più complesse.

Tutto questo ha consentito un miglioramento dei processi logistici dal punto di vista decisionale e fornendo maggiore stabilità nella catena di approvvigionamento.

Tra le modifiche che ha subito il sistema logistico tramite l'utilizzo di tecnologie troviamo sicuramente il sistema di gestione dei trasporti, consentendo una facilitazione nelle attività di pianificazione e dei percorsi di trasporto, anche tramite il controllo in tempo reale delle consegne.

I TMS sfruttano GPS dai dispositivi mobili, per ottenere informazioni in tempo reale dei veicoli e dei loro spostamenti, oltre che consentire una comunicazione costante sia tra gli autisti che con il magazzino.

Il sistema di gestione del magazzino si tratta di un altro elemento che grazie alla tecnologia ha subito enormi quantità di aggiornamenti nel corso del tempo, sistemi

di questo tipo agevolano il controllo e la tracciabilità in tempo reale dell'inventario, con un margine di errore tendente allo zero.

Un altro aspetto nel quale ha influito lo sviluppo tecnologico connesso con la logistica di un'azienda sicuramente fa riferimento alla gestione delle flotte di trasporto, tramite lo sfruttamento di sistemi telematici, hanno consentito alle aziende di poter effettuare attività di monitoraggio ed essere più efficienti nel controllo delle flotte, fornendo informazioni in tempo reale sull'andamento del motore, il livello di carburante rimanente all'interno ed altri dati di rilevanza assoluta.

Sfruttando questo meccanismo è consentito un'attività di ottimizzazione dei trasporti, potendo anche effettuare attività di programmazione sulla manutenzione dei veicoli che vengono utilizzati dall'azienda e sulla sicurezza di chi ne usufruisce.¹²

¹² T. EsseLogistics, «La logistica: cos'è, le sue origini e il suo ruolo oggi,» 20 05 2001

1.3.2 Globalizzazione nella logistica, passaggio da modello just in time a just in case

A seguito degli avvenimenti che si sono presentati nel ventesimo secolo, con uno scenario che ha portato allo sviluppo di una Pandemia e varie crisi geopolitiche dovute alle tensioni tra i vertici mondiali, a subire tale situazione, hanno evidenziato come la dipendenza verso imprese lontane a livello geografico hanno portato degli scompensi sia per le varie strategie che i vari governi, cambiando anche l'approccio dal punto di vista strategico, portando a sviluppare una nuova forma di produzione e distribuzione nelle varie aree geografiche, portando al fenomeno della "regionalizzazione della supply chain", portando anche ad una riduzione tra le distanze necessarie.

La transizione che ha portato ad un nuovo modello di distribuzione logistica deriva da una prima fase utilizzata prima dei cambiamenti mondiali che era definita "just in time", portando ad una maggior concentrazione sulla riduzione dei costi tramite fornitori posizionati strategicamente in mercati più convenienti, ad un orientamento invece definito "just in case", ovvero una metodologia che consente di avere un maggior quantitativo di scorte, un maggior numero di fornitori e più vicini dal punto di vista logistico.

La logica che viene utilizzata dietro ad un modello di approccio "just in time" fa riferimento ad un modello che per ridurre in modo maggiore gli sprechi e la possibilità di rinnovare gli articoli, in funzione della domanda da parte del cliente.

Il modello JIT è basato ad una "logica pull" che modifica il metodo produttivo tradizionale, producendo un determinato bene solo una volta venduto, producendo solo le quantità richieste dal mercato.

I requisiti da dover sviluppare per far sì che l'applicazione del modello "just in time" possa dare dei risultati sono i seguenti:

1. Le informazioni devono essere comunicate costantemente ed in maniera fluida,

con un ottimo coordinamento tra i produttori, i fornitori ed i clienti

2. Essere sicuri che il fornitore sia affidabile, mettendo in secondo piano la possibilità di ridurre i costi sulla merce acquistata ad un prezzo ridotto
3. L'inserimento di tecnologia per consentire di effettuare delle analisi prospettiche più mirate e prevedere quelli che possono essere gli aumenti della domanda.

La strategia che invece viene applicata dietro ad un modello “Just in case”, invece, di ottenere un continuo rifornimento sulla merce che ottiene un maggior riscontro in relazione alla domanda, avendo un rifornimento costante in modo che se arrivi una richiesta dal cliente possa essere esaudita.

Questa metodologia presenta suoi vantaggi in caso di domanda inaspettata, venendo definita anche come “sistema di produzione push”, derivata da un livello di costi di fabbricazione più bassi sfruttando una produzione anticipata su larga scala.¹³

Generalmente questo tipo di strategia viene applicata da parte di aziende che operano in settori particolari oppure dovuta da situazioni specifiche, tra le seguenti possiamo trovare:

1. Affidarsi ad uno stock di sicurezza elevato, che consente di evitare di deludere un cliente
2. Applicare una migliore pianificazione dei costi dal punto di vista dei trasporti
3. Nel caso di cambiamenti veloci di domanda su un determinato prodotto, avere uno stock pieno di beni consente di avere una risposta più efficiente sul mercato e consente anche di migliorare la propria posizione in relazione con quella dei concorrenti

¹³ E. Aztori, «La regionalizzazione delle supply chain: dal “just in time” al “just in case”,» 9 09 2025

La problematica principale che si presenta con una metodologia di questo tipo è di avere dei costi connessi con lo stoccaggio più elevati rispetto al modello just in time, che si tratta di un aspetto estremamente svantaggioso per attività che producono beni eterogenei, oppure con aziende che invece producono beni deperibili con il tempo.

Le motivazioni che hanno portato ad effettuare un cambiamento dal punto di vista di approccio e di modello derivano dai seguenti aspetti:

1. Resilienza: la possibilità di ridurre la dipendenza da nodi più lontani rendendo una catena più stabile in caso di eventuali problematiche
2. Sostenibilità: Una riduzione delle emissioni di gas dovute ai trasporti apportando anche un miglioramento della tracciabilità
3. Velocità: riduzione dei tempi di consegna
4. Sicurezza strategica: nei settori più importanti come la tecnologia, la difesa e l'energia, la velocità con la quale vengono effettuati i rifornimenti diventa una questione di estrema importanza per le nazioni e le imprese

Ovviamente apportare un cambiamento di questo tipo presenta dei costi più elevati all'inizio, comportano anche degli investimenti elevati a livello di strutture ed anche dal punto di vista di digitalizzazione.

Dal punto di vista Europeo è un concetto strettamente legato alla “open Strategic Autonomy”, ovvero poter consentire un maggior livello di indipendenza per settori strettamente importanti che consentono di mantenere una cooperazione a livello internazionale.¹⁴

¹⁴ M. Team, «ust in time: definizione e vantaggi del modello gestionale lean,» 8 05 2019

1.3.3 Digitalizzazione e logistica 4.0

L'evoluzione all'interno del contesto industriale è dovuta principalmente ad un processo di trasformazione digitale, portando l'azienda verso un approccio ad un'azienda di logistica 4.0, tramite lo sfruttamento di un gestionale basato su data-driven, avendo la possibilità di offrire una visione più analitica e globale del tipo di attività che viene condotta dall'azienda, ovviamente per far fronte ad un cambiamento di questo tipo, sono presenti determinati ostacoli o resistenze al cambiamento che devono essere tenute in considerazione.

La trasformazione digitale fa riferimento allo sfruttamento di nuove tecnologie in varie aree di business all'interno dell'azienda, per poter così migliorare i vari processi ed avere un livello di efficienza maggiore.

Per quanto riguarda l'area della logistica invece, fa riferimento all'implementazione delle varie tecnologie in aree di stoccaggio, gestione di ordini, di resi e di trasporto.

Secondo uno studio condotto da parte di McKinsey, le aree aziendali che hanno subito maggiormente l'implementazione di tecnologia per migliorare l'efficienza delle azioni riguardano principalmente aree di marketing, e di prodotto/servizi offerti.

Solamente un piccolo numero di aziende sta usufruendo di queste nuove tecnologie per poter migliorare l'efficienza della supply chain, anche se tramite invece una ricerca di Forbes, il 65% degli intervistati in ambito logistico, persone che ricoprono ruoli di maggiore responsabilità, sono consapevoli dei miglioramenti che avrebbero a livello di efficienza sul business di riferimento se implementassero nuove tecnologie per rinnovare i propri modelli operativi.¹⁵

Tramite lo sfruttamento di queste nuove tecnologie, può portare ad avere una gestione automatica dei dati e del workflow aziendale, alcune di queste strategie per

¹⁵ M. team, «La trasformazione digitale nella logistica,» 8 04 2020

avere una migliore condizione del magazzino possono essere implementate nel seguente modo:

- Archiviazione di data e cloud: nello scenario attuale esistono varie soluzioni di software di gestione del magazzino tramite lo sfruttamento di Software as a Service (SaaS), invece dell'installazione locale che viene utilizzata tradizionalmente, con lo sfruttamento di questa tecnologia si ha la possibilità di ridurre il costo inerente all'installazione di un WMS, dato che la licenza presenta un costo mensile.
- Dispositivi Internet of Things (IOT): Questa tecnologia applicata nel magazzino è basata su lo sfruttamento di sensori che tra le varie funzioni, possono catturare le varie informazioni dal mondo fisico e le inviano ai database
- Robotica: I lavori che vengono svolti da macchine e sistemi automatici nelle fasi di intralogistica vengono condotti con il supporto di operatori, consentendo di conseguenza una maggiore precisazione nella fase di prelievo e consentendo anche uno sfruttamento di picking cart
- Intelligenza artificiale: utilizzo di queste tipologie di tecnologie consente uno studio migliore dei big data, che arrivano in una prima fase in forma grezza e che devono subire un processo di rifinitura e di lettura, consentendo un'allocatione migliore delle merci in magazzino.
- Digital twin: in italiano gemelli digitali consentono lo sfruttamento di una tecnologia utile in fase di progettazione di magazzino, consentendo di effettuare un'analisi di funzionamento con l'implementazione della nuova tecnologia oppure di soluzioni di stoccaggio

Per poter implementare tecnologie di questo tipo, è consigliato sviluppare un processo graduale, tenendo in considerazione vari aspetti, come avere una chiara comprensione delle difficoltà alle quali si potrebbe andare incontro, delle opportunità e degli obiettivi che si vuole raggiungere.

Come punto di partenza è importante fissare obiettivi precisi, attraverso un'approfondita analisi dove focalizzarsi nelle varie aree e le attività che subirebbero un cambiamento maggiore tramite questa trasformazione.

Lo step successivo prevede la fase di approvazione del budget, bisogna tenere in considerazione la velocità di approvazione di tale piano strategico, comprendendo le tempistiche della burocrazia interna, in modo da velocizzare il più velocemente questa fase strategica.

Il terzo punto invece riguarda più le figure che avranno a che fare nell'implementare tale strategia, affidarsi a figure che siano professionalmente abili in tali pratiche e che seguiranno il processo trasformazione verso questa fase, con delle competenze in ambito di software e di supply chain.

Come quarto ed ultimo step si presenta invece una condizione necessaria per ogni azienda, ovvero avere un miglioramento continuo in ambito tecnologico per ottenere il massimo dei risultati, è fondamentale che vi sia una costante monitoraggio degli indicatori di performance, in modo da avere un supporto costante nelle decisioni da prendere.¹⁶

Per portare un esempio ai giorni d'oggi su come certe aziende hanno implementato degli strumenti riconducibili alla logistica del 4.0, l'azienda Ford sfrutta degli esoscheletri robotici per poter migliorare le condizioni dei lavoratori nei magazzini, in modo da ridurre ingenti carichi di lavoro, comportando un miglioramento della postura o del sovraccarico delle articolazioni dovute alla ripetitività di operazioni

¹⁶ E. Zanardo, «Perché la digitalizzazione è fondamentale per la logistica italiana,» 5 09 2025

che potrebbero gravare sullo stress a seguito di tali movimenti

L'azienda che ha sviluppato questi esoscheletri che vengono utilizzati da parte del gruppo Ford proviene da un'azienda California chiama Ekso Bionics, consentendo una riduzione del sovraccarico sulle braccia e sulla schiena, parti del corpo molto stressate a livello di movimenti per chi opera in tali magazzini, dando supporto soprattutto nella fase di assemblaggio.

L'obiettivo è sicuramente quello di consentire ai lavoratori di poter lavorare con maggiore sicurezza migliorando il livello di produttività.

Per rimanere in tema di sicurezza e facendo riferimento invece in questo caso ad un'azienda italiana, la 3logic MK, ha sviluppato un sistema di tracciamento del personale in caso di emergenze, tramite tali dispositivi è possibile rintracciare operatori dentro l'ambiente di lavoro, con un livello di precisione di 20 centimetri, conoscendo anche la loro posizione in tempo reale in situazioni che potrebbero essere pericolose o di emergenza, con il fine di avere a conoscenza con estrema precisione la posizione del lavoratore.¹⁷

¹⁷ M. faioli, G. Fantoni e M. Mancini, «Lavoro ed organizzazione della logistica 4.0,» 2017/2018.

Capitolo 2 L'Intelligenza Artificiale nei processi logistici

2.1 Definizione e caratteristiche dell'Intelligenza Artificiale

2.1.1 Cos'è l'IA e come funziona

L'intelligenza artificiale essendo un concetto ed uno strumento utilizzato molto nel contesto attuale, sia lavorativamente parlando che non, trova ancora difficoltà nel riuscire a trovare un'effettiva denominazione, però il Parlamento dell'Unione Europea l'ha definito così; “a capacità di un sistema^[4] di mostrare capacità umane quali il ragionamento, l'apprendimento, la pianificazione e la creatività”, prendendo di riferimento il regolamento EU 2024/1689, che detiene all'interno tale denominazione.¹⁸

Tra il 1950 e 1960, tramite lo sviluppo dei primi computer, un obiettivo era quello di riuscire ad effettuare un confronto tra l'intelligenza umana e quella artificiale, iniziando anche a sviluppare quello che era seppur in una fase embrionale il concetto di IA, il pensiero alla base di quel periodo era che l'intelligenza umana non potesse mai essere superata, pensando che l'intelligenza artificiale al massimo potesse eguagliare il livello di quella umana.

L'approccio che si applicò in quel periodo, di conseguenza, fu quello di comprendere i vari processi del cervello umano da un punto di vista psichiatrico, con l'obiettivo di sviluppare un macchinario che potesse imitarne il funzionamento.

L'aspetto che maggiormente interessò in quel contesto faceva riferimento alle logiche di ragionamento del cervello umano, ovvero optare per una conclusione inserendo un determinato quantitativo di dati necessari per arrivare a tale conclusione.¹⁹

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale può essere applicato in diversi contesti ed anche in base a quanto sono eterogenei i settori nei quali vogliono essere utilizzati.

¹⁸ https://it.wikipedia.org/wiki/Intelligenza_artificiale

¹⁹ K. Warwick, «Intelligenza artificiale - le basi,» Dario Flaccovio Editore, 2015, p. 288.

Le aree che prevedono un buono sfruttamento dell'intelligenza artificiale, specialmente nel contesto industriale:

- Attività di pianificazione: area di maggiore interesse della produzione industriale, hanno lo scopo di ricevere un determinato obiettivo di livello elevato, per poi sequenziare le varie operazioni in metodi più semplificati in modo di raggiungere l'obiettivo, successivamente monitorare che i passaggi vengano svolti nel modo più corretto
- Controllo: fa riferimento a contesti complessi, alcuni sistemi di intelligenza artificiale hanno riportato esiti positivi
- Teoremi Matematici: il recente utilizzo della IA da parte dei ricercatori scientifici hanno dimostrato come tramite lo sfruttamento di tecniche inferenziali hanno dato la possibilità di scoprire un determinato insieme di fatti, oppure semplicemente le relazioni e le loro proprietà
- Programmazione autonoma: attività di questo tipo consentono lo sviluppo di applicativi e sistemi in via autonoma, al fine di arrivare al completamento del programma desiderato.
- Robotica: l'area che fa riferimento allo sfruttamento della robotica intelligente sicuramente riguarda il contesto che ha subito un maggior cambiamento, l'obiettivo che si è fissati in questo contesto sta nella capacità dei ricercatori e degli ingegneri di sviluppare macchinari autonomi, con la capacità di potersi sostituire all'uomo, specialmente per quanto riguarda attività per lo più manuali, ripetitive nel tempo e parecchio dispendiose a livello di energia. Il problema principale in questo periodo storico in questo contesto fa riferimento allo sviluppare dei sensori visivi che sono in grado di riconoscere ed elaborare un'informazione, in modo che dia il via ad un processo di elaborazione per dar via successivamente all'azione.²⁰

²⁰ M. Somalvico, «INTELLIGENZA ARTIFICIALE,»

2.1.2 Machine learning, Deep learning e Big Data

In questo periodo storico, ci troviamo in una condizione che prevede una crescente accessibilità a computer ed allo sfruttamento di strumenti basati su Machine learning, applicati in diversi settori, come possono essere l'ambito della finanza, quello delle forze dell'ordine, sanità e commercio, tanto per citarne qualcuno, considerando gli applicativi dotati di machine learning come veri e propri strumenti che sono parte integrante della strategia aziendale.

L'obiettivo che si vuole raggiungere tramite strumenti che sono basati sul machine learning fa riferimento a strumenti che consentano ad un sistema di utilizzare conoscenza appresa dal passato, in modo che sviluppi un modello predittivo, per poter prendere decisioni importanti per il futuro di un'azienda oppure di suggerire quelle che potrebbero essere le mosse successive da parte di un'impresa o un'azienda.

Questo tipo di attività viene svolta tramite la costruzione di 3 fasi di apprendimento:

- Costruzione del modello
- Valutazione e ottimizzazione del modello
- Messa in Produzione del modello

Al centro del modello di creazione e di come vengono alimentati sempre tali modelli basati su Machine learning, troviamo quelli che sono i Big Data, consentendo un livello di apprendimento più rapido e migliore per le varie applicazioni industriali ed aziendali.

I big data vengono considerati come dei dati troppo complessi o grossi per elaborarli attraverso una singola macchina, specialmente in determinati settori dove la mole di dati che viene generata è estremamente elevata per le capacità di un singolo supporto.

Il collegamento che si genera proprio tra machine learning e big data deriva proprio dal fatto che tramite uno sfruttamento ottimale del machine learning, l'obiettivo è cercare di apprendere in un modo migliore e più completo i dati stessi.

L'esponenziale crescita dei big data ha portato a dover svolgere delle rielaborazioni anche in termini di framework, con un miglioramento degli algoritmi stessi,

ponendo una massima attenzione verso gli strumenti che devono essere utilizzati per 2 motivazioni:

- Complessità crescente: i requisiti richiesti dai dati necessitano spesso di soluzioni differenti
- Frammentazione: spesso gli strumenti che vengono utilizzati per elaborare determinati moli di dati sono insufficienti, preferendo l'inizio di propri progetti piuttosto che progetti open source già esistenti

Tutt'oggi riuscire a trovare una definizione corretta dei big data non è facile, quella che sicuramente presenta un rilievo di maggior valore e che riesce a far comprendere realmente le caratteristiche che lo rappresentano è la definizione data da Laney nel 2001, che definisce quali sono le caratteristiche che riguardano i big data, sono 3:

- Volume: fa riferimento alle dimensioni del dato, arrivando a tali dimensioni attualmente che vengono richiesti dei nuovi sistemi di archiviazione ed elaborazione per ottenere una risposta migliore da tali dati
- Velocità: fa riferimento alla velocità con cui i dati possono essere trasmessi ed analizzati
- Varietà: In questo caso si fa riferimento al formato dei dati, che può comportare una incompatibilità

Oltre a queste prime 3 V, successivamente vennero pure aggiunte quelle del Valore e la Veridicità, che però crearono scetticismo, dato che non comportano nessun valore aggiuntivo in termini di comprensione dei big data, di conseguenza vengono tenute le prime tre come quelle originali e da cui prendere le informazioni.

Nel 1997, tramite le analisi poste da parte di Cox ed Ellsworth, venne posta maggiore attenzione su quelli che erano i problemi che si collegavano con i big data, secondo loro le problematiche principali dei big data erano due:

- Collezioni di big data: la principale problematicità connessa con i big data non sta nel fatto che singolarmente sono troppo grossi a livello di volume di dati, ma bensì la problematica principale invece deriva dal fatto che una volta lavorando su più set di dati diventi effettivamente difficile riuscire a condurre un'analisi,

derivando anche problemi proprio dalla varietà di formato

- Oggetti Big data: gli algoritmi standard che vengono utilizzati nella media sono troppo piccoli per condurre un'elaborazione su singoli set di dati

Man mano che si presenta una crescita di dati cresce anche la disponibilità di dati che possono essere utilizzati.

Questo aspetto unito con possibilità di accesso senza precedenti con la potenza di calcolo consente nuove opportunità per le ricerche di machine learning, lo sfruttamento di flussi di lavoro sempre più complessi, consente una combinazione migliore di strumenti e di tecniche all'avanguardia.²¹

Un altro aspetto da approfondire quando facciamo riferimento ai concetti di big data e di machine learning, sicuramente non si può che citare pure il deep learning, ovvero, un sott'insieme del machine learning, che riguarda lo sfruttamento di reti neurali con la presenza di strati e di parametri. Un altro appellativo con il quale viene chiamato il deep learning è anche quello della rete neurale profonda, dovuta soprattutto allo sfruttamento come detto precedentemente delle reti neurali.

Il meccanismo del deep learning prevede lo sfruttamento di una sequenza, chiamata anche cascata, caratterizzata da più livelli di unità e di elaborazione, i livelli vicini ai dati di input, ovvero quelli che sono più bassi apprendono meccaniche più semplici, mentre quelli che sono i livelli più alti hanno il compito di apprendere meccanismi e processi più complessi, dando modo di determinare un quadro gerarchico delle caratteristiche, dal più elevato al più basso.

Questi aspetti danno modo di comprendere che il deep learning è capace di analizzare ed ottenere conoscenza, utile ma anche da grandi quantità di dati che derivano da delle fonti diverse.

Ovviamente gli operatori ed i ricercatori che lavorano nel seguente campo hanno portato delle innovazioni nel seguente contesto, portando anche a procedure estremamente innovative.

²¹ Sara Landset, «A survey of open source tools for machine learning with big data»

Negli anni 80, il tipo di attività principale che veniva condotta era quella di usufruire e di raggruppare vari dati di input, combinandoli con i pattern simili a quelli selezionati, questa tipo di attività veniva svolta tramite lo sfruttamento di reti neurali auto-organizzanti, strumenti che diedero l'apertura alle reti di Kohonen, che invece introdusse degli aspetti di auto-organizzazione.

Sempre in questo periodo, nacque il concetto di “neocogitron”, ovvero si trattava di una rete neurale artificiale gerarchica e di multilivello. Questo strumento può fornire una lettura chiara della scrittura e tutti i riconoscimenti derivanti dai pattern di riferimento.

Per quanto riguarda invece le ultime innovazioni nel periodo recente, inerenti con questo argomento troviamo le C.N.N. (Capsule Neural Networks), le principali attività che vengono affidate a tecnologie di questo tipo troviamo sicuramente un aumento della capacità di calcolo, un costo dell'Hardware ridotto ed il miglioramento in attività di ricerca del machine learning e sul capire i segnali ed ottenere informazioni da essi.

Le tecniche di deep Learning possono essere utilizzate in diversi contesti e settori, tra le seguenti troviamo:

- Visione Artificiale→ fa riferimento ad attività di riconoscimento e rilevamento degli oggetti, oltre a quello degli oggetti prevede anche il riconoscimento vocale e delle foto
- Analisi Predittive→ in grado di sviluppare nuovi ambienti di scoperta in ambito farmaceutico, tossicologico ed in ambito bioinformatico
- Analisi semantica→ in questo contesto, erano già state approfondite nel passato, ma adesso è possibile applicare un deep learning ancora più approfondito
- CRM→ fase di partenza è quella dello storico del cliente, per poi approfondire tramite un'analisi dei dati, che viene utilizzata per ottenere un miglioramento delle relazioni in ambito commerciale che si instaurano con il cliente stesso.

L'applicativo analizzato fino ad ora del deep learning passando gli anni ovviamente trova sempre nuovi contesti e settori nel quale può essere utilizzato, ad esempio attualmente trova un grande impatto per quanto riguarda le auto e la guida autonoma e il contesto della robotica che sicuramente è quello che in questo breve periodo ne ha tratto più vantaggio.²²

²² P. P. Shinde e D. S. Shah, «A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications,»

2.1.3 Automazione ed Intelligenza Artificiale

Prima di partire con un approfondimento del contesto logistico che usufruisce dei servizi della IA per ottenere un rendimento migliore del lavoro, precedentemente bisogna considerare anche i vari processi aziendali, che sicuramente hanno subito un elevato impatto dal punto di vista dell'intelligenza artificiale, che prevede insieme al machine learning di migliorare i risultati e raggiungere gli obiettivi posti dall'azienda.

Il BPM, ovvero il Business Process Management, presenta un ruolo cardine nel seguente contesto, perché ha la funzione di seguire ogni ruolo e compito che supporta la parte di gestione dei vari processi, dalla fase di amministrazione a quella della modellazione.

I sistemi di BPM più tradizionali seguono un determinato processo predeterminato, con delle strategie e delle regole ben definite.

Per quanto riguarda invece l'aspetto dell'automazione, generalmente viene applicato in quei casi dove si trovano attività e compiti ripetitivi nel tempo, cercando una soluzione per rimuovere dai processi i passaggi che sono maggiormente soggetti ad errore.

Difatti la Business Process Automation ha lo scopo a livello aziendale di migliorare i costi dei vari processi, quelli che generano più problemi come abbiamo indicato precedentemente, come i costi, le risorse che vengono utilizzate e soprattutto anche gli aspetti che riguardano il trattamento dei dati rilevanti.

Correlata con la BPA, spesso troviamo invece una tecnologia emergente ma che però, spesso si collega con aspetti di questo tipo, si tratta della RPA, ovvero lo sviluppo di robot software,

Sempre rimanendo concentrati su sistemi di automazione tipo RPA, presentano diversi vantaggi di tipo trasformativo per i vari processi aziendali e prestazioni, anche se attualmente si sta ancora sperimentando effettivamente il contesto nel quale possono essere fornite le prestazioni migliori.

Per poter ottenere un livello elevato riguardante la prestazione della Robotic Process Automation, possono essere utilizzati diverse strategie ed approcci, che si

differenziano in base ai compiti ed al livello di intensità del lavoro.

La prima strategia che viene utilizzata per sfruttare il potenziale delle RPA fa riferimento ad imparare determinati compiti impostati, generalmente quelli più ripetitivi, tramite gli esempi e dimostrazioni, la RPA presenta anche delle opzioni di riuscire ad estrarre le regole dai dati gli vengono forniti in relazione ai compiti che devono essere svolti.

Si tratta del tipo di attività che viene svolta maggiormente nelle RPA, che si tratta di un'operazione ciclica che viene svolta, spesso affiancata comunque dalla supervisione del personale qualificato.

Il secondo approccio che viene utilizzato invece ha il compito di apprendere compiti derivanti da testi scritti, con il compito di imparare il linguaggio naturale passo per passo.

In questo caso invece, l'attività svolta dal personale è sicuramente più indiretta rispetto all'approccio precedente, dato che i processi in una prima fase hanno una stesura da parte dell'uomo stesso.

Per quanto i sistemi di RPA presentano ancora una problematica dal momento rimane sempre quello di rendere l'applicativo completamente autonomo, difatti la sfida del momento è di riuscire a rendere effettivamente autosufficiente senza la supervisione ed il controllo da parte dei professionisti che svolgono questo tipo di attività ed hanno competenze a riguardo.

Lo step successivo della RPA, prevede l'implementazione invece di applicativi che consentono invece di automatizzare i vari compiti maggiormente ripetitivi, chiamati come IPA (intelligent Process Automation), lo sfruttamento della IA, consente di ridurre i tempi di apprendimento per il dipendente e successivamente aumentare la precisione dei compiti più complessi, facendo attività di supporto anche per analisi e la comparazione di vari dati, per delineare una strategia più precisa e che possa rendere il piano aziendale più efficiente.

Associato con la IPA, il motivo principale che riguarda l'implementazione di questo tipo di tecnologia, riguarda un eccessivo livello di costi, oltre che l'installazione di un programma del genere, comporta una preparazione di dati prima di rendere

effettivamente attiva i vari processi ai quali viene sottoposta l'IA, difatti i costi che riguardano la IPA, sono maggiori rispetto alla RPA.

L'utilizzo dell'IA nei vari processi aziendali può essere sfruttato in maniera automatizzata, però riguarda solamente l'attività di pianificazione, ovvero di generare varie azioni in sequenza e la possibilità di generare dei framework per prendere le decisioni in modo più efficiente.

Un altro aspetto che prevede la combinazione tra pianificazione e sfruttamento dell'IA riguarda lo sviluppo di attività prospettiche, ovvero di comprendere come i vari componenti di un processo si combinano tra di loro e pianificare un'evoluzione nel tempo, riuscendo a delineare anche i possibili rischi che si potrebbero verificare.²³

Come riportato precedentemente, l'intelligenza artificiale supporta ampiamente quelle che sono le attività di pianificazione e di strategia nei processi aziendali, con un avanzamento anche dei sistemi di RPA e di IPA, svolgono un supporto sicuramente migliori per i lavoratori rispetto agli anni precedenti.

L'implementazione dell'IPA che prenderà completamente l'apporto che può dare invece la RPA può dare un contributo maggiore rispetto alla forza lavoro e l'automazione end to end, consentendo una riduzione per quanto riguarda gli aspetti che riguardano i tempi di consegna, oltre a permettere una migliore distribuzione delle risorse sfruttando le abilità cognitive degli algoritmi presenti deep learning, permette alle aziende di monitorare le prestazioni e sviluppare delle analisi.

Le aree che prevedono una maggiore attenzione per quanto riguarda lo sviluppo di meccaniche efficaci in ambito lavorativo fanno riferimento sicuramente allo sviluppo di routine che prevedono una migliore collaborazione tra gli umani ed i bot IPA, apportando anche cambiamenti sotto il punto di vista della comunicazione, che si tratta di un altro aspetto che sicuramente necessita di una miglioria rispetto ad altre aree che invece hanno avuto implementazioni di gran lunga migliori.

Le aree inerenti alla sicurezza informatica e la gestione del rischio sono aspetti che

²³ V. I. R. K. Y. K. V. M. Y. R. a. M. U. Tathagata Chakraborti, «From Robotic Process Automation to Intelligent Process Automation,»

necessiterebbero di una maggiore tutela, con lo sviluppo di piani strategici consentirebbe di mantenere e salvaguardare i dati sfruttati durante l'utilizzo della IPA, evitando di andare incontro a situazioni che potrebbero portare alla divulgazione di dati riservati verso l'esterno oppure addirittura alla perdita di essi. Quello a cui bisogna andare incontro dal punto di vista dell'azienda è di sviluppare delle metodologie per mantenere la sicurezza dei dati, che si tratta di un aspetto fondamentale per mantenere l'accesso ai dati di qualità e soprattutto per i dati che sono più critici.

La direzione che si sta utilizzando per far fronte a determinate migliorie va verso l'utilizzo di piattaforme di sviluppo Low Code (LCDP), si tratta di applicativi che consentiranno la creazione di soluzioni orientate verso la possibilità di sviluppare una migliore automazione dei vari processi.

L'utilizzo principale che viene svolto dalle LCDP è quello di poter sviluppare applicativi che vengono sfruttati nei vari processi aziendali, con lo scopo di sviluppare app pienamente funzionanti, in grado di superare l'automazione che viene svolta nei vari processi.

L'evoluzione dell'automazione verso l'Intelligenza Processuale (IPA) rappresenta un salto paradigmatico che trascende la semplice esecuzione meccanica dei compiti per abbracciare una dimensione decisionale complessa, imponendo una radicale riflessione sulle dinamiche organizzative.

La transizione dalla RPA tradizionale all'IPA non è un mero aggiornamento tecnologico, ma un processo di trasformazione che richiede la riconfigurazione delle routine lavorative e una nuova progettazione delle mansioni, volta a favorire una simbiosi armoniosa tra l'operato umano e l'azione dei bot intelligenti. In questa prospettiva, la letteratura scientifica più recente suggerisce che il successo di tale integrazione dipenda da strategie olistiche di gestione del cambiamento e da protocolli comunicativi trasparenti, essenziali per mitigare le resistenze interne e facilitare l'acculturazione digitale. L'adozione di modelli di maturità specifici per l'IPA può supportare le imprese in questo percorso, offrendo una mappatura chiara del posizionamento attuale e dei traguardi necessari per scalare le soluzioni di

automazione in modo sostenibile.

Parallelamente, la natura intrinsecamente basata sui dati dell'IPA sposta l'attenzione verso imperativi etici e legali, in particolare per quanto riguarda la neutralità degli algoritmi e la prevenzione di bias che potrebbero inficiare l'equità dei processi decisionali.

Tale scenario rende la sicurezza informatica e la gestione del rischio non più semplici opzioni tecniche, ma pilastri strategici per la salvaguardia dell'integrità informativa.

Affinché l'IPA possa essere integrata efficacemente con le infrastrutture legacy e rispondere ai requisiti di scalabilità e conformità normativa, è necessario un approccio metodologico rigoroso che affronti le barriere tecnologiche alla radice. Un nodo cruciale è rappresentato dalla cura dei dati: senza pratiche consolidate di data curation, l'accesso a flussi informativi di alta qualità rimane precluso, compromettendo l'efficacia stessa del machine learning.

Attualmente, si riscontra una criticità significativa nella fase di selezione dei modelli di apprendimento automatico, spesso non ottimizzati per i contesti specifici, il che determina una produzione di output qualitativamente insufficienti. Per superare questa impasse, la ricerca dovrebbe orientarsi verso la creazione di modelli di riferimento universali, preferibilmente rilasciati attraverso piattaforme open source e corredati da documentazione tecnica che illustri casi d'uso concreti e applicazioni ottimali.

Infine, il superamento delle sfide di interoperabilità richiede uno sforzo congiunto verso la standardizzazione delle interfacce e dei protocolli di scambio dati; solo attraverso la definizione di standard elevati e la loro diffusione su larga scala sarà possibile garantire che l'Intelligent Process Automation diventi un asset strutturale capace di adattarsi fluidamente alle mutevoli esigenze del mercato e ai vincoli dei sistemi preesistenti.²⁴

²⁴ L. A. T. S. J. v. S. D. K. Julia Siderska, «Towards Intelligent Automation (IA): literature review on the evolution of Robotic Process Automation (RPA),»

2.2 Applicazioni della IA nella logistica

2.2.1 Previsione della domanda

La previsione della domanda è oggi il vero motore pulsante della logistica e della gestione delle catene di approvvigionamento. Riuscire a determinare in anticipo i volumi richiesti dal mercato non è più solo un esercizio statistico, ma una necessità strategica per ottimizzare i cicli produttivi, calibrare i livelli di magazzino e fluidificare la distribuzione. In uno scenario globale dominato dall'incertezza, l'accuratezza di queste stime fa la differenza tra un'azienda snella e reattiva e una soffocata da costi operativi eccessivi o carenze di stock.

Storicamente, le imprese si sono affidate a pilastri della statistica classica: modelli come ARIMA, lo smoothing esponenziale o le regressioni lineari. Sebbene questi strumenti siano stati fondamentali per decenni, oggi mostrano il fianco di fronte a mercati iper-dinamici. La loro natura rigida fatica a interpretare tendenze non lineari, picchi improvvisi o i cambiamenti repentini nelle abitudini di acquisto, accelerati dall'esplosione del commercio elettronico e dei modelli di vendita omnicanale. La mole di dati generata quotidianamente è diventata troppo vasta e complessa per essere interpretata correttamente dagli algoritmi convenzionali.

Per superare questi limiti, il settore sta vivendo una profonda trasformazione tecnologica verso l'integrazione di Intelligenza Artificiale e Machine Learning.

Tradizionalmente, una delle tecniche di previsione che vengono maggiormente utilizzate da parte delle aziende troviamo ARIMA, si tratta di uno smoothing esponenziale, e di modelli basati su tecniche di regressione, ovvero di strumenti che venivano utilizzati principalmente per riuscire ad avere una previsione della domanda, ma la fatica a mantenere dei pattern particolari e non lineari ha portato ad avere una considerazione minore su di essi.

L'aumento della complessità di elaborazione e di lettura dei dati ha portato a dovere effettuare un cambio di approccio, dato che i metodi convenzionali utilizzati precedentemente non potessero andare più bene.

Il divario che si è generato ha portato all'introduzione dell'intelligenza artificiale, come le reti neurali, random forest e metodi ensemble; offrendo di conseguenza una

capacità superiore di riconoscimento dei vari pattern e migliorando di conseguenza l'accuratezza delle previsioni che vengono effettuate.

I modelli che invece si basano sull'intelligenza artificiale, rispetto ai problemi che riscontri ARIMA nel gestire modelli di domanda non liveari, quando viene riscontrato dalle reti LSTM, modelli ibridi e machine learning, sono riusciti a superare le problematiche che si presentavano nei modelli tradizionali, specialmente nel contesto dell'accuratezza delle previsioni.

Le reti LSTM rispetto ai modelli tradizionali catturano in un modo migliore determinati aspetti, come possono essere effetti riguardanti la stagionalità, le promozioni ed anche eventuali cambiamenti inaspettati del mercato.

Gli studi condotti in questo contesto hanno dimostrato come l'utilizzo dell'intelligenza artificiale ha consentito una riduzione di errore sulla stima che viene condotta almeno del 30%-40%, dando modo anche alle imprese di avere una pianificazione migliore su aspetti riguardanti rifornimenti e produzione.

Avere una gestione delle scorte più accurata, ovviamente può consentire una previsione della domanda più precisa, tramite i sistemi che vengono utilizzati da parte della IA, effettuano un supporto specialmente per il rifornimento Just in time, il calcolo delle scorte di sicurezza e strategie, in ottica dinamica, quindi di variazione costante.

Tramite aspetti di questo tipo, le organizzazioni hanno dei miglioramenti per:

- Ridurre i costi di mantenimento delle scorte
- Minimizzare rotture di stock ed eccedenze
- Migliorare l'utilizzo dello spazio di magazzino
- Ridurre il capitale immobilizzato in articoli a bassa rotazione

Un altro aspetto che consente ai rivenditori e produttori una performance migliore tramite una sincronizzazione tra più magazzini viene svolta tramite l'utilizzo dei big data, che consente di creare una rete unificata e molto efficiente anche dal punto di vista economico.

Un aspetto critico che è emerso nel seguente contesto riguarda comunque la riduzione dei costi logistici, specialmente nei settori dove la volatilità della domanda è estremamente elevata, i modelli di IA come quelli di LSTM possono sfruttare dataset molto elevati, compresi di dati POS, però all'aumentare dei vari dataset che vengono sfruttati, causano una riduzione dell'efficienza del dato, portando poi ad una difficoltà di elaborazione dovuta ad un dataset troppo elevato e complesso.

Le previsioni che vengono condotte dalla domanda basata su IA migliorano però l'agilità operativa, comportando da parte delle aziende una migliore allocazione delle scorte per quanto riguarda i magazzini, andando ad ottimizzare attività di pianificazione della forza lavoro e poter ridisegnare percorsi tramite insight predittivi.

La combinazione di predizione della domanda e l'utilizzo dell'intelligenza artificiale, porta dei grossi vantaggi inerente alla riduzione degli sprechi, portando ad una minimizzazione di risorse scadute, anche in temi di riduzione di imballaggi inutili, riducendo aspetti come sovrapproduzione ed anche un'ottimizzazione dell'utilizzo delle flotte, riducendo di conseguenza le emissioni di carbonio, migliorando la performance nell'economia circolare.²⁵

Il SVM Model, fa riferimento ad un modello che viene spesso utilizzato in tale contesto, si tratta del modello matematico alla base per poter calcolare ed avere una stima sulla domanda, in modo da poter svolgere una previsione, più corretta possibile.

La previsione della domanda, quindi, ha come base quelli che sono i dati storici, e successivamente sono combinati con dei modelli matematici, così da prevedere la domanda futura in base alla regione/nazione che si vuole prendere di riferimento.

La domanda logistica e vari fattori consentono di sviluppare una relazione matematica lineare multivariata; il modello di cui si sta facendo riferimento è basato sulla seguente formula:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1)$$

²⁵ K. A. Abuhasel, «AI-Driven Predictive Analytics for Demand Forecasting in Transportation Logistics to Enhance Supply Chain Agility

In questa formula la Y rappresenta la domanda logistica in un determinato posto, regionale o nazionale, mentre la x sono i vari fattori che influenzano la logistica di Y , l'attività principale da dover condurre per far sì che il modello dia una risposta corretta è di riuscire ad identificare un iperpiano, che dia la possibilità di distinguere correttamente i dati apparenti a categorie diverse e la massimizzazione del margine tra le varie classi.

Il modello si distingue anche per affidabilità e per stabilità, rendendolo così ancora più funzionale per dataset importanti a livello di dimensioni e non lineari.

L'algoritmo principale che viene sfruttato per la regressione di SVM presenta questa espressione funzionale: $f(x) = \sum (a_i - a_i^*) k(x_i, x) + b$ (2)

All'interno possiamo trovare:

- a_i e a_i^* → ovvero i moltiplicatori di Lagrange
- $k(x_i, x)$ → è la funzione kernel
- x_i → rappresenta i dati di input di ciascun campione

Sfruttando una funzione di questo tipo, ha dato modo che le prestazioni sono migliorate, di conseguenza viene scelta la funzione Kernel Gaussiana per questo modello, tramite anche lo sfruttamento dell'applicativo di MATLAB, viene condotta l'analisi predittiva che porta ad un determinato risultato.²⁶

²⁶ REDUCING LOGISTICS COSTS THROUGH AI-POWERED DEMAND FORECASTING

2.2.2 Ottimizzazione delle rotte e trasporti

La crescente complessità della logistica urbana, dovuta a traffico congestionato, vincoli temporali e ambienti dinamici, rende sempre meno efficaci i metodi tradizionali di ottimizzazione delle rotte. In questo contesto, le tecniche di intelligenza artificiale, in particolare il reinforcement learning, offrono approcci più flessibili e adattivi. Esse permettono di modellare il problema come un processo decisionale in condizioni di incertezza, migliorando l'efficienza delle operazioni di consegna.

Aspetti come il traffico e la limitazione per quanto riguarda la consegna di prodotti, fanno riferimenti a fattori che hanno contribuito a dover ridisegnare tracciamenti di rotte da sfruttare per rendere il sistema più efficiente, l'utilizzo di tecniche tradizionali non hanno portato alcun frutto di questo tipo, infatti tramite lo sfruttamento di intelligenza artificiale può consentire di avere una precisione maggiore nei vari aspetti, cercando di abbassare tutte le problematiche che si erano verificate a causa delle problematiche indicate precedentemente.

Tramite lo sfruttamento di un approccio predittivo, derivante da un'analisi dovuta da Machine Learning ed i dati logistici LoT, ha mostrato un miglioramento per quanto riguarda l'aspetto di accuratezza delle consegne, oltre che aspetti che derivano dalla gestione del traffico.

La combinazione dei modelli di rete fisica e di servizio ha portato ad un design logistico, più sostenibile, portando anche ad una riduzione dei costi, portando anche una riduzione in termini di impatto sul traffico.

Nonostante i notevoli passi avanti fatti nell'ambito dei trasporti merci, le tecniche che vengono attualmente utilizzate presentano ancora dei problemi in termini strutturali, di conseguenza i sistemi logistici che integrano l'internet of things (IoT) ed i veicoli automatizzati, hanno apportato un miglioramento in termini di visibilità ed il livello di adattabilità del routing, ma dipendono tutt'ora da una stabilità di varie infrastrutture e l'implementazione in contesti maggiori.

Lo sfruttamento di Proximal Policy Optimization (PPO), hanno dato la possibilità di apportare migliorie di capacità decisionale attiva, richiedendo però un traffico di

dati di elevata qualità, però dall'altra parte portando una riduzione di stabilità nel completamento dei compiti.

Un aspetto ancora più importante fa riferimento ai sistemi di routing contemporanei, che assumono un ruolo chiave per quanto riguarda la gestione più semplificata dei veicoli, che però risulta inadatta la gestione allo stesso momento la visibilità del traffico.

Quello che emerge in questa situazione è un gap tra lo sviluppo di un framework unificato di reinforcement learning, che abbia consapevolezza dei vincoli e che sia capace di gestire allo stesso tempo le dinamiche del traffico.

La ricerca propone un approccio innovativo per l'ottimizzazione delle rotte nel trasporto merci urbano basato su tecniche di reinforcement learning, denominato CAPPL-RL (Constraint-Aware Projected Policy Learning). Tale metodo integra informazioni dinamiche sul traffico, vincoli temporali legati alle consegne e caratteristiche eterogenee della flotta veicolare, al fine di migliorare l'efficienza complessiva del sistema logistico.

Il problema viene modellato come un processo decisionale in condizioni di osservabilità parziale (PO-MDP), che consente di rappresentare in modo realistico l'incertezza tipica degli ambienti urbani, caratterizzati da traffico variabile, eventi imprevisti e informazioni incomplete. In questo contesto, ogni veicolo agisce come un agente intelligente che prende decisioni sequenziali sulla base dello stato corrente del sistema, delle informazioni disponibili e degli obiettivi operativi.

Gli stati del sistema includono variabili rilevanti come la posizione del veicolo, il carico residuo, lo stato delle consegne e le condizioni del traffico. Le azioni rappresentano le possibili scelte di instradamento, mentre la funzione di ricompensa è progettata per incentivare la riduzione dei tempi di consegna e dei consumi di carburante, penalizzando al contempo le violazioni dei vincoli operativi, quali finestre temporali e capacità dei veicoli.

Per la validazione del modello viene utilizzato il dataset UFVOD, che integra dati relativi al traffico urbano, alle consegne e alle caratteristiche dei veicoli. Il dataset riflette scenari realistici, includendo condizioni dinamiche, priorità di consegna e

informazioni parziali, rendendolo particolarmente adatto alla simulazione di contesti urbani complessi. Prima dell'utilizzo, i dati vengono sottoposti a operazioni di pre-processing, tra cui gestione dei valori mancanti, normalizzazione e codifica delle variabili categoriali, al fine di garantire coerenza e qualità delle informazioni. L'elemento distintivo del framework CAPPL-RL risiede nell'integrazione tra Q-learning e tecniche di ottimizzazione vincolata. Il Q-learning consente all'agente di apprendere progressivamente le migliori strategie di instradamento attraverso l'interazione con l'ambiente, mentre il metodo PCPO (Projection-Based Constrained Policy Optimization) garantisce il rispetto dei vincoli operativi, proiettando le politiche apprese in uno spazio di soluzioni ammissibili.

Questa combinazione permette di ottenere un sistema decisionale adattivo, in grado di operare efficacemente anche in presenza di informazioni incomplete e condizioni di traffico variabili. Inoltre, l'approccio consente di gestire contemporaneamente più veicoli e vincoli complessi, migliorando la scalabilità e l'applicabilità in scenari reali.

Infine, le prestazioni del modello vengono valutate attraverso un confronto con approcci tradizionali, utilizzando metriche quali tempo medio di consegna, consumo di carburante e rispetto dei vincoli. I risultati evidenziano un miglioramento significativo dell'efficienza operativa, confermando l'efficacia dell'approccio proposto nell'ambito della logistica urbana intelligente.

Le tecniche derivanti dal framework CPPL-RL apportano un effettivo miglioramento rispetto alle tecniche più tradizionali che venivano utilizzate, arricchendo i vari sistemi di logistica tramite un apprendimento adattivo che poggia le sue basi su trust region, analizzando il traffico in tempo reale in modo istantaneo. Per portare qualche dato, viene dimostrato come un miglioramento dell'efficienza delle ricompense, con un 26,8% ed anche una riduzione dei tempi di consegna, che impatta positivamente di un 20% in termini di risparmio del tempo, dimostrandosi un modello molto efficiente e che effettivamente apporta un miglioramento per il ramo logistico di un'azienda.

Per rendere il modello CAPPL-RL così efficiente, sfrutta un unico agente di apprendimento, andando poi ad applicare la stessa metodologia a tutti i veicoli a disposizione.

Lo sfruttamento del modello PO-MDP, che poggia le sue basi su un dataset UFVOD, considera le condizioni del traffico, i livelli di congestione ed i pattern di incidenti, come delle variabili ambientali che vengono rilevate tramite dei sensori parziali.

In contesti reali su larga scala, le decisioni simultanee dei veicoli possono apportare delle modifiche ai livelli di congestione ed anche a livello di competizione per l'approvvigionamento sulle risorse.

Il modello PCPO-RL ha avuto un miglioramento dovuto proprio al dataset UFVOD, apportando un miglioramento per quanto riguarda i tempi di consegna ed anche una riduzione del consumo di carburante del 22.5%, oltre anche ad una riduzione delle violazioni commesse dai veicoli di circa il 75%, tali risultati confermano che la scalabilità di un framework CAPPL-RL ha effettivamente un impatto positivo nei contesti di logistica urbana e di gestione di flotte.²⁷

²⁷ Y. T. H. G. N. L. Guizhe Xin, «Optimization of urban freight intelligent route based on reinforcement learning

2.2.3 Gestione intelligente delle scorte

La gestione delle scorte rappresenta una delle sfide più complesse e cruciali nella logistica moderna, dove l'incertezza della domanda e la frammentazione delle catene di approvvigionamento richiedono soluzioni sempre più dinamiche. Mentre i metodi tradizionali si basano spesso su modelli statistici rigidi e previsioni della domanda separate, l'avvento dell'Intelligenza Artificiale ha introdotto un cambio di paradigma. In particolare, il Reinforcement Learning offre la possibilità di superare i limiti delle euristiche classiche, permettendo al sistema di apprendere strategie ottimali direttamente dall'esperienza.

L'introduzione dell'Intelligenza Artificiale nella gestione delle scorte rappresenta un'evoluzione cruciale rispetto ai paradigmi tradizionali, offrendo alle imprese strumenti avanzati per governare l'incertezza e la complessità che definiscono le attuali catene di approvvigionamento. L'obiettivo primario di questa funzione rimane quello di assicurare che i prodotti siano disponibili nelle quantità corrette e nei luoghi prestabiliti, ma l'approccio computazionale moderno permette di risolvere con maggiore precisione il cronico conflitto tra esigenze operative opposte. Da un lato, infatti, vi è la necessità di prevenire la rottura di stock, che si traduce inevitabilmente in vendite perdute e in un deterioramento del rapporto di fiducia con il consumatore, mentre dall'altro emerge l'urgenza di limitare i costi di mantenimento legati allo stoccaggio fisico, ai consumi energetici e al rischio di svalutazione della merce ferma. In questo quadro, variabili critiche come il lead time, ovvero l'intervallo temporale tra l'ordine e l'effettiva disponibilità del bene, smettono di essere parametri fissi e diventano elementi dinamici che influenzano profondamente ogni scelta di riassortimento lungo l'intera filiera.

I limiti dei metodi convenzionali risiedono principalmente nella loro natura statica e in una visione deterministica del mercato, che presuppone scenari stabili e difficilmente si adatta a picchi improvvisi della domanda o a interruzioni impreviste dei flussi logistici. Tali modelli tendono spesso a una frammentazione decisionale, ottimizzando singoli segmenti come il magazzino o il punto vendita senza una visione d'insieme, col rischio concreto di creare inefficienze sistemiche a monte o a

valle. Al contrario, l'Intelligenza Artificiale introduce una logica adattiva fondata sull'apprendimento continuo dai dati, permettendo un affinamento progressivo delle strategie operative basato sull'evidenza empirica. Grazie alle tecniche di apprendimento automatico, è possibile setacciare enormi database storici per estrarre pattern comportamentali e correlazioni invisibili ai modelli matematici classici, fornendo un supporto decisionale che minimizza simultaneamente sia le eccedenze di inventario che i pericoli di carenza di prodotto.

Un valore aggiunto fondamentale di questa tecnologia risiede nella capacità di gestire la multidimensionalità della rete distributiva, analizzando simultaneamente le interdipendenze tra magazzini centrali, hub intermedi e reti di vendita al dettaglio. Le decisioni non vengono più assunte in modo isolato, ma vengono integrate in un'ottica di sistema che mira all'eccellenza delle performance globali della supply chain, permettendo ad esempio di modulare l'allocazione delle scorte in base alle specificità locali e alle capacità di stoccaggio dei diversi nodi. Inoltre, l'IA consente di unificare in un unico processo decisionale tutte le componenti economiche rilevanti, dai margini di vendita ai costi logistici e alle penali per mancato servizio, orientando la gestione verso obiettivi strategici di lungo periodo come la massimizzazione della redditività complessiva.

Questa superiore capacità di elaborazione si dimostra particolarmente efficace nei contesti caratterizzati da alta volatilità, dove la resilienza del sistema logistico diventa un fattore determinante per la sopravvivenza aziendale.

L'automazione dei processi decisionali riduce la necessità di interventi manuali e mitiga l'impatto di eventi critici, rendendo l'intera struttura più robusta e pronta a reagire a cambiamenti strutturali della rete o a ritardi nelle forniture. Infine, l'adozione di soluzioni basate sull'IA garantisce una scalabilità senza precedenti, permettendo alle grandi organizzazioni e alla distribuzione organizzata di coordinare flussi informativi relativi a migliaia di referenze con estrema fluidità.

In conclusione, il passaggio a una gestione intelligente delle scorte non rappresenta solo un miglioramento tecnico, ma una trasformazione strategica che garantisce maggiore efficienza nell'uso delle risorse e un livello di servizio superiore, elementi

ormai indispensabili per mantenere la competitività in un mercato globale sempre più rapido e interconnesso.²⁸

²⁸ K. S. G. A. A. J. S. M. Madhav Khirwar, «Cooperative Multi-Agent Reinforcement Learning for Inventory Management

2.3 Automazione dei processi logistici e vantaggi competitivi

2.3.1 Automazione del magazzino

Nel contesto della quarta rivoluzione industriale, nota come Industria 4.0, il settore logistico sta vivendo un cambiamento profondo: si passa da modelli centralizzati a sistemi decentralizzati e sempre più autonomi. In questo scenario, il concetto di magazzino intelligente assume un ruolo centrale per rispondere alle crescenti richieste di efficienza, accuratezza e velocità generate soprattutto dalla crescita dell'e-commerce e delle nuove forme di retail. Un magazzino intelligente rappresenta l'integrazione coordinata di tecnologie avanzate, processi ottimizzati e strategie gestionali innovative, con l'obiettivo di rendere le operazioni logistiche più efficienti e flessibili.

Secondo la letteratura, questo tipo di magazzino si fonda su quattro elementi chiave: la connessione continua delle informazioni, l'automazione delle attrezzature, l'integrazione dei processi operativi e l'attenzione alla sostenibilità ambientale. In questo contesto, l'Intelligenza Artificiale svolge un ruolo trasversale, trasformando grandi quantità di dati in decisioni operative rapide e ottimizzate.

Alla base dell'evoluzione dei sistemi logistici si trova l'interconnessione, resa possibile da tecnologie come l'Internet delle Cose e i sistemi ciber-fisici, che consentono a prodotti, infrastrutture e dispositivi di comunicare tra loro in tempo reale. L'Intelligenza Artificiale interviene in questo ambito attraverso diverse applicazioni. Tra queste, l'apprendimento per rinforzo consente di ottimizzare i percorsi di picking, permettendo ai sistemi di migliorare progressivamente le proprie prestazioni grazie all'interazione con l'ambiente. Inoltre, algoritmi metaeuristici — come quelli genetici, lo swarm optimization o la ricottura simulata — risultano particolarmente efficaci nel risolvere problemi complessi tipici della gestione dei magazzini, come la pianificazione delle attività o l'allocazione degli spazi. L'integrazione tra RFID e IA consente infine un monitoraggio preciso e in tempo reale delle merci, riducendo gli errori e migliorando la visibilità lungo l'intera supply chain.

L'automazione nei magazzini moderni non si limita alla sostituzione del lavoro

umano, ma introduce sistemi capaci di prendere decisioni in modo autonomo. Un esempio è rappresentato dai sistemi robotizzati di movimentazione, nei quali flotte di robot trasportano scaffali verso le postazioni operative. In questo contesto, l'IA è fondamentale per coordinare i movimenti evitando collisioni e blocchi, ottimizzare i percorsi e ridurre i consumi energetici. Allo stesso tempo, consente una gestione intelligente delle batterie, pianificando ricariche e sostituzioni per minimizzare i tempi di fermo. Un altro ambito rilevante è l'ottimizzazione dello stoccaggio: analizzando la domanda e il ciclo di vita dei prodotti, i sistemi intelligenti posizionano dinamicamente gli articoli in modo da facilitare l'accesso a quelli più richiesti.²⁹

Con l'evoluzione delle tecnologie digitali, i tradizionali sistemi di gestione del magazzino si stanno trasformando da semplici strumenti di monitoraggio a veri e propri sistemi decisionali avanzati. Questo cambiamento è reso possibile dall'integrazione di Big Data, Machine Learning e Deep Learning, che permettono di affrontare la crescente complessità e variabilità della domanda. L'uso di modelli predittivi consente di anticipare i flussi operativi e prevenire inefficienze, migliorando la reattività del sistema. Il Deep Learning, invece, trova applicazione nell'analisi avanzata dei dati, ad esempio per prevedere la durata dei prodotti o per riconoscere attività tramite sistemi di visione artificiale. Inoltre, l'impiego dell'apprendimento per rinforzo facilita la collaborazione tra robot, migliorando il coordinamento nelle operazioni più complesse.

Un ulteriore sviluppo riguarda l'integrazione tra Intelligenza Artificiale e Realtà Aumentata. Attraverso dispositivi come gli smart glasses, gli operatori ricevono istruzioni visive direttamente nel loro campo visivo, aumentando la velocità di esecuzione e riducendo gli errori. Parallelamente, emergono sistemi avanzati di supporto alle decisioni, capaci di analizzare situazioni operative e suggerire le migliori azioni da intraprendere. Alcuni di questi sistemi utilizzano il ragionamento basato su casi per identificare rischi e proporre soluzioni in tempo reale, favorendo la creazione di ambienti logistici autonomi e auto-regolanti, nei quali anche le unità

²⁹ H. L. Lu ZHEN, «A literature review of smart warehouse operations management,» pp. 31-44

di stoccaggio partecipano attivamente all'ottimizzazione dei processi.

Nonostante i numerosi vantaggi, l'adozione di magazzini intelligenti comporta anche diverse criticità. La sicurezza informatica rappresenta una delle principali sfide, poiché i sistemi interconnessi possono essere vulnerabili ad attacchi che compromettono l'intera catena logistica. Un'altra difficoltà riguarda l'integrazione tra sistemi appartenenti a diversi attori della supply chain, spesso ostacolata dalla mancanza di standard comuni. Sul fronte ambientale, se da un lato l'automazione comporta un aumento dei consumi energetici, dall'altro l'ottimizzazione basata sull'IA consente di ridurre sprechi e inefficienze, contribuendo a una gestione più sostenibile delle risorse e avvicinando il settore a modelli di logistica a basso impatto ambientale.³⁰

³⁰ B. T. a. C. C. Maarten van Geest, «Smart Warehouses: Rationale, Challenges and Solution Directions

2.3.2 Logistica 4.0 e robotica collaborativa

Il settore della logistica e della gestione della supply chain sta attraversando una fase di profonda ristrutturazione tecnologica, comunemente inquadrata nel paradigma della Logistics 4.0. All'interno di questo scenario, i magazzini e i centri di distribuzione non sono più concepiti come nodi di stoccaggio statici, bensì come ecosistemi dinamici e interconnessi, dominati dall'esigenza di flessibilità, personalizzazione degli ordini (mass customization) e rapidità di evasione, dinamiche ulteriormente esasperate dall'esplosione dell'e-commerce su scala globale.

In questo contesto di flessibilità spinta, l'automazione rigida tradizionale mostra evidenti limiti strutturali. Per mappare l'evoluzione di questo fenomeno, è fondamentale fare riferimento a una panoramica scientifica dei trend attuali.

Mentre l'automazione classica si basava su robot industriali tradizionali/macchine ad alta velocità ma rigidamente confinate all'interno di gabbie perimetrali di sicurezza per prevenire incidenti, la logistica moderna richiede una riconfigurazione degli spazi in cui l'operatore umano e la macchina possano coesistere senza barriere. È in questa lacuna operativa che si inserisce la tecnologia dei robot collaborativi, o *cobot*. I cobot sono progettati nativamente con limitatori di coppia, profili smussati e sensori di prossimità per operare a stretto contatto con il personale.

Tuttavia, un cobot privo di capacità computazionali avanzate rimane un esecutore cieco di traiettorie pre-programmate, inadatto a gestire la variabilità intrinseca di un magazzino merci (dove pacchi, pallet e prodotti cambiano continuamente forma, peso e posizionamento).

Il vero salto di qualità operativo avviene quindi attraverso la convergenza tra la struttura cinematica del cobot e gli algoritmi di Intelligenza Artificiale.³¹

L'innesto dell'Intelligenza Artificiale trasforma il cobot da mero automa a sistema adattivo e cognitivo. All'interno dei nodi logistici, questa sinergia si declina principalmente attraverso tre pilastri tecnologici: la *Computer Vision*, il *Machine Learning* e i sistemi di navigazione autonoma guidata.

³¹ J. R. Bárbara Ferreira, «ASystematic Literature Review on the Application of Automation in Logistics,»

Il primo e più evidente campo di applicazione di questa transizione è il *bin picking* guidato dalla visione artificiale. In un magazzino logistico, la merce arriva spesso disposta alla rinfusa all'interno di contenitori. Attraverso telecamere 3D e reti neurali convoluzionali (CNN), il cobot equipaggiato con IA è in grado di scansionare il cassone, riconoscere i singoli oggetti indipendentemente dal loro orientamento, calcolare il punto di presa ottimale e modulare la forza della pinza (*gripper*) per evitare il danneggiamento del prodotto.

Oltre alla percezione visiva, l'IA ridefinisce l'efficienza dei movimenti attraverso l'ottimizzazione dinamica delle traiettorie. L'adozione di modelli basati su dati (*data-driven*) consente al robot di non limitarsi a muoversi lungo assi cartesiani fissi, ma di ottimizzare i vettori di movimento in tempo reale. Questo significa che se un operatore umano interseca parzialmente l'area di lavoro del cobot, l'algoritmo predittivo non arresta bruscamente la macchina — dinamica che causerebbe perdite di tempo e picchi di stress meccanico —, ma ricalcola istantaneamente una traiettoria alternativa nello spazio tridimensionale, mantenendo inalterato il flusso di lavoro e garantendo la fluidità dei processi di smistamento.³²

L'ultimo aspetto cruciale della robotica collaborativa potenziata dall'IA riguarda la ridefinizione del fattore umano nei processi di *Supply Chain*. La collaborazione Uomo-Robot (HRC - *Human-Robot Collaboration*) non deve essere intesa come una sostituzione della forza lavoro, ma come un'amplificazione delle capacità dell'operatore, dove la macchina si fa carico delle attività geometricamente ripetitive o gravose e l'uomo mantiene il controllo delle attività a elevato valore cognitivo o decisionale.

Per comprendere l'impatto di questa interazione sulle dinamiche di magazzino, è essenziale analizzare i fattori di sicurezza e accettazione da parte del personale.

Questo approccio si traduce concretamente nell'ottimizzazione ergonomica delle postazioni di *kitting* o pallettizzazione. Durante il fine linea logistico, il posizionamento dei colli sui pallet richiede sforzi fisici costanti e movimenti

³² K. V. V. R. I. E. M. S. A. E. N. a. S. S. A. A. Alberto Borboni, «The Expanding Role of Artificial Intelligence in Collaborative Robots for Industrial Applications,

ripetitivi che espongono i lavoratori a disturbi muscolo-scheletrici. Il cobot guidato dall'IA può rilevare, tramite sensori di fatica o telecamere ambientali avanzate, l'altezza e la postura dell'operatore umano, adattando automaticamente l'altezza del proprio braccio meccanico per porgergli l'oggetto nella posizione più confortevole dal punto di vista biomeccanico.

In conclusione, l'adozione di cobot dotati di Intelligenza Artificiale all'interno dell'ambito logistico rappresenta la sintesi perfetta dell'Industria 5.0, in cui la tecnologia non esclude l'essere umano, ma si modella attorno ad esso. La transizione da sistemi rigidi ad agenti robotici collaborativi e intelligenti si configura così come un pilastro imprescindibile per le aziende che mirano a coniugare la massima produttività aziendale con la sostenibilità sociale e la tutela della salute dei lavoratori all'interno dei moderni centri di distribuzione.³³

³³ M. F. F. F. M. S. M. M. B. a. M. D. A. Luca Pietrantoni*, «Integrating collaborative robots in manufacturing, logistics, and agriculture: Expert perspectives on technical, safety, and human factors,»

2.3.3 Miglioramenti e vantaggi che l'automazione ha portato nel contesto logistico

L'avvento della quarta rivoluzione industriale ha inaugurato una profonda trasformazione nella gestione dei flussi logistici, ridefinendo radicalmente l'organizzazione interna dei centri di stoccaggio. In questo scenario, la digitalizzazione e la robotizzazione non sono più semplici strumenti di supporto, ma diventano i veri motori dell'efficienza aziendale. Sostituendo i vecchi approcci manuali con soluzioni interconnesse, le imprese riescono a velocizzare drasticamente ogni singola operazione: il trasferimento delle merci e il confezionamento delle spedizioni avvengono senza sosta, azzerando i tempi morti e moltiplicando i volumi gestiti quotidianamente.

Un altro grande punto di svolta riguarda il crollo drastico delle sviste e delle inesattezze. Quando le attività di prelievo e il controllo delle giacenze vengono affidati a sistemi di tracciamento avanzati e a lettori intelligenti, il margine di errore umano si riduce quasi a zero. Ogni articolo viene localizzato e registrato all'istante, creando un perfetto allineamento tra i prodotti realmente presenti sugli scaffali e i dati visibili sui terminali. Questa precisione millimetrica non è solo un vantaggio interno, ma si riflette direttamente sul consumatore finale, che riceve i propri ordini senza ritardi o scambi di merce, aumentando la fiducia nel brand.

Guardando il quadro da una prospettiva più ampia, l'integrazione di queste tecnologie offre una chiarezza visiva senza precedenti sull'intera catena di distribuzione. Poter monitorare ogni spostamento in tempo reale significa avere il polso della situazione in ogni momento. Chi guida l'azienda può così individuare subito i colli di bottiglia, prevedere gli intoppi e prendere decisioni strategiche basate su fatti concreti e non su stime. Se si verifica un imprevisto, la tempestività dell'intervento evita che il problema si propaghi a catena.

La logistica moderna esige inoltre una spiccata dote di resilienza. Le strutture dotate di impianti di ultima generazione vantano una straordinaria elasticità: possono essere riconfigurate in tempi record per fare fronte a picchi improvvisi di richieste o a inversioni di tendenza del mercato. Questa reattività si rivela un'arma vincente

soprattutto nei periodi di forte instabilità economica, dove la capacità di rimodulare i ritmi produttivi garantisce la continuità del business.

Infine, non va trascurato il profondo impatto sul capitale umano e sul clima aziendale. Sollevare il personale dai compiti più logoranti, seriali e rischiosi migliora nettamente la qualità della vita all'interno dei magazzini, riducendo drasticamente gli infortuni. Questo cambiamento sposta il ruolo dei lavoratori verso mansioni a più alto valore aggiunto, focalizzate sul coordinamento, sulla manutenzione predittiva e sulla supervisione dei processi. In definitiva, l'evoluzione tecnologica non si limita a ottimizzare i profitti, ma ridisegna il volto del lavoro, rendendo le organizzazioni più robuste, sicure e pronte a sfidare il futuro.³⁴

³⁴ L. N. T. a. T. N. D. Mathaba, «Applications of Industry 4.0 Technologies in Warehouse management,»

Capitolo 3: Impatti organizzativi dell'Intelligenza Artificiale nella logistica

3.1 Trasformazione delle competenze professionali

3.1.1 Sviluppo di nuove figure professionali

L'adozione dell'intelligenza artificiale nei contesti industriali e di impresa sta portando ad un cambiamento in termini di attività da svolgere e di conseguenza pure sotto gli aspetti organizzativi del lavoro stesso, comportando di conseguenza pure un cambiamento delle domande di competenza, comportando una richiesta da parte delle aziende verso i lavoratori una conoscenza maggiore dell'IA, con abilità in grado di poter lavorare sui modelli di questo tipo.

Le competenze più richieste dal punto di vista professionale ad un elevato livello di utilizzo di IA sono quelle di tipo gestionale, i processi aziendali e le competenze sociali.

Per quanto riguarda la gestione ed i processi aziendali fanno riferimento a competenze che riguardano attività di project management, attività di pianificazione di budget e mansioni riguardanti aspetti contabili ed amministrativi.

Per quantificare a livello numerico quale sarà l'impatto nel contesto lavorativo, nei 10 paesi presenti all'interno del OCSE, tramite una ricerca condotta su Lightcast, strumento contenente quasi la totalità delle offerte lavorative, da tale ricerca si evince che nelle attività d'ufficio ed in attività di assistenza alla clientela il 72% degli annunci presentano un elevato livello di esposizione all'IA, includendo anche una competenza gestionale, ed il 67% invece contiene competenze in ambito di processi aziendali.³⁵

Spostando il focus su quelle che sono le hard skills, come attività di data analysis e di programmazione, rimangono fondamentali per il contesto lavorativo, invece per quanto riguarda l'introduzione dell'intelligenza artificiale sta spostando un focus molto importante su quelle che sono invece le competenze trasversali che si applicano sul posto di lavoro, proprio perché aspetti come il pensiero critico e la risoluzione di problematiche complesse non sono così facilmente rimpiazzabili tramite IA.

³⁵ A. Green, «Artificial intelligence and the changing demand for skills in the labour market

Nei contesti lavorativi che prevedono l'adozione di sistemi di intelligenza artificiale, i lavoratori si trovano un alleggerimento del carico lavorativo nelle attività maggiormente routinarie o ripetitive, non in situazioni dove è richiesto un pensiero o intuito umano, difatti i programmi di upskilling devono integrare percorsi formativi in modo da rafforzare quelle che sono le capacità analitiche e relazionali in modo da avere una migliore interpretazione degli output che vengono generati ai fini di prendere delle decisioni strategiche in modo più chiaro, ma che siano strumenti di supporto e non che si sostituiscano a con le decisioni prese dalle persone.

L'utilizzo funzionale dell'intelligenza artificiale nel contesto lavorativo però non dipende solamente dal tipo di software che vengono utilizzati, ma soprattutto dall'attitudine mentale dei lavoratori nei confronti di cambiamenti tecnologici che possono comportare una variazione dell'attività lavorativa dei lavoratori stessi, generando paura e sconforto nei confronti dei dipendenti per paura di automazione portando resistenza al cambiamento.

Una transizione più centrata verso applicativi di questo tipo richiede che la formazione non sia occasionale, ma bensì che venga costruito un processo continuo di apprendimento di nuove conoscenze e che prevede poi successivamente un'integrazione di questo tipo nei processi lavorativi, bensì le barriere che con cui si scontrano le aziende capitano costantemente, tra le quali pure la mancanza di tempo da parte dei dipendenti ed il divario digitale generazionale che rappresentano i due maggiori impedimenti per i quali è possibile effettuare una transizione di questo tipo.

Infatti, per far sì che tale transizione sia portata a termine, la funzione delle risorse umane interna all'azienda deve effettuare una transizione verso un approccio maggiormente guidato dai dati, indirizzando l'andamento dell'azienda soprattutto su 3 aspetti principali:

1. Riuscire ad identificare quali sono le mansioni che possono essere automatizzate e quali no invece, isolando quelle che sono i lavori maggiormente ripetitivi coadiuvato da una corretta riqualificazione del personale verso ruoli diversi

2. Riuscire ad effettuare un'analisi corretta dei profili lavorativi che presentano delle competenze ibride, tramite la creazione anche di nuovi ruoli professionali che possano combinare le skill ad utilizzare software provvisti di IA e funzioni lavorative
3. Superare il concetto di formazione di massa ma sviluppare dei piani di carriera e di formazione maggiormente individualizzati, andando a comprendere quali siano le effettive competenze che ha una persona e su quelle, riuscire a creare un piano formativo che possa far risaltare ancora maggiormente le abilità del lavoratore.³⁶

³⁶ F. F. M. D. A. G. P. D. G. Sofia Morandini, «THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON WORKERS' SKILLS: UPSKILLING AND RESKILLING IN ORGANISATIONS,» pp. 16-20; 24, 1 Febbraio 2023.

3.1.2 Upskilling e reskilling

Come introdotto già nel paragrafo precedente, una maggiore digitalizzazione nei contesti lavorativi sta portando anche ad una richiesta da parte dei recruiter diversa verso i candidati per ricoprire una posizione lavorativa ed anche il tipo di apprendimento necessario verso il personale già interno all'azienda, portandoli ad una maggiore attenzione verso nuove soft ed hard skills.

Per velocizzare i tempi di formazione un aspetto positivo potrebbe essere quello di una collaborazione più stretta tra industria ed istituzioni di istruzione come università ed istituti superiori su quelle che potrebbero essere le necessità in ambito lavorativo.³⁷

Approcciare ad un sistema di formazione completa ed efficiente, può consentire alle persone formate un'efficienza migliore che con l'avanzamento della carriera porta ad una maggiore flessibilità in termini di forza lavoro.³⁸

Di conseguenza per poter provare a raggiungere un miglioramento a livello di rendimento per l'azienda, l'applicazione di una strategia che tra i vari aspetti abbia anche quello di cambiare l'approccio a livello di formazione, se effettuato nel modo corretto e proattivo può portare ad un miglioramento nello svolgimento delle attività.

Aspetti come upskilling e reskilling fanno riferimento al collegamento che si presenta in contesti lavorativi e di formazione tra la disruption tecnologica e la crescita inerenti alle abilità apprese sul campo da parte del lavoratore.³⁹

Nei contesti aziendali fortemente orientati verso l'industria 4.0 considera la parte di upskilling e reskilling parte fondante della struttura e della strategia aziendale, ponendo particolare attenzione su 3 aspetti fondamentali:

1. Istituzionalizzare culturalmente il contesto lavorativo orientandolo ad un apprendimento continuo

³⁷ S. Areesophonpichet, R. Bhula-or, W. Malaiwong, S. Phadung e P. Thanitbenjasith, «Thai higher education institutions: Roles and challenges in attracting international talent to accelerate Thai competitiveness in the main economy and industry,

³⁸ D. Dhiman e A. Solkhe, «Shaping skills: A qualitative dive into India's evolving skill development policies,» *Development Policy Review*, 43(3)

³⁹ L. Gamberini e P. Pluchino, «Industry 5.0: A comprehensive insight into the future of work, social sustainability, sustainable development, and career,» *Australian Journal of Career Development*,

2. Allineamenti costanti sulle metodologie usufruite dalle risorse umane per orientare la formazione in modo positivo
3. Lo sfruttamento di modelli di formazione e di apprendimento che portino innovazione nel contesto di riferimento

Per portare un caso concreto, lo studio condotto da parte dell'università di Mudanya ha sviluppato un'indagine tramite interviste, condotte verso figure delle risorse umane e 12 manager, che hanno portato a definire che la transizione verso un'industria 4.0 non riguardi esclusivamente un aspetto legato alla transizione tecnologia da parte dell'azienda, ma bensì che si tratta di un aspetto socio-organizzativo.

L'analisi condotta tramite interviste da parte dell'università ha mostrato molti aspetti interessanti, ponendo particolare attenzione soprattutto su come le aziende debbano muoversi in termini di upskilling e reskilling in modo complementare per far sì che non si perda il potenziale strategico dell'azienda.

L'Upskilling deve mirare a migliorare quelle che sono le competenze già esistenti, necessarie all'interno dell'azienda, si tratta di un processo che deve partire tramite segnalazione da parte dei manager che comunicano una necessità di miglioramento delle skills da parte di un sottoposto, che se svolto in modo corretto porterà sicuramente una riduzione del tasso di errore da parte del lavoratore, apporterà un livello di efficienza maggiore ed una maggiore sicurezza nel prendere decisioni strategiche.

Il Reskilling invece mira a sviluppare quelle che sono delle competenze e delle abilità completamente diverse per la ricollocazione dei lavoratori e dipendenti in mansioni differenti, con attività diverse da quelle che potrebbero essere automatizzate, ovvero circa il 71%.⁴⁰

Un altro aspetto apparso dalla ricerca condotta riguarda sicuramente quelle che sono le competenze più ibride, soft e hard skills, fondamentali in termini di flessibilità nelle continue variazioni dei software e dell'IA, orientando la forza lavoro a

⁴⁰ S. Joseph, «Organizational workforce management in the digital age: The role of technocultural interventions in mitigating the negative impacts of AI-driven technological change,»

migliorare quelle che sono le competenze sociali e cognitive, come il problem solving in sistemi automatizzati, un pensiero più critico connesso con l'agilità all'apprendimento permanente e capacità di comunicazione digitale in tempo reale. Come ultima caratteristica la ricerca ha sottolineato pure quali sono le tecniche organizzative che consentono la riuscita di programmi di upskilling e di reskilling, tra le seguenti troviamo:

- Coinvolgimento dell'alta direzione; più i vertici aziendali sono uniti dal punto di vista della visione sui progetti futuri dell'azienda, più sarà facile integrare i nuovi processi strategici dell'azienda
- Approccio orientato alle persone: il processo di digitalizzazione aziendale riesce ad avere un impatto significativo per l'azienda solo se la cultura aziendale è trasparente su quelle che sono le pratiche delle risorse umane, messe in pratica per migliorare quelle che sono le abilità del lavoratore
- Personalizzazione dei piani formativi; i piani di formazione sono più efficienti se non sono standardizzati ed uguali per tutti, spesso in molti contesti aziendali vengono svolti dei corsi dove partecipano più persone insieme, quello che realmente serve in realtà è comprendere quelle che sono le carenze di una persona che lavora in un determinato contesto, per poi sviluppare un piano formativo fatto su misura su quelle che sono le competenze e le mancanze del dipendente⁴¹

⁴¹ A. Makalesi, «Upskilling and Reskilling in the Logistics Sector: Insights from Human Resources Managers' Perspectives,»

3.1.3 Competenze tecniche e soft skills emergenti

Nonostante la costante crescita in termini di automazione, un fattore fondamentale sulla quale l'azienda poggia ancora le proprie basi ovvero il lavoro umano.

Fattore che presenta un livello di importanza ancora maggiore specialmente se parliamo di attività in ambito industriale, come assemblaggio ed anche in ambito logistico come le attività di movimentazione del materiale e della merce.

I vari modelli di pianificazione che vengono sviluppati per poter supportare quelle che sono le decisioni manageriali spesso presentano la medesima caratteristica in senso negativo, ovvero il trascurare le singole caratteristiche dei lavoratori umani, invece per poter garantire un piano efficiente e produttivo è necessario considerare i fattori umani come parte integranti nei sistemi di progettazione, per poter garantire un'efficienza produttiva maggiore.

Un altro aspetto da dover tenere in considerazione che è sempre rilevante è sicuramente l'invecchiamento della forza lavoro, portando una particolare attenzione su quella che può essere l'evoluzione in termini di salute per i lavoratori con più esperienza.

L'attività di pianificazione di sistemi che impattino su quelle che sono le capacità di ogni singolo lavoratore ha l'obiettivo di agire sia sotto il punto di vista sociale che sotto quello aziendale.

Se il sistema presenta un numero eccessivo di richieste riguardanti le operazioni che devono essere svolte e se superano pure quello che è la capacità del singolo individuo porta sicuramente ad una conseguenza negativa sia sul lavoratore che sulla produttività complessiva.

I vari costi che vengono ignorati ed hanno un effetto su quella che è la produttività complessiva vengono anche definiti come "profitti fantasma"⁴², ovvero si fa riferimento a profitti attesi che però vengono sgretolati dal mancato riconoscimento dei fattori umani all'interno del progetto.

Di conseguenza il gruppo WG743, facendo parte del comitato tecnico IFAC 5.244,

⁴² phantom profits

⁴³ Fattori umani ed ergonomia nella progettazione e gestione di sistemi industriali e logistici

⁴⁴ Comitato che si occupa di Management and Control in Manufacturing and Logistics

si pone l'obiettivo di sviluppare approcci innovativi per quanto riguarda attività di integrazione del FU e nella progettazione di sistemi produttivi e logistici, proponendo quelli che sono modelli decisionali più intelligenti, orientati anche alla sostenibilità e ad alto impatto per l'industria 4.0.⁴⁵

Una delle proposte che ha riscosso maggior successo da parte del Comitato tecnico è un framework che propone una prospettiva definita "Human Centred"⁴⁶, presentando una suddivisione in 3 distinte aree:

- Ingegneria industriale Human Centered: migliorare quelli che sono gli approcci più tradizionali ai fini di sviluppare degli ambienti di lavoro che siano maggiormente individualizzati e personalizzati, grazie a strumenti di supporto come motion capture, realtà virtuale e robot a supporto
- Modellazione human centered: centrali nello sviluppo di modelli data driven che presentino al proprio interno aspetti come la fatica, il carico del lavoro e caratteristiche anche personali del singolo lavoratore come le risorse l'età e la personalità stessa del lavoratore.
- Management Human Centered: attività che viene svolta per far sì che i migliori modelli e pratiche manageriali si possano trovare facilmente e di conseguenza che siano a conoscenza pure per le risorse umane su come utilizzarle, soprattutto quando si tratta di un aspetto fondamentale come il rapporto tra nuove tecnologie e lavoratori e su come sviluppare il rapporto.

Per entrare nello specifico di ciascun modello; per quanto riguarda il primo citato precedentemente aspetti chiave come lo sviluppo e la costruzione di un piano di carriera e di crescita sia a livello personale che a livello di ambiente lavorativo rappresentano degli aspetti fondamentali.

Seguendo quelli che sono i principi dell'industria 4.0; è sempre più necessario che le tecnologie svolgano delle azioni di supporto per i lavoratori, in modo che sia presente un carico di lavoro ridotto ed una maggiore efficienza

⁴⁵ S. Winkelhaus e E. H. Grosse, Logistics 4.0: A systematic review towards a new logistics system

⁴⁶ Il framework proposto sostiene lo sviluppo di **Sistemi di Supporto alle Decisioni Centrati sull'Uomo** per i sistemi produttivi e logistici del futuro,

Il secondo modello preso in analisi riporta che; molti degli studi che sono stati condotti ignorano aspetti chiave tipo l'età della forza lavoro, l'assegnazione di compiti particolarmente usuranti a livello fisico devono tenere conto dell'età e dell'anzianità di certi lavoratori, per avere una gestione sul carico di lavoro che sia più bilanciata rispetto ad altre situazioni.

Un secondo focus viene posto invece su attività di pianificazione operativa, consentendo una maggiore interazione con i vari robot di supporto, andando a prendere in considerazione anche quelli che sono i costi secondari dovuti ad infortuni, turnover, assenteismo ed errori dovuti dalla fatica

Le considerazioni sul terzo modello invece hanno un focus su quelle che sono le transizioni demografiche imponendo un nuovo sistema di supporto a quelle che poi saranno in futuro le decisioni dei manager in merito al lavoratore, sfruttando anche modelli predittivi che tengano in considerazioni diverse variabili evitando che profitti fantasma rimangano nascosti.⁴⁷

⁴⁷ F. Sgarbossa, «Human factor in production and logistics systems of the future,»

3.2 Resistente interne dovute al Change Management

3.2.1 Paura della sostituzione tecnologica e resistenza al cambiamento

Nel contesto attuale, il cambiamento nel contesto organizzativo si tratta di un aspetto del change management fondamentale, concetto chiave per le aziende che si devono evolvere con il passare del tempo per poter sopravvivere nel tempo; tutto ciò viene effettuato per diverse motivazioni, favorire il progresso organizzativo, per poter migliorare le prestazioni dei dipendenti e lavoratori, ridurre la probabilità di errore, e per modificare proprio quelli che sono i modelli di comportamento nel contesto lavorativo stesso⁴⁸.

Vi è da segnalare però, come riportato nel sottocapitolo precedente, non tutti i cambiamenti che sono stati pianificati terminano con successo, anzi, sono presenti molte situazioni che dovute alle resistenze che si trovano all'interno, che possono derivare da molti aspetti, comportano una destabilizzazione dell'organizzazione, in determinati casi comportando un aumento dei tempi oppure che arrestino il cambiamento stesso.

Infatti, il tasso di fallimento connesso con l'apportare un cambiamento di tipo organizzativo in un contesto aziendale strutturato raggiunge fino al 70%⁴⁹, spiegando come l'elemento chiave di questi aspetti derivi dal fatto che i dipendenti, opponendo resistenza al cambiamento arrivino a bloccare il completamento di tale processo, dovuto anche al fatto che ciascun lavoratore ha dei punti di vista e delle prospettive diverse nonché atteggiamenti ad affrontare novità che vengono imposte⁵⁰.

L'interpretazione che viene spesso data alla resistenza del cambiamento deriva dall'atteggiamento o dal comportamento di un singolo individuo che tramite il suo atteggiamento può ostacolare il raggiungimento di vari obiettivi.

Quando ci si ricollega a fattori riguardanti i dipendenti o lavoratori, che bloccano il raggiungimento dell'obiettivo e di conseguenza un rallentamento della transizione

⁴⁸ C. R. Leana e B. Barry, «Stability and change as simultaneous experiences in organizational life,»

⁴⁹ J. Balogun e V. H. Hailey, *Exploring Strategic Change*, 2a

⁵⁰ R. Lines, «The structure and function of attitudes toward organizational change,» *Human Resource Development Review*, 4(1), pp. 8-22, 2005.

che ha come obiettivo l'azienda, vengono suddivisi in due gruppi distinti, fattori di tipo individuali e di tipo situazionali.

Tra i fattori individuali di maggior rilievo possiamo trovare sicuramente la mancanza di fiducia⁵¹, dove i dipendenti non credono in se stessi o che il cambiamento portare un rendimento migliore sulle loro attività e sulle prestazioni dell'azienda; l'aumento dello stress⁵², dato che situazioni di stress generano ai dipendenti un determinato tipo di pressione, dovuta anche alla perdita di fiducia nei propri mezzi, magari dovuta all'utilizzo di un nuovo software.

Tra le seguenti possiamo anche trovare il livello di scarsa motivazione⁵³, dove lavoratori che già di per sé presentano bassi stimoli siano ancora meno invogliati nell'affrontare un cambiamento, che poi possa addirittura portare a quella che è la paura per il fallimento.

Successivamente per quanto riguarda invece i fattori situazionali possiamo trovare l'elevato livello di ambiguità a livello di comunicazione⁵⁴, ovvero l'incertezza presente nei dipendenti, portandoli a credere a fatti o voci non dette, invece di attendere quelle che sono le comunicazioni ufficiali, oppure un basso livello di confort lavorativo, dovuto generalmente a situazioni dove il lavoratore si trova spesso sottopressione oppure in cattive condizioni rendendo più difficile l'accettazione dei cambiamenti.

Quando ci si trova davanti a contesti del genere, i migliori approcci strategici da attuare per far sì che il cambiamento organizzativo sia portato a termine come processo possiamo trovare diverse soluzioni:

- Lentezza nel cambiamento; un cambiamento immediato e rapido non porta quasi mai al risultato desiderato, bensì se il cambiamento che si attua invece è lento ma costante nel tempo sicuramente consente di dare anche maggior tempo ai dipendenti di apprendere i vari passaggi
- Partecipazione; rendere partecipi i dipendenti interessati in questi aspetti

⁵¹ R. M. Kanter, «Supporting innovation and venture development in established companies,»

⁵² E. B. Dent e S. G. Goldberg, «Challenging “resistance to change”,»

⁵³ K. Hultman, *Making Change Irresistible: Overcoming Resistance to Change in Your Organization*

⁵⁴ L. Greenhalgh, «Managing the job insecurity crisis

ricevendo dei feedback sicuramente migliora il livello di pianificazione e di esecuzione per i lavoratori

- Sviluppo di fiducia; consente di ridurre quelle che sono le insicurezze all'interno dei dipendenti, in modo che poi siano più efficienti nelle loro task ed attività quotidiane⁵⁵
- Supporto; agire riducendo quelle che sono le attività che generano paura ed ansia per i dipendenti, tramite attività di ascolto per i lavoratori su quelle che sono le problematiche e le attività maggiormente difficoltose, andando pure a comprendere come poter sistemare determinate situazioni⁵⁶

Strategie che meglio se sono supportate da changing agents, ovvero agenti del cambiamento, strategie che vengono supportate da figure come queste quando si nota una mancanza di efficacia in un primo approccio organizzativo⁵⁷.

Porgendo attenzione invece maggiormente all'intelligenza artificiale nel mondo logistico, ovviamente anche nel contesto logistico si presentano problematiche di questo tipo, che però pone attenzione su quelle che sono delle barriere di tipo cognitive e non un generico rifiuto⁵⁸.

La prima caratteristica da trattare è l'effetto scatola nera, dove diversi sistemi di IA forniscono delle risposte ai problemi di logistica senza però andare a spiegare quelli che sono i passaggi logici intermedi, ma direttamente alla risposta, dove la problematica principale sorge proprio tra le figure di maggiore spessore nella supply chain, che generalmente decidono le azioni da dover svolgere tramite intuito.

Il secondo elemento a generare instabilità invece fa fronte all'ansia portata dall'enorme quantitativo di dati che vengono usufruiti e scaricati dall'IA, in caso di una mancata preparazione adeguata a far fronte ad una mole di dati di questo tipo, la sensazione che subiscono i lavoratori è di un eccessivo livello di pressione subita dalle metriche predittive o dalle dashboard, facendo sentire il lavoratore non adeguato oppure incapace nell'avere una lettura chiara e rapida dei dati, rischiando

⁵⁵ R. W. Griffin, *Management*, 4a ed., Boston, MA: Houghton Mifflin Company, 1993.

⁵⁶ J. R. Schermerhorn, *Management*, 6a ed., New York: John Wiley & Sons, 1999.

⁵⁷ A. H. Darmawan, «Resistance to Change: Causes and Strategies as an Organizational Challenge,» *Althantis press*

⁵⁸ G. White, «Planned change,» in *Clinical Leadership in Nursing*, a cura di J. T. Rocchiccioli e M. S. Tilbury, Philadelphia, PA: W.B. Saunders Company, 1998.

di andare a compromettere il piano d'azione da dover mettere in atto⁵⁹.

Vi è anche da riportare che però anche nel settore logistico, una mancata preparazione nell'affrontare concetti riguardante il mondo IA rallenta ancora di più quella che è la transizione verso il cambiamento, non solo per colpa dei lavoratori, ma che attualmente sono presenti ancora diversi problemi legato al mondo dell'intelligenza artificiale ed in più dovuto anche a diversi problemi che derivano dal mondo stesso della IA.

Tra i seguenti possiamo trovare sicuramente bias di algoritmo, oppure aspetti riguardanti blackout decisionali, dove un'eccessiva fiducia verso un software potrebbe portare a bloccare quella che è un processo per poi magari risultare esclusivamente un falso allarme, rendendo di conseguenza necessaria una figura umana che supervisioni il processo e le attività che vengono condotte dalla IA stessa⁶⁰.

⁵⁹ M. Berry, «The supply chain skills gap ai left behind,» MIT center for transportation and logistics, 12 Maggio 2026

⁶⁰ S. Ferrari, «AI nella supply chain: come l'IA generativa sta trasformando la logistica,» We Are Project , 22 dicembre 2025

3.2.2 Ruolo della formazione e della comunicazione interna

Nel contesto attuale, l'attività di formazione del personale non è più un semplice trasferimento delle competenze e delle tecniche da applicare nei contesti lavorativi, bensì si tratta di una tecnica che ha pure lo scopo di riuscire a scardinare quelle che sono le resistenze alle quali è ancorato il contesto lavorativo.

La teoria di Weiner, elaborata alla base della teoria della motivazione⁶¹, ponendosi la domanda su qual è il percepito da parte dell'intelligenza artificiale da parte dei lavoratori sull'IA, se si tratta effettivamente di un beneficio oppure un aspetto che preoccupa effettivamente i lavoratori che preoccupazioni di essere sostituiti.

La preoccupazione principale dovuta all'inserimento di software supportati da IA, specialmente nel contesto della logistica, deriva da situazioni nella quale non viene realmente percepita l'utilità che può portare.

Il punto favorevole per cui i dipendenti possono considerare la tecnologia come un elemento vantaggioso al quale fare appiglio deriva da diverse situazioni, tra le quali sicuramente il percepire che svolgere un passo in avanti verso la tecnologia sia ormai necessario per il tipo di attività e task che devono essere condotte⁶², che possa effettivamente apportare un miglioramento dal punto di vista tecnologico ed infine che percepiscano effettivamente una riduzione del carico di lavoro che sia favorevole per porgere maggiore attenzione ad altre attività⁶³.

Questo aspetto porta ulteriormente a sottolineare come già anticipato nel sottocapitolo precedente che sia fondamentale il non dover standardizzare la formazione all'interno di un contesto lavorativo, bensì sviluppare dei piani formativi orientati all'intelligenza artificiale con dei target ben precisi, specificando in ciascuna delle mansioni come l'utilizzo di tali software in modi diversi siano correlati con le mansioni di diverso tipo, dalle attività di stock-out fino ad attività di picking.

Gli studi di carattere psicologico condotti da parte di Herscovitch e Meyer⁶⁴ hanno

⁶¹ Fishbein M, Ajzen I: Belief, attitude, intention, and behavior: an introduction to theory and research Reading

⁶² Lehman WEK, Greener JM, Simpson DD: Assessing organizational readiness for change.

⁶³ Newton J, Graham J, McLoughlin K, Moore A: Receptivity to Change in a General Medical Practice.

⁶⁴ Herscovitch L, Meyer JP: Commitment to organizational change: Extension of a three-component model.

evidenziato come effettivamente il comportamento dei lavoratori, se da parte loro c'è un interesse nell'approfondire e diventare pratici in tali aspetti rendano un livello maggiore del loro livello di competenze e sia uno step maggiore verso la riuscita del cambiamento organizzativo tanto ricercato.

Il secondo aspetto sul quale procedere fa riferimento alla prontezza in ambito change efficacy, ovvero agire sulla convinzione da parte dei membri di un determinato team su quelle che sono le capacità del gruppo sulla capacità di portare a termine e poter eseguire azioni che siano necessarie per poter apportare le modifiche del sistema⁶⁵. Le attività di formazione per il team partono proprio costruire un'efficiente mentalità in termini di change efficacy, dando ai lavoratori la consapevolezza sulle loro capacità e competenze sul cambiamento che verrà apportato.

Quando ci si trova in contesti organizzativi dov'è presente un elevato livello di prontezza al cambiamento dal punto di vista psicologico, derivante pure da un determinato livello di formazioni, consente un'accelerazione in termini di prontezza e di cambiamento radicale dell'approccio alle attività⁶⁶, mostrando un elevato livello di persistenza di fronte agli ostacoli, oltre che ad aspetti come fallimenti temporanei. Nel contesto AI logistica, aspetti che riguardando la persistenza e voler insistere per l'ottenimento del proprio obiettivo consentono proprio di superare un ostacolo iniziale per poi riuscire a trovare un risultato in termini di efficienza.

Se la formazione alla quale sono stati soggetti è stata positiva, consentirà questo di avere una consolidazione positiva in termini di fiducia, dove i lavoratori persisteranno pure di fronte alle difficoltà, collaborando con le varie figure responsabili per l'ottenimento del risultato.

Vi è anche da riportare che, dove la formazione ha azzerato le resistenze, gli operatori logistici che utilizzano sistemi dov'è presente IA verrà utilizzata in modo sistematico, accurato e continuativo, laddove invece dove gli interventi in termini di formazione non sono stati efficienti genererà situazioni dove l'uso di IA sarà formale ma svogliata e ad utilizzo intermittente⁶⁷.

⁶⁵ Bandura A: Exercise of human agency through collective efficacy

⁶⁶ Gist ME, Mitchell TR: Self-Efficacy - a Theoretical-Analysis of Its Determinants and Malleability

⁶⁷ B. J. Weiner, «A theory of organizational readiness for change,» *Implementation science*

Ponendo adesso invece attenzione sull'integrazione dell'intelligenza artificiale, specialmente quando si parla di supply chain (SCM), spero derivi da fattori che sono dovuti da un disallineamento dei parametri di performance ed indicatori di riferimento, che vengono utilizzati per valutare in un modo corretto l'IA stessa.

Problematiche di questo tipo derivano proprio da bias interni, dovuti ad un elevato livello di incertezza lavorativa riguardante il futuro, dovuta proprio dall'implementazione della IA stessa, generando preoccupazioni sulla possibilità che software altamente precisi possano sostituire l'uomo nel contesto lavorativo.

Invece di accogliere in modo positivo l'utilizzo di un sistema IA, i lavoratori che sarebbero a stretto contatto con IA stessa portano al fallimento del progetto causa l'atteggiamento dovuto a considerare software che dovrebbero migliorare le loro attività con delle prestazioni sovraumane ed irrealizzabili appena installate, comportando di conseguenza una serie di feedback negativi inerenti alla tecnologia. Nel contesto supply chain management, l'IA rappresenta un ostacolo di primo livello, specialmente nel contesto "black-box", dato che il maggior numero di operazioni inerenti a pianificazione, decisioni da prendere ed altri aspetti necessita comunque una decisione umana che deve essere presa al termine del processo, nel contesto generale, il maggior numero di sistemi industriali utilizza una serie di combinazioni che derivano da reti neurali profonde ed EXGBoost connessi con i framework classici, con lo scopo di riuscire ad interpretare e prevedere la domanda di mercato e di conseguenza farsi trovare pronti.⁶⁸

Un ulteriore ostacolo in termini di IA nel contesto della supply chain fa riferimento ad una scarsa comprensione del ruolo che hanno i cicli di feedback e la sperimentazione continua rivestono nell'incremento progressivo della prestazione

Un flusso eccessivo di informazioni all'interno della supply chain potrebbe portare ad un effetto frusta o bullwhip effect, coadiuvato anche da un'eccessiva natura stocastica della domanda.⁶⁹

⁶⁸ M. Shrivastav, «Barriers Related to AI Implementation in Supply Chain Management,»

⁶⁹ Y. J., « Information Sharing, System Feedback, and the Bullwhip Effect in AI-Driven Supply Chains.

3.3 Implicazioni etiche e sociali

3.3.1 Automazione ed occupazione

Quando si fa riferimento alla percezione che i lavoratori hanno dell'IA derivano spesso da quelli che sono i processi di adozione all'interno dell'azienda⁷⁰, alimentati anche da altri aspetti come la teoria dell'autodeterminazione ed il modello domanda-risorse del lavoro, consentono un supporto nella comprensione dei cambiamenti, sia in termini di motivazione che di senso di benessere dei lavoratori.

L'interazione tra uomo e computer fa riferimento ad una qualsiasi relazione che si sviluppa tra macchine ed esseri umani, ovviamente con l'aumento dell'automazione porterà un allontanamento maggiore da parte dell'uomo verso le prestazioni ed i compiti di stampo operativo, sviluppando le loro competenze verso invece le attività di supervisione, portando di conseguenza un'influenza sugli esiti psicologici individuali correlati con il lavoro, come la motivazione, il coinvolgimento lavorativo e la soddisfazione.

Comportando di conseguenza pure un cambio di approccio e di tipo relazionale tra i colleghi ed i supervisori⁷¹.

Poiché il fattore umano rimane centrale a livello di importanza nel contesto organizzativo, è fondamentale considerare che, gli individui e le organizzazioni operano in maniera interdipendente all'interno di sistemi complessi, dove le interazioni sociali tra gli individui che ne fanno parte sono di estrema importanza per portare a termine i processi di transizione verso il digitale⁷², dove processi come la digitalizzazione, portano ad un aumento di trasparenza ed una maggiore interconnessione, favorendo le relazioni maggiormente strette e maggiori opportunità sempre di tipo relazionale⁷³.

Concentrandosi adesso invece su quelle che sono le figure che dovranno ancora approcciarsi al mondo lavorativo come studenti o comunque persone che si stanno

⁷⁰ R. E.M., «Diffusion of innovations,» 2021

⁷¹ M. & Z. H. Klumpp, «Logistics innovation and social sustainability: How to prevent an artificial divide in human computer interaction

⁷² D'Aleo, V., & Sergio, B. S. (2017). Human factor: The competitive advantage driver of the EU's logistics sector

⁷³ M. Klumpp e C. Ruiner, «Artificial intelligence, robotics, and logistics employment: The human factor in digital logistics

avvicinando in questo momento al mondo del lavoro, l'utilizzo della IA sicuramente ha portato anche ad una variazione di quelle che sono le richieste del mercato e secondo alcune fonti, pure alla sostituzione di intere figure professionali che saranno sostituiti da software che potranno svolgere le medesime attività con un tasso di errore più basso ed in maniera più costante⁷⁴.

Di conseguenza l'impatto che avrà il progresso tecnologico dell'IA sul contesto lavorativo ha un impatto sul futuro per quanto riguarda anche l'occupazione degli studenti universitari, non solo avendo un impatto su quella che è la pianificazione di carriera ma pure come ostacolo sul raggiungimento di determinati obiettivi professionali, aumentando di conseguenza le preoccupazioni in termini di occupazione futura⁷⁵.

Se gli individui stessi presentano un'elevata percezione del rischio, portano ad una serie di esiti negativi, tra i quali tendono a fare delle scelte lavorative maggiormente conservative, vivendo situazioni stressanti e di angoscia durante il processo di ricerca di lavoro, elementi che possono comportare effetti negativi sull'attività di pianificazione della carriera da parte dell'individuo⁷⁶.

Situazione contraria che si verifica quando il rischio occupazionale è ridotto, rende gli individui più inclini ad esplorare nuovi settori ad assumere impegnative e dota anche con una maggiore sensibilità nel senso di iniziativa e di spirito di indipendenza durante il processo di ricerca del lavoro.

Brougham e Haar hanno identificato quali sono le sfide tecnologiche collegate con la IA derivanti dall'intelligenza artificiale, suddividendo in 3 categorie di ricerca, il primo fa riferimento a comportamenti positivi dei lavoratori o studenti, come un aumento dell'esplorazione della carriera⁷⁷.

Il secondo invece presenta degli aspetti positivi sul piano psicologico, come un

⁷⁴ D. Brougham e J. Haar, «Smart Technology, Artificial Intelligence, Robotics, and Algorithms

⁷⁵ Yam, K. C., Tang, P. M., Jackson, J. C., Su, R. K., & Gray, K. (2023). The rise of robots increases job insecurity and maladaptive workplace behaviors: Multimethod evidence. *Journal of Applied Psychology*

⁷⁶ Lingmont, D. N. J., & Alexiou, A. (2020). The contingent effect of job automating technology awareness on perceived job insecurity: Exploring the moderating role of organizational culture. *Technological Forecasting and Social Change*,

⁷⁷ Kong, H. Y., Yin, Z. H., Chon, K., Yuan, Y., & Yu, J. H. (2023). How does artificial intelligence (AI) enhance hospitality employee innovation? The roles of exploration, AI trust, and proactive personality

aumento dal punto di vista motivazionale ed inerente all'apprendimento.⁷⁸

Come terzo elemento sono presenti anche degli elementi negativi a livello psicologico sotto il punto di vista occupazionale futuro per studenti e lavoratori, dove tra le difficoltà troviamo aspetti di difficoltà inerenti al processo decisionale di carriera ed ansia occupazionale, dovuto anche ad un aumento nel rischio occupazionale.⁷⁹

A livello di dati e di numeri, la ricerca condotta da parte di Yanlong Liang e Yun Zhai, ha dimostrato come l'impatto dell'intelligenza artificiale nel contesto lavorativo sia significativo dal punto di vista dell'ansia dovuta ad una eventuale riduzione dell'occupazione dei singoli lavoratori ed individui, presentando un Beta di 0,318 ed un Pvalue minore di 0,0001.

Questi dati iniziati supportano la seconda ipotesi, controllando la variabile indipendente (consapevolezza dell'impatto dell'IA), analizzando l'effetto della variabile matriciale (ansia correlata con occupazione) sulla variabile dipendente (percezione del rischio occupazionale).

Dall'analisi mostrata è emerso come l'ansia occupazionale presenta un aumento significativo sulla percezione del rischio occupazionale, (con un Beta 0,217; pValue<0,001).

Sulla base di questi dati e di quelli riportati sotto, è emerso che l'effetto della consapevolezza dell'impatto dell'IA mediato all'ansia di occupazione è pari al valore di 0,4375, associato ad un intervallo di confidenza pari al 95%, portando ad un effetto diretto pari al 0,3696⁸⁰.

Dal punto di vista pratico, i risultati della ricerca condotta hanno dimostrato come sia assolutamente prioritario modificare quella che è la percezione degli studenti riguardo l'utilizzo dell'intelligenza artificiale, al fine di ridurre stress ed ansia, potendo promuovere un atteggiamento maggiormente positivo in termini di progresso tecnologico, facendo attenzione pure non solo verso figure entry level,

⁷⁸ Xu, Liu, & Li, 2025

⁷⁹ Ahmad, S. F., Han, H. S., Alam, M. M., Rehmat, M. K., Irshad, M., Arraño-Muñoz, M., & Ariza-Montes, A. (2023). Impact of artificial intelligence on human loss in decision making, laziness and safety in education.

⁸⁰ Y. L. Y. Zhai, «The impact of artificial intelligence impact awareness on college students' employment risk perception: A moderated mediation model; 2025

ma bensì anche figure che sono già presenti da svariato tempo all'interno del contesto organizzativo ed aziendale.

È fondamentale pure agire su quelle che sono delle politiche di orientamento, per rafforzare e supportare quelle che potrebbero essere le richieste lavorative del futuro, già presenti nelle job description di adesso, ed infine rafforzare le politiche di orientamento ad obiettivi di apprendimento per poter aiutare studenti e lavoratori a ridurre il livello di incertezza e la percezione del rischio.

La transizione che sta subendo attualmente il contesto logistico, come vari altri contesti operativi presenti nel mondo del lavoro, non è solo dovuta ad una transizione dovuta all'intelligenza artificiale ed all'internet of things, ma bensì porta i suoi effetti anche in contesti riguardanti attività di sorveglianza, arrivando pure al punto di Workforce Analytics predittiva, ovvero un sistema di data mining che non ha solo lo scopo di profilare ed osservare il lavoro che viene condotto dall'organizzazione, ma bensì un'analisi maggiormente predittiva in termini di modelli che possono essere applicati nel business di riferimento⁸¹.

Questo tipo di evoluzione porta ad un concetto di normalizzazione per quanto riguarda il monitoraggio invasivo, comportando un'esposizione eccessiva per il lavoratore, il rischio più critico però viene interpretato come “function creep”, ovvero il livello di deriva funzionale della sorveglianza, nata di base per esigenze importanti in termini di sicurezza o di efficienza, arrivando però al punto di eccedere quella che è la sfera lavorativa del singolo lavoratore⁸².

Un esempio che può essere riportato che incarna perfettamente questa situazione è l'utilizzo di sensori GPS che hanno la funzione di monitorare i cambiamenti biometrici all'interno del corpo umano, come anche lo stato fisico oppure le dinamiche interpersonali, al fine di ridurre il livello di autonomia sia individualmente che a livello di collettivo.

Per prendere di riferimento l'articolo che tratta i casi studio di Amazon e di Walmart, è stato riportato che quello che viene condotta all'interno di queste due multinazionali è una sorveglianza algoritmica, dando origine a situazioni di “augmented Despotism”, ovvero di dispotismo aumentato, dovuto dal fatto che queste due aziende hanno creato un Panopticon digitale dove il monitoraggio costante porta ad un livello maggiore da parte dei dipendenti sotto i punti di vista della autodisciplina, apportando pure un miglioramento della psiche e del comportamento⁸³.

⁸¹ Adams-Prassl J., What If Your Boss Was an Algorithm? Economic Incentives, Legal Challenges, and the Rise of Artificial Intelligence at Work

⁸² Ebert I., Wildhaber I., Adams-Prassl J., Big Data in the Workplace: Privacy Due Diligence as a Human Rights-Based Approach to Employee Privacy Protection, in Big Data & Society, 8, 1, 2021

⁸³ Filcams VGIL Bologna and others v Deliveroo Italia SRL, Court of Bologna, RG 2949/2019, ord. 12.31.2020

Alcuni strumenti che vengono utilizzati per monitorare e meccanizzare il ritmo del lavoratore all'interno della sua mansione possono essere:

- Scanning o braccialetti elettronici: fa riferimento a strumenti che portano l'uomo ad essere una macchina, riducendolo a non avere un'operatività discrezionale
- Algoritmi ADAPT: ovvero fanno riferimento a sistemi che automatizzano i processi disciplinari, tramite l'aiuto dell'algoritmo riesce a percepire le pause di pochi secondi, generando poi di conseguenza sanzioni, completamente in assenza dell'intermediazione umana, eliminando poi la flessibilità dovuta al rapporto gerarchico che è presente
- Burn out and replace: fa riferimento al livello di turnover che sono presenti all'interno dell'azienda, specialmente per quanto riguarda amazon raggiunge il livello del 150% annuo, si tratta ovviamente di un dato che non significa il fallimento da parte dell'azienda ma bensì una caratteristica del sistema interno del magazzino, che sostituisce ciclicamente la forza lavoro all'interno dei magazzini⁸⁴

La direzione che sta prendendo attualmente alcune politiche di digitalizzazione in termini di sorveglianza presentano un fenomeno nuovo in tale senso, senza precedenti e che sia una novità in tal senso, tra le seguenti possiamo trovare:

- Livello di sorveglianza eccessiva: alcune figure interne a determinati tipi di aziende presentano una sproporzione per quanto riguarda la percezione del controllo.
- Atomizzazione del lavoro: il monitoraggio che viene condotto impatta significativamente sul punto di vista della dimensione sociale all'interno del lavoro; sempre tramite il report presente dove vengono trattate le politiche di Amazon e di Walmart riportano che il 47% di forza lavoro di Amazon ed invece il 45% di Walmart dichiarano di evitare certe tipi di comunicazioni per evitare di incorrere in penalità, la problematica che si presenta a seguito di quanto riportata impatta dal punto di vista organizzativo ed anche a livello di solidità dal punto di vista sindacale

⁸⁴ Couzigou I., Towards a State-Private Actor Partnership in Securing Cyberspace, in Research Centre for Constitution and Public International Law Working Paper Series, 2, 2019

- Peggioramento psicofisico: oltre il 50% dei lavoratori riporta che ha difficoltà nell'accesso ai servizi igienici a causa dell'alto livello di produttività e di lavoro richiesto

L'analisi condotta critica e rivela che tramite l'introduzione che è stata riportata da provider esterni dal punto di vista tecnologico connesso con la sorveglianza interferisce con la natura "intuitu personae" all'interno del contratto di lavoro.

L'algoritmo che viene introdotto agisce come una figura di responsabilità di medio livello, dove spesso però non è chiaro neanche da parte delle persone che lo utilizzano come viene svolto il calcolo tramite algoritmo e come poi prende decisioni in merito, figura di riferimento nel seguente contesto può essere condotto da parte dello stato di proteggere i vari lavoratori da interferenze di terze parti che non sono interne all'azienda, che spesso definiscono le condizioni di lavoro senza però preoccuparsi o assumersi responsabilità legali direttamente imputabili a loro, anche se dovrebbero.

Esistono diverse attività o azioni che possono essere condotte per far fronte a situazioni di questo tipo, tra le seguenti possiamo trovare:

- Trasparenza Contextual: non basta più spiegare perché vengono condotte attività di controllo così rigide, ma bensì è necessario svolgere attività di trasparenza universale ai fini di comprendere il reale funzionamento dietro i processi di machine learning presenti nell'intelligenza artificiale, come vengono gestiti gli algoritmi e come funzionano le logiche decisionali che sono automatizzate
- Attività di negoziazione che riguardino l'algoritmo: effettuare una migliore contrattazione collettiva in modo che dal punto di vista del controllo sia maggiormente limitata ed abbia un livello di autonomia che è ridotta
- Accountability: gli interessi dal punto di vista economico da parte dell'azienda non possono essere preferiti in relazione ad una soglia minima di trasparenza e di responsabilità, portando ad un maggior livello di tale responsabilità da parte di chi fornisce strumenti dotati di questo tipo di tecnologia

In caso di assenza di approcci di questo tipo, L'IA potrebbe continuare ad operare tramite strumenti estremamente efficienti in termini di controllo ma utilizzabili

come vettori di nuova tecnologia⁸⁵.

3.3.3 Responsabilità decisionale degli algoritmi

L'evoluzione nel contesto dell'intelligenza artificiale ha portato a nuovi percorsi per ottenere nuove informazioni e nuova conoscenza dai dati della catena di

⁸⁵ OXFAM, «At Work and under watch: SURVEILLANCE AND SUFFERING AT AMAZON

approvvigionamento, portando a nuove soluzioni per quanto riguarda la previsione della domanda⁸⁶, ed in nuovi contesti come la previsione dei ritardi e la scoperta di esigenze necessarie all'interno dell'azienda.

Se da un lato scoprire nuove opportunità in tale ambito, sicuramente ha portato a diverse problematiche per quanto riguarda le figure dei manager sotto il punto di vista decisionale, definita anche come Black box.

Non comprendere realmente i modelli di ML a scatola nera comporta ad una mancanza di fiducia e di riluttanza a rendere integrati nel contesto lavorativo tecnologie di questo tipo all'interno dei processi decisionali⁸⁷.

Nel contesto attuale le aziende sono ancora in fase di sperimentazione dell'intelligenza artificiale, proprio per gli impatti che potrebbe avere in termini di cambiamento della cultura organizzativa e la gestione del cambiamento, l'adattamento verso l'IA presenta un ruolo cruciale in termini di valori e condivisioni degli obiettivi.

I problemi che sono legati alla scatola nera in termini di percezione dell'affidabilità fanno riferimento ad elementi chiave da dover risolvere, dove l'obiettivo dei professionisti nel seguente contesto è di comprendere il reale funzionamento delle soluzioni che vengono offerte dall'IA a livello pratico.

I risultati che appaiono dall'utilizzo di modelli Black-box sono sicuramente più deludenti rispetto invece a modelli che presentano white-box⁸⁸; mostrando dei risultati sicuramente più chiari che presentano anche maggiormente trasparenza sempre per gli stessi risultati.

Con un aumento della trasparenza può portare pure ad un aumento dell'accettazione in termini di comprensione e di accettazione dell'intelligenza artificiale, soprattutto in tutti i processi che sono altamente automatizzati dove c'è una supervisione ridotta da parte del lavoratore⁸⁹.

⁸⁶ M. Soori, «Artificial Neural Networks in supply chain management,» p. 179, 02 11 2023.

⁸⁷ G. B. & A. B. Mateusz Wyrembek, «Causal machine learning for supply chain risk prediction and intervention planning

⁸⁸ Che cos'è una scatola bianca,» LENOVO

⁸⁹ Chatterjee, S., Chaudhuri, R., Vrontis, D. AI and digitalization in relationship management: Impact of adopting AI-embedded CRM system

L'obiettivo in situazioni di questo tipo dovrebbe essere di stabilire una responsabilità effettiva per i risultati che vengono ottenuti verso l'intelligenza artificiale, soprattutto per quando l'intelligenza artificiale presenta determinate errori di valutazione e di risultato⁹⁰.

Per poter apportare comunque un miglioramento generale già approfondito nei capitoli precedenti di effettuare una corretta formazione dei dipendenti sui meccanismi dietro l'IA⁹¹.

Un aspetto fondamentale da tenere in considerazione in questo contesto deriva dal fatto che l'adozione dell'IA è strettamente legata alla digitalizzazione ed alla standardizzazione dei processi, dove le imprese sfruttano interfacce digitalizzate, adottando sistemi di gestione e si concentrano sulla lean manufacturing risultano facilitate⁹².

Dall'altra parte i processi di standardizzazione e digitalizzazione sono identificati come delle conseguenze dell'adozione dell'IA, passaggio necessario per coglierne i benefici.

Sono presenti diverse pratiche dove è presente una maggiore omologazione delle pratiche svolte dall'intelligenza artificiale, una maggiore standardizzazione dei processi ed una semplificazione per quanto riguarda la comunicazione.

La letteratura in tale ambito, riporta anche l'importanza dell'intelligenza artificiale in tale ambito, pensando che l'esito sia quello di apportare dei miglioramenti proprio in termini decisionali per quanto riguarda le figure manageriali, grazie ad un supporto analitico migliore, ed una maggiore velocità sempre nel contesto analitico. Attività di questo tipo che sembrano riguardare solo l'aspetto manageriale, sono applicabili pure in termini di operazioni interne, che vadano dall'approvvigionamento fino alla distribuzione⁹³, dove le figure che maggiormente rimangono responsabili sono i manager stessi, che fanno l'utilizzo di tali software,

⁹⁰ Leberruyer, N., Bruch, J., Ahlskog, M., Afshar, S., 2023. Toward Zero Defect Manufacturing with the support of Artificial Intelligence—Insights from an industrial application

⁹¹ Flath, C.M., Stein, N., 2018. Towards a data science toolbox for industrial analytics applications.

⁹² Leoni, L., Ardolino, M., El Baz, J., Gueli, G., Bacchetti, A., 2022. The mediating role of knowledge management processes in the effective use of artificial intelligence in manufacturing firms

⁹³ Hasija, A., Esper, T.L., 2022. In artificial intelligence (AI) we trust: A qualitative investigation of AI technology acceptance

seguendo quelle che sono le linee guida dell'azienda.

Un'altra caratteristica in termini di progettazione organizzativa, definita anche come “organizational design”, deriva dall'utilizzo dell'IA in organizzazioni più piatte dove gli aspetti decisionali sono decentrati⁹⁴, vi è anche da riportare che la decentralizzazione decisionale porta a conflitti in termini di dati, portando un impatto molto importante in termini di efficienza dell'IA.

Apportare cambiamenti di questo tipo dal punto di vista organizzativo, non riguarda solamente un aspetto riguardante le singole responsabilità interne, ma bensì una modifica proprio in termini di struttura, supportati dall'inserimento di meccanismi a livello di coordinazione interfunzionale supportati dalla tecnologia stessa, nonché lo sviluppo di nuove unità organizzative che si occupano solo della digitalizzazione stessa dell'azienda.

⁹⁴ Xia, H., An, W., Zhang, Z., Liu, G., 2022. Managing production systems with machine learning: a case analysis of Suzhou GCL photovoltaic technology

Capitolo 4: Analisi Empirica Su Intelligenza artificiale Applicata in Amazon

4.1 Metodologia della ricerca

4.1.1 Metodo Qualitativo

Per riuscire ad indagare a fondo sull'impatto che l'intelligenza artificiale apporta al sistema logistico delle aziende ed anche ai fini della gestione del personale, apportando una ricerca tramite un approccio di tipo qualitativo, incentrato unicamente su un caso studio.

Al contrario della ricerca quantitativa, incentrata generalmente su numeri e generalizzazione statistica, la ricerca qualitativa ha lo scopo di riuscire a rispondere a delle domande più dal punto di vista strategico e comprendere il reale funzionamento, rispondendo a domande tipo “come?” o “perché”, al fine di analizzare determinati fenomeni che sono presenti nel contesto aziendale e lavorativo⁹⁵.

Lo sfruttamento di tecnologie come l'intelligenza artificiale nel settore logistico non viene considerato come un cambiamento dal punto di vista tecnologico isolato, ma bensì si tratta di una vera e propria variazione dal punto di vista sociotecnico che ridefinisce le routine nel contesto organizzativo.

Infatti, un approccio di tipo qualitativo permette di cogliere al migliore dei modi varie sfumature, andando oltre ai dati solo dal punto di vista numerico, ma bensì proprio comprendere i vari miglioramenti che sono stati apportati non solamente dal punto di vista dei numeri ma comprendere anche le sfide che si sono sviluppate nel contesto aziendale e come sono state superate.

Il caso studio sarà focalizzato su una sola realtà aziendale ma centrare nel settore logistico, ovvero Amazon, azienda che si pone come benchmark globale e fondante in termini di machine learning algoritmi predittivi e robotica, introducendo nel periodo recente anche intelligenza artificiale.

L'indagine che verrà condotta non mira esclusivamente ad una generalizzazione statistica, ma ad una generalizzazione analitica, con l'obiettivo è utilizzare le evidenze empiriche raccolte con la possibilità di validare, confutare ed arricchire

⁹⁵ Eisenhardt, 1989; Yin, 2018

modelli teorici già esistenti, raccontati nella letteratura, ponendo attenzione sul rapporto tra automazione intelligente e capitale umano.

4.1.2 Struttura dell'intervista

Per poter cogliere al meglio le evidenze empiriche all'interno dell'azienda di Amazon, lo strumento principale utilizzato è l'intervista semi-strutturata, difatti questa tipologia di intervista si trova in una posizione intermedia tra l'intervista rigida ed un colloquio meno strutturato, ovvero una serie di domanda rigide e predefinite che consentono di tenere una traccia di quella che sarà l'intervista, ma allo stesso tempo lascia una maggiore flessibilità per poter approfondire dinamiche inaspettate che consentirebbero di approfondire maggiormente qualche argomento rispetto ad un altro.

La traccia di riferimento dell'intervista presenta 9 domande, suddivise in quattro distinte macroaree, con lo scopo di guidare l'intervistato a fornire una panoramica macro-aziendale fino a fornire dettagli dal punto di vista operativo.

La suddivisione delle macroaree è la seguente:

1. Inquadramento strategico: domanda 1 e 5; questa sezione ha lo scopo di definire la timeline storica dell'adozione dell'IA all'interno di Amazon, ed identificare fattori strategici che consentono di guidare gli investimenti massicci che vengono svolti da parte del gruppo, chiedendo anche quale potrebbero essere i trend futuri di Amazon dal punto di vista tecnologico.
2. Ottimizzazione dei flussi e pianificazione: domanda 2, 3 e 9; nel seguente contesto l'attenzione viene posta sulla supply chain, dove le domande fanno riferimento al livello di efficacia dei modelli predittivi di machine learning che vengono applicati al forecasting della domanda ed alla gestione dell'inventario, verificando anche il livello di capacità di resilienza degli algoritmi nei picchi di lavoro, nonché anche il livello di efficacia della manutenzione predittiva
3. Tracciabilità ed efficacia nei processi: domanda 6 ed 8; In quest'area viene posta attenzione alla digitalizzazione dei processi di controllo, dove si analizza come l'IA consenta una maggiore visibilità end to end delle merci e come si trasformi la reportistica direzionale tramite il monitoraggio in tempo reale dei KPI, con l'obiettivo di intercettare metriche tangibili di ROI e riduzione dell'errore umano
4. Impatto sul fattore umano e sull'organizzazione delle mansioni: domanda 4 e 7;

quest'ultima sezione affronta la dimensione più sociotecnica dell'automazione, con l'obiettivo di comprendere in che misura la cooperazione uomo-macchina abbia sollevato il personale da mansioni che fisicamente vengono considerate logoranti e ripetitive, come attività di picking e di smistamento, al contempo ponendo un'analisi parallela sui piani aziendali di formazione del personale (upskilling) e lo sviluppo di nuove figure professionali specializzate in materia di IA.

L'intervista è stata condotta nel mese di Luglio 2026, rispettando i protocolli etici di ricerca e delle policy di riservatezza dell'azienda Amazon, il contenuto audio successivamente è stato trascritto e sottoposto ad un contenuto di tipo tematico, i cui risultati e le citazioni utilizzate sono state integrate all'interno dell'analisi del caso studio nel paragrafo successivo.

4.2 Caso studio: Amazon

4.2.1 Modello Organizzativo

Come introduzione all'intervista e per comprendere il reale utilizzo dell'IA all'interno della multinazionale di Amazon, la prima domanda posta è stata quella di farmi spiegare dove venisse utilizzata la IA, in quali contesti e soprattutto da quanto tempo.

A partire dalla sua fondazione, la struttura organizzativa di Amazon è basata attorno al principio della "Customer Obsession", traducibile in un concetto incentrato nella supply chain, orientata ad una minimizzazione del ciclo "click-to-ship" (il tempo che trascorre tra l'ordine online e l'uscita del pacco dal magazzino/centro di distribuzione) e nell'aumento della velocità con la quale si verifica la consegna dell'oggetto acquistato.

Come emerso dall'intervista condotta, l'adozione dell'IA all'interno di Amazon presenta un'esperienza oltre che decennale, per la precisione di 13 anni, orientata principalmente alla robotica di magazzino e nell'automazione come primo grande driver di cambiamento, tramite l'acquisizione nel 2012 di Kiva Systems per la cifra di 775 milioni di dollari, rappresentando un cambio di direzione dal punto di vista tecnologico di rilevanza mondiale per l'azienda.

Le variazioni apportate in questo processo di trasformazione evidenziano l'impatto dal punto di vista dello scaling a livello di infrastrutture robotiche ed anche dal punto di vista degli investimenti previsti:

"L'IA in modo strutturato opera in quattro aree operative principali da oltre un decennio [...]. Si è partiti con circa 1.000 robot nel 2013, scalando a 750.000 entro il 2023, fino a raggiungere 1 milione di robot a giugno 2025. Le strutture di nuova generazione, come quella di Shreveport (Louisiana), utilizzano 10 volte più robot rispetto ai design precedenti. Amazon prevede 40 magazzini intelligenti entro il 2027, con un risparmio stimato di 2-4 miliardi di dollari annui e un aumento della produttività del 25%."

L'analisi condotta in questa prima parte dell'intervista ha rivelato che le spese in conto capitale (capex) dell'azienda registrino una crescita aziendale esponenziale, passando da una cifra di 83 miliardi di dollari nel 2024, fino a 100 miliardi nel 2025, per poi raddoppiare tale cifra fino a 200 miliardi nel 2026, spese sostenute quasi interamente per infrastrutture che agiscono con il supporto della IA ed in chip

proprietari.

La struttura logistica che agisce tramite il supporto di Intelligenza artificiale all'interno di Amazon, non è limitata esclusivamente alla gestione dei magazzini interni, ma si estende anche alla gestione della fase end-to-end della supply chain, sfruttando il sistema SCOT.

Il sistema di Supply Chain Optimization Technology (SCOT) garantisce all'azienda tramite il supporto di IA la visibilità in tempo reale di oltre 400 milioni di SKU al giorno.

4.2.2 Utilizzo dell'IA nei processi logistici

Per quanto riguarda l'implementazione dell'intelligenza artificiale negli aspetti più operativi di Amazon investe la totalità dei flussi logistici, esistono 3 macro-classi dove avviene un impatto importante.

La prima area da analizzare fa riferimento alla previsione della domanda e sulla gestione delle scorte, dove i metodi statistici tradizionali basati sulle serie storiche lineari mostrano delle limitazioni dei prodotti che sono privi di uno storico di livello oppure di situazioni dove sono presenti di variabilità della domanda.

Questa problematica è stata superata da Amazon tramite un sistema chiamato "Foundation Models" che presentano delle capacità definite "zero-shot" che consente la capacità di stimare le vendite di determinati prodotti che però presentano uno storico pregresso di vendite molto debole in termini di dati.

"A differenza degli approcci tradizionali basati su serie storiche e regressioni lineari, il motore di Amazon utilizza un ensemble di modelli multipli che si adattano automaticamente al contesto specifico [...]. In termini di accuratezza, si registrano miglioramenti del 20% nella precisione delle previsioni rispetto ai metodi tradizionali, con riduzioni dell'errore di forecast che raggiungono il 30-50% nelle implementazioni più mature."

In termini di impatto a livello di gestione del magazzino, i dati empirici mostrano benefici tangibili:

Mettere tabella fatta da excel

La seconda macro-classe di riferimento riguarda alla resilienza operativa nei picchi di domanda e di tracciabilità; durante eventi dove il volume delle vendite è estremamente elevato (Black Friday; cyber Monday e Natale), definiti internamente come il "Super Bowl di Amazon", a subire il maggior numero di sollecitazioni provenienti dall'esterno è la Supply Chain.

Tramite l'integrazione dell'architettura Trasformer dentro il sistema SCOT e tramite l'utilizzo di modelli che sfruttano IA generativa per creare dati sintetici che simulano scenari di picco, consentono di attuare ad Amazon una strategia di "Anticipatory Shipping", consentendo così di avvicinare maggiormente l'inventario al cliente finale.

In termini di impatti e di risultati, nei servizi last mile, l'utilizzo di Modelli che sfruttano IA sequence to sequence ha consentito di ridurre l'errore di previsione dal 18% al 13,9%, grazie alla combinazione di modelli predittivi e del tracciamento distribuito ha portato alla riduzione della distanza media percorsa dai pacchi del 65%, dando così la possibilità ad Amazon di consegnare nel 2024 più di 9 miliardi di articoli entro le 24 ore (40% delle consegne globali in Same-day o overnight).

L'ultima macro-classe invece fa riferimento alla reportistica in real time e manutenzione predittiva; dove l'automazione si estende al tracciamento a livello della qualità e del flusso operativo tramite visori e telecamere intelligenti.

Gli strumenti utilizzati da Amazon in questi contesti sono PackScan ed AR-ID, ovvero telecamere ad alta velocità che scansionano automaticamente i pacchi durante la movimentazione, azzerando le scansioni manuali e alimentando dashboard aggiornate al secondo per i responsabili del magazzino.

Per invece le attività di Manutenzione predittiva vengono utilizzati degli strumenti chiamati "Amazon Monitron", ovvero dei sensori IoT dotati di vibrazione e scansione di temperatura su nastri trasportatori e bracci robotici che permette all'IA di apprendere una baseline di normale funzionamento e segnalare anomalie prima del guasto effettivo.

Le risultanze dell'intervista quantificano l'efficacia di tale approccio:

"L'implementazione di Monitron ha permesso di ridurre i fermi macchina non pianificati del 69%, un risultato che ha un impatto diretto sulla capacità dell'azienda di consegnare gli ordini ai clienti nei tempi promessi. [...] A livello di settore, la manutenzione predittiva basata su IA può ridurre i costi totali di manutenzione del 25-30%."

4.2.3 Impatto su capitale umano, formazione e ridefinizione del lavoro

Grazie all'introduzione di oltre 1 milioni di soluzioni robotiche a supporto del personale ha trasformato la natura del lavoro all'interno del Fulfillment center di Amazon, smentendo la sostituzione del lavoro umano a favore della tecnologia, portando anche delle modifiche alle competenze del personale e le attività di formazione.

Tramite la collaborazione tra l'intelligenza artificiale e la robotica avanzata, ha consentito una riduzione in termini di compiti e mansioni per una riduzione di compiti e di attività fisicamente gravosi, ripetitivi e soprattutto ad alto impatto fisico sotto il punto di vista degli infortuni.

Tramite l'utilizzo della robotica Mobile (Hercules, Proteus) consente il trasporto di carrelli pesanti e pod di inventario, azzerando camminata continua sotto sforzo di spinta manuale.

Tramite computer vision chiamate "Sparrow", "Robin" e "Cardinal", consente l'automazione in termini di Picking e stoccaggio fino al 65% e tramite modelli basati su IA di ergonomia algoritmica, consentono il posizionamento del lavoro nella "power zone" dell'operatore, evitando flessioni o piegamenti rischiosi.

Cambiando ambito e passando alla formazione, Amazon ha strutturato un piano di investimento massiccio a livello di capitale umano all'interno del programma "Future Ready 2030" (investimento di 2,5 miliardi di dollari per formare un numero vicino a 50 milioni di persone, oltre ad altri 700000 dipendenti già riqualificati nel 2019).

I percorsi di formazione selezionati da parte dell'azienda sono i seguenti:

- Machine Learning University (MSU): formazione posteriore all'università che prevede un percorso di 6 settimane per imparare l'utilizzo dei software interni ad Amazon
- Mechatronics e Robotics Apprenticeship (MRA): programma di formazione ideato per tecnici in ambito meccatronico nel quale è previsto pure un incremento a livello salariale del 23% dopo la fase teorica e del 26% successivo alla fase pratica, che comporta un aumento salariale di circa 21.500 mila euro all'anno.

Tramite questo aggiornamento in termini di robotica dell'azienda ha consentito pure lo sviluppo di nuove carriere e lo sviluppo di nuovi ruoli, emersi a seguito di tale cambiamento, come tecnici di manutenzione robotica, specialisti di controllo di flusso, ingegneri dell'automazione e figure interfaccia cliente-IA come i team di AWS Forward Deployed Engineering.

I dati riportati nell'intervista hanno dimostrato come il 60% dei dipendenti che interagisce quotidianamente con IA e robotica percepisce un impatto positivo a livello di sicurezza e di supporto, oltre che in termini di opportunità di carriera, facendo presente che la collaborazione uomo-macchina in cui la tecnologia assume l'esecuzione di compiti più gravosi, consentendo però all'uomo di mantenere una supervisione strategica e la gestione delle anomalie.

4.3 Discussione risultato e risultanze Empiriche

4.3.1 Analisi empirica dei dati e codifica tematica

Per garantire il massimo rigore scientifico all'indagine sul campo e procedere a un'elaborazione oggettiva del materiale informativo raccolto, la trascrizione dell'intervista condotta presso Amazon è stata sottoposta a un processo di Analisi Tematica (Thematic Analysis) ed elaborata mediante il software CAQDAS (Computer Assisted Qualitative Data Analysis Software) ATLAS.ti.

La scelta di adottare uno strumento di analisi qualitativa assistita risponde all'esigenza di superare una lettura puramente descrittiva del testo, consentendo di strutturare le informazioni grezze in un sistema organizzato di codici, categorie e relazioni concettuali. Il flusso di lavoro applicato all'interno del software si è articolato in tre fasi sequenziali:

- First-Cycle Coding (Codifica Primaria e Descrittiva): scomposizione del testo dell'intervista in unità di significato minime (Quotations) ed etichettatura tramite codici primari legati direttamente alle terminologie e ai concetti chiave emersi (es. [Predictive_Maintenance], [Forecast_Accuracy], [Upskilling_Programs]).
- Second-Cycle Coding (Categorizzazione in Code Groups): aggregazione sintetica dei codici affini all'interno di quattro macrocategorie tematiche (Code Groups) coincidenti con le direttrici strategiche della ricerca.
- Network Analysis (Costruzione delle Reti Concettuali): mappatura grafica e concettuale delle relazioni di causa-effetto, associazione e dipendenza tra l'adozione delle diverse tecnologie di IA, l'impatto sui KPI logistici e la riorganizzazione delle risorse umane.

Dal punto di vista del Code Book di ricerca, tramite l'applicazione della codifica sono stati estratti 12 codici importanti, distinti successivamente in 4 macrocategorie tematiche.

La tabella sottostante riporta la struttura del Code Book generato, evidenziando la frequenza delle citazioni ed il relativo significato all'interno del caso studio.

Code Group (Macro-Tema)	Codici Associati (Codes)	Frequenza (Quotations)	Descrizione / Evidenza Empirica
ARCHITETTURA TECNOLOGICA & INFRASTRUTTURA	[CapEx_Infrastructure] [Agentic_AI] [Proprietary_Hardware]	14	Misura l'orientamento agli investimenti massivi in capitale (\$200B Capex) e la transizione verso modelli di IA agentic autonoma e hardware proprietario (chip Trainium)
	[Forecast_Accuracy] [Inventory_Optimization] [Predictive_Maintenance]	18	Mappa l'impatto diretto sui KPI operativi: abbattimento degli errori di forecast (30-50%), taglio dei costi di fulfillment (25-35%) e riduzione dei fermi macchina con Monitron (-69%).
EVOLUZIONE SOCIO- TECNICA & CAPITALE UMANO	[Ergonomics_Safety] [Upskilling_Programs] [Role_Redefinition]	16	Rileva il passaggio dal lavoro gravoso manuale a ruoli tecnici ad alto valore aggiunto. Evidenzia il calo degli infortuni gravi (-70%) e l'impatto dei programmi di formazione (<i>Future Ready 2030</i> , <i>MRA</i>).
RESILIENZA & SUPPLY CHAIN INTEGRATION	[Anticipatory_Shipping] [Peak_Resilience] [Computer_Vision_Tracking]	12	Evidenzia la capacità degli algoritmi (<i>SCOT</i> , <i>PackScan</i>) di gestire i picchi di stress della rete (Black Friday) e ridurre la distanza media di percorrenza dei pacchi (-65%).

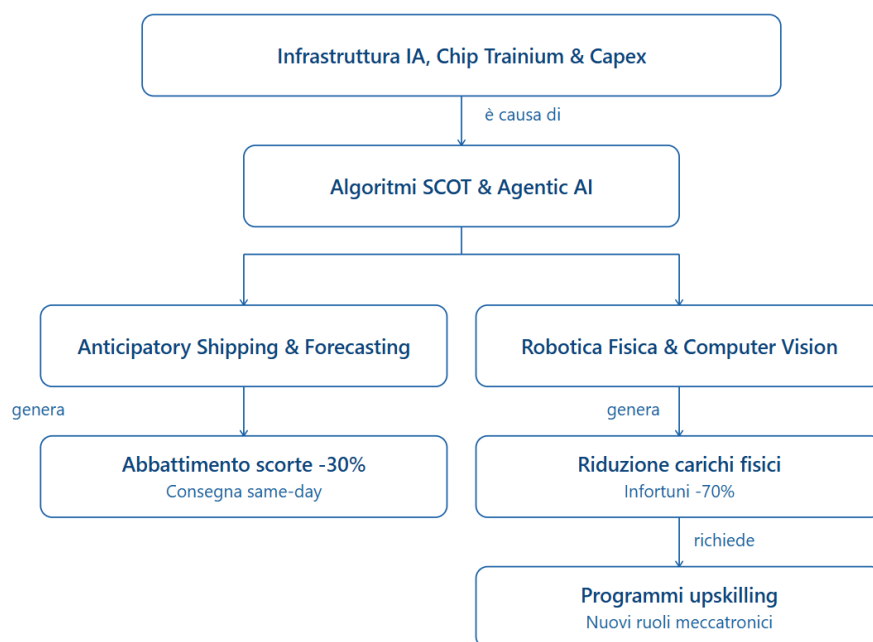
Per quanto riguarda la mappatura delle domande significative, a seguito della struttura di codifica, tramite il software di atlas.ti, è stato possibile estrarre i passaggi testuali più significativi, i quali sono necessari per andare a comporre l'evidenza empirica primaria della ricerca:

- Domanda 1 (macrotema [CapEx_Infrastructure])→ La spesa in conto capitale cresce da 83 miliardi (2024) → 100 miliardi (2025) → 200 miliardi di dollari (2026), trainata principalmente dall'IA.
- Domanda 2 (macrotema [Forecast_Accuracy])→ Il cuore del sistema è un foundation model [...] capace di generare previsioni anche per prodotti nuovi privi di storico, grazie a capacità cosiddette 'zero-shot' [...], con riduzioni dell'errore di forecast che raggiungono il 30-50% nelle implementazioni più mature.
- Doamnda 3 (macrotema [Upskilling_Programs])→ Gli apprendisti ricevono formazione retribuita in aula e sul campo, con un aumento salariale del 23% dopo

la fase teorica e un ulteriore 26% dopo quella pratica, per un guadagno aggiuntivo medio di 21.500 dollari annui.

- Domanda 4 (macrotema [Ergonomics_Safety])→ Siti con robotica presentano tassi di incidenti registrabili e di infortuni con perdita di tempo rispettivamente del 15% e del 18% inferiori [...]. Negli ultimi sei anni, il tasso globale di infortuni con perdita di tempo lavorativo è migliorato del 70%.
- Domanda 5 (macrotema [Predictive_Maintenance])→ L'implementazione di Monitron ha permesso di ridurre i fermi macchina non pianificati del 69%, un risultato che ha un impatto diretto sulla capacità dell'azienda di consegnare gli ordini ai clienti nei tempi promessi.

L'ultimo livello di elaborazione condotto su ATLAS.ti ha riguardato la costruzione della Network Analysis, ovvero la rappresentazione grafica delle relazioni logiche intercorrenti tra i diversi codici. Come illustrato nella figura sottostante, l'analisi empirica dimostra che l'implementazione dell'Intelligenza Artificiale in Amazon non segue un percorso lineare, bensì una struttura a rete in cui la dimensione tecnologica determina e condiziona direttamente sia la performance operativa che l'evoluzione del capitale umano.



Dall'analisi della rete emergono tre legami concettuali chiave:

- Relazione di Causalità Diretta (is cause of / leads to): Gli investimenti massivi nell'infrastruttura di calcolo proprietaria (Trainium) costituiscono il presupposto abilitante per l'esecuzione degli algoritmi predittivi (SCOT) e per il coordinamento della robotica di magazzino (Sequoia, Sparrow).
- Relazione di Risultato Operativo (results in): L'adozione della Computer Vision e dei modelli predittivi non produce solo efficienza nei tempi di spedizione, ma impatta direttamente sulle condizioni di lavoro, riducendo drasticamente il tasso di infortuni (-70%) grazie all'eliminazione delle movimentazioni pesanti manuali.
- Relazione di Dipendenza Organizzativa (requires): La presenza capillare della robotica e della manutenzione predittiva richiede contestualmente la creazione di nuovi profili professionali (tecnici mecatronici, manutentori predittivi), rendendo i programmi di Upskilling ed Apprenticeship una condizione necessaria per la sostenibilità del modello logistico.

4.3.2 Confronto critico tra evidenze empiriche e letteratura scientifica

L'elaborazione dei dati emersi dal caso studio Amazon e la relativa codifica qualitativa consentono di instaurare un dialogo critico con la letteratura scientifica presentata nei primi capitoli. L'obiettivo è verificare in che misura l'evidenza empirica confermi o reinterpreti i modelli teorici consolidati in materia di logistica, automazione e lavoro.

Il confronto è basato in 3 punti cruciali.

Dal punto di vista del superamento della disoccupazione tecnologica, la letteratura classica sull'economia del lavoro ha spesso evidenziato il rischio di disoccupazione tecnologica, collocando la movimentazione merci e picking tra le mansioni a più impatto di automazione⁹⁶.

I dati reali di Amazon ridimensionano la prospettiva della sostituzione diretta, avvalorando i modelli di complementarità evolutiva e riallocazione delle mansioni (Acemoglu & Restrepo, 2019; Autor, 2015). L'introduzione di oltre 1 milione di unità robotiche e di sistemi come Sparrow e Robin non ha azzerato l'apporto umano, ma ne ha trasformato la natura fisica:

Transizione verso il Cobot: L'operatore si sposta dalle attività ad alta gravosità manuale verso ruoli di supervisione, risoluzione delle anomalie e gestione dei flussi.

Upskilling e Sicurezza: I percorsi di formazione aziendali (come il programma Mechatronics & Robotics Apprenticeship) garantiscono rilevanti incrementi salariali (+23% post-teoria e +26% post-pratica). Parallelamente, l'ergonomia algoritmica ha contribuito a ridurre del 70% gli infortuni gravi negli ultimi sei anni. La tecnologia agisce dunque sulla qualità e riconversione del lavoro, convertendo mansioni operative non qualificate in posizioni tecniche ad alto valore aggiunto.

Dal punto di vista della gestione delle scorte, nei modelli tradizionali di operations management, la gestione delle scorte è storicamente basata su serie storiche e formule di lotto economico, mostrando forti limiti di fronte a prodotti privi di storico o picchi di imprevisti di domanda.

⁹⁶ Frey & Osborne, 2017; Brynjolfsson & McAfee, 2014

L'architettura SCOT di Amazon segna un salto di paradigma rispetto alla teoria classica:

- **Previsione Zero-Shot:** L'uso di Foundation Models e algoritmi agentici consente di stimare la domanda di nuovi prodotti anche in assenza di dati pregressi.
- **Anticipatory Shipping:** L'infrastruttura algoritmica posiziona preventivamente le merci nei depositi di quartiere prima ancora che l'ordine venga effettuato.

Questo passaggio riduce l'errore di forecast del 30-50% e abbatta i livelli di inventario del 20-30%, validando le teorie recenti sulla Smart Supply Chain⁹⁷ e trasformando la logistica da reattiva a predittiva e neurale.

Per quanto riguarda invece l'aspetto della continuità operativa, la letteratura sul World class manufacturing, suddivide tradizionalmente la manutenzione in correttiva e preventiva, con conseguenti inefficienze o costi di sostituzione precoce. Tramite l'applicazione di Amazon Monitron concretizza il paradigma della manutenzione predittiva, guidata da ML. Apprendendo la baseline di funzionamento dei componenti, l'IA riesce a segnalare eventuali anomalie prima che si verifichi l'interruzione del servizio riducendo i fermi di macchina non pianificati del 69%. La continuità operativa si conferma così per la preconditione fondamentale per sostenere i ritmi di consegna veloci dell'e-commerce moderno.

⁹⁷ Wamba et al., 2020

4.3.3 Validazione dei dati con metriche del settore e trend quantitativi

Al fine di validare le dichiarazioni aziendali e conferire vigore scientifico alla ricerca condotta, i dati emersi dall'intervista sono stati sottoposti ad una triangolazione metodologica.

Questo processo mette a confronto evidenze di tipo qualitative, del caso studio con i report di benchmark delle società di consulenza (McKinsey e Gartner) e tramite dati finanziari ed ESG ufficiali di Amazon.

Il primo dei 3 assi quantitativi principali riguarda la previsione della domanda e la regionalizzazione dei flussi.

Tramite un'indagine empirica condotta, è emersa una contraddizione dell'errore di forecast compresa tra il 30% ed il 50% ed una riduzione del 65% delle distanze medie percorse dai pacchi:

- **Benchmark di Settore:** Gli studi di McKinsey & Company evidenziano che l'introduzione di algoritmi di advanced analytics nella supply chain porta mediamente a una riduzione degli errori di previsione del 30-50% e a un calo dei costi logistici generali del 15%.
- **Regionalizzazione della Rete:** L'abbattimento delle distanze percorse riflette la riorganizzazione della rete Amazon in 8 regioni autonome. I dati ufficiali dell'azienda confermano che l'ottimizzazione algoritmica ha consentito di evadere fino all'80% degli ordini all'interno della stessa regione di appartenenza del cliente, rendendo economicamente sostenibili i servizi Same-Day e Next-Day Delivery.

Per quanto riguarda aspetti della affidabilità degli impianti, i dati di manutenzione predittiva, svolti da Amazon Monitron, e sulla sicurezza dei lavoratori trovano un riscontro diretto nelle rilevazioni tecniche e di settore.

Ambito di Performance	Dati Empirici (Caso Studio Amazon)	Benchmark / Validazione di Settore	Fonte di Riconfro
Riduzione fermi macchina	-69% (tramite Monitron)	-50% / -70% di downtime industriale non programmato	AWS Technical Report / Gartner Analytics
Ammortamento investimento (ROI)	Raggiunto in < 1 anno nei primi 25 centri di distribuzione	Media di settore per progetti IoT/ML: 18-24 mesi	McKinsey Industry 4.0 Report / AWS Case Studies
Riduzione infortuni gravi	-70% in 6 anni (tasso LTI)	Trend medio nel settore warehousing: -15% / -25%	Bureau of Labor Statistics (BLS) / Report ESG Amazon
Costi di Fulfillment	Riduzione dell'unità di costo di circa 25-35%	Guadagno medio di efficienza con robotica: 20-30%	Q4/FY Financial Statements Amazon

La rapida saturazione del ROI (sotto l'anno) dimostra come l'integrazione tra sensori IoT economici e infrastruttura cloud renda la manutenzione predittiva una leva d'efficienza immediata, mentre il calo degli infortuni certifica l'efficacia dell'ergonomia robotica.

Dal punto di vista macroeconomico, i massicci investimenti in conto capitale di Amazon gestiti trovano conferma nei bilanci ufficiali dell'azienda, dove la validazione quantitativa mostra che l'elevata spesa in CapeEx è bilanciata da una costante riduzione del costo operativo unitario per spedizione, scende di oltre 0,45 dollari per unità nei mercati futuri, mostrando come la robotica e l'intelligenza artificiale non costituiscono meri costi operativi, ma investimenti infrastrutturali strutturati, capaci di generare elevati economie di scala nel lungo periodo.

Conclusione

Il percorso di analisi sviluppato in questo elaborato ha permesso di ricostruire, in modo progressivo, il rapporto tra intelligenza artificiale e settore logistico, muovendo da una prospettiva teorica generale fino ad un'analisi empirica concreta condotta sul caso Amazon.

Dal punto di vista teorico, il lavoro ha evidenziato come l'adozione dell'intelligenza artificiale nella logistica non possa essere ridotta ad una semplice innovazione tecnologica, ma debba essere interpretata come un vero e proprio processo di cambiamento organizzativo, che coinvolge la struttura, la cultura e le competenze delle aziende che decidono di intraprenderlo. I modelli di change management analizzati nel primo capitolo, unitamente all'evoluzione storica della logistica, hanno mostrato come ogni salto tecnologico sia sempre stato accompagnato da una trasformazione, spesso complessa, del modo di lavorare e di organizzare i processi produttivi e distributivi.

L'approfondimento condotto nel secondo capitolo sulle applicazioni dell'intelligenza artificiale, dalla previsione della domanda all'ottimizzazione dei trasporti, fino alla gestione intelligente delle scorte ed all'automazione dei magazzini, ha permesso di apprezzare l'ampiezza e la trasversalità di queste tecnologie, capaci di intervenire su ogni fase della catena logistica.

Il terzo capitolo, dedicato agli impatti organizzativi, ha invece messo in luce come l'introduzione dell'intelligenza artificiale comporti inevitabilmente una trasformazione delle competenze richieste ai lavoratori, oltre a generare fenomeni di resistenza al cambiamento che le aziende devono saper gestire attraverso una formazione adeguata ed una comunicazione interna trasparente, senza tralasciare le implicazioni etiche e sociali connesse a temi delicati come l'occupazione, la privacy ed il controllo digitale.

L'analisi empirica condotta nel quarto capitolo attraverso il caso studio su Amazon ha fornito un riscontro concreto rispetto ai modelli teorici presentati nei capitoli precedenti. Le evidenze raccolte hanno mostrato come l'introduzione massiccia di robotica e sistemi di intelligenza artificiale non abbia comportato una sostituzione

integrale del lavoro umano, quanto piuttosto una sua riconversione verso mansioni a maggior valore aggiunto, orientate alla supervisione, alla gestione delle anomalie ed al coordinamento dei processi, in linea con i modelli di complementarità evolutiva richiamati nella letteratura sull'economia del lavoro. Allo stesso modo, l'adozione di architetture predittive avanzate per la gestione della domanda e delle scorte, così come di sistemi di manutenzione predittiva, ha confermato il ruolo dell'intelligenza artificiale quale leva strategica per la continuità operativa e per l'efficienza complessiva della supply chain.

Nel complesso, i risultati ottenuti confermano l'ipotesi di partenza secondo cui l'intelligenza artificiale rappresenta oggi molto più di un semplice strumento di efficientamento operativo: essa costituisce un fattore abilitante di trasformazione organizzativa, capace di ridisegnare processi, ruoli e competenze all'interno delle aziende logistiche. Al tempo stesso, l'indagine ha evidenziato come il successo di questa trasformazione dipenda in larga misura dalla capacità delle organizzazioni di accompagnare il cambiamento tecnologico con adeguate politiche di gestione del personale, di formazione continua e di attenzione alle implicazioni etiche e sociali che ne derivano.

Il presente lavoro, pur basandosi su un unico caso studio e non potendo quindi pretendere una generalizzazione statistica dei risultati ottenuti, offre comunque spunti di riflessione utili sia per il mondo accademico che per quello professionale, contribuendo ad arricchire il dibattito sulle modalità con cui le imprese possono affrontare, in modo consapevole e sostenibile, la trasformazione digitale del settore logistico. Ulteriori ricerche future potrebbero ampliare l'analisi ad un numero maggiore di casi aziendali, anche di dimensioni diverse, al fine di verificare la validità e la trasferibilità delle evidenze qui raccolte in contesti organizzativi differenti.

Bibliografia

- [1] twproject, «Il cambiamento organizzativo in Azienda,» n.d. [Online]. Available: <https://twproject.com>.
- [2] S. Chiara, «Mente Innovativa,» 08 04 2020. [Online]. Available: <https://menteinnovativa.com/innovazione-radicale-e-incrementale/>.
- [3] S. d. Qualitiamo, «Qualitiamo,» 15 1 2026. [Online]. Available: https://www.qualitiamo.com/articoli/Modello_di_Kotter.html.
- [4] T. Reverse, «Cos'è il Change Management e come gestire il cambiamento in azienda,» 27 07 2020. [Online]. Available: <https://blog.reverse.hr/change-management>.
- [5] S. Ghirardelli, «Change Management: come gestire il cambiamento in azienda,» 11 02 2025. [Online]. Available: <https://www.e-cons.it/news/change-management-come-gestire-il-cambiamento-in-azienda>.
- [6] A. Ottieri, «SECONDA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE E SOCIETÀ DI MASSA,» 22 10 2017. [Online]. Available: <https://italianostoriablogsite.wordpress.com/2017/10/22/seconda-rivoluzione-industriale-e-societa-di-massa-appunti-sintetici/>.
- [7] C. Cerruti, «La nascita, l'affermazione del sistema di produzione di massa,» [Online]. Available: <https://digilander.libero.it/lean.it/nascita%20e%20affermazione%20della%20produzione%20di%20massa.htm>.
- [8] F. Sghezzi, «Tra taylorismo e fordismo: il lavoratore».
- [9] E. d. Rauso, «Taylorismo, Fordismo e Toyotismo: le tre più grandi Rivoluzioni del lavoro,» 24 05 2020.
- [10] A. Accornero, «Dal fordismo al post-fordismo: il lavoro e i lavori,» 1 04 2001.
- [11] R. Perez, «L'evoluzione della logistica dall'inizio del XX secolo a oggi,» 16 5 2023.
- [12] T. EsseLogistics, «La logistica: cos'è, le sue origini e il suo ruolo oggi,» 20 05 2001.
- [13] E. Aztori, «La regionalizzazione delle supply chain: dal “just in time” al “just in case”,» 9 09 2025.
- [14] M. Team, «just in time: definizione e vantaggi del modello gestionale lean,» 8 05 2019.
- [15] M. team, «La trasformazione digitale nella logistica,» 8 04 2020.
- [16] E. Zanardo, «Perché la digitalizzazione è fondamentale per la logistica italiana,» 5 09 2025.
- [17] M. Faioli, G. Fantoni e M. Mancini, «Lavoro ed organizzazione della logistica 4.0,» 2017/2018.
- [18] «. a. Wikipedia, «Wikipedia, «Intelligenza artificiale,»» [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Intelligenza_artificiale.
- [19] K. Warwick, «Intelligenza artificiale - le basi,» Dario Flaccovio Editore, 2015, p. 288.
- [20] M. Somalvico, «INTELLIGENZA ARTIFICIALE,» pp. 14-16.
- [21] T. M. K. A. N. R. a. T. H. Sara Landset, «A survey of open source tools for machine learning with big data,» pp. 1-5, 24 02 2015.
- [22] P. P. Shinde e D. S. Shah, «A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications,» pp. 1-5, 2018.
- [23] V. I. R. K. Y. K. V. M. Y. R. a. M. U. Tathagata Chakraborti, «From Robotic Process Automation to Intelligent Process Automation,» 27 6 2020.

- [24] L. A. T. S. J. v. S. D. K. Julia Siderska, «Towards Intelligent Automation (IA): literature review on the evolution of Robotic Process Automation (RPA),» pp. 91-94, 99-100, 20 11 2023.
- [25] K. A. Abuhasel, «AI-Driven Predictive Analytics for Demand Forecasting in Transportation Logistics to Enhance Supply Chain Agility,» pp. 1-6, 03 02 2026.
- [26] «REDUCING LOGISTICS COSTS THROUGH AI-POWERED DEMAND FORECASTING,» pp. 1-3.
- [27] Y. T. H. G. N. L. Guizhe Xin, «Optimization of urban freight intelligent route based on reinforcement learning,» pp. 1-3, 15-18, 23-25, 10 04 2026.
- [28] K. S. G. A. A. J. S. M. Madhav Khirwar, «Cooperative Multi-Agent Reinforcement Learning for Inventory Management,» pp. 1-9, 18 04 2023.
- [29] H. L. Lu ZHEN, «A literature review of smart warehouse operations management,» pp. 31-44, 1 9 2022.
- [30] B. T. a. C. C. Maarten van Geest, «Smart Warehouses: Rationale, Challenges and Solution Directions,» pp. 1,2 8-14, 27 Dicembre 2021.
- [31] J. R. Bárbara Ferreira, «ASystematic Literature Review on the Application of Automation in Logistics,» pp. 1-3; 10-12, 3 novembre 2023.
- [32] K. V. V. R. I. E. M. S. A. E. N. a. S. S. A. A. Alberto Borboni, «The Expanding Role of Artificial Intelligence in Collaborative Robots for Industrial Applications,» pp. 1-6, 13 Gennaio 2023.
- [33] M. F. F. F. M. S. M. M. B. a. M. D. A. Luca Pietrantoni, «Integrating collaborative robots in manufacturing, logistics, and agriculture: Expert perspectives on technical, safety, and human factors,» pp. 2-4; 12-14, 02 dicembre 2024.
- [34] L. N. T. a. T. N. D. Mathaba, «Applications of Industry 4.0 Technologies in Warehouse management,» pp. 6-12, 13 aprile 2023.
- [35] A. Green, «Artificial intelligence and the changing demand for skills in the labour market,» pp. 9-12, Aprile 2024.
- [36] F. F. M. D. A. G. P. D. G. Sofia Morandini, «THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON WORKERS' SKILLS: UPSKILLING AND RESKILLING IN ORGANISATIONS,» pp. 16-20; 24, 1 Febbraio 2023.
- [37] R. B.-o. W. M. S. P. e. P. T. S. Areesophonpichet, «Thai higher education institutions: Roles and challenges in attracting international talent to accelerate Thai competitiveness in the main economy and industry,»,» *International journal of learning, teaching and educational research*, pp. 145-164, 2024.
- [38] D. D. e. A. Solkhe, «Shaping skills: A qualitative dive into India's evolving skill development policies,» *Development Policy Review*, pp. 1-24, 2025.
- [39] L. Gamberini e P. Pluchino, «Industry 5.0: A comprehensive insight into the future of work, social sustainability, sustainable development, and career,» *Australian Journal of Career Development*, pp. 5-14.
- [40] S. Joseph, «Organizational workforce management in the digital age: The role of technocultural interventions in mitigating the negative impacts of AI-driven technological change,» *Archives of Current Research International*, pp. 148-166, 2024.
- [41] A. Makalesi, «Upskilling and Reskilling in the Logistics Sector: Insights from Human Resources Managers' Perspectives,» pp. 351; 357; 358; 360-362, 31 marzo 2026.
- [42] S. W. e. E. H. Grosse, «Logistics 4.0: A systematic review towards a new logistics system,» *International Journal of Production Research*, p. 14.
- [43] F. Sgarbossa, «Human factor in production and logistics systems of the future,» *Elsevier*, pp. 298-302, 16 maggio 2020.
- [44] C. R. L. e. B. Barry, «Stability and change as simultaneous experiences in organizational life,» 2000.
- [45] J. B. e. V. H. Hailey, «Exploring Strategic Change,» 2004.
- [46] R. Lines, «The structure and function of attitudes toward organizational change,» *Human Resource*

-] *Development Review*, p. 22, 2005.
- [47 R. M. Kanter, «Supporting innovation and venture development in established companies,» *Journal of Business Venturing*, p. 53, 1985.
- [48 E. B. D. e. S. G. Goldberg, «Challenging “resistance to change,» *he Journal of Applied Behavioral Sciences*, p. 34, 1999.
- [49 M. K. Hultman, «Change Irresistible: Overcoming Resistance to Change in Your Organization,» 1998.
- [50 L. Greenhalgh, «Managing the job insecurity crisis,» *Human Resource Management*, 1983.
-]
- [51 R. W. Griffin, «Management, 4a ed., Boston, MA: Houghton Mifflin Company,» 1993.
-]
- [52 L. H. e. J. P. Meyer, «Commitment to organizational change: Extension of a three-component model,» *Journal of Applied Psychology*, 2002.
- [53 A. H. Darmawan, «Resistance to Change: Causes and Strategies as an Organizational Challenge,» *Althantis press*, pp. 49-51, 17 1 2020.
- [54 G. White, «Planned change,» 1998.
-]
- [55 M. Berry, «The supply chain skills gap ai left behind,» MIT center for trasportation and logistics, 12 Maggio 2026. [Online]. Available: <https://ctl.mit.edu/news/supply-chain-skills-gap-ai-left-behind>.
- [56 S. Ferrari, «AI nella supply chain: come l’IA generativa sta trasformando la logistica,» *We Are Project*, 22 dicembre 2025.
- [57 M. F. e. I. Ajzen, «Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research,» 1975.
- [58 J. M. G. e. D. D. S. W. E. K. Lehman, « Assessing organizational readiness for change,» *Journal of Substance Abuse Treatment*, p. 201, 2002.
- [59 J. G. K. M. e. A. M. R. t. c. i. a. g. m. p. J. Newton, «Receptivity to change in a general medical practice,» *British Journal of Management*, p. 147, 2003.
- [60 B. I. D. I. G. W. e. X. W. H. Panetto, «Challenges for the cyber-physical manufacturing enterprises of the future,» *Annual Reviews in Control*, p. 200.
- [61 A. Bandura, «Exercise of human agency through collective efficacy,» p. 77, 2000.
-]
- [62 M. E. G. e. T. R. Mitchell, «Self-efficacy: A theoretical analysis of its determinants and malleability,» 1992.
- [63 B. J. Weiner, «A theory of organizational readiness for change,» *Implementation science*, pp. 2-4, 19 ottobre 2009.
- [64 M. Shrivastav, «Barriers Related to AI Implementation in Supply Chain Management,» *Journal of Global Information Management*, pp. 11-13, 29 Giugno 2025.
- [65 Y. J., « Information Sharing, System Feedback, and the Bullwhip Effect in AI-Driven Supply Chains,» *International Journal of Production Economics*, 2021.
- [66 E. Roger, «Diffusion of innovations,» 2021.
-]
- [67 M. & Z. H. Klumpp, «Logistics innovation and social sustainability: How to prevent an artificial divide in human computer interaction,» *Journal of Business Logistics*, p. 265, 2020.
- [68 D. V. e. S. B., «. Human factor: The competitive advantage driver of the EU's logistics sector,» *International Journal of production research*, 2017.
- [69 M. Klumpp e C. Ruiner, «Artificial intelligence, robotics, and logistics employment: The human factor in digital logistics,» *INVITED EDITORIAL*, pp. 297-299; 301, 11 Maggio 2022.
- [70 D. Brougham e J. Haar, «Smart Technology, Artificial Intelligence, Robotics, and Algorithms (STARA): Employees’ perceptions of our future workplace,» 24 Gennaio 2017.
- [71 P. M. T. J. C. J. R. S. e. K. G. K. C. Yam, «The rise of robots increases job insecurity and

-] maladaptive workplace behaviors: Multimethod evidence,» *Journal of Applied Psychology*, pp. 867-870, 2023.
- [72 D. N. J. L. e. A. Alexiou, «The contingent effect of job automating technology awareness on
] perceived job insecurity: Exploring the moderating role of organizational culture,» 2020.
- [73 Z. Y. K. C. Y. Y. e. J. Y. H. Kong, «How does artificial intelligence (AI) enhance hospitality
] employee innovation? The roles of exploration, AI trust, and proactive personality,» *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 2023.
- [74 R. K. B. M. H. S. H. S. Matthew Arnold, «Increasing trust on AI services through supplier's
] declaration of conformity,» 2019.
- [75 H. H. M. M. A. M. K. R. M. I. M. A.-M. e. A. A.-M. S. F. Ahmad, «Impact of artificial intelligence
] on human loss in decision making, laziness and safety in education,» *Humanities and Social Sciences Communications*, 2023.
- [76 Y. L. Y. Zhai, «The impact of artificial intelligence impact awareness on college students'
] employment risk perception: A moderated mediation model,» *Acta Psychologica*, pp. 3-5; 7-10, 2025.
- [77 A.-P. J., «What If Your Boss Was an Algorithm? Economic Incentives, Legal Challenges, and the
] rise of artificial intelligence at work,» *Comparative Labor Law And Policy Journal*, p. 123, 1 2019.
- [78 W. I. A.-P. J. Ebert I., «Big Data in the Workplace: Privacy Due Diligence as a Human Rights-
] Based Approach to Employee Privacy Protection, in Big Data & Society,» 8 1 2021.
- [79 *Tribunale di Bologna, Filcams CGIL Bologna e altri c. Deliveroo Italia SRL*, RG 2949/2019, ord.
] 12.31.2020..
- [80 C. I., «Towards a State-Private Actor Partnership in Securing Cyberspace, in Research Centre for
] Constitution and Public International Law Working Paper Series,» 2 2019.
- [81 OXFAM, «At Work and under watch: SURVEILLANCE AND SUFFERING AT AMAZON,» pp.
] 22; 30-32, 2022.
- [82 M. Soori, «Artificial Neural Networks in supply chain management,» p. 179, 02 11 2023.
]
- [83 G. B. & A. B. Mateusz Wyrembek, «Causal machine learning for supply chain risk prediction and
] intervention planning,» pp. 1-2, 29 Gennaio 2025.
- [84 «Che cos'è una scatola bianca,» LENOVO, [Online]. Available: <https://www.lenovo.com/>
]
- [85 S. C. R. V. Chatterjee, «AI and digitalization in relationship management: Impact of adopting AI-
] embedded CRM system,» 2022.
- [86 N. B. J. A. M. A. S. T. Z. D. Leberruyer, «Toward Zero Defect Manufacturing with the support of
] Artificial Intelligence—Insights from an industrial application,» 2023.
- [87 C. S. N. Flath, « Towards a data science toolbox for industrial analytics application,» 2018.
]
- [88 L. A. M. E. B. J. G. G. B. A. Leoni, «The mediating role of knowledge management processes in
] the effective use of artificial intelligence in manufacturing firms,» 2022.
- [89 A. E. T. Hasija, «In artificial intelligence (AI) we trust: A qualitative investigation of AI technology
] acceptance,» 2022.
- [90 H. A. W. Z. Z. L. G. Xia, «Managing production systems with machine learning: a case analysis of
] Suzhou GCL photovoltaic technology,» 2022.