

LUISS



Corso di laurea Economia & Management

Cattedra di Economia e gestione delle imprese

L'impatto dell'Intelligenza Artificiale sulla Supply Chain: Competenze e Strategie integrate

Prof.sa Maria Isabella Leone
Relatore

Riccardo Casavecchia
Candidato
274121

Anno accademico 2023/2024

A nonno, A Paolo

Sommario

<i>Introduzione</i>	4
<i>Capitolo 1. L'intelligenza artificiale e l'innovazione tecnologica</i>	6
1.1 Cos'è l'innovazione tecnologica?.....	6
1.2 Il ruolo dell'IA nell'innovazione tecnologica e il suo vantaggio competitivo	10
1.2.1 Definizione e concetti chiave dell'IA.....	10
1.2.2 Principali applicazioni dell'IA.....	12
<i>Capitolo 2. Strategie e Dinamiche della Supply Chain</i>	16
2.1 La Supply Chain	16
2.2 Il Supply Chain Management	20
2.3 La gestione strategica dei fornitori e del rischio nella Supply Chain	25
<i>Capitolo 3. Supply Chain & Intelligenza Artificiale: sfide e strategie</i>	30
3.1 Capacità abilitanti e migliorative dell'IA nella Supply Chain	30
3.2 Competenze necessarie per l'implementazione.....	38
3.3 Sfide e problematiche nell'implementazione.....	43
3.4 Formulazione di strategie integrate	52
<i>Capitolo 4. Applicazioni di successo dell'IA nella Supply Chain</i>	60
4.1 Il caso Walmart.....	60
4.1.1 Storia e Missione di Walmart.....	60
4.1.2 Innovazione in Walmart.....	62
4.1.3 Uso dell'IA in Walmart	65
4.2 Il caso Amazon	68
4.2.1 Storia e Missione di Amazon.....	68
4.2.2 Innovazione in Amazon	71
4.2.3 Uso dell'IA in Amazon	74
<i>Conclusioni</i>	78
<i>Bibliografia</i>	80
<i>Sitografia</i>	93

Introduzione

In questo elaborato si prefigge lo scopo di analizzare in profondità l'impatto dell'intelligenza artificiale sulla capacità di innovazione e competitività delle aziende, con particolare attenzione alla gestione della *Supply Chain*, un'area strategica fondamentale per il successo delle organizzazioni in un contesto di mercato sempre più dinamico e globalizzato. La crescente adozione dell'IA nelle imprese sta trasformando radicalmente il modo in cui vengono gestiti i processi aziendali, offrendo nuove opportunità per migliorare l'efficienza, ridurre i costi, ottimizzare la produttività e aumentare la capacità di rispondere rapidamente ai cambiamenti della domanda e dell'offerta.

L'obiettivo di questa analisi è triplice. In primo luogo, si intende comprendere gli effetti dell'IA sulla gestione della *Supply Chain*, esaminando come l'automazione e l'analisi avanzata dei dati possano migliorare l'efficienza, l'accuratezza delle previsioni e l'ottimizzazione dei processi lungo tutta la catena del valore.

In secondo luogo, si vuole fornire una visione chiara delle competenze necessarie per un'implementazione efficace dell'IA all'interno delle aziende. Sarà essenziale sviluppare abilità sia tecniche che gestionali per garantire il successo delle strategie basate sull'IA. Questo include la comprensione non solo dei vantaggi tecnologici offerti dall'automazione, ma anche delle competenze richieste per integrare queste tecnologie senza provocare inefficienze operative o fratture nei processi aziendali esistenti.

Inoltre, il lavoro esplorerà le principali sfide e problematiche che le aziende devono affrontare nell'adozione dell'IA, con particolare attenzione alle questioni etiche e di governance. L'uso di algoritmi complessi e sistemi di IA può influenzare le decisioni strategiche e operative, rendendo fondamentale una gestione responsabile di queste tecnologie. Garantire trasparenza, sicurezza e il rispetto delle normative sarà cruciale per mantenere la fiducia degli stakeholder e assicurare il successo a lungo termine.

Infine, si intende illustrare attraverso casi di studio pratici il successo di alcune delle maggiori aziende globali, come Walmart e Amazon, nell'adozione dell'IA per la gestione

della loro *Supply Chain*, evidenziando i risultati ottenuti e le lezioni apprese. Questi esempi concreti serviranno a dimostrare come l'IA possa diventare un vero e proprio motore di innovazione all'interno delle imprese, in grado di generare valore aggiunto non solo in termini economici ma anche in termini di impatto sociale e ambientale.

L'obiettivo finale di questo elaborato è, dunque, quello di offrire una panoramica completa e dettagliata su come l'intelligenza artificiale stia ridefinendo il panorama competitivo delle imprese, fornendo indicazioni utili per comprendere le dinamiche in atto e le opportunità che queste tecnologie possono offrire alle aziende che decidono di abbracciare l'innovazione tecnologica come parte integrante della loro strategia di crescita.

Capitolo 1. L'intelligenza artificiale e l'innovazione tecnologica

1.1 Cos'è l'innovazione tecnologica?

“L'innovazione è la produzione o l'adozione, l'assimilazione e lo sfruttamento di una novità che aggiunge valore nelle sfere economiche e sociali; il rinnovamento e l'ampliamento di prodotti, servizi e mercati; lo sviluppo di nuovi metodi di produzione; e l'istituzione di nuovi sistemi di gestione. È sia un processo che un risultato” (Crossan e Apaydin, 2010, p.47).

L'innovazione non è mai un fenomeno isolato, ma un processo lungo e cumulativo di un grande numero di processi decisionali organizzativi, che vanno dalla fase di generazione di una nuova idea alla sua fase di implementazione. La nuova idea si riferisce alla percezione di un nuovo bisogno del cliente o a un nuovo modo di produrre. Essa viene generata nel processo cumulativo di raccolta di informazioni, unito a una visione imprenditoriale sempre sfidante. Attraverso il processo di implementazione la nuova idea viene sviluppata e commercializzata in un nuovo prodotto vendibile o in un nuovo processo con conseguente riduzione dei costi e aumento della produttività. Inoltre, da un punto di vista sociale l'innovazione porta alla crescita dinamica dell'economia nazionale e all'aumento dell'occupazione, così come alla creazione di un profitto puro per l'impresa innovativa (Urabe, 1988). L'innovazione può essere supportata dalla tecnologia, che può essere definita come un sistema complesso composto da più di un'entità o sottosistema di tecnologie e da una relazione che esiste tra ciascuna entità e almeno un'altra entità nel sistema per raggiungere obiettivi specifici (Coccia e Watts, 2020).

La creazione di una nuova tecnologia è guidata dalle invenzioni di nuove cose e nuovi modi di fare le cose (che derivano dai progressi nella scienza di base e applicata) che vengono trasformate in innovazioni utilizzabili nei mercati per: soddisfare bisogni, raggiungere obiettivi, risolvere i problemi degli utenti che sfruttano importanti opportunità o affrontare minacce ambientali (Coccia, 2019). La tecnologia svolge un ruolo fondamentale nell'aumentare la produttività attraverso l'automazione dei processi, l'ottimizzazione delle operazioni e l'efficientamento delle risorse, oltre a favorire la

generazione di nuove idee attraverso l'accesso a informazioni e strumenti avanzati che stimolano la creatività e l'innovazione. L'utilizzo di tecnologie all'avanguardia può portare a nuovi modelli di business, prodotti e servizi innovativi che contribuiscono alla crescita economica e al progresso sociale (Broughel e Thierer, 2019).

L'innovazione tecnologica ha quindi acquisito un'importanza fondamentale ed è ad oggi il mezzo principale attraverso il quale le aziende possono raggiungere il successo competitivo. Quest'importanza crescente è anche dovuta alla globalizzazione dei mercati, in quanto la concorrenza straniera ha messo sotto pressione le aziende affinché innovino continuamente per produrre prodotti e servizi differenziati aiutandole così a proteggere i loro margini e, tramite gli investimenti nell'innovazione dei processi aiutarle a ridurre i loro costi. Per quanto ogni innovazione sia differente per definizione, ne esistono varie tipologie, ciascuna delle quali richiede conoscenze specifiche e con un impatto differente sul mercato di riferimento.

Le innovazioni di prodotto e di servizio riguardano l'output dell'organizzazione. Le innovazioni di processo, invece, possono modificare il modo in cui un'organizzazione opera, influenzando le tecniche di produzione o il marketing di beni e servizi, con l'obiettivo di migliorare l'efficacia o l'efficienza della produzione (Crossan e Apaydin, 2010). Queste due tipologie spesso si susseguono in quanto un nuovo prodotto può portare allo sviluppo di un nuovo processo.

Le innovazioni possono anche riguardare il modello di business, ovvero come un'azienda crea, vende e consegna valore ai suoi clienti (Davila, 2006). Un'innovazione radicale è un'innovazione completamente nuova e diversa rispetto alle soluzioni precedenti. Essa rappresenta un cambiamento significativo che introduce nuove conoscenze e spesso comporta rischi elevati a causa della mancanza di familiarità e di esperienza da parte di produttori e clienti riguardo la sua utilità o affidabilità. Le innovazioni radicali possono includere la creazione di nuove tecnologie o prodotti che cambiano significativamente il modo in cui qualcosa viene fatto o utilizzato, portando a una trasformazione radicale delle pratiche esistenti. Al contrario, un'innovazione incrementale implica un cambiamento relativamente minore rispetto alle pratiche esistenti. Si tratta di miglioramenti o

adattamenti di soluzioni già esistenti che non alterano significativamente la struttura o il funzionamento di un prodotto o di un processo. Questi miglioramenti sono spesso basati su conoscenze già presenti nell'azienda o nel settore e comportano meno rischi rispetto alle innovazioni radicali. Un esempio di innovazione incrementale potrebbe essere l'aggiunta di nuove funzionalità a un prodotto esistente o l'ottimizzazione di un processo produttivo per aumentarne l'efficienza (Ritala e Hurmelinna-Laukkanen, 2013).

È possibile effettuare un'ulteriore distinzione tra innovazioni potenzianti delle competenze ed innovazioni distruttive delle competenze. Le prime sono mirate al miglioramento delle competenze e si basano sulle conoscenze e sulle competenze esistenti. Il fatto che l'innovazione migliori o distrugga le competenze dipende dalla prospettiva considerata. Un'innovazione può portare forza ad un'azienda ma disgregazione ad un'altra. Le seconde invece non si basano sulle competenze e mirano a rendere quelle precedenti obsolete. Un'innovazione distruttrice può essere introdotta con maggior successo da nuovi entranti in quanto ha il potenziale di rendere obsolete le competenze delle rivali già presenti nel mercato (Tushman e Anderson, 2018). L'innovazione architetturale coinvolge la riorganizzazione di un sistema esistente creando nuovi collegamenti tra i suoi componenti. Questo tipo di innovazione può comportare cambiamenti significativi nel modo in cui le parti di un prodotto interagiscono tra loro, potenzialmente portando a nuovi standard di design nel settore. L'innovazione architetturale può abilitare un cambiamento radicale, modificando le regole di progettazione esistenti e ridefinendo l'intera struttura del prodotto. L'innovazione modulare si riferisce invece a miglioramenti nei singoli componenti di un sistema senza alterare la configurazione generale del sistema stesso. Questo tipo di innovazione introduce nuove tecnologie in specifici moduli o sottosistemi di prodotti esistenti, mantenendo invariata l'architettura complessiva del prodotto (Galunic e Eisenhardt, 2001).

La cultura dell'innovazione è l'atteggiamento di una società verso l'innovazione, il rischio imprenditoriale e il cambiamento. Serve a favorire la creatività, l'adozione di nuove idee e tecnologie, e a promuovere la crescita economica e il progresso sociale. Una cultura dell'innovazione aperta e favorevole all'impresa può contribuire a stimolare la ricerca, lo

sviluppo e l'adozione di nuove soluzioni e a mantenere la competitività a livello globale (Broughel e Thierer, 2019). La creatività è il motore fondamentale dell'innovazione, la quale consente a individui e organizzazioni di generare idee nuove e utili. Questo processo dipende da capacità intellettuali, conoscenze, stili di pensiero, tratti di personalità, motivazioni intrinseche e ambiente circostante (Lee e O'Mahony, 2023). L'innovazione può originare sia da inventori individuali che combinano diverse discipline e con una forte curiosità intellettuale, sia dagli utenti stessi che possono contribuire all'innovazione creando soluzioni per soddisfare i propri bisogni (Bhaskarabhatla e Cabral, 2021). Le attività di Ricerca e Sviluppo (R&S) delle imprese rappresentano un altro motore primario dell'innovazione, con le aziende che investono significativamente più risorse in R&S rispetto alle istituzioni governative. Anche le università hanno un ruolo cruciale nell'innovazione, non solo attraverso la ricerca di base ma anche attraverso il trasferimento tecnologico e la commercializzazione delle scoperte accademiche. I governi, invece, supportano l'innovazione attraverso finanziamenti per la R&S, la creazione di infrastrutture come parchi scientifici e incubatori, e promuovendo reti di collaborazione tra enti pubblici e privati. Infine, le reti collaborative giocano un ruolo significativo nell'innovazione, rappresentando una risposta complementare all'insicurezza derivante dallo sviluppo delle nuove tecnologie, facilitando una maggiore interazione tra attori diversi e riducendo le incertezze nell'innovazione. Il meccanismo chiave di queste reti è la cooperazione innovativa, che favorisce l'ottimale allocazione delle risorse e il trasferimento di conoscenze. Con l'aumentare della complessità tecnologica, le aziende sono spinte a entrare in nuove reti di conoscenza e innovazione, cruciali per lo scambio di informazioni e risorse. Le reti innovative possono fornire risorse complementari, promuovere la condivisione delle risorse e sono strutturate in termini di dimensione, densità e apertura, ciascuna con vantaggi specifici nell'innovazione collaborativa (Xie e Fang, 2016).

Riassumendo, l'innovazione è cruciale per la crescita economica a lungo termine poiché favorisce l'aumento della produttività, la scoperta di nuove idee e l'adozione di tecnologie avanzate. Essa consente alle economie di spostare il confine tecnologico, consentendo ai paesi "seguaci" di adottare nuove tecnologie e di beneficiare dalla crescita globale. L'innovazione tecnologica influisce significativamente sul PIL, aumentando la

produzione ottenibile con le stesse quantità di lavoro e capitale. Studi del *National Bureau of Economic Research*¹ hanno dimostrato che la crescita del PIL non può essere spiegata solo con l'aumento di lavoro e capitale, attribuendo la crescita residua al cambiamento tecnologico, questo concetto è noto come Residuo di Solow. Inoltre, l'innovazione contribuisce al progresso umano generale e al miglioramento delle condizioni di vita, anche se può comportare turbolenze a breve termine come la distruzione creativa che può portare a cambiamenti sconvolgenti, la perdita di posti di lavoro in settori obsoleti e la necessità di adattarsi a nuove condizioni di mercato (Broughel e Thierer, 2019).

1.2 Il ruolo dell'IA nell'innovazione tecnologica e il suo vantaggio competitivo

1.2.1 Definizione e concetti chiave dell'IA

L'Intelligenza Artificiale (IA) è diventata una parte integrante della nostra vita quotidiana, trovando applicazione in una vasta gamma di settori e influenzando profondamente il modo in cui viviamo, lavoriamo e interagiamo con il mondo che ci circonda. Il mercato generato dall'IA nel 2023 è stato di 196,63 miliardi di dollari² con una crescita annuale stimata del 36,6% fino al 2030, anno in cui dovrebbe raggiungere 1,81 trilioni di dollari. La prima definizione di IA risale al 1956 ed è ad opera di John McCarthy: “la scienza e l'ingegneria della realizzazione di macchine intelligenti³”, tuttavia con i progressi e con l'evoluzione della tecnologia il concetto iniziale di IA ha subito diverse modifiche fino ad arrivare a quella odierna:” lo studio di agenti che percepiscono il loro ambiente e intraprendono azioni che massimizzano le loro possibilità di raggiungere obiettivi definiti” (Russel e Norvig, 2016).

¹ Hall, R. E. (1989). *Invariance properties of Solow's productivity residual*.

² *Artificial Intelligence Market Size, Share & Trends Analysis Report By Solution, By Technology (Deep Learning, Machine Learning, NLP, Machine Vision, Generative AI), By Function, By End-use, By Region, And Segment Forecasts, 2024 - 2030*

³ Sutton, R. S. (2020). *John McCarthy's definition of intelligence*. *Journal of Artificial General Intelligence*, 11(2), 66-67.

L'intelligenza artificiale è formata da diversi concetti chiave che insieme ne costituiscono le basi. Il *Machine Learning* (ML) è un campo dell'intelligenza artificiale che si concentra sullo sviluppo di algoritmi e modelli che consentono ai computer di apprendere dai dati e migliorare le proprie prestazioni nel tempo senza essere esplicitamente programmati per compiti specifici. Il processo di apprendimento si basa sull'identificazione di modelli e relazioni nei dati, consentendo ai sistemi di fare previsioni o prendere decisioni in base a nuove informazioni. Queste previsioni sono possibili grazie all'utilizzo di algoritmi, ovvero insiemi di regole o processi utilizzati da un sistema di AI per svolgere attività: il più delle volte per scoprire nuovi *insight* e modelli di dati o per prevedere valori di *output* da un determinato insieme di variabili di *input*. In base alla tipologia di utilizzo degli algoritmi, esistono diversi tipi di apprendimento automatico, tra cui: il *machine learning* supervisionato, non supervisionato, semi-supervisionato e di rinforzo, ciascuno con approcci e applicazioni specifiche che consentono ai computer di acquisire conoscenze e migliorare le proprie capacità in modo autonomo (Janiesch e Zschech, 2021). Inoltre, il *Machine Learning* è essenziale per sviluppare sistemi intelligenti con capacità cognitive simili a quelle umane, che impattano settori come la produttività aziendale, l'*engagement* e la fidelizzazione dei dipendenti.

Un'altra branca fondamentale dell'IA è il *Deep Learning*: una tecnica di apprendimento automatico che si basa sull'addestramento di reti neurali artificiali profonde, composte da diversi strati di neuroni interconnessi, per estrarre automaticamente rappresentazioni complesse dei dati. Queste reti neurali profonde sono in grado di apprendere gerarchie di caratteristiche dai dati, consentendo loro di riconoscere modelli e relazioni complesse. Nel contesto dell'intelligenza artificiale, il *Deep Learning* svolge un ruolo cruciale poiché estremamente efficace nel risolvere problemi complessi come il riconoscimento di immagini, il riconoscimento del linguaggio naturale e la traduzione automatica (LeCun, 2015). Grazie alla sua capacità di apprendere direttamente dai dati e di adattarsi in modo autonomo, il *Deep Learning* ha rivoluzionato numerosi settori, tra cui la visione artificiale, il riconoscimento vocale, la guida autonoma e la medicina, portando a significativi progressi nell'ambito dell'intelligenza artificiale.

Il *Natural Language Processing* (NLP) è una raccolta di tecniche computazionali per l'analisi e la rappresentazione automatica dei linguaggi umani, motivata dalla teoria. Nell'intelligenza artificiale, il NLP è essenziale per consentire alle macchine di comprendere, interpretare e generare il linguaggio naturale. Serve a svolgere compiti come l'indicizzazione e la ricerca di testi, il recupero di informazioni, la classificazione dei testi, l'estrazione di informazioni e la traduzione automatica, portando alla comprensione del linguaggio umano da parte delle macchine (Chowdhary, 2020). Un esempio di NLP nell'Intelligenza Artificiale è l'uso di assistenti virtuali, come Amazon Alexa, Google Assistant e Apple Siri. Questi assistenti utilizzano tecniche NLP per comprendere e rispondere alle richieste degli utenti in linguaggio naturale.

L'ultimo concetto chiave dell'IA è la *Computer Vision*, che consente alle macchine di interpretare e comprendere il mondo visivo attraverso immagini e video. L'obiettivo è emulare le capacità del sistema visivo umano, permettendo ai computer di identificare e processare oggetti nello stesso modo in cui lo farebbe un essere umano. Le tecniche di *Computer Vision* includono il riconoscimento di pattern, l'analisi delle immagini, la segmentazione, il rilevamento e la classificazione degli oggetti. Questa tecnologia trova applicazione in vari settori, come la guida autonoma, la sorveglianza, l'analisi medica e la realtà aumentata, migliorando l'efficienza e l'accuratezza dei sistemi automatizzati.

1.2.2 Principali applicazioni dell'IA

L'intelligenza artificiale (IA) viene utilizzata in un'ampia gamma di tecnologie e applicazioni, molte delle quali sono integrate nella nostra vita quotidiana. Le sue capacità di apprendimento automatico, analisi predittiva, elaborazione del linguaggio naturale e visione artificiale offrono nuove opportunità e soluzioni innovative a problemi complessi. Nel 2024, il 65% delle aziende utilizza l'intelligenza artificiale, quasi il doppio rispetto all'anno precedente⁴. L'adozione dell'IA da parte di queste aziende è stimata portare

⁴ *The state of AI in early 2024: Gen AI adoption spikes and starts to generate value, McKinsey.*

benefici significativi, come la riduzione dei costi e un incremento dei ricavi superiore al 6% annuo.

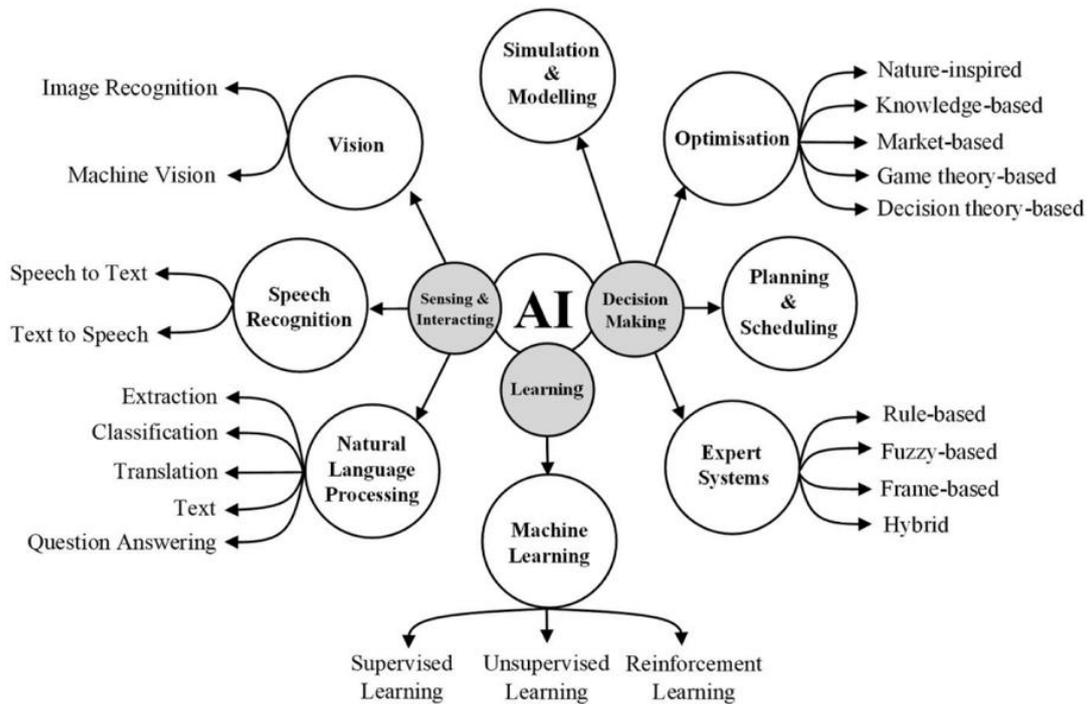


Figura 1, Tecnologie *blockchain* per risolvere le sfide della *Supply Chain*. Gohil, D., & Thakker, S. V. (2021).

L'IA viene utilizzata in molti settori all'interno di un'azienda, migliorando efficienza, precisione e *decision-making*, sta rivoluzionando la gestione della *Supply Chain*, migliorando efficienza, precisione e processo decisionale in molti settori aziendali. Attraverso l'uso di algoritmi avanzati e modelli predittivi, l'IA consente di passare da un approccio reattivo a uno proattivo, anticipando le esigenze e adattando le strategie di approvvigionamento e distribuzione in tempo reale. Inoltre, l'IA supporta la gestione dei dati massicci generati dalla *Supply Chain*, consentendo un'analisi approfondita per identificare tendenze, rischi e opportunità, e facilitando la presa di decisioni informate e tempestive. La *Supply Chain* si trasforma così in un sistema intelligente e dinamico, in grado di adattarsi rapidamente alle mutevoli condizioni del mercato e migliorare l'efficienza complessiva delle operazioni logistiche (Toorajipour e Sohrabpour, 2021).

Nel *marketing*, il ruolo dell'Intelligenza Artificiale è fondamentale poiché consente ai *marketer* di comprendere meglio i clienti attraverso l'analisi dei dati e l'elaborazione di informazioni dettagliate sui comportamenti e sulle preferenze dei consumatori. Grazie

all'AI, è possibile creare messaggi personalizzati e mirati, migliorare l'efficacia delle campagne di *marketing* e ottimizzare le strategie di comunicazione per massimizzare il coinvolgimento degli utenti e aumentare le vendite. Inoltre, il *Machine Learning* consente alle aziende di segmentare il mercato in modo più preciso, prevedendo le tendenze future e adattando dinamicamente le proprie strategie di marketing in base ai cambiamenti nel comportamento dei consumatori, garantendo così una maggiore rilevanza e un impatto più significativo delle iniziative (Haleem e Javaid, 2022).

L'IA svolge un ruolo significativo anche nelle vendite grazie alla capacità di fornire raccomandazioni personalizzate ai clienti, gestire prezzi dinamici per adattarsi alle esigenze specifiche dei compratori, supportare i venditori durante le interazioni con i clienti, implementare chatbot per rispondere alle domande dei clienti in modo efficiente, e creare profili dettagliati dei clienti per migliorare la comprensione delle esigenze e dei comportamenti dei clienti (Fischer e Seidenstricker, 2022). Inoltre, può automatizzare compiti ripetitivi, supportare i venditori umani nelle decisioni complesse, migliorare l'efficienza complessiva del processo di vendita e analizzare i dati dei clienti per fornire consigli in tempo reale sulle strategie di marketing e ottimizzare i processi aziendali.

L'IA ha un ruolo significativo anche nel *recruitment* in quanto in grado di automatizzare compiti di routine come lo screening dei CV, l'analisi dei dati per decisioni basate sui dati e il riconoscimento di parole chiave per la selezione dei candidati migliori (Ore e Sposato, 2022).

Nel reparto finanziario, L'AI viene impiegata attraverso tecniche classiche e moderne come modelli matematici, *deep learning* e ottimizzazione per analizzare dati finanziari e comportamenti di *trading*. L'analisi dei dati finanziari coinvolge fonti eterogenee come testi, transazioni di *trading* e notizie, mentre lo sviluppo strategico richiede ottimizzazione e implementazione di piani per le organizzazioni finanziarie. L'utilizzo del *Machine Learning*, tramite le reti neurali profonde e i modelli di apprendimento supervisionato e non supervisionato, offre opportunità per analizzare i mercati e migliorare le strategie nel settore finanziario (Cao, 2022). Infine, nella ricerca e sviluppo l'IA viene utilizzata per accelerare la produzione di idee e aumentare la produttività degli scienziati e ingegneri attraverso l'adozione di tecniche di *deep learning*. Oltre a ciò, l'uso

dell'IA nella ricerca e sviluppo richiede investimenti maggiori, il che può portare a un'accelerazione del cambiamento tecnologico e della crescita economica (Besiroglu e Emery-Xu, 2024).

In conclusione, l'adozione dell'IA rappresenta una svolta significativa per le aziende, trasformando non solo il modo in cui operano, ma anche il loro approccio all'innovazione e alla competitività. Con la capacità di analizzare dati complessi, automatizzare processi e prevedere tendenze, l'IA sta ridefinendo i confini di numerosi settori e, nonostante richieda risorse significative, offre ritorni in termini di efficienza, precisione e crescita economica. Alla luce di quanto discusso finora in questo capitolo, dove abbiamo esplorato il ruolo fondamentale dell'IA nell'innovazione tecnologica e nel vantaggio competitivo, nel prossimo capitolo andremo ad approfondire le capacità innovative dell'IA applicate alla *Supply Chain*. Questo ci permetterà di comprendere come l'IA non solo ottimizzi i processi logistici, ma anche abiliti nuove modalità operative che rafforzano ulteriormente il vantaggio competitivo delle aziende. L'obiettivo sarà di analizzare come queste capacità si traducono in una gestione più efficiente e reattiva delle catene di fornitura, evidenziando l'impatto pratico dell'IA nella trasformazione delle operazioni aziendali.

Capitolo 2. Strategie e Dinamiche della *Supply Chain*

2.1 La *Supply Chain*

La *Supply Chain*, o catena di approvvigionamento, è un sistema integrato in cui diverse entità aziendali: fornitori, produttori, distributori e rivenditori, collaborano per gestire il flusso di materie prime, semilavorati e prodotti finiti fino alla consegna al cliente finale. Questo processo include la gestione del flusso di materiali verso il cliente e il flusso di informazioni di ritorno lungo tutta la catena, permettendo una pianificazione e coordinazione efficaci per soddisfare la domanda del mercato in modo efficiente ed economico (Beamon, 1998).

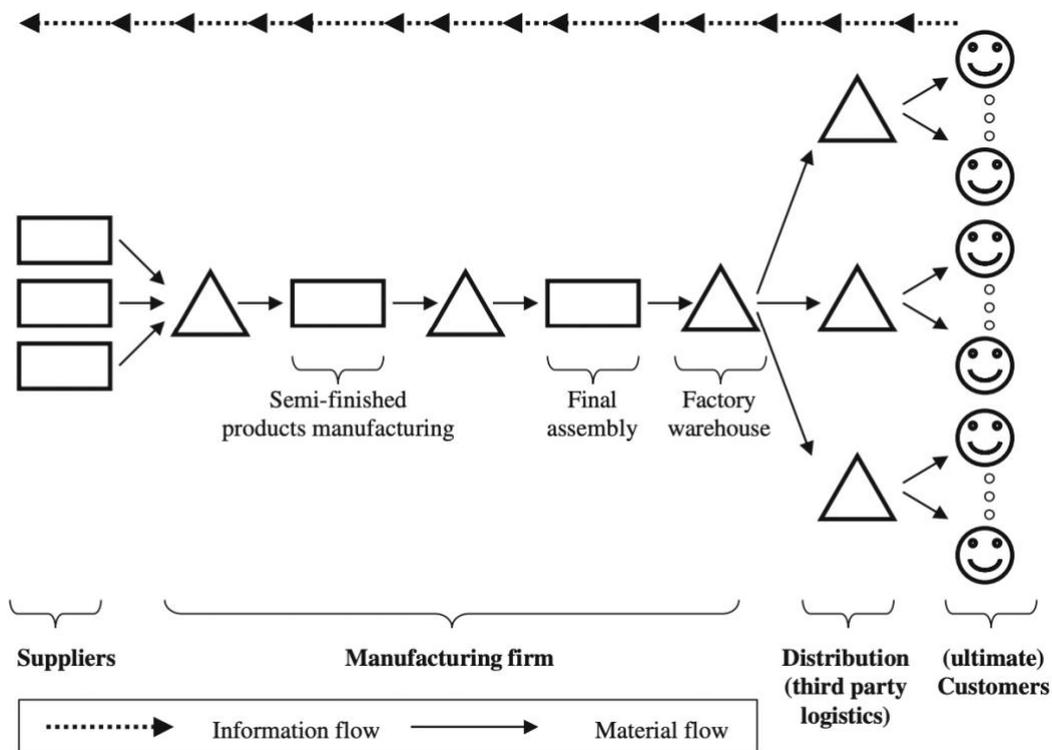


Figura 2. Esempio di *Supply Chain*. Stadtler, H. (2014).

Questo processo richiede un coordinamento accurato delle varie attività, tra cui la produzione, la gestione dell'inventario e il flusso delle informazioni, per ottimizzare l'efficacia operativa e soddisfare la domanda di mercato. Ogni funzione della *Supply Chain* gioca un ruolo cruciale nel mantenere l'equilibrio tra domanda e offerta, ridurre i costi e migliorare la qualità del servizio al cliente.

Riguardo alla produzione, le aziende devono decidere cosa produrre, quanto produrre e quando farlo, basandosi sulle previsioni della domanda e sulla capacità produttiva. Questo richiede una pianificazione dettagliata che consideri i limiti degli impianti, la necessità di bilanciare il carico di lavoro, il controllo qualità e la manutenzione degli impianti. Una produzione ben pianificata assicura che le risorse siano utilizzate in modo efficiente e che i prodotti siano disponibili quando richiesti. Nell'era dell'Industria 4.0, la produzione sta diventando sempre più automatizzata e interconnessa grazie all'integrazione di tecnologie avanzate come *l'Internet of things (IoT)*, la robotica e l'IA (Dolgui e Ivanov, 2019). L'inventario nella *Supply Chain* è cruciale per garantire la disponibilità dei prodotti necessari a soddisfare la domanda dei clienti, gestisce le fluttuazioni tra domanda e offerta, riducendo il rischio di esaurimento delle scorte e ottimizzando i costi di stoccaggio (Lee e Hau, 1992). Una gestione efficiente dell'inventario non solo previene gli *stock-out*, ma migliora anche l'efficienza operativa complessiva, riducendo i costi legati a giacenze eccessive o insufficienti. Per raggiungere un equilibrio ottimale, le aziende utilizzano tecniche avanzate come la gestione *just-in-time (JIT)*, che riduce al minimo l'inventario mantenendo la capacità di soddisfare la domanda. Questa tecnica si basa sulla produzione e approvvigionamento di materiali solo quando sono necessari, riducendo così i costi di magazzino e aumentando l'efficienza operativa.

L'implementazione di tecnologie avanzate come la *blockchain*, l'IoT e i sistemi di inventario intelligenti può significativamente migliorare la gestione della *Supply Chain*. La *blockchain* offre un sistema sicuro e trasparente per le transazioni, riducendo il rischio di frodi e aumentando la fiducia tra le parti coinvolte in quanto ogni transazione viene registrata in un registro immutabile, migliorando la tracciabilità e la sicurezza (Mondol, 2021). L'IoT consente invece il monitoraggio in tempo reale delle scorte e delle operazioni, permettendo alle aziende di reagire rapidamente a eventuali problemi o variazioni nella domanda. Sensori intelligenti possono raccogliere dati continui sullo stato delle scorte e dei macchinari, migliorando la manutenzione predittiva e la gestione delle risorse.

La globalizzazione ha spinto numerose aziende a espandere le loro operazioni oltre i confini nazionali, portandole a localizzare le loro catene di fornitura per rispondere meglio alle esigenze dei mercati emergenti. La localizzazione della *Supply Chain* non è solo una questione di spostamento fisico delle attività produttive, ma richiede anche un cambiamento istituzionale. Questo processo coinvolge la costruzione di nuove infrastrutture, l'adattamento a normative locali e la collaborazione con attori istituzionali e altre parti interessate (Wu e Jia, 2018). Una localizzazione strategica delle catene di fornitura può offrire vantaggi significativi in termini di efficienza operativa e competitività nel mercato globale, riducendo i tempi di consegna e i costi di trasporto. Localizzare le *Supply Chain* consente inoltre una maggiore rapidità di immissione sul mercato, diminuisce le dipendenze globali e rafforza la collaborazione con i fornitori locali. Questo permette alle aziende di mitigare rischi e incertezze, migliorando la loro resilienza complessiva.

Un'altra componente cruciale delle *Supply Chain* è il trasporto, poiché influenza direttamente la velocità di consegna, i costi operativi e l'efficienza complessiva della logistica. Esso collega i vari segmenti della *Supply Chain*, dall'approvvigionamento delle materie prime alla consegna dei prodotti finiti. Una gestione ottimale consente di ridurre i tempi di consegna, migliorare la soddisfazione del cliente, minimizzare i costi di trasporto e aumentare la visibilità e il controllo sul movimento delle merci, riducendo le incertezze e migliorando la pianificazione e il coordinamento delle attività logistiche. I *Transportation Management Systems* (TMS) offrono strumenti di supporto alle decisioni per la pianificazione, ottimizzazione ed esecuzione del trasporto. Durante la pianificazione, i TMS determinano le modalità di trasporto e gestiscono le operazioni di consolidamento dei carichi. Nell'esecuzione, gestiscono l'assegnazione dei carichi, il *routing* e la programmazione, il monitoraggio delle spedizioni e la verifica dei pagamenti (Mason e Ribera, 2003). L'integrazione con i *Warehouse Management Systems* (WMS) consente una gestione più efficiente del flusso fisico delle merci, facilitando lo scambio di informazioni, la visibilità dell'inventario e il supporto decisionale intelligente, riducendo i costi operativi e migliorando i livelli di servizio. L'automazione e le tecnologie di raccolta dati, come la scansione dei codici a barre e l'identificazione a

radiofrequenza (RFID⁵), permettono di raccogliere dati in tempo reale, migliorando la precisione delle informazioni e la tracciabilità delle spedizioni. L'analisi dei dati e gli strumenti di supporto decisionale integrati con i TMS permettono di analizzare i dati di trasporto in tempo reale e di prendere decisioni informate in risposta ai cambiamenti delle condizioni operative, contribuendo a ridurre le variazioni dei tempi di consegna e la necessità di grandi scorte di sicurezza (Mason e Ribera, 2003).

L'utilizzo dei dati è quindi fondamentale per prendere decisioni strategiche informate e migliorare l'efficienza operativa nella *Supply Chain*. L'analisi dei *Big Data*⁶ permette di identificare rischi e ottimizzare le prestazioni dei fornitori, mentre l'integrazione dei dati tramite tecnologie come l'IoT offre un vantaggio competitivo, consentendo alle aziende di adattarsi rapidamente ai cambiamenti del mercato (Addo-Tenkorang e Helo, 2016). Gli *Information Systems* (IS) sono cruciali poiché misurano e monitorano parametri operativi, migliorando l'integrazione e il coordinamento. Questi sistemi facilitano una comunicazione efficace, ottimizzando i processi, riducendo i costi e migliorando la reattività (Qrunfleh e Tarafdar, 2014).

Le *Supply Chain* possono essere suddivise in diverse categorie, basate su criteri come il tipo di prodotto gestito, la natura della domanda, le strategie di produzione adottate e le modalità di distribuzione utilizzate. Ogni tipologia di *Supply Chain* ha caratteristiche distintive che influenzano il modo in cui viene gestita e ottimizzata. La *Supply Chain* per beni di consumo si distingue per una domanda variabile e meno prevedibile e per prodotti con cicli di vita più brevi. La strategia più comune è il *make-to-stock*, ovvero la produzione per magazzino, per rispondere rapidamente alle variazioni della domanda. La rete di distribuzione è spesso decentralizzata per garantire una rapida risposta alle esigenze dei consumatori locali. Le *Supply Chain* per beni industriali, invece, hanno una domanda più stabile e prevedibile e cicli di vita dei prodotti più lunghi. La strategia

⁵ Radio Frequency Identification

⁶ I *Big Data* sono immense quantità di dati tra loro correlati, utilizzati per l'esecuzione di analisi valutative di vario tipo. Treccani.

adottata è il *make-to-order*, ovvero la produzione su ordinazione, per prodotti specifici o personalizzati, mentre la rete di distribuzione è più centralizzata per sfruttare economie di scala. Un'altra tipologia è la *Supply Chain* per prodotti personalizzati, caratterizzata da alta variabilità nella domanda e un alto grado di personalizzazione del prodotto. La strategia principale è l'*assemble-to-order*, ossia l'assemblaggio su ordinazione, per offrire un mix di opzioni di prodotto standard e personalizzate. La struttura della rete è mista, combinando produzione centralizzata e distribuzione decentralizzata. Infine, la *Supply Chain* per prodotti con elevato contenuto tecnologico si distingue per elevata innovazione e cicli di vita dei prodotti molto brevi. La strategia adottata è l'*engineer-to-order*, ovvero la progettazione su ordinazione, per rispondere rapidamente alle innovazioni tecnologiche e alle specifiche richieste dei clienti, la rete di distribuzione è altamente flessibile e adattabile per gestire l'alta variabilità della domanda (Stadler, 2014).

2.2 Il Supply Chain Management

Il *Supply Chain Management* (SCM) è un campo complesso e dinamico che si occupa del coordinamento di diverse attività aziendali, dalla produzione alla distribuzione, con l'obiettivo di ottimizzare le operazioni per garantire che i prodotti siano consegnati ai clienti nel modo più efficiente possibile. Questo implica una gestione accurata della produzione, dell'inventario, della localizzazione degli impianti, del trasporto delle merci e della condivisione delle informazioni lungo l'intera catena (Hugos, 2024). Il SCM è un approccio strategico e operativo che si concentra sull'ottimizzazione dell'intera rete di processi, risorse e relazioni coinvolti nella produzione e distribuzione di beni e servizi, partendo dal punto di origine delle materie prime fino alla consegna al consumatore finale. Questo concetto nasce dall'esigenza di superare le barriere tradizionali tra le varie funzioni aziendali e le diverse organizzazioni coinvolte nel processo di approvvigionamento, produzione e distribuzione, integrandole in un'unica catena di valore che opera in modo sinergico. Il focus principale del SCM è l'integrazione delle attività lungo tutta la catena, che include la gestione dei flussi fisici, dei flussi informativi e dei flussi finanziari. L'obiettivo è migliorare l'efficienza e l'efficacia complessiva del sistema, riducendo i costi, migliorando i tempi di risposta, aumentando la qualità del servizio offerto al cliente e, infine, creando un vantaggio competitivo sostenibile.

Per raggiungere questi obiettivi, la gestione della *Supply Chain* richiede una cooperazione stretta tra le diverse parti coinvolte, tra cui fornitori, produttori, distributori e rivenditori, che devono lavorare insieme per ottimizzare le operazioni e massimizzare i benefici complessivi. Questa cooperazione si basa su una serie di pratiche, come la condivisione delle informazioni, la fiducia reciproca, l'uso di tecnologie comuni e una pianificazione strategica congiunta. L'integrazione della *Supply Chain* comporta anche l'adozione di tecnologie avanzate, come i sistemi di pianificazione delle risorse aziendali (ERP), la gestione della relazione con i clienti (CRM) e la pianificazione avanzata e la programmazione (APS), che permettono di migliorare la visibilità e il controllo dei processi, riducendo i tempi di ciclo e le inefficienze (Power, 2005). Inoltre, l'uso di internet e delle tecnologie digitali ha rivoluzionato la gestione della *Supply Chain*, rendendo possibile una comunicazione e un coordinamento in tempo reale tra i vari attori della catena, riducendo così i ritardi e le distorsioni nella trasmissione delle informazioni.

I sistemi ERP svolgono un ruolo chiave in questa integrazione, collegando informazioni provenienti da vari dipartimenti e funzioni aziendali, come finanza, logistica, produzione e gestione degli ordini, in un sistema centralizzato che consente la condivisione delle informazioni in tempo reale. Questa integrazione interna è cruciale per ridurre la duplicazione delle informazioni e gli errori associati all'uso di sistemi separati, migliorando la coerenza e l'efficienza operativa. Un altro vantaggio significativo dei sistemi ERP è l'automazione dei processi aziendali, che consente di ridurre l'intervento manuale nei processi di routine, diminuendo così gli errori e aumentando l'efficienza. Tuttavia, è essenziale che le aziende rivedano e ottimizzino i loro processi prima di implementare un sistema ERP, poiché l'automazione di un processo inefficiente consoliderebbe pratiche scadenti, rendendole più difficili da modificare in seguito. Pertanto, la preparazione e la pianificazione sono cruciali per massimizzarne i benefici. I sistemi ERP facilitano anche l'integrazione con i fornitori, consentendo uno scambio di informazioni fluido e trasparente. Inoltre, i sistemi ERP migliorano l'integrazione con i clienti, particolarmente importante in settori dove i clienti hanno un grande potere e richiedono servizi personalizzati. Ad esempio, un'azienda che produce componenti industriali per diversi clienti può utilizzare un ERP per tenere traccia delle specifiche

esigenze di ciascun cliente, come preferenze di produzione, tempi di consegna e requisiti di qualità. Queste informazioni possono essere condivise in tempo reale con i gruppi di produzione e logistica, assicurando che ogni ordine venga evaso in modo preciso e tempestivo. I moduli CRM inclusi nei sistemi ERP aiutano le aziende a gestire meglio le relazioni con i clienti, raccogliendo e analizzando dati sui comportamenti di acquisto e sulle preferenze. Questo consente alle aziende di prevedere le esigenze dei clienti e di offrire prodotti e servizi più personalizzati, migliorando la soddisfazione e la fidelizzazione del cliente.

Infine, il successo del SCM dipende dalla capacità di implementare efficacemente queste pratiche e tecnologie, il che richiede un approccio sistemico e una visione olistica. Ogni decisione all'interno della *Supply Chain* deve considerare l'impatto sull'intero sistema, poiché un cambiamento in un punto della catena può avere ripercussioni significative su altre parti. Questo approccio olistico è essenziale per affrontare le complessità dinamiche della *Supply Chain*, come l'effetto *bullwhip*⁷, dove piccole variazioni nella domanda possono causare fluttuazioni amplificate a monte della catena.

L'adozione di tecnologie avanzate, nonostante possa offrire significativi vantaggi competitivi, comporta anche sfide considerevoli in termini di costi e competenze necessarie per l'implementazione. Le aziende che non riescono a evolversi in modo tempestivo rischiano di rimanere indietro rispetto ai concorrenti, perdendo opportunità di crescita e miglioramento delle prestazioni. Questa sfida è particolarmente rilevante nel contesto della globalizzazione e dell'aumento dell'*outsourcing* strategico, dove la dipendenza dai fornitori esterni per capacità specializzate e innovazione aumenta la probabilità di eventi avversi che possono minacciare le operazioni aziendali (Narasimhan e Talluri, 2009). Infine, la conformità alle normative e la sostenibilità sono diventate preoccupazioni sempre più rilevanti. Le aziende devono navigare in un contesto

⁷ L'effetto *bullwhip* è un fenomeno nella *Supply Chain* in cui piccole variazioni nella domanda dei consumatori finali causano oscillazioni amplificate negli ordini lungo la catena di approvvigionamento, portando a inefficienze come eccessi o carenze di scorte.

normativo in continua evoluzione, garantendo al contempo che le loro operazioni rispettino standard elevati in termini di responsabilità sociale e ambientale. Il mancato rispetto di queste normative non solo espone le aziende a sanzioni legali e danni reputazionali, ma può anche compromettere le relazioni con i partner della *Supply Chain* e con i clienti. La gestione del rischio in questo contesto richiede l'adozione di un approccio strutturato e coerente, come il *Supply Chain Risk Management Process* (SCRMP), che prevede una serie di fasi per l'identificazione, la valutazione e la mitigazione dei rischi, garantendo un controllo continuo tramite sistemi di gestione dei dati (Lambert e Cooper, 2000).

La sostenibilità nel SCM è un concetto che si è evoluto significativamente negli ultimi decenni, integrando aspetti ambientali, sociali ed economici in tutte le fasi della catena di fornitura. Questo approccio è diventato sempre più cruciale per le aziende che cercano di ridurre l'impatto negativo delle loro operazioni sull'ambiente e sulla società, garantendo al contempo la redditività a lungo termine. Storicamente, la sostenibilità nel SCM si concentrava principalmente su aspetti economici e ambientali, spesso attraverso pratiche come la gestione verde della catena di fornitura (*Green Supply Chain Management*, GrSCM). Questo includeva l'integrazione di considerazioni ambientali in vari processi, come la progettazione del prodotto, l'approvvigionamento dei materiali e la gestione della logistica. Tuttavia, la dimensione sociale della sostenibilità è stata spesso trascurata, nonostante il suo crescente riconoscimento come componente essenziale dello sviluppo sostenibile.

La tripla linea di fondo (*Triple Bottom Line*, TBL), che comprende le dimensioni economica, ambientale e sociale, è diventata il quadro dominante per valutare la sostenibilità nelle catene di fornitura (Rajeev e Pati, 2017). Le pratiche ambientali sostenibili nella SCM mirano a ridurre l'impatto ecologico delle operazioni aziendali, adottando tecnologie e processi che migliorano l'efficienza delle risorse e riducono le emissioni inquinanti. Ad esempio, le aziende possono implementare certificazioni ESG e

standard come ISO 14001⁸ per la gestione ambientale, il che contribuisce a ridurre i rischi ambientali e a conformarsi alle normative sempre più stringenti. Inoltre, la crescente consapevolezza dell'impatto del cambiamento climatico ha spinto molte aziende a incorporare misure di riduzione delle emissioni di carbonio e a sviluppare prodotti più sostenibili, come parte delle loro strategie a lungo termine.

L'aspetto sociale della sostenibilità nel SCM si concentra sulla responsabilità aziendale verso i lavoratori e le comunità lungo la catena di fornitura. Questo include garantire condizioni di lavoro sicure ed eque, rispettare i diritti umani e contribuire allo sviluppo economico delle comunità locali. Le aziende stanno adottando standard per garantire che i loro fornitori rispettino le pratiche di lavoro etiche e che i prodotti siano realizzati in condizioni che rispettano la dignità umana. Questo impegno non solo migliora la reputazione dell'azienda, ma riduce anche i rischi associati a proteste dei lavoratori, controversie legali e interruzioni della produzione (Marshall e McCarthy, 2015).

Infine, l'aspetto economico della sostenibilità nel SCM riguarda la creazione di valore a lungo termine attraverso operazioni che bilanciano efficienza e responsabilità sociale e ambientale. Le aziende che adottano pratiche di *Supply Chain* sostenibili possono ottenere vantaggi competitivi, riducendo i costi operativi attraverso l'efficienza delle risorse e l'ottimizzazione dei processi. La sostenibilità economica richiede anche che le aziende siano agili e resilienti, capaci di adattarsi rapidamente ai cambiamenti del mercato e alle pressioni normative. In questo contesto, la resilienza della catena di fornitura diventa una componente fondamentale per mantenere la continuità operativa in un ambiente globale in rapida evoluzione. Tuttavia, nonostante i vantaggi evidenti, implementare la sostenibilità nel SCM presenta diverse sfide. Una delle principali difficoltà è il costo iniziale degli investimenti necessari per adottare tecnologie e processi sostenibili. Inoltre, le aziende devono affrontare la complessità di gestire una rete globale di fornitori con

⁸ Norma dell'Organizzazione internazionale per la normazione (ISO) sui sistemi di gestione ambientale (SGA), che definisce i requisiti per stabilire, attuare e migliorare un SGA. Fa parte della serie ISO 14000 sviluppate dal *Technical Committee* e può essere utilizzata per certificazione, autodichiarazione o come linea guida.

standard e pratiche operative variabili. Malgrado ciò, le aziende che superano queste sfide possono ottenere notevoli vantaggi, tra cui una maggiore soddisfazione dei clienti, miglioramenti reputazionali e l'accesso a nuovi mercati che privilegiano prodotti e servizi sostenibili (Giannakis e Papadopoulos, 2016).

La sostenibilità nel SCM, quindi, non è solo un'opportunità per migliorare le operazioni aziendali, ma una necessità per garantire la sopravvivenza e il successo a lungo termine delle aziende in un contesto globale sempre più attento alle questioni ambientali e sociali. Le aziende che riusciranno a integrare efficacemente questi principi saranno meglio posizionate per affrontare le sfide future e per prosperare in un mercato in continua evoluzione.

2.3 La gestione strategica dei fornitori e del rischio nella *Supply Chain*

In un contesto di *Supply Chain* sempre più complesso e interconnesso, la gestione dei fornitori e la pianificazione del rischio giocano un ruolo cruciale per garantire la continuità operativa e la competitività delle aziende. La capacità di selezionare fornitori strategici, mantenere relazioni collaborative e adottare misure proattive per mitigare i rischi emergenti rappresenta una leva fondamentale per affrontare le incertezze del mercato globale. Questi aspetti contribuiscono a creare una *Supply Chain* più resiliente e adattabile, in grado di rispondere efficacemente alle sfide e alle opportunità di un ambiente economico in costante evoluzione.

La gestione dei fornitori rappresenta un elemento fondamentale all'interno della *Supply Chain*, poiché incide direttamente sulla capacità di un'azienda di garantire continuità operativa, qualità dei prodotti e rispetto delle tempistiche di consegna. La scelta e la gestione dei fornitori richiede non solo una valutazione delle capacità produttive e della qualità dei materiali forniti, ma anche una pianificazione strategica a lungo termine per costruire relazioni di fiducia e collaborazione. L'importanza della gestione dei fornitori va oltre la semplice transazione commerciale: i fornitori diventano veri e propri partner strategici con cui condividere obiettivi e strategie di crescita. Una relazione solida e collaborativa con i fornitori può tradursi in numerosi vantaggi. In primo luogo, garantisce

maggior flessibilità in caso di variazioni improvvise nella domanda o di emergenze operative. Fornitori che sono ben integrati nei processi aziendali sono più propensi a rispondere rapidamente alle richieste di modifica, adattando la loro produzione o accelerando le consegne per soddisfare le esigenze del cliente. Questa relazione basata sulla fiducia e sulla trasparenza consente inoltre una condivisione più efficace delle informazioni, riducendo il rischio di errori o malintesi lungo la catena di approvvigionamento (Lambert e Cooper, 2000). Un altro aspetto fondamentale delle relazioni con i fornitori è la negoziazione e gestione dei contratti. Contratti ben definiti che stabiliscono chiaramente i termini di fornitura, le aspettative di qualità e i tempi di consegna possono prevenire conflitti futuri e ridurre il rischio di interruzioni. Inoltre, la negoziazione di contratti flessibili che consentono modifiche in corso d'opera permette di affrontare più agilmente eventuali imprevisti, assicurando al contempo un rapporto di lungo termine basato su condizioni vantaggiose per entrambe le parti (Chopra e Meindl, 2020).

Tuttavia, anche le migliori relazioni con i fornitori non eliminano completamente il rischio. La gestione del rischio all'interno della *Supply Chain* è una questione sempre più rilevante, soprattutto in un contesto globale caratterizzato da crescente incertezza e interconnessione. I rischi nella *Supply Chain* possono essere di natura esterna, come disastri naturali, instabilità geopolitica o fluttuazioni dei prezzi delle materie prime, oppure interna, come problemi legati alla qualità o incapacità di un fornitore di rispettare gli standard richiesti. Un'importante strategia di gestione del rischio è la diversificazione della base di fornitori. Affidarsi a un unico fornitore per un componente critico può comportare rischi significativi se quel fornitore dovesse sperimentare interruzioni nella produzione o problemi operativi. Diversificare la base di fornitori, distribuendo gli ordini tra diversi partner, riduce questo rischio e fornisce una maggiore capacità di adattarsi a situazioni impreviste. Inoltre, una base di fornitori diversificata aumenta la capacità di negoziare prezzi migliori e condizioni contrattuali più favorevoli. Tuttavia, la diversificazione introduce anche maggiore complessità nella gestione della catena di approvvigionamento, poiché implica il coordinamento di più flussi di materiali, fornitori in diverse aree geografiche e potenzialmente anche normative differenti da rispettare.

La pianificazione delle scorte di sicurezza rappresenta un'altra componente fondamentale nella gestione del rischio legato ai fornitori. In settori particolarmente critici, come quello automobilistico o farmaceutico, mantenere livelli di scorte sufficienti a garantire la continuità produttiva anche in caso di ritardi o interruzioni è essenziale. Tuttavia, questo richiede un equilibrio attento tra i costi di mantenimento delle scorte e i rischi associati alla mancanza di materiali. Una gestione accurata delle scorte permette di prevenire i rischi legati alle interruzioni nella fornitura, ma deve essere accompagnata da una precisa pianificazione della domanda e da un costante monitoraggio delle condizioni di mercato (Stadtler, 2014). Le strategie di *risk-sharing* con i fornitori rappresentano un altro approccio efficace per la gestione del rischio. In questo tipo di accordo, i fornitori e i clienti condividono il rischio di eventuali fluttuazioni della domanda o interruzioni della produzione, stabilendo meccanismi contrattuali che consentano di ridurre gli impatti finanziari su entrambe le parti. Ad esempio, clausole di flessibilità sui volumi ordinati o meccanismi di revisione dei prezzi in base alle variazioni delle materie prime possono aiutare entrambe le parti a gestire meglio l'incertezza e a preservare la solidità della relazione nel lungo termine (Tummala e Schoenherr, 2011).

Oltre alla gestione dei fornitori, è cruciale sviluppare una cultura della prevenzione e del monitoraggio continuo all'interno dell'azienda. Questo implica implementare procedure per l'identificazione tempestiva dei segnali di potenziali problemi, come ritardi nelle consegne, variazioni nella qualità dei prodotti o fluttuazioni nei tempi di risposta dei fornitori. Una gestione proattiva che si basi su audit regolari dei fornitori, controlli di qualità e incontri periodici di revisione può ridurre significativamente i rischi, consentendo all'azienda di intervenire rapidamente per risolvere le criticità prima che diventino problematiche maggiori.

In conclusione, la gestione dei fornitori e del rischio nella *Supply Chain* richiede una combinazione di strategie di pianificazione a lungo termine, diversificazione delle fonti di approvvigionamento e costruzione di relazioni collaborative basate su fiducia e trasparenza. Le aziende che riescono a gestire efficacemente questi processi non solo riducono i rischi di interruzione, ma ottengono anche una maggiore flessibilità,

adattandosi rapidamente ai cambiamenti del mercato e mantenendo un vantaggio competitivo duraturo.

Alla luce di queste considerazioni, emerge con forza la nostra domanda di ricerca centrale: “*In che modo l'uso dell'Intelligenza Artificiale può ottimizzare la gestione della Supply Chain nelle aziende, migliorando l'efficienza operativa e supportandone la crescita a lungo termine?*”. Questa domanda ci spinge a investigare se e come l'IA possa non solo rendere più efficienti i processi della *Supply Chain*, ma anche diventare il perno dell'innovazione e della capacità dell'azienda di rispondere agilmente alle sfide del mercato, mantenendo una posizione di leadership in un contesto economico in continua evoluzione.

Parallelamente, ci chiediamo: “quali competenze e strategie organizzative sono necessarie per implementare con successo l'IA nella *Supply Chain*?”. Questa parte della ricerca è cruciale, poiché ci permette di identificare le competenze specifiche che i leader aziendali e i responsabili della *Supply Chain* devono sviluppare per garantire un'implementazione efficace e sostenibile dell'IA. Non si tratta solo di comprendere quali nuove figure professionali e competenze tecniche siano necessarie, ma anche di esplorare come le strategie di gestione debbano evolversi per trasformare l'IA in una leva strategica, ottimizzando le operazioni della *Supply Chain* e promuovendo l'innovazione continua.

Nel prossimo capitolo, risponderemo a queste domande esplorando in dettaglio le competenze chiave e le strategie organizzative che le aziende devono adottare per affrontare le sfide della trasformazione digitale della *Supply Chain* e massimizzare i benefici offerti dall'IA. L'integrazione dell'IA nella *Supply Chain* richiede infatti un approccio strategico che non si limiti alla semplice adozione tecnologica, ma includa anche la leadership necessaria per gestire il cambiamento, promuovere l'efficienza operativa e garantire un'implementazione etica e trasparente.

Esamineremo in particolare le nuove figure professionali emergenti nel contesto della *Supply Chain 4.0*, come *data scientist*, analisti di *big data* ed esperti di automazione, e come queste competenze siano essenziali per garantire un'implementazione dell'IA che

sia responsabile e conforme alle normative. Inoltre, esploreremo come le aziende possano sviluppare strategie organizzative flessibili, in grado di adattarsi rapidamente alle dinamiche del mercato globale e di promuovere una cultura aziendale che valorizzi innovazione, trasparenza e responsabilità sociale.

Infine, affronteremo le questioni etiche, esaminando come le aziende possano mitigare i rischi associati all'automazione delle decisioni critiche e garantire che l'IA venga utilizzata in modo equo e responsabile. Questo porterà a riflettere su come le aziende possano non solo implementare l'IA nella *Supply Chain*, ma anche trasformarla in una risorsa strategica capace di generare un vantaggio competitivo duraturo in un mercato sempre più complesso e interconnesso.

Capitolo 3. *Supply Chain* & Intelligenza Artificiale: sfide e strategie

3.1 Capacità abilitanti e migliorative dell'IA nella *Supply Chain*

Dopo aver studiato i fondamenti della *Supply Chain* e del suo management, ci concentreremo sulle capacità abilitanti dell'Intelligenza Artificiale. Queste capacità comprendono l'ottimizzazione della gestione dei dati, la previsione della domanda e l'automazione dei processi decisionali. L'IA abilita una maggiore efficienza operativa e flessibilità, consentendo una risposta più rapida e precisa ai cambiamenti del mercato, migliorando la resilienza e la competitività delle aziende nel lungo termine. Nel contesto odierno, caratterizzato da una crescente complessità e dinamicità dei mercati globali, la gestione efficiente della *Supply Chain* è diventata un elemento cruciale per il successo delle imprese. In questo scenario, diventa fondamentale comprendere l'importanza dell'IA e il vantaggio competitivo che essa può generare. Dal punto di vista teorico, l'IA non solo promette di migliorare la previsione della domanda, la gestione degli stock e la logistica, ma anche di rivoluzionare interi modelli di business, favorendo una maggiore agilità e reattività. Tuttavia, per sfruttare appieno queste potenzialità, è necessario non solo esplorarne i benefici e le applicazioni pratiche, ma anche affrontare le sfide legate alla sua adozione e capirne i rischi. L'automazione dei compiti operativi può aumentare le disuguaglianze, specialmente nei paesi in via di sviluppo. Inoltre, la dipendenza da tecnologie *capital-intensive*⁹ potrebbe aumentare le disuguaglianze nei paesi con alti tassi di manodopera sottoutilizzata e non sufficientemente preparata.

Una sfida significativa nell'adozione dell'IA è il cosiddetto *black box effect*, un fenomeno che si verifica quando le decisioni intraprese dall'IA sono difficilmente comprensibili per gli utenti, creando una mancanza di fiducia e potenziali problemi di responsabilità (Riahi e Saikouk, 2021). Per affrontare questa sfida, è essenziale che le aziende sviluppino

⁹ *Capital intensive*: Imprese in cui si utilizzano per la maggior parte immobilizzazioni per lo svolgimento del processo produttivo, e nelle quali il ruolo e l'importanza della mano d'opera risulta secondario. Un'azienda è quindi *capital intensive* quando lo *stock* di capitale necessario al suo funzionamento è maggiore della necessità di utilizzo della forza lavoro.

sistemi di IA non solo in grado di fornire risultati, ma anche trasparenti e interpretabili. Questo significa che le aziende devono poter comprendere la logica alla base delle decisioni dell'IA e apportare modifiche quando necessario. È quindi fondamentale una comprensione approfondita e una pianificazione strategica per trasformare l'IA in un vero motore di crescita e innovazione. Migliorando la capacità di adattamento alle variazioni del mercato, ottimizzando la gestione delle risorse e delle attività, e aumentando la flessibilità e la risposta alle perturbazioni, l'IA consente alle catene di approvvigionamento di essere più robuste ed efficienti. Le sue applicazioni principali riguardano le capacità adattive, la coordinazione e il dinamismo. Le capacità adattive di una catena di approvvigionamento indicano la sua abilità di rispondere rapidamente a cambiamenti nelle condizioni di mercato o operative. L'uso dell'IA potenzia questa flessibilità attraverso algoritmi di *machine learning*, che aiutano a prevedere e reagire alle fluttuazioni con maggiore precisione.

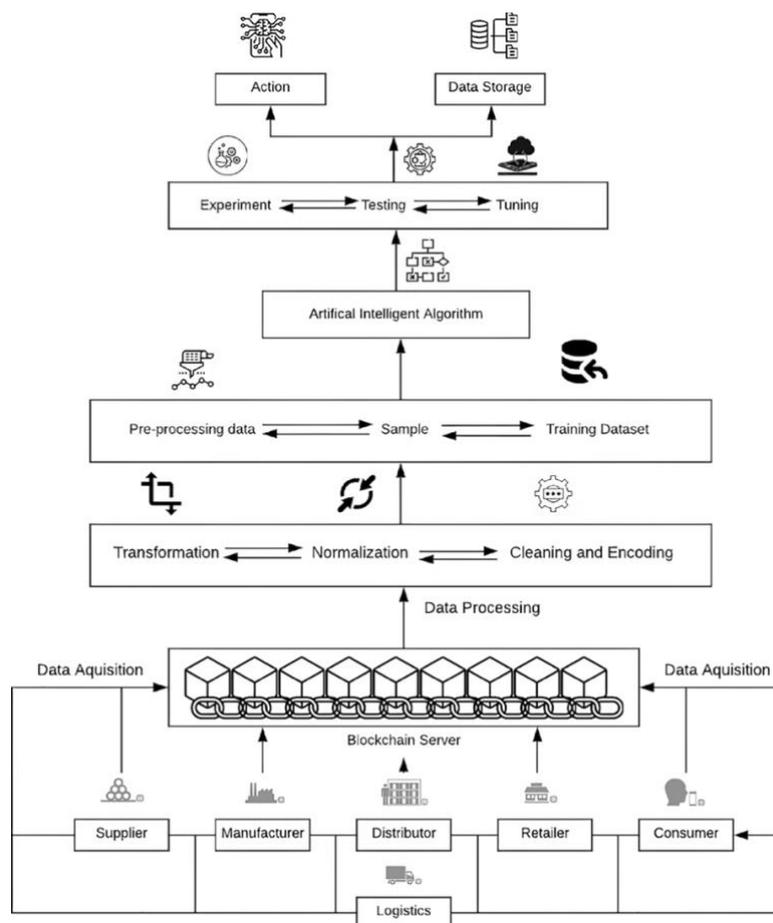


Figura 3, Integrazione di Blockchain e IA nella Supply Chain. Gohil, D., & Thakker, S. V. (2021).

La coordinazione nella catena di approvvigionamento implica invece la gestione integrata delle risorse e delle attività lungo tutta la rete. L'IA migliora questo aspetto fornendo visibilità in tempo reale sui flussi di prodotti e informazioni grazie a sensori e tecnologie IoT, consentendo così una gestione più efficiente e una comunicazione migliore tra i diversi attori della catena. Infine, il dinamismo si riferisce alla capacità della catena di adattarsi rapidamente alle perturbazioni e ai cambiamenti imprevisti. L'IA supporta questo dinamismo monitorando le operazioni e rilevando anomalie per attivare piani di contingenza. Inoltre, i modelli di simulazione basati su IA permettono di testare diversi scenari e strategie, aiutando le aziende a prepararsi e pianificare meglio in situazioni di emergenza (Belhadi e Mani, 2023).

Nel campo della logistica, le recenti innovazioni derivano dalla connettività in tempo reale degli asset alle piattaforme dati, permettendo a macchine, veicoli e dispositivi di essere monitorati tramite sensori che catturano dati in tempo reale. Quando i sensori non sono praticabili, gli operatori possono usare dispositivi mobili e indossabili per fornire riscontri. Questa connettività estesa fornisce visibilità in tempo reale sui flussi di lavoro. Il software di controllo può quindi emettere avvisi su carenze di inventario o congestioni prima che si verifichino, consentendo alle squadre di correggere tempestivamente le problematiche. Grazie all'apprendimento supervisionato e alla disponibilità di dati storici è possibile sviluppare algoritmi sofisticati per il controllo e l'analisi predittiva. Questi algoritmi non solo migliorano il processo decisionale, ma permettono anche l'ottimizzazione in tempo reale, prescrivendo decisioni basate su modelli e correlazioni identificati (Boute e Udenio, 2022).

L'apprendimento non supervisionato è invece fondamentale per identificare *pattern* e segmentare i clienti senza la necessità di dati preesistenti. Questo è particolarmente utile per analizzare comportamenti d'acquisto e ottimizzare l'inventario in base alle preferenze dei consumatori. Inoltre, l'apprendimento rinforzato si distingue per la sua capacità di apprendere attraverso *trial and error*, permettendo ai sistemi di prendere decisioni in tempo reale, come nella gestione delle scorte e nella pianificazione dei percorsi di consegna. Le reti neurali sono utilizzate per riconoscere schemi complessi e migliorare le previsioni in scenari logistici intricati. Questi modelli sono in grado di analizzare grandi

volumi di dati e fornire *insight*. Infine, gli algoritmi evolutivi sono impiegati per risolvere problemi complessi, come l'ottimizzazione delle rotte di consegna.

Nell'ambito della sostenibilità, l'utilizzo dell'IA facilita l'ottimizzazione dei percorsi di trasporto, contribuendo a ridurre le emissioni di gas serra. Attraverso l'analisi dei dati in tempo reale, le aziende possono pianificare spedizioni più efficienti, combinando carichi e utilizzando modalità di trasporto più ecologiche e migliorando anche l'efficienza energetica complessiva della catena di approvvigionamento (Bag e Telukdarie, 2021).

L'integrazione dell'IA e della *Blockchain Technology* (BCT) nelle catene di approvvigionamento può apportare significativi miglioramenti in termini di efficienza operativa, sostenibilità e monetizzazione dei dati. Le due tecnologie hanno punti di forza e debolezze complementari. L'IA è potente nell'analisi dei dati e nel supporto decisionale, ma può incontrare difficoltà con la fiducia, la comprensione e la privacy dei dati. D'altra parte, la BCT offre tracciabilità e sicurezza dei dati, ma può essere limitata in termini di scalabilità ed efficienza. Quindi, la BCT può garantire flussi di dati sicuri e tracciabili attraverso l'intera catena di approvvigionamento, mentre l'IA può analizzare questi dati per fornire previsioni e ottimizzazioni operative. Ad esempio, l'uso congiunto può prevedere ritardi nelle spedizioni basandosi su dati storici e in tempo reale, migliorando l'efficienza logistica.

L'integrazione con ulteriori infrastrutture sensoriali avanzate, come la *Radio Frequency Identification* (RFID) e l'IoT, può automatizzare la raccolta e l'analisi dei dati. Questo approccio non solo garantisce che i dati siano raccolti in modo *tamper-proof*¹⁰, ma consente anche un'analisi in tempo reale che può informare decisioni critiche lungo la catena di approvvigionamento. Le principali sfide nell'integrazione di queste tecnologie sono la scalabilità, la capacità di archiviazione dei dati, la preparazione organizzativa e la

¹⁰ Misure o tecnologie implementate per garantire che i dati raccolti non possano essere alterati o manipolati in modo non autorizzato. Queste possono includere l'uso di crittografia, firme digitali, o *hardware* sicuri che proteggono l'integrità dei dati durante la raccolta, il trasferimento e l'archiviazione.

mancanza di interoperabilità dei dati¹¹. Tuttavia, la capacità di raccogliere e analizzare dati in modo più efficace può aprire nuove opportunità di monetizzazione in quanto le aziende possono creare scenari di mercato e informare il processo decisionale, aumentando l'efficienza economica e la competitività complessiva (Tsolakis e Schumacher, 2023).

Riguardo alla produzione, l'IA e il *machine learning* svolgono un ruolo fondamentale, offrendo benefici significativi come una maggiore innovazione, l'ottimizzazione dei processi produttivi, la gestione efficiente delle risorse e il miglioramento complessivo della qualità dei prodotti. A partire dalla fase di ricerca di mercato e validazione, l'IA mette a disposizione strumenti avanzati per analizzare le preferenze dei consumatori. Tramite l'analisi dei social media, delle recensioni online e di altre fonti di dati, i manager di prodotto possono ottenere informazioni utili alle decisioni strategiche, riducendo così i rischi associati al lancio di nuovi prodotti (Ogundipe e Babatunde, 2024). L'IA e il ML consentono di analizzare grandi quantità di dati provenienti da sensori, macchinari e altri dispositivi, permettendo di identificare modelli, tendenze e anomalie in modo efficiente e in tempo reale. Questa capacità di analisi avanzata consente di ottimizzare i processi produttivi, prevedere guasti e necessità di manutenzione, nonché migliorare la qualità dei prodotti. L'approccio *data-driven* non solo stimola la creatività, ma consente anche di generare idee più pertinenti e allineate con le aspettative del mercato.

L'IA ha trasformato radicalmente il panorama della gestione del prodotto, introducendo nuove metodologie e strumenti che migliorano l'efficienza e l'innovazione in ogni fase del ciclo di vita del prodotto. Questa evoluzione è data dall'integrazione sempre più profonda dell'IA nei processi di ideazione, sviluppo, test e commercializzazione, consentendo alle aziende di rispondere in modo più agile e preciso alle esigenze del mercato. Inoltre, l'IA e il ML possono contribuire in modo significativo alla sostenibilità ambientale, consentendo una gestione ottimale delle risorse e una riduzione dell'impatto.

¹¹ Capacità dei sistemi di comprendere e utilizzare i dati provenienti da fonti differenti lungo la *Supply Chain*.

Ad esempio, l'ottimizzazione dei processi può portare a una riduzione del consumo energetico e delle emissioni inquinanti, contribuendo così a una produzione più sostenibile (Cioffi e Travagliani, 2020).

L'IA sta rivoluzionando anche il campo dell'approvvigionamento e della gestione degli acquisti, offrendo strumenti avanzati per ottimizzare decisioni complesse relative a materie prime, forniture e servizi. Tramite l'utilizzo degli algoritmi, l'IA supporta la pianificazione strategica e operativa, automatizzando e migliorando l'efficienza di attività cruciali come la selezione dei fornitori, la valutazione del rischio e la gestione delle scorte. Le reti neurali artificiali (ANN) sono impiegate per migliorare l'accuratezza e l'efficienza nella gestione dei fornitori, mentre i grafici di dipendenza dal rischio permettono una modellizzazione precisa della propagazione del rischio. La teoria degli insiemi approssimativi viene utilizzata per valutare la sostenibilità dei fornitori e selezionare il più idoneo tra quelli qualificati, tenendo conto di criteri complessi e talvolta conflittuali. Il ML, tramite Sistemi Esperti¹², facilita la rilevazione e valutazione del rischio dei fornitori e ottimizza i processi di selezione e negoziazione dei contratti. Infine, gli algoritmi genetici¹³ sono utilizzati per la selezione e valutazione dei fornitori, mentre la logica *fuzzy*¹⁴ migliora la valutazione delle prestazioni, contribuendo a decisioni più informate e strategiche (Atwani e Hlyal, 2022). Inoltre, la logica *fuzzy* trova applicazioni specifiche anche nel controllo dei costi di inventario e nell'evasione degli ordini, e si dimostra utile anche nella pianificazione congiunta della produzione. Parallelamente, i sistemi basati su agenti servono come potenti strumenti di simulazione, capaci di ottimizzare la gestione delle scorte, ridurre i costi operativi e migliorare l'efficienza complessiva della catena di approvvigionamento.

¹² I sistemi esperti sono applicazioni di IA progettate per simulare il processo decisionale di un esperto umano in un dominio specifico per risolvere problemi complessi.

¹³ Gli algoritmi genetici sono tecniche di ottimizzazione ispirate ai processi di evoluzione naturale. Utilizzano meccanismi come selezione, crossover e mutazione per generare e migliorare soluzioni a problemi complessi attraverso una simulazione evolutiva.

¹⁴ La logica *fuzzy* è una forma di logica che gestisce l'incertezza e la vaghezza dei dati, permettendo di rappresentare e trattare concetti sfumati e imprecisi attraverso valori che variano tra 0 e 1, anziché limitarsi ai soli veri o falsi.

Queste tecnologie, integrate nella pianificazione congiunta della produzione e nello studio delle interazioni tra diversi modelli di inventario, stanno trasformando il trasporto in un sistema più efficiente, reattivo e ben coordinato. Uno degli aspetti centrali di questa trasformazione riguarda l'ottimizzazione dei percorsi di consegna. Grazie agli algoritmi di IA e ML, le aziende possono ora analizzare in tempo reale una vasta gamma di informazioni, come le condizioni meteorologiche, il traffico e persino la probabilità di incidenti, per determinare il percorso più efficiente per i loro veicoli. Questo non solo riduce i tempi di consegna, ma permette anche di risparmiare carburante e ridurre le emissioni di CO₂, rendendo l'intera operazione più sostenibile.

Un altro beneficio chiave derivante dall'uso dell'IA è la manutenzione predittiva. Attraverso l'installazione di sensori sui veicoli, le aziende possono monitorare continuamente le condizioni operative delle loro flotte. I dati raccolti vengono analizzati per prevedere potenziali guasti prima che si verifichino. Questo approccio proattivo riduce i tempi di inattività dei veicoli, minimizza i costi di riparazione non pianificati e prolunga la durata dei mezzi, aumentando l'efficienza complessiva della flotta. Infine, l'introduzione di sistemi autonomi, come veicoli senza conducente e droni, che sono in grado di navigare e prendere decisioni autonomamente, offre un notevole vantaggio in termini di riduzione dei costi operativi e aumento della sicurezza, grazie alla diminuzione degli errori umani. Questi progressi non solo migliorano l'efficienza del trasporto, ma aprono anche nuove opportunità per operazioni logistiche in ambienti complessi o pericolosi, espandendo le possibilità del trasporto moderno (Krishna, 2023).

In questo capitolo abbiamo quindi intrapreso un'analisi approfondita delle modalità con cui l'IA sta trasformando la *Supply Chain*, svelando il potenziale rivoluzionario di questa tecnologia nell'ottimizzazione delle operazioni aziendali. L'IA ha dimostrato di poter migliorare significativamente la precisione nelle previsioni della domanda, l'efficienza nella gestione degli inventari, e la fluidità del coordinamento tra le diverse componenti della catena di approvvigionamento. Questi miglioramenti non solo incrementano l'efficienza operativa, ma conferiscono alle aziende una capacità senza precedenti di adattarsi rapidamente ai mutamenti del mercato, garantendo loro un vantaggio competitivo sostanziale. Tuttavia, sebbene l'adozione dell'IA nella *Supply Chain* offra

enormi potenzialità, essa non è priva di ostacoli. Le aziende che decidono di implementare l'IA devono affrontare una serie di sfide complesse che vanno ben oltre la semplice acquisizione di nuove tecnologie. Una delle principali difficoltà risiede nell'elevata complessità dell'integrazione tecnologica. L'introduzione dell'IA richiede una perfetta sinergia tra i sistemi esistenti e le nuove tecnologie, il che spesso comporta una revisione significativa delle infrastrutture IT e dei processi aziendali. Questo processo di integrazione può risultare particolarmente oneroso in termini di tempo e risorse, e richiede un livello avanzato di competenza tecnica che non tutte le aziende possiedono internamente.

Un altro aspetto critico riguarda la necessità di sviluppare nuove competenze e conoscenze specifiche all'interno dell'organizzazione. L'IA, infatti, non è una tecnologia *plug-and-play*¹⁵: per sfruttarne appieno le potenzialità, le aziende devono investire in formazione e sviluppo delle competenze, sia a livello tecnico che manageriale. I professionisti della *Supply Chain* devono essere in grado di comprendere e interpretare i dati prodotti dai sistemi di IA, prendere decisioni basate su questi dati, e gestire eventuali anomalie o problematiche che possono emergere. Tuttavia, la carenza di competenze specialistiche in IA rappresenta una barriera significativa, spesso costringendo le aziende a rivolgersi a consulenti esterni o a intraprendere costosi programmi di formazione per il personale interno.

Oltre alle sfide tecnologiche e di competenze, l'adozione dell'IA solleva anche importanti questioni etiche e di governance. La crescente automazione delle decisioni aziendali, se non gestita con attenzione, può portare a problemi di trasparenza e responsabilità. La gestione dei dati, essenziale per l'efficacia dei sistemi di IA, pone interrogativi sulla privacy e sulla sicurezza delle informazioni. Le aziende devono quindi adottare misure rigorose per garantire che l'uso dell'IA avvenga nel rispetto delle normative vigenti e dei più alti standard etici. La capacità delle aziende di navigare tra queste sfide definirà non

¹⁵ Sistema o dispositivo che è immediatamente operativo una volta collegato, senza necessità di configurazioni complesse o installazioni manuali.

solo il successo dell'implementazione dell'IA, ma anche la loro capacità di mantenere un vantaggio competitivo sostenibile nel tempo. In un contesto in cui i benefici dell'IA sono accompagnati da un crescente scrutinio pubblico e normativo, le aziende devono essere pronte a rispondere a questioni complesse e potenzialmente destabilizzanti.

3.2 Competenze necessarie per l'implementazione

La gestione della *Supply Chain* ha attraversato una trasformazione radicale negli ultimi anni, in gran parte grazie all'integrazione delle tecnologie digitali e dell'IA. Questa evoluzione impone di combinare competenze tecniche avanzate con capacità analitiche sofisticate e una solida visione manageriale per sfruttare appieno i benefici offerti dall'IA. Inoltre, la crescente complessità della gestione dell'IA richiede una solida comprensione delle implicazioni etiche e di compliance, per garantire che le decisioni prese siano conformi alle normative e rispettino i più alti standard etici. Queste competenze includono la capacità di identificare e mitigare i bias algoritmici, assicurando che l'IA operi in modo trasparente e responsabile (Gupta e George, 2016).

L'introduzione dell'IA nella *Supply Chain* ha reso indispensabile il possesso di competenze tecniche e analitiche all'avanguardia. La padronanza e la comprensione di tecnologie come il ML, il *deep learning* e l'analisi dei *big data* sono ormai cruciali per gestire con successo una *Supply Chain* moderna e competitiva. Tuttavia, la sola comprensione non è sufficiente, ad esempio per sfruttare la capacità di analisi predittiva fornita dai *big data*, i professionisti non solo devono comprendere i principi di base ma anche essere in grado di applicare l'analisi ai problemi specifici della *Supply Chain* e di prendere decisioni basate sui dati, dove l'IA funge da complemento, non da sostituto, al processo decisionale umano (Derwik e Hellström, 2017). Inoltre, l'adozione di approcci come il *Design Thinking*¹⁶ può facilitare l'innovazione nella *Supply Chain*, permettendo di sviluppare soluzioni creative e personalizzate per le sfide operative. Questo approccio

¹⁶ Approccio creativo e iterativo alla risoluzione di problemi complessi, incentrato sull'utente, che integra empatia, ideazione, prototipazione e test per sviluppare soluzioni innovative.

incentiva la collaborazione tra team interfunzionali, portando a un'integrazione più fluida ed efficace dell'IA (Troisi, 2019).

L'integrazione dell'IA nella *Supply Chain* non riguarda solo la tecnologia; richiede anche un cambiamento significativo nelle competenze manageriali. La gestione della *Supply Chain* è diventata un'area interfunzionale che richiede una visione strategica, capacità di prendere decisioni basate su dati e competenze nella gestione del cambiamento, i manager devono essere in grado di orchestrare risorse umane, tecnologiche e processuali per massimizzare i benefici derivanti dall'IA. Inoltre, i manager devono sviluppare competenze nella gestione del rischio e della resilienza, poiché l'adozione dell'IA introduce nuove vulnerabilità, tra cui la dipendenza da sistemi automatizzati e la crescente minaccia dei cyber-attacchi. La capacità di anticipare e rispondere a queste sfide è fondamentale per garantire la continuità operativa e la sostenibilità a lungo termine della *Supply Chain* (Duan, 2019).

Uno degli aspetti più importanti delle competenze manageriali è la capacità di gestire il cambiamento. L'introduzione delle nuove tecnologie comporta un cambiamento significativo nei processi aziendali, nelle strutture organizzative e nella cultura aziendale. I leader devono essere in grado di anticipare le resistenze interne, comunicare una visione chiara del futuro e motivare i dipendenti a partecipare attivamente al cambiamento. La gestione del cambiamento richiede anche una solida comprensione delle dinamiche organizzative e una forte capacità di *leadership*, che non si limita solo a gestire le persone, ma include la gestione delle risorse e dei processi e una forte capacità di comunicazione. I manager devono saper articolare una visione chiara e convincente del futuro, spiegando come l'IA possa migliorare le operazioni aziendali e i benefici che può apportare, affrontando al contempo le preoccupazioni e le resistenze che possono emergere tra i dipendenti. La resistenza al cambiamento è un fenomeno naturale in qualsiasi organizzazione, e diventa particolarmente pronunciata quando si introducono tecnologie nuove e potenzialmente dirompenti. I leader devono quindi dimostrare empatia, ascoltare le preoccupazioni dei dipendenti e fornire il supporto necessario per facilitare la transizione.

Un altro aspetto cruciale della leadership nella gestione della *Supply Chain* è la capacità di promuovere un ambiente di apprendimento continuo. Poiché l'IA e altre tecnologie digitali sono in continua evoluzione, è fondamentale che i professionisti della *Supply Chain* rimangano aggiornati sulle ultime tendenze e sviluppi. Questo richiede una cultura aziendale che valorizzi l'apprendimento e l'innovazione. I leader devono incoraggiare i dipendenti a sviluppare nuove competenze e a esplorare nuove idee, creando un ambiente in cui l'innovazione può prosperare (Bălan, 2019). Ad esempio, i manager devono essere in grado di bilanciare l'innovazione con la necessità di mantenere la continuità operativa. Devono anche saper gestire il rischio associato all'adozione di nuove tecnologie, garantendo che l'integrazione dell'IA avvenga in modo fluido e senza interruzioni significative alle operazioni quotidiane.

L'integrazione dell'IA nella *Supply Chain* non è un compito che può essere svolto in isolamento, richiede una collaborazione stretta non solo tra le diverse funzioni aziendali, inclusi IT, logistica, produzione e gestione delle risorse umane. È essenziale che questa collaborazione garantisca che i sistemi di IA siano perfettamente integrati con le operazioni esistenti e che lavorino in sinergia con altre tecnologie e processi aziendali. Un aspetto chiave di questa collaborazione è la gestione efficace delle relazioni tra le diverse parti interessate, sia all'interno che all'esterno dell'organizzazione. Una *Supply Chain* efficiente si basa su una rete complessa di relazioni che coinvolge fornitori, partner logistici, distributori e clienti. L'IA può migliorare significativamente queste relazioni, fornendo informazioni più accurate e tempestive, che facilitano una migliore coordinazione e cooperazione tra tutti gli attori (Papier, 2023).

L'adozione dell'IA nella *Supply Chain* non solo rivoluziona i processi operativi, ma crea anche nuove opportunità professionali e pone sfide rilevanti in termini di riqualificazione del personale. Sono infatti emerse nuove figure professionali che assumono ruoli fondamentali nell'integrazione e gestione dell'IA all'interno delle organizzazioni. Tra queste, i *trainer* sono responsabili dell'adattamento dei sistemi di IA alle esigenze specifiche delle aziende. Il loro compito non si limita alla programmazione di algoritmi, ma include la comprensione del contesto operativo in cui l'IA deve funzionare, ottimizzando i sistemi per rispondere alle specifiche necessità aziendali. Questo ruolo

richiede non solo competenze tecniche avanzate, ma anche una profonda conoscenza del settore in cui l'azienda opera. Gli *explainer* sono professionisti incaricati di colmare il divario tra la complessità tecnica dell'IA e la necessità di prendere decisioni aziendali informate. Interpretano i risultati degli algoritmi di IA e li traducono in informazioni comprensibili e utili per i manager, facilitando decisioni strategiche basate su dati concreti. Questo ruolo richiede una combinazione di competenze tecniche e abilità di comunicazione, poiché è fondamentale che concetti complessi vengano spiegati in modo chiaro e persuasivo. I *sustainer* sono invece fondamentali per garantire che i sistemi di IA operino in modo etico e conforme alle normative. In un contesto globale, dove le differenze culturali e regolamentari possono influenzare l'implementazione dell'IA, i *sustainer* assicurano che i sistemi rispettino i valori aziendali e le normative vigenti. Questo ruolo richiede una comprensione approfondita non solo delle tecnologie coinvolte, ma anche dei contesti culturali e normativi in cui queste tecnologie vengono implementate, permettendo alle organizzazioni di gestire con successo le complessità legate all'adozione dell'IA su scala globale. Se l'IA viene applicata in mercati già saturi, dove la domanda è inelastica, si potrebbe osservare una riduzione dell'occupazione in quei settori, nonostante i guadagni in termini di produttività. In questo scenario, il ruolo dei *trainer*, *explainer* e *sustainer* diventa ancora più cruciale, poiché le loro competenze saranno fondamentali per affrontare le sfide del mercato e massimizzare l'impatto positivo dell'IA sull'occupazione (Bessen, 2018).

In sintesi, mentre l'IA trasforma radicalmente la *Supply Chain* e apre nuove opportunità professionali, porta con sé anche sfide significative in termini di adattamento e riqualificazione del personale. L'adozione dell'IA nella *Supply Chain* rappresenta non solo una sfida tecnologica, ma anche una trasformazione culturale e organizzativa che richiede un impegno costante da parte dei leader e di tutti i professionisti coinvolti. La combinazione di competenze tecniche avanzate e una profonda conoscenza dei contesti aziendali e normativi è essenziale per garantire che l'adozione dell'IA avvenga in modo sostenibile ed etico, consentendo alle organizzazioni di sfruttare appieno il potenziale rivoluzionario di questa tecnologia. La gestione del cambiamento culturale nell'adozione dell'IA rappresenta una sfida significativa, ma al contempo una necessità cruciale per il successo della trasformazione digitale. La cultura organizzativa può agire sia come

catalizzatore che come ostacolo nella realizzazione di una trasformazione digitale efficace, come dimostrato da diversi studi. L'importanza della cultura organizzativa come dimensione critica della maturità digitale è ormai ampiamente riconosciuta. Tuttavia, molti modelli di maturità digitale non integrano sistematicamente gli attributi culturali necessari per sostenere una trasformazione digitale completa. Di conseguenza, per molte aziende, la mancanza di un'adeguata preparazione culturale può diventare un collo di bottiglia nel loro percorso verso la digitalizzazione.

La leadership gioca un ruolo fondamentale nel guidare il cambiamento culturale, poiché i leader sono chiamati a sviluppare un ambiente di lavoro che supporti l'adozione delle nuove tecnologie. La capacità di promuovere una cultura del cambiamento e di preparare l'organizzazione per la trasformazione digitale è essenziale per superare le resistenze interne e garantire che l'IA venga integrata in modo armonioso nelle operazioni aziendali (Sainger, 2018). Nel contesto attuale, la gestione del cambiamento culturale è cruciale per garantire che le tecnologie digitali, inclusa l'IA, non solo vengano adottate, ma anche implementate in modo efficace.

La cultura organizzativa deve essere adattativa, capace di evolversi e rispondere ai cambiamenti ambientali. Questo significa che le aziende devono investire non solo in tecnologie, ma anche nello sviluppo di una cultura che valorizzi l'innovazione, l'apprendimento continuo e la flessibilità (Teichert, 2019). Questi aspetti evidenziano la necessità di un approccio olistico alla gestione del cambiamento, dove le competenze tecniche devono essere affiancate da una forte leadership culturale e da strategie organizzative che favoriscano un ambiente propizio alla trasformazione digitale. È quindi fondamentale che le aziende comprendano l'importanza della cultura organizzativa e si impegnino a sviluppare una cultura che supporti la loro visione digitale, promuovendo al contempo l'integrazione armoniosa delle nuove tecnologie.

In sintesi, mentre la tecnologia offre potenti strumenti per migliorare le operazioni aziendali, il vero successo della trasformazione digitale dipende dalla capacità delle organizzazioni di gestire efficacemente il cambiamento culturale e di sviluppare una cultura che supporti e favorisca l'innovazione digitale

3.3 Sfide e problematiche nell'implementazione

Come affrontato nei capitoli precedenti, l'intelligenza artificiale è emersa come un motore cruciale per l'innovazione aziendale, promettendo di rivoluzionare i processi operativi e di generare vantaggi competitivi sostenibili. Tuttavia, il percorso verso l'integrazione efficace dell'IA nelle aziende presenta numerose sfide significative. L'adozione dell'IA, sebbene ricca di potenzialità, espone le organizzazioni a una serie di problematiche complesse. Tra queste, la gestione dei dati si pone come un punto critico, in cui la qualità, la sicurezza e la privacy dei dati raccolti e utilizzati rappresentano barriere sostanziali. Inoltre, l'integrazione dell'IA con sistemi legacy esistenti può richiedere ristrutturazioni costose e tecnicamente impegnative. Oltre agli ostacoli tecnologici, emerge la resistenza al cambiamento culturale: la transizione verso un'organizzazione guidata dall'IA richiede non solo nuove competenze tecniche, ma anche un cambio di mentalità significativo, che spesso incontra resistenze interne.

Le aziende devono inoltre confrontarsi con le implicazioni etiche dell'IA, come la gestione dei bias negli algoritmi e la necessità di garantire che le decisioni automatizzate siano trasparenti e giuste. La governance dell'IA, infine, richiede strutture robuste per monitorare e regolare l'uso di questa tecnologia, assicurando la conformità alle normative e il rispetto dei valori aziendali. Le problematiche legate all'implementazione dell'IA saranno analizzate in profondità, con l'obiettivo di delineare un quadro chiaro delle competenze necessarie e delle strategie che possono guidare le aziende verso una gestione efficace e sostenibile dell'innovazione basata sull'IA.

Una delle principali sfide nell'implementazione dell'intelligenza artificiale generativa riguarda la gestione dei dati, questa tecnologia richiede enormi quantità di dati per funzionare efficacemente, rendendo la qualità di tali dati un elemento cruciale per il successo. Le aziende spesso devono affrontare difficoltà significative nella raccolta, archiviazione ed elaborazione di dati eterogenei, che possono provenire da fonti diverse e non sempre compatibili. La qualità dei dati è essenziale per garantire che gli algoritmi di IA producano risultati accurati e utili. Questo richiede l'adozione di misure rigorose per

la verifica e la validazione dei dati raccolti, poiché anche piccole discrepanze possono compromettere l'affidabilità degli output generati dall'IA (Abdallah, 2020). Inoltre, la gestione dei dati pone sfide ulteriori legate alla privacy e alla sicurezza informatica. Le aziende devono assicurarsi che i dati sensibili siano protetti da accessi non autorizzati e che siano rispettate le normative sulla privacy, che variano spesso a seconda della giurisdizione. Questo richiede investimenti significativi in infrastrutture di sicurezza, comprese tecnologie avanzate per la crittografia dei dati e per la protezione contro le intrusioni. L'importanza di mantenere un equilibrio tra accessibilità dei dati per gli algoritmi di IA e protezione dei dati stessi è un tema centrale, poiché la compromissione della sicurezza potrebbe non solo danneggiare l'integrità del sistema, ma anche esporre l'azienda a gravi rischi legali e reputazionali.

Un'altra complessità nella gestione dei dati all'interno della *Supply Chain* risiede nella necessità di elaborare grandi volumi di dati in tempo reale, un aspetto fondamentale per molte applicazioni di AI che richiedono aggiornamenti continui e tempestivi. La capacità di un'azienda di rispondere rapidamente a queste problematiche può determinare il successo o il fallimento dell'ottimizzazione della *Supply Chain*, poiché dati di bassa qualità possono portare a previsioni errate della domanda, inefficienze logistiche e decisioni sbagliate riguardo l'inventario. In aggiunta, la necessità di gestire dati provenienti da fornitori, distributori e sistemi di produzione, tutti in formati eterogenei, impone l'adozione di *framework* di qualità dei dati specifici per i *Big Data*, così da garantire che le informazioni siano accurate e utilizzabili in modo efficace lungo tutta la catena di approvvigionamento.

Questi framework devono affrontare le sfide legate alla varietà, velocità e volume dei dati, garantendo che i dati siano utilizzabili per le applicazioni di IA senza compromettere la loro integrità e affidabilità. Implementare un framework robusto per la qualità dei dati è fondamentale per assicurare che l'IA generativa possa operare con la precisione e l'efficienza necessarie per supportare le decisioni aziendali critiche (Kothapalli, 2023). Per affrontare le sfide legate alla gestione dei dati nell'implementazione dell'IA, le aziende devono adottare strategie che migliorino la qualità e l'affidabilità dei dati. Un approccio proattivo inizia con l'analisi approfondita dei dati, nota come *data profiling*,

che consente di comprendere la struttura, il contenuto e la qualità dei dati stessi. Questo processo è fondamentale per identificare e correggere tempestivamente errori e inconsistenze attraverso tecniche di *data cleansing*, migliorando così l'affidabilità e l'utilità dei dati per gli algoritmi di IA.

La validazione dei dati è un altro passo cruciale per assicurare che essi siano accurati, completi e conformi agli standard aziendali. Questo non solo riduce il rischio di ottenere risultati fuorvianti dagli algoritmi di IA, ma permette anche di arricchire i dati aggiungendo informazioni supplementari che ne migliorano la rilevanza e l'accuratezza (Duan e Edwards, 2019). L'integrazione di tecnologie avanzate, come il ML, può inoltre essere utilizzata per monitorare e migliorare continuamente la qualità dei dati in tempo reale, identificando e correggendo eventuali anomalie prima che possano influire negativamente sulle decisioni aziendali (Gupta e George, 2016). Parallelamente, l'adozione di una governance dei dati robusta è essenziale, questa deve includere politiche e procedure chiare per la gestione dei dati lungo tutto il loro ciclo di vita, assicurando che l'utilizzo dei dati sia conforme alle normative vigenti e agli standard etici. La governance dei dati contribuisce a mantenere un controllo rigoroso sulla qualità dei dati e a garantire la loro sicurezza e integrità.

Infine, l'implementazione di strumenti appositamente progettati per la gestione e l'analisi di grandi volumi di dati può offrire un supporto cruciale alle aziende nell'affrontare le complesse sfide legate alla scalabilità e alla velocità di elaborazione. Questi strumenti avanzati consentono di trattare enormi quantità di dati in maniera efficiente, garantendo che le informazioni siano sempre pronte e disponibili per essere sfruttate dagli algoritmi di IA. In questo modo, le aziende possono non solo ottimizzare il processo decisionale, ma anche migliorare in modo significativo le performance aziendali complessive, promuovendo una gestione più accurata e reattiva. Inoltre, l'adozione di tali strumenti permette di ridurre i tempi di elaborazione e analisi, migliorando la capacità di risposta in tempo reale a sfide e opportunità del mercato (Chen, 2014).

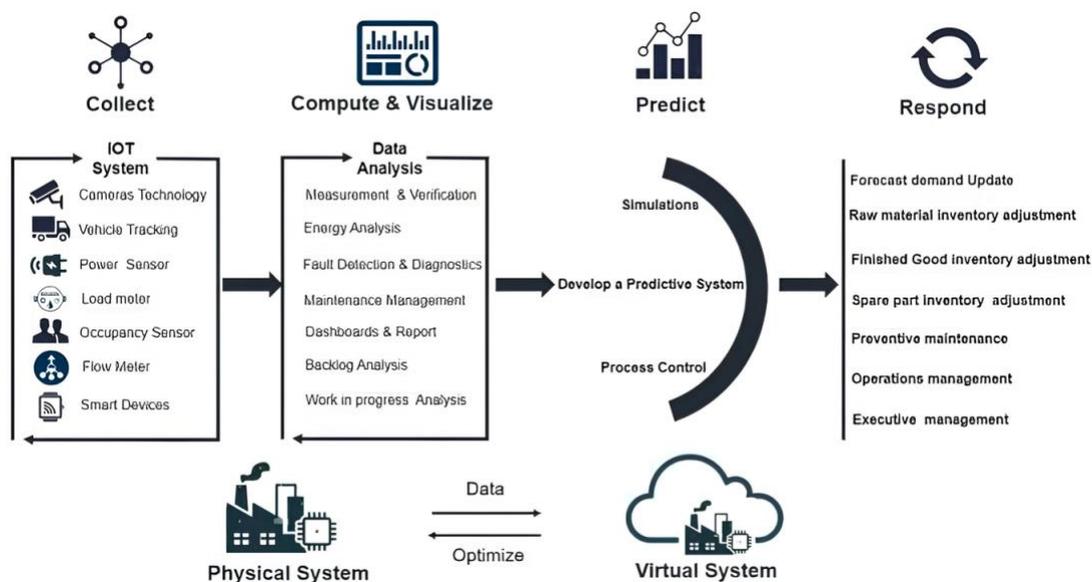


Figura 4, Modello di ciclo completo della gestione della Supply Chain. *Espinosa-Jaramillo, M. T., Zuta, V. F. M. (2024).*

Per affrontare le problematiche legate ai sistemi *legacy*, una strategia efficace è l'approccio incrementale, che prevede la sostituzione graduale dei componenti *legacy* con nuove tecnologie, evitando un rinnovamento completo e immediato. Questo metodo riduce i rischi associati alla migrazione, permettendo ai sistemi *legacy* di coesistere con i nuovi sistemi durante il periodo di transizione. La coesistenza ibrida consente alle organizzazioni di mantenere operativa la parte *legacy* del sistema mentre nuove funzionalità e tecnologie vengono integrate gradualmente, migliorando la resilienza e riducendo i tempi di inattività (Mitchell, 2022). Inoltre, la migrazione verso architetture basate su microservizi rappresenta un'altra soluzione efficace. Questo approccio consiste nel suddividere le grandi applicazioni monolitiche in componenti più piccoli e indipendenti che possono essere sviluppati, distribuiti e scalati separatamente. Questa strategia facilita l'integrazione di nuove tecnologie, come l'IA, permettendo di aggiornare o sostituire singoli moduli senza dover riprogettare l'intero sistema. L'adozione dei microservizi contribuisce inoltre a ridurre la dipendenza dai sistemi *legacy* e a migliorare la flessibilità complessiva del sistema (Smith e Anderson, 2023).

Quando un sistema *legacy* ha un alto valore aziendale ma è tecnicamente obsoleto, la reingegnerizzazione può essere una soluzione adeguata. Questo processo implica il rifacimento del sistema per migliorarne la qualità tecnica senza perdere il valore

aziendale. La migrazione verso nuove tecnologie, come il *cloud computing*¹⁷ o l'IA, può essere facilitata dalla reingegnerizzazione, consentendo all'azienda di sfruttare appieno le potenzialità delle tecnologie emergenti pur mantenendo l'integrità del sistema originale (Jones, 2023).

La resistenza al cambiamento all'interno delle organizzazioni è un fenomeno complesso e multi-sfaccettato, che emerge spesso durante l'introduzione di innovazioni tecnologiche. Questo fenomeno è influenzato da vari fattori, tra cui l'autoefficacia percepita e la soddisfazione delle prestazioni con i metodi attuali. L'autoefficacia, ovvero la percezione della propria capacità di utilizzare con successo una nuova tecnologia, gioca un ruolo cruciale nel determinare il livello di resistenza al cambiamento. Gli individui che percepiscono una bassa autoefficacia tendono a mostrare una maggiore resistenza, preferendo mantenere lo status quo piuttosto che affrontare il rischio di fallimento associato all'adozione di nuove tecnologie. Allo stesso modo, la soddisfazione con le prestazioni attuali può rinforzare la resistenza al cambiamento. Se gli individui sono soddisfatti dei risultati ottenuti con i metodi attuali, saranno meno motivati a considerare alternative, anche se queste potrebbero offrire miglioramenti significativi. Questa soddisfazione, tuttavia, non è sempre basata su un'analisi razionale, ma può essere influenzata da abitudini consolidate e dall'avversione al rischio (Ellen e Bearden, 1991).

La resistenza al cambiamento può anche essere vista come un *feedback* prezioso che segnala potenziali difetti nei processi di cambiamento o disallineamenti tra i valori degli individui e quelli imposti dalla nuova tecnologia. Questo punto di vista suggerisce che la resistenza non dovrebbe essere semplicemente superata, ma compresa e integrata nel processo di gestione del cambiamento (Hon, 2011). In sintesi, la gestione efficace della resistenza al cambiamento richiede un approccio che consideri sia i fattori psicologici,

¹⁷ Modello di erogazione di servizi informatici che permette di accedere a risorse e applicazioni via internet, su richiesta, senza dover gestire direttamente l'infrastruttura fisica. Queste risorse includono server, storage, database, reti e software, e vengono fornite da provider di servizi cloud, consentendo alle aziende di scalare rapidamente e pagare solo per ciò che utilizzano.

come l'autoefficacia, sia le dinamiche organizzative, come la soddisfazione delle prestazioni e l'allineamento culturale.

L'implementazione dell'IA nella *Supply Chain* porta con sé una serie di opportunità per migliorare l'efficienza operativa, ridurre i costi e aumentare la reattività ai cambiamenti del mercato. Tuttavia, l'adozione di queste tecnologie avanzate solleva anche importanti questioni etiche e di governance che non possono essere ignorate. Mentre l'IA può potenzialmente trasformare i processi aziendali, il modo in cui viene applicata deve essere attentamente regolamentato per evitare conseguenze negative, come decisioni discriminatorie, violazioni della privacy e impatti negativi sull'occupazione. In questo capitolo esploreremo le principali sfide etiche e di governance che le aziende devono affrontare durante l'integrazione dell'IA nella loro *Supply Chain*. Verranno esplorati temi fondamentali come la trasparenza e l'equità degli algoritmi, la protezione dei dati, la responsabilità nelle decisioni automatizzate e l'impatto dell'IA sul mercato del lavoro. Particolare attenzione sarà dedicata all'importanza di stabilire strutture di governance robuste, complete di linee guida etiche e meccanismi di revisione, per garantire che l'IA sia utilizzata in modo responsabile, allineato ai valori aziendali e conforme alle normative legali.

Un aspetto critico da considerare riguarda i bias algoritmici, ovvero pregiudizi sistematici che possono emergere durante il processo decisionale automatizzato, derivanti da dati di addestramento distorti o da assunzioni implicite nei modelli. Questi bias possono portare a decisioni ingiuste o discriminatorie, amplificando pregiudizi esistenti o introducendone di nuovi. Una delle principali fonti di bias è rappresentata dai dati di addestramento. Se i dati utilizzati per addestrare un modello di IA riflettono pregiudizi esistenti nella società, l'algoritmo tenderà a replicare e amplificare questi pregiudizi nelle sue decisioni. Per esempio, un algoritmo di selezione del personale addestrato su dati storici che riflettono una preferenza per candidati maschi potrebbe continuare a favorire inconsapevolmente i maschi rispetto alle femmine nelle nuove selezioni (Dastin, 2018). Per mitigare il rischio di bias negli algoritmi, è essenziale adottare una serie di strategie. Una delle più efficaci è l'adozione di pratiche di data *auditing*, che prevede una revisione attenta dei dati utilizzati per l'addestramento, con l'obiettivo di identificare e correggere eventuali

pregiudizi o squilibri. Inoltre, l'uso di tecniche di *fairness-aware machine learning*¹⁸ può aiutare a sviluppare modelli che bilanciano meglio le decisioni, riducendo l'impatto dei bias senza compromettere l'efficacia del sistema (Bellamy, 2018).

Un altro approccio importante è l'implementazione di sistemi di monitoraggio continuo durante l'uso dell'algoritmo. Questo significa non solo controllare le performance del modello nel tempo, ma anche verificare regolarmente che le decisioni generate non siano influenzate da bias emergenti. In contesti aziendali, ciò può essere integrato con politiche di governance dell'IA che includano l'adozione di principi etici e linee guida per l'uso responsabile dell'intelligenza artificiale (Binns, 2018). In sintesi, la gestione dei bias algoritmici richiede un impegno costante e un approccio multidisciplinare che combini audit dei dati, tecniche avanzate di ML e monitoraggio continuo (Ertz, 2021).

La gestione della privacy dei dati nella *Supply Chain* con l'uso dell'IA è cruciale, poiché l'integrazione di queste tecnologie comporta la raccolta e l'elaborazione di grandi quantità di dati sensibili, rendendo essenziale la protezione di tali informazioni. Le divisioni di *Supply Chain* e *procurement* gestiscono spesso dati sensibili, il che le rende bersagli di attacchi informatici, e pertanto è necessario implementare misure di sicurezza come sistemi di archiviazione sicura, protocolli di crittografia avanzati e la formazione del personale sulla gestione sicura dei dati. La conformità alle normative sulla privacy, come il GDPR¹⁹, è non negoziabile, e le aziende devono prepararsi a rispettare eventuali nuove regolamentazioni che potrebbero emergere con l'evoluzione della tecnologia IA.

Inoltre, la sicurezza dei dati è una preoccupazione crescente con l'aumento dell'uso di IA e *Big Data* nella *Supply Chain*, poiché questi sistemi possono essere vulnerabili a sofisticati attacchi informatici, il che richiede un approccio proattivo per proteggere

¹⁸ Approccio che mira a sviluppare algoritmi di apprendimento automatico che evitino bias e discriminazioni, assicurando che le decisioni del modello siano eque per tutti i gruppi, indipendentemente da caratteristiche come razza, genere o età.

¹⁹ *General Data Protection Regulation* è il regolamento dell'Unione Europea che stabilisce norme rigorose sulla protezione dei dati personali, garantendo la privacy e i diritti degli individui nell'era digitale.

l'integrità dei dati e prevenire accessi non autorizzati. È essenziale che le organizzazioni adottino una strategia di *cybersecurity* che includa la protezione delle catene di approvvigionamento digitali per ridurre il rischio di interruzioni operative dovute a violazioni dei dati (Konstantin von Bueren, 2023). Mantenere la fiducia degli *stakeholder* è fondamentale, e ciò richiede che le pratiche di gestione dei dati siano trasparenti e conformi agli standard etici e legali, assicurando che l'integrazione dell'IA nella *Supply Chain* avvenga in modo etico e sostenibile. Oltre a proteggere i dati sensibili e garantire la conformità alle normative, le aziende devono affrontare anche la questione cruciale della responsabilità e dell'*accountability* nell'uso dell'IA. Quando le decisioni automatizzate possono avere impatti significativi, è essenziale che ci sia una chiara definizione di chi è responsabile per tali decisioni. Questo richiede lo sviluppo di strutture di governance che includano non solo la supervisione continua da parte di esperti umani, ma anche meccanismi di rendicontazione trasparenti, per garantire che l'IA operi in modo etico e conforme ai valori aziendali (Floridi e Cowls, 2019). In questo modo, le aziende possono non solo proteggersi da potenziali rischi legali e reputazionali, ma anche costruire e mantenere la fiducia degli *stakeholder*.

Oltre a ciò, le aziende devono considerare attentamente l'impatto significativo che l'IA può avere sull'occupazione e sulle relazioni lavorative. Come abbiamo già esplorato in precedenza, l'automazione spinta dall'IA ha il potenziale di trasformare radicalmente il mercato del lavoro, sostituendo alcune mansioni tradizionali con processi automatizzati, ma al contempo creando nuove opportunità per ruoli più specializzati. Questa trasformazione impone una riflessione approfondita per evitare conseguenze negative, come la perdita di posti di lavoro e l'aumento delle disuguaglianze sociali. Per affrontare queste sfide, le aziende devono adottare un approccio etico e responsabile, investendo nella riqualificazione dei lavoratori e nella gestione delle transizioni occupazionali. L'obiettivo è garantire che l'adozione dell'IA non solo migliori l'efficienza operativa, ma contribuisca anche a creare un ambiente di lavoro più equo e inclusivo. In questo contesto, è necessario ripensare le relazioni lavorative, enfatizzando la collaborazione tra uomini e macchine e promuovendo lo sviluppo di nuove competenze che valorizzino il contributo umano in sinergia con le capacità dell'IA (Brynjolfsson e McAfee, 2014).

La governance dell'IA nella *Supply Chain* rappresenta un aspetto fondamentale per garantire che l'adozione di queste tecnologie avvenga in modo responsabile e allineato con i valori etici e legali dell'organizzazione. Un sistema di governance ben strutturato non si limita a supervisionare l'uso dell'IA, ma stabilisce anche le basi per un'implementazione strategica che consideri le implicazioni a lungo termine sulle operazioni aziendali e sulla società. Uno degli elementi chiave è la definizione di ruoli e responsabilità all'interno dell'organizzazione. È essenziale che ci sia chiarezza su chi è responsabile della gestione delle tecnologie IA, dall'integrazione dei sistemi all'analisi delle decisioni automatizzate. Questo richiede la creazione di strutture di governance dedicate, come comitati etici o gruppi di lavoro interfunzionali, che abbiano il compito di monitorare e valutare continuamente l'impatto dell'IA sulle operazioni aziendali e sugli stakeholder esterni (Gasser e Almeida, 2017). Oltre a definire responsabilità interne, la governance dell'IA deve includere meccanismi per la gestione del rischio, poiché l'adozione dell'IA introduce nuovi rischi legati alla sicurezza dei dati, all'affidabilità delle decisioni automatizzate, e alla conformità normativa. Le aziende devono identificare questi rischi, valutandoli costantemente, e implementare misure di mitigazione come tecnologie di sicurezza avanzate e formazione continua del personale.

Il monitoraggio continuo e l'allineamento con la strategia aziendale sono essenziali per garantire che la gestione del rischio non solo protegga l'organizzazione, ma rafforzi anche la sua sostenibilità e reputazione a lungo termine. Un altro aspetto cruciale della governance dell'IA è l'allineamento strategico. L'IA dovrebbe essere implementata in modo da supportare gli obiettivi aziendali a lungo termine e non solo come soluzione tecnologica per migliorare l'efficienza operativa a breve termine. Questo implica che la governance dell'IA deve essere strettamente integrata con la strategia aziendale complessiva, assicurando che le tecnologie adottate siano scalabili, sostenibili e in grado di evolversi con le esigenze del mercato. Inoltre, la governance deve garantire che l'uso dell'IA sia coerente con i valori dell'azienda e con le aspettative degli stakeholder, contribuendo così a costruire una reputazione di responsabilità e affidabilità nel lungo periodo (Floridi e Cowls, 2019). Infine, la governance dell'IA deve promuovere l'innovazione responsabile. È fondamentale che l'innovazione avvenga in un contesto che consideri attentamente le implicazioni etiche e sociali. Questo significa che le aziende

devono adottare un approccio proattivo nella gestione dell'IA, esplorando nuove tecnologie e processi, ma sempre con un occhio di riguardo per gli impatti che queste innovazioni potrebbero avere sulla forza lavoro, sugli *stakeholder* e sulla società in generale.

3.4 Formulazione di strategie integrate

Dopo aver esaminato nel dettaglio le competenze necessarie per l'implementazione dell'intelligenza artificiale, facendo particolare riferimento al suo uso nella *Supply Chain* e le sfide che le aziende possono incontrare durante questo processo, è ora essenziale concentrare l'attenzione su come formulare strategie integrate efficaci. Queste strategie non solo devono facilitare l'adozione e l'integrazione dell'IA nei sistemi esistenti, ma devono anche promuovere una sinergia tra tecnologia, persone e processi. L'obiettivo è creare un ecosistema operativo che sfrutti appieno le potenzialità dell'IA per migliorare l'efficienza, la flessibilità e la resilienza della *Supply Chain*, mantenendo al contempo un vantaggio competitivo sostenibile. In questo contesto, analizzeremo come diverse aziende possono implementare strategie integrate che consentano non solo di affrontare le sfide, ma anche di trarre vantaggio dalle opportunità offerte dall'IA.

	GENERIC ELEMENTS	SPECIFIC AND POTENTIALLY DISRUPTIVE ELEMENTS
1. DATA AND SYSTEM REQUIREMENTS	1A. Data availability, quality and volume; Data confidentiality 1B. Technological infrastructure, computational resources, and information system integration; Cybersecurity systems 1C. Complementary technologies (e.g., IoT, blockchain) <i>AI presents data and system requirements already highlighted for digital transformation and Industry 4.0</i>	1A. New data sources and methods to reduce data dependency <i>AI can offset some data limitations in internal operations and avoid the need of data sharing along the SC</i>
2. TECHNOLOGY DEPLOYMENT PROCESS	2A. Investments/resource allocation; Strategic alignment with business requirements; Cost-benefit assessment; Incremental rollout 2B. Accuracy of the analytical approach 2C. Technical expertise, Domain competence; External expertise <i>AI deployment entails planning activities, assessments, incremental roll-out, and the involvement of tech and domain competence</i>	2B. Model update and maintenance; Self-design and updating <i>AI deployment occurs on a continuous basis, some design/updates can be automated via cloud-based platforms</i>
3. (INTER) ORGANIZATIONAL INTEGRATION	3A. Organizational culture and change management; Workforce fears and job engagement; Managerial understanding of technology 3B. Workforce upskilling and retraining 3C. Process digitalization and standardization; Organizational design 3D. Redefinition of the SC structure <i>AI has multi-scaled impacts (from individual to SC level) which need to be managed</i>	3A. Reliability perception and "black-box" issues 3B. Job redefinition; Task/job automation 3C. Integration of AI into decision-making processes <i>AI entails technological agency, which is more complex to manage for black-box, automation-driven solutions</i>
4. PERFORMANCE IMPLICATIONS	4A. Cost/efficiency; Time; Quality and process reliability; Flexibility <i>AI impacts all dimensions of operational performance, depending on specific applications.</i>	4B. Risk management and resilience; Innovation and customer relationships; Social and environmental sustainability <i>AI brings in new capabilities that complement/enhance existing organizational ones.</i>

Figura 5: Strategie integrate per implementazione dell'IA nella *Supply Chain*. Culot, G., Podrecca, M., & Nassimbeni, G. (2024)

L'integrazione verticale e orizzontale della *Supply Chain* con l'ausilio dell'IA rappresenta un approccio strategico essenziale per migliorare l'efficienza, ridurre i costi e aumentare la competitività delle aziende. L'integrazione verticale nella *Supply Chain* comporta la gestione centralizzata di più livelli della catena del valore all'interno di un'unica organizzazione. L'IA gioca un ruolo fondamentale in questo contesto, facilitando la coordinazione tra le varie fasi della produzione, della logistica e della distribuzione. Grazie a questa, le organizzazioni possono implementare sistemi di monitoraggio e controllo altamente automatizzati, che riducono al minimo gli sprechi e migliorano l'efficienza operativa. Ad esempio, l'analisi dei dati in tempo reale permette di adattare rapidamente le strategie operative, ottimizzando il flusso di materiali e risorse attraverso l'intera *Supply Chain* (Kholodenko, 2020). Un altro vantaggio dell'integrazione verticale, potenziato dall'IA, è la possibilità di prevedere e mitigare le disfunzioni nella *Supply Chain* attraverso l'uso di modelli predittivi. L'IA consente di elaborare enormi quantità di dati provenienti da diverse fonti all'interno dell'organizzazione, generando previsioni accurate che aiutano a prevenire colli di bottiglia e interruzioni nel processo produttivo (Ben-Daya, 2023). Questo approccio integrato non solo migliora la qualità del prodotto finale, ma rafforza anche la capacità dell'azienda di rispondere rapidamente alle variazioni della domanda del mercato.

L'integrazione orizzontale, invece, coinvolge la collaborazione tra aziende che operano allo stesso livello della *Supply Chain*. L'obiettivo principale di questa strategia è sfruttare le sinergie tra diverse entità per migliorare la capacità complessiva di rispondere alle richieste del mercato. L'IA facilita questo tipo di integrazione attraverso la condivisione di dati e risorse tra aziende partner, permettendo una maggiore coerenza e coordinazione nelle operazioni. In particolare, l'IA può essere utilizzata per ottimizzare i processi logistici e di distribuzione, coordinando le attività tra più attori della *Supply Chain* in modo che le risorse vengano allocate in modo efficiente e tempestivo (Riahi e Homayouni, 2023). L'integrazione orizzontale, potenziata dall'IA, offre anche la possibilità di sviluppare modelli di business più flessibili, in cui le aziende possono adattarsi rapidamente alle nuove opportunità o sfide. Questo tipo di integrazione è particolarmente utile in contesti altamente dinamici, dove la capacità di rispondere con

rapidità alle richieste del mercato può determinare il successo o il fallimento di un'organizzazione. Inoltre, l'IA facilita la creazione di piattaforme collaborative che permettono alle aziende di condividere in modo sicuro informazioni critiche, migliorando la trasparenza e la fiducia tra partner (Lopes, 2023).

La personalizzazione della *Supply Chain*, potenziata dall'uso dell'IA, rappresenta una strategia chiave per le aziende che desiderano rispondere in modo più efficiente e preciso alle esigenze dei loro clienti. L'IA permette alle organizzazioni di raccogliere e analizzare dati dettagliati sui comportamenti e le preferenze dei clienti, facilitando la creazione di offerte personalizzate e l'ottimizzazione dei processi lungo l'intera catena di fornitura. Uno dei principali vantaggi dell'IA nella personalizzazione della *Supply Chain* è la sua capacità di gestire e analizzare enormi volumi di dati provenienti da diverse fonti. Questo consente alle aziende di segmentare il mercato in modo più accurato e di adattare la produzione e la distribuzione in base alle esigenze specifiche di ciascun cliente o segmento di mercato. L'IA può anche prevedere la domanda futura con maggiore precisione, riducendo gli sprechi e ottimizzando l'uso delle risorse (Wamba, 2021). Inoltre, l'IA consente una maggiore flessibilità operativa, permettendo alle aziende di passare rapidamente da un modello di produzione standardizzato a uno più personalizzato. Ad esempio, l'adozione di tecnologie come il ML e l'analisi predittiva può facilitare la transizione verso modelli di produzione "on-demand", in cui i prodotti sono realizzati e distribuiti solo quando richiesti, riducendo così le scorte in eccesso e migliorando la reattività alle richieste del mercato (Belhadi, 2021).

La personalizzazione della *Supply Chain* non si limita alla produzione, ma si estende anche alla logistica e alla distribuzione. L'IA può ottimizzare i percorsi di consegna e le tempistiche, garantendo che i prodotti arrivino ai clienti nel modo più efficiente possibile. Inoltre, l'uso di sistemi di IA per il monitoraggio e l'analisi in tempo reale consente di effettuare aggiustamenti immediati in risposta a cambiamenti imprevisti, migliorando ulteriormente la soddisfazione del cliente e la competitività aziendale (Grover, 2020). Infine, la personalizzazione facilitata dall'IA richiede una gestione attenta delle informazioni e delle risorse all'interno della *Supply Chain*. Le aziende devono sviluppare capacità avanzate di elaborazione delle informazioni per integrare i dati provenienti da

diverse fonti e trasformarli in decisioni operative che supportino la personalizzazione. Questo processo richiede un'attenzione particolare alla resilienza della *Supply Chain*, per garantire che possa adattarsi rapidamente a perturbazioni o variazioni nella domanda senza compromettere la qualità o l'efficienza (Srinivasan e Swink, 2018).

Tra i numerosi vantaggi, l'adozione dell'IA, ha reso possibile lo sviluppo di modelli di business più flessibili all'interno della *Supply Chain*, consentendo alle aziende di adattarsi rapidamente ai cambiamenti del mercato e alle esigenze dei clienti. Questi modelli di business flessibili sono caratterizzati dalla capacità di riconfigurare rapidamente le operazioni, ottimizzare l'uso delle risorse e rispondere in modo proattivo alle variazioni della domanda. Attraverso l'analisi predittiva e l'ottimizzazione in tempo reale, le organizzazioni possono anticipare i cambiamenti del mercato e adattare rapidamente le loro strategie operative. Questo approccio consente alle aziende di ridurre i tempi di risposta e di mantenere un alto livello di efficienza anche in condizioni di incertezza (Grover, 2020). Inoltre, l'IA permette lo sviluppo di modelli di business flessibili basati su strutture modulari. Le aziende possono scomporre le loro operazioni in moduli indipendenti che possono essere riorganizzati o scalati rapidamente per rispondere a nuove opportunità o minacce. Questo tipo di flessibilità è particolarmente utile nei settori ad alta variabilità, dove la capacità di adattarsi velocemente ai cambiamenti può fare la differenza tra il successo e il fallimento. Un altro aspetto chiave dei modelli di business flessibili potenziati dall'IA è la co-creazione di valore. Le aziende possono collaborare con partner esterni e clienti per sviluppare soluzioni personalizzate e adattabili. L'IA facilita questa collaborazione attraverso piattaforme digitali che consentono lo scambio di dati in tempo reale e l'ottimizzazione delle decisioni condivise. Questo approccio non solo aumenta la flessibilità, ma anche la capacità di innovare e di differenziarsi sul mercato (Belhadi, 2021). Infine, la flessibilità dei modelli di business è ulteriormente potenziata dalla capacità dell'IA di automatizzare processi complessi. L'IA può gestire automaticamente la riconfigurazione delle risorse, la pianificazione della produzione e la logistica, riducendo i costi operativi e migliorando l'efficienza complessiva. Questa automazione intelligente consente alle aziende di adattarsi senza interruzioni ai cambiamenti del mercato e di mantenere un alto livello di competitività.

La dinamicità e la capacità di previsione dell'IA, supporta anche le strategie di gestione del cambiamento all'interno della *Supply Chain*. Le organizzazioni che adottano l'IA possono affrontare il cambiamento in modo più fluido ed efficace, grazie a strumenti che consentono di anticipare le dinamiche del mercato e di adottare rapidamente nuove tecnologie e processi. L'IA può monitorare le performance aziendali in tempo reale, identificando rapidamente aree che necessitano di miglioramenti e facilitando una gestione proattiva delle trasformazioni organizzative. Inoltre, l'IA aiuta a minimizzare le resistenze al cambiamento attraverso l'ottimizzazione della comunicazione e il coinvolgimento dei dipendenti, permettendo di personalizzare le strategie di cambiamento in base alle esigenze specifiche di ciascun settore o funzione aziendale (Müller e Hopf, 2017).

L'introduzione dell'IA ha portato a una trasformazione significativa nel modo in cui le aziende collaborano all'interno della *Supply Chain*, promuovendo lo sviluppo di ecosistemi digitali integrati. Questi ecosistemi permettono alle organizzazioni di condividere informazioni in modo sicuro e trasparente con partner, fornitori e clienti. L'IA facilita questa collaborazione attraverso piattaforme digitali avanzate che consentono un flusso di dati continuo e in tempo reale. Questa condivisione di informazioni è essenziale per migliorare la visibilità della *Supply Chain* e per garantire una maggiore coerenza operativa. Inoltre, la capacità dell'IA di analizzare grandi volumi di dati permette alle aziende di prendere decisioni più informate, migliorando la pianificazione e l'esecuzione delle operazioni. Il *partnering* strategico, potenziato dall'IA, consente alle aziende di sviluppare relazioni più strette e produttive con i propri partner, creando sinergie che migliorano ulteriormente la resilienza e l'agilità della *Supply Chain* (Ivanov e Dolgui, 2020).

Inoltre, l'IA gioca un ruolo essenziale nella promozione della resilienza della *Supply Chain*. La capacità dell'IA di analizzare grandi quantità di dati in tempo reale e di identificare schemi emergenti permette alle aziende di anticipare e mitigare rischi potenziali prima che si manifestino in problematiche operative significative. Questo approccio proattivo alla gestione del rischio è fondamentale per garantire che le aziende possano mantenere la continuità operativa anche in presenza di imprevisti, come

fluttuazioni della domanda o interruzioni nella catena di approvvigionamento. L'IA consente inoltre di implementare strategie di gestione del rischio più flessibili e adattabili, ottimizzando le risorse disponibili e minimizzando le perdite potenziali. Parallelamente, l'IA contribuisce in modo sostanziale alla riduzione dei costi operativi. Attraverso l'automazione dei processi e l'ottimizzazione della pianificazione, l'IA permette alle aziende di ridurre gli sprechi e di migliorare l'efficienza complessiva. Ad esempio, l'uso dell'IA per ottimizzare i processi di produzione e di gestione delle scorte riduce significativamente i costi legati all'inventario e al trasporto. Inoltre, l'IA consente di analizzare e prevedere con maggiore precisione i flussi di domanda, riducendo la necessità di mantenere elevati livelli di scorte di sicurezza e minimizzando così i costi di stoccaggio e di gestione delle risorse (Dubey, 2021).

Un altro contributo chiave dell'IA nella *Supply Chain* è la sua capacità di supportare la differenziazione dell'offerta aziendale. L'IA permette alle aziende di personalizzare i loro prodotti e servizi in base alle esigenze specifiche dei clienti, migliorando così la soddisfazione del cliente e la fedeltà al marchio. Questo livello di personalizzazione è reso possibile grazie all'analisi dettagliata dei dati dei clienti, che consente di comprendere meglio le loro preferenze e comportamenti di acquisto. Inoltre, l'IA facilita l'innovazione di prodotto, permettendo alle aziende di sviluppare e lanciare nuove offerte in tempi più rapidi, rispondendo tempestivamente alle mutevoli esigenze del mercato (Gunasekaran, 2019).

Alla luce di quanto esaminato, l'IA emerge come un elemento cruciale per ottimizzare la gestione della *Supply Chain* nelle aziende, migliorando l'efficienza operativa e supportandone la crescita a lungo termine. L'integrazione dell'IA consente alle aziende di passare da un approccio reattivo a uno proattivo, in cui le decisioni vengono prese sulla base di previsioni accurate e dati in tempo reale. Questo miglioramento non si limita alla sola gestione degli inventari o alla previsione della domanda, ma coinvolge anche l'ottimizzazione logistica, la riduzione dei tempi di consegna e la gestione dei rischi operativi. L'IA consente una maggiore reattività alle fluttuazioni del mercato, riducendo gli sprechi e migliorando la velocità con cui le aziende possono adattarsi a nuove condizioni, garantendo così una gestione più snella ed efficiente della catena di

approvvigionamento. In particolare, l'adozione di algoritmi di machine learning e l'uso di modelli predittivi permettono di anticipare eventuali interruzioni o inefficienze, migliorando la resilienza complessiva della *Supply Chain*. Inoltre, l'integrazione di tecnologie come l'IoT e la *blockchain* rafforza ulteriormente la trasparenza e la tracciabilità dei flussi di materiali e prodotti, elementi chiave per ottimizzare le operazioni e garantire che la *Supply Chain* sia in grado di rispondere rapidamente e con precisione alle esigenze del mercato.

Per implementare con successo l'IA nella *Supply Chain*, è necessario che le aziende sviluppino competenze tecniche e strategiche a tutti i livelli. Da un lato, occorrono esperti in *data science* e *Big Data* capaci di analizzare i grandi volumi di informazioni generati dall'IA e utilizzarli per migliorare i processi aziendali. Dall'altro, è essenziale che i manager della *Supply Chain* acquisiscano le competenze necessarie per comprendere e gestire l'integrazione di queste tecnologie con i sistemi esistenti, garantendo una transizione fluida e priva di interruzioni. Non si tratta solo di avere le tecnologie giuste, ma anche di essere in grado di sfruttarle strategicamente per creare valore a lungo termine.

A livello organizzativo, è fondamentale promuovere una cultura dell'innovazione, in cui l'IA sia considerata una leva strategica per il miglioramento continuo e non solo una soluzione tecnologica. Le aziende devono investire in formazione e sviluppo delle competenze per garantire che tutti gli attori della *Supply Chain*, dai dirigenti agli operatori, comprendano appieno le potenzialità dell'IA e siano in grado di utilizzarla in modo efficace. Inoltre, devono essere adottate strategie organizzative flessibili che facilitino l'adattamento rapido alle nuove tecnologie e alle opportunità che esse offrono, consentendo una gestione più agile e resiliente della *Supply Chain*.

L'uso dell'IA, inoltre, non si limita a migliorare l'efficienza operativa: essa ha anche un impatto significativo sulla sostenibilità. Le aziende che adottano l'IA possono ottimizzare i percorsi logistici, ridurre le emissioni di carbonio e minimizzare lo spreco di risorse, contribuendo in modo decisivo al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità aziendale. Questo aspetto si rivela sempre più cruciale in un contesto competitivo dove la sostenibilità rappresenta un vantaggio strategico.

L'IA, quindi, rappresenta un fattore abilitante non solo per l'efficienza immediata, ma anche per la crescita sostenibile nel lungo termine. La sua capacità di integrare dati, ottimizzare processi e fornire previsioni accurate trasforma la *Supply Chain* in un sistema dinamico, capace di evolversi e adattarsi ai cambiamenti del mercato globale. Tuttavia, per cogliere appieno questi benefici, è necessario che le aziende adottino un approccio strategico integrato, in cui competenze tecniche avanzate, governance dei dati e una visione orientata al futuro siano armonizzate per garantire il successo. In definitiva, l'IA si configura come una risorsa inestimabile per le aziende che desiderano non solo migliorare l'efficienza della loro *Supply Chain*, ma anche consolidare la loro posizione competitiva e innovativa nel mercato globale.

Dopo aver esplorato in questo capitolo le competenze necessarie per l'implementazione dell'IA, affrontando le sfide tecniche, etiche e organizzative che le aziende devono superare per garantire un'adozione efficace e sostenibile. Abbiamo analizzato come la gestione del rischio, la governance e le strategie integrate siano fondamentali per navigare le complessità di questa trasformazione tecnologica, assicurando che l'IA contribuisca non solo all'efficienza operativa ma anche al mantenimento di standard etici e normativi. Questa analisi ha delineato un quadro complesso ma necessario per comprendere le dinamiche dell'implementazione dell'IA nelle aziende. Per rendere tangibili questi concetti, nel prossimo capitolo ci concentreremo su *case study* specifici che dimostrano come le strategie discusse siano state applicate in contesti reali.

Capitolo 4. Applicazioni di successo dell'IA nella *Supply Chain*

4.1 Il caso Walmart

4.1.1 *Storia e Missione di Walmart*

Nel corso della nostra ricerca abbiamo esaminato le sfide, le competenze e le strategie necessarie per un'efficace implementazione dell'IA nella *Supply Chain*. Per concretizzare questi concetti teorici, ci concentriamo ora su un caso di studio reale: l'integrazione dell'IA nella *Supply Chain* di Walmart. Walmart è stato scelto come esempio ideale per questa analisi non solo per la sua posizione di leader globale nel settore retail, ma anche per la sua lunga storia di innovazione e adattamento continuo. La capacità di Walmart di gestire una delle catene di approvvigionamento più avanzate ed efficienti al mondo, combinata con una strategia basata su prezzi bassi e operazioni straordinariamente efficaci, rende l'azienda un modello perfetto per esplorare l'impatto dell'IA in questo contesto.

Walmart, fondata da Sam Walton nel 1962, ha trasformato radicalmente il panorama del retail globale, diventando un simbolo di convenienza e prezzi competitivi. La prima sede fu aperta a Rogers, in Arkansas, e in meno di un decennio l'azienda si espanse rapidamente in tutto il Midwest, grazie a una strategia di espansione aggressiva e all'adozione precoce di tecnologie logistiche avanzate che permisero una gestione efficiente dei costi e delle operazioni. La missione di Walmart: "risparmiare denaro in modo che le persone possano vivere meglio" fu centrale per il successo di Walmart, attirando una vasta clientela, specialmente nelle aree rurali e suburbane degli Stati Uniti (Rothaermel e King, 2017). Nel corso degli anni '80 e '90, Walmart ha ampliato la sua influenza ben oltre i confini degli Stati Uniti, entrando in mercati internazionali con strategie mirate che hanno incluso *joint venture*, acquisizioni e l'apertura di negozi in paesi come Messico, Canada, Regno Unito e Cina. Tuttavia, non tutte le espansioni internazionali sono state senza ostacoli; in alcuni mercati, come la Germania e la Corea del Sud, Walmart ha affrontato difficoltà culturali e operative che hanno portato alla chiusura delle sue operazioni in quei paesi (Mujtaba e Maxwell, 2007). Oggi, Walmart è il più grande rivenditore al mondo e il più grande datore di lavoro privato, con oltre 10.500 negozi sparsi in 24 paesi e più di 2,2

milioni di dipendenti. Solo negli Stati Uniti, Walmart gestisce circa 4.700 negozi e impiega oltre 1,5 milioni di persone²⁰, un dato che sottolinea l'enorme impatto dell'azienda sull'economia e sulla società americana.

Il ruolo di Walmart come leader nel settore retail è ulteriormente consolidato dalla sua capacità di adattarsi alle mutevoli condizioni di mercato, attraverso innovazioni costanti e un focus continuo sull'efficienza operativa e sulla soddisfazione del cliente. Questa capacità di evolversi e di guidare il cambiamento nell'industria globale del retail continua a mantenere Walmart al centro della scena economica mondiale, confermandola come una delle aziende più influenti del nostro tempo. Il suo modello di business, basato su una combinazione di volumi di vendita elevati e bassi margini di profitto, è stato sostenuto da una catena di approvvigionamento altamente efficiente e dall'adozione di tecnologie all'avanguardia, come l'IA, per migliorare la previsione della domanda e ottimizzare la logistica.

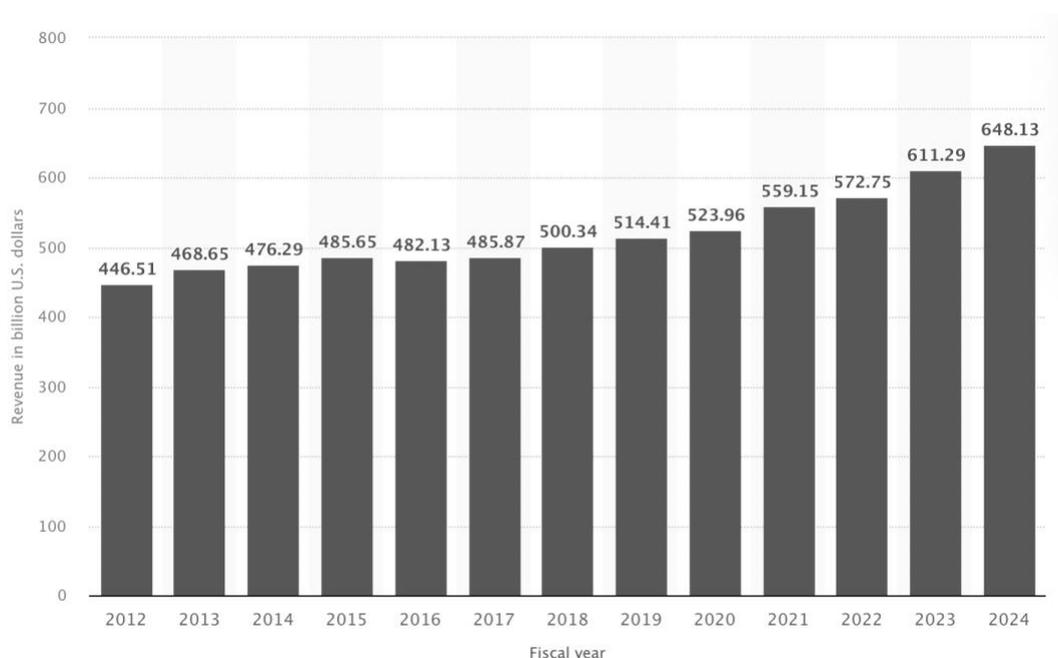


Figura 6, Ricavi dal 2012 al 2024 in miliardi di dollari, Walmart, 2024.

²⁰ Walmart Corporate

Walmart ha costruito il suo successo su un modello di business coerente alla sua missione che ruota attorno all'idea di offrire prodotti a prezzi bassi per attirare una vasta clientela. Questo approccio, conosciuto come "*Everyday Low Prices*" (EDLP), permette all'azienda di mantenere i prezzi costantemente bassi, senza fare affidamento su promozioni o sconti temporanei. Questa strategia non solo fidelizza i clienti, ma li incentiva a fare acquisti regolari, sapendo di poter contare su prezzi competitivi in ogni momento.

La logistica gioca un ruolo cruciale nel funzionamento di Walmart. L'azienda gestisce una vasta rete di centri di distribuzione, posizionati strategicamente vicino ai suoi negozi, che garantiscono rifornimenti rapidi e a basso costo. Questi centri operano con un'efficienza straordinaria, inviando i prodotti ai negozi in base alla domanda attuale, riducendo al minimo l'inventario e i costi di stoccaggio. Al cuore dell'efficienza operativa di Walmart c'è la sua gestione della *Supply Chain*. Sin dagli inizi, l'azienda ha investito in tecnologie avanzate, come i codici a barre e i sistemi automatizzati di gestione dell'inventario, che permettono di monitorare in tempo reale le scorte e rispondere rapidamente alle esigenze dei negozi. Questa attenzione alla tecnologia ha consentito a Walmart di sviluppare una delle catene di approvvigionamento più efficienti al mondo. Le relazioni con i fornitori sono un altro elemento fondamentale del modello di Walmart. L'azienda negozia duramente con i suoi fornitori per ottenere i prezzi più bassi possibili, ma allo stesso tempo mantiene con loro relazioni strette e collaborative. Questo equilibrio permette a Walmart di offrire una vasta gamma di prodotti a prezzi contenuti, garantendo allo stesso tempo una qualità costante.

4.1.2 *Innovazione in Walmart*

Walmart è stato a lungo considerato un pioniere nell'innovazione, soprattutto nel settore della gestione della *Supply Chain* e della logistica. Questi aspetti hanno permesso all'azienda di mantenere un vantaggio competitivo duraturo e di emergere come il più grande rivenditore al mondo. La storia di Walmart è ricca di esempi di come l'azienda abbia saputo utilizzare la tecnologia e l'innovazione per ottimizzare le sue operazioni, ridurre i costi e migliorare l'esperienza del cliente.

Uno dei primi esempi di innovazione significativa da parte di Walmart è stato l'uso precoce della tecnologia dei codici a barre e dei sistemi di punto vendita (POS). Negli anni '80, Walmart ha iniziato a implementare questi sistemi su vasta scala, ben prima della maggior parte dei suoi concorrenti. L'introduzione di questa tecnologia ha fornito all'azienda una visione dettagliata e in tempo reale delle vendite e delle scorte, consentendo una gestione molto più efficiente dell'inventario. Questo approccio ha permesso a Walmart di ridurre significativamente i costi operativi, migliorando al contempo la capacità di rispondere rapidamente alle esigenze dei consumatori. Inoltre, questa innovazione è stata cruciale per il successo di Walmart, poiché ha consentito all'azienda di negoziare condizioni migliori con i fornitori grazie alla capacità di garantire volumi di acquisto elevati e costanti (Basker, 2007).

Parallelamente, Walmart ha rivoluzionato la gestione della *Supply Chain* attraverso l'adozione di una rete logistica altamente centralizzata. L'azienda ha investito in una serie di centri di distribuzione posizionati strategicamente in prossimità dei suoi negozi, creando un sistema di approvvigionamento estremamente efficiente. Questa rete logistica, combinata con un sistema di trasporto accuratamente coordinato, ha permesso a Walmart di minimizzare i tempi di consegna e di ridurre i costi di trasporto, garantendo che i prodotti fossero sempre disponibili sugli scaffali dei negozi. Questa capacità di gestire la propria logistica con tale precisione ha reso possibile per Walmart mantenere la sua promessa di "EDLP" (Holmes, 2011). Un'altra innovazione tecnologica di grande rilevanza è stata l'introduzione della tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) nella *Supply Chain* di Walmart. Questa tecnologia consente di tracciare i prodotti lungo tutta la catena di approvvigionamento, migliorando la visibilità delle scorte e riducendo i costi associati agli errori di conteggio e ai furti. L'utilizzo di questa tecnologia ha migliorato l'efficienza operativa e aumentato la trasparenza, permettendo all'azienda di gestire meglio le scorte e di prevedere con maggiore precisione la domanda dei consumatori.

Negli ultimi anni, Walmart ha anche fatto passi significativi nel commercio elettronico, soprattutto attraverso l'acquisizione di Jet.com²¹ nel 2016, che ha permesso all'azienda di rafforzare la sua presenza online e competere più efficacemente con Amazon. Questa mossa strategica è stata parte di un più ampio sforzo di Walmart per modernizzare le sue operazioni, integrando l'IA e l'analisi dei *big data* per migliorare la *customer experience* e ottimizzare le operazioni interne. Jet.com è stato fondato con un modello di business unico, che si concentrava sulla vendita di prodotti a prezzi ridotti attraverso un sistema che incentivava gli acquisti di grandi volumi e riduceva i costi di spedizione. Walmart ha sfruttato queste competenze per migliorare le sue operazioni di *e-commerce*, integrando le tecnologie e l'approccio innovativo di Jet.com all'interno della propria piattaforma. Con questa acquisizione, Walmart ha cercato di ridurre il divario con Amazon, non solo aumentando la propria capacità di vendita online ma anche migliorando la logistica e la velocità di consegna. Walmart ha integrato l'infrastruttura tecnologica avanzata di Jet.com nella sua rete di distribuzione, permettendo consegne più rapide e un servizio clienti più efficiente. Inoltre, l'acquisizione ha portato a un ampliamento della base clienti di Walmart, attrarre un segmento più giovane e orientato alla tecnologia. Queste mosse sono parte di una strategia più ampia di Walmart per trasformarsi da un gigante della vendita al dettaglio tradizionale in un leader nell'*e-commerce*, cercando di competere direttamente con Amazon. Attraverso l'integrazione di tecnologie avanzate e l'espansione delle operazioni online, Walmart mira a mantenere la sua rilevanza nel mercato globale e a continuare a offrire ai clienti prodotti a prezzi competitivi, ma con una convenienza che non ha nulla da invidiare ai concorrenti digitali.

Oltre agli aspetti tecnologici, Walmart ha anche sviluppato una cultura aziendale profondamente radicata nell'innovazione continua e nell'efficienza operativa. Questa cultura ha spinto l'azienda a esplorare costantemente nuovi metodi e tecnologie per migliorare le proprie operazioni. Walmart ha promosso un ambiente in cui l'innovazione è incoraggiata a tutti i livelli dell'organizzazione, permettendo di rispondere rapidamente

²¹ Piattaforma di *e-commerce* lanciata nel 2015, nota per il suo modello innovativo di prezzi dinamici e ottimizzazione logistica

ai cambiamenti del mercato globale e di mantenere la sua posizione di leader nel settore retail. Questa attenzione all'innovazione non solo ha migliorato le operazioni interne, ma ha anche contribuito a migliorare l'esperienza del cliente, garantendo che Walmart resti competitiva in un mercato sempre più dinamico.

Infine, è importante notare che l'innovazione di Walmart non si è limitata solo agli aspetti tecnologici o logistici. L'azienda ha continuamente cercato di migliorare i propri processi operativi, esplorando nuovi modelli di business e approcci di mercato. La capacità di Walmart di integrare innovazione tecnologica, efficienza operativa e adattamento strategico ha giocato un ruolo cruciale nel mantenere la sua posizione di leader indiscusso nel settore retail.

4.1.3 Uso dell'IA in Walmart

L'implementazione dell'IA nella *Supply Chain* di Walmart ha rappresentato una svolta significativa per l'azienda, migliorando in modo sostanziale la sua efficienza operativa e la capacità di rispondere alle mutevoli esigenze del mercato. Grazie all'IA, Walmart è riuscita a trasformare profondamente il modo in cui gestisce la previsione della domanda, l'inventario, la logistica e l'esperienza del cliente, consolidando ulteriormente la sua posizione di leader nel settore retail.

Uno degli impieghi più efficaci dell'IA nella *Supply Chain* di Walmart riguarda la previsione della domanda. Tradizionalmente, la previsione della domanda si basava su modelli storici e intuizioni manageriali, che spesso non riuscivano a catturare tutte le variabili che influenzano il comportamento dei consumatori. Con l'integrazione dell'IA, Walmart è stata in grado di passare a un approccio più dinamico e accurato. Algoritmi avanzati di ML analizzano enormi quantità di dati provenienti da fonti diverse, come le vendite storiche, le tendenze stagionali, le condizioni meteorologiche e persino gli eventi speciali, per generare previsioni molto più precise sulla domanda futura. Questa maggiore precisione nella previsione della domanda ha portato a una significativa riduzione delle eccedenze di inventario, che sono diminuite del 15%, e delle carenze di prodotto, ridotte del 10%. La capacità di Walmart di mantenere un equilibrio ottimale tra domanda e offerta ha avuto un impatto diretto sulla rotazione delle scorte, riducendo i costi associati al mantenimento di inventario in eccesso e minimizzando le perdite derivanti da articoli

non venduti. Inoltre, grazie a queste previsioni più accurate, Walmart è riuscita a migliorare la disponibilità dei prodotti, garantendo che i clienti trovino sempre ciò di cui hanno bisogno sugli scaffali (Kabir, 2023).

L'intelligenza artificiale ha anche rivoluzionato le operazioni logistiche di Walmart. Prima dell'introduzione dell'IA, l'ottimizzazione delle rotte di consegna e la gestione delle risorse logistiche erano attività complesse che richiedevano una pianificazione meticolosa e talvolta comportavano inefficienze. Con l'IA, Walmart ha potuto automatizzare e ottimizzare questi processi in modo molto più efficiente. Gli algoritmi di IA analizzano continuamente i dati relativi alle rotte di consegna, al traffico, alle condizioni climatiche e ad altre variabili rilevanti, suggerendo modifiche in tempo reale per migliorare l'efficienza del trasporto. Questa ottimizzazione ha permesso a Walmart di ridurre i costi di trasporto fino al 6%, migliorando al contempo i tempi di consegna e riducendo l'impatto ambientale grazie a una minore emissione di carbonio. L'IA ha reso possibile una gestione più intelligente delle risorse, come la pianificazione delle soste e il carico ottimale dei veicoli, assicurando che le consegne siano effettuate nel modo più efficiente possibile. Inoltre, l'IA viene utilizzata per monitorare le operazioni nei centri di distribuzione, dove sistemi automatizzati gestiti da intelligenza artificiale accelerano il processo di *picking*, *packing* e spedizione, aumentando la produttività e riducendo al minimo il rischio di errori umani (Ji, 2020). Inoltre, la sostenibilità nella *Supply Chain* è diventata un aspetto centrale per Walmart. L'azienda utilizza i *big data* non solo per migliorare l'efficienza operativa, ma anche per ridurre l'impatto ambientale, in linea con gli obiettivi di sostenibilità. I *big data* permettono a Walmart di monitorare i consumi energetici e ottimizzare i percorsi di trasporto. Dalla loro introduzione, hanno consentito di evitare l'emissione di circa 42.600 tonnellate di CO₂, grazie al risparmio di 48,3 milioni di chilometri percorsi. L'uso di tecnologie avanzate come l'IA e l'analisi predittiva consente a Walmart di monitorare in tempo reale l'efficienza dei propri sistemi, identificando aree di miglioramento per ridurre i costi e gli sprechi, aumentando al contempo la sostenibilità.

L'IA non solo ha ottimizzato le operazioni interne di Walmart, ma ha anche avuto un impatto significativo sull'esperienza del cliente. Attraverso l'uso di assistenti di shopping personalizzati basati su IA, Walmart è in grado di offrire consigli di acquisto personalizzati ai propri clienti. Questi assistenti utilizzano algoritmi di ML per analizzare le abitudini di acquisto passate dei clienti e suggerire prodotti che potrebbero essere di loro interesse. Questo approccio ha portato a un aumento del 5% delle vendite online, dimostrando come l'IA possa migliorare la soddisfazione del cliente e incrementare le entrate. Inoltre, l'integrazione dell'IA nei suoi sistemi *di customer*

service ha permesso un'interazione più rapida ed efficace con i clienti. Walmart ha introdotto una nuova funzione di ricerca alimentata da IA generativa su iOS, Android e il proprio sito web, progettata per comprendere il contesto delle *query* dei clienti e fornire risposte personalizzate. Questa tecnologia rende l'esperienza di shopping più interattiva e conversazionale, offrendo suggerimenti di prodotti personalizzati

WALMART'S ONLINE NET SALES, 2018-2023

in billion US\$

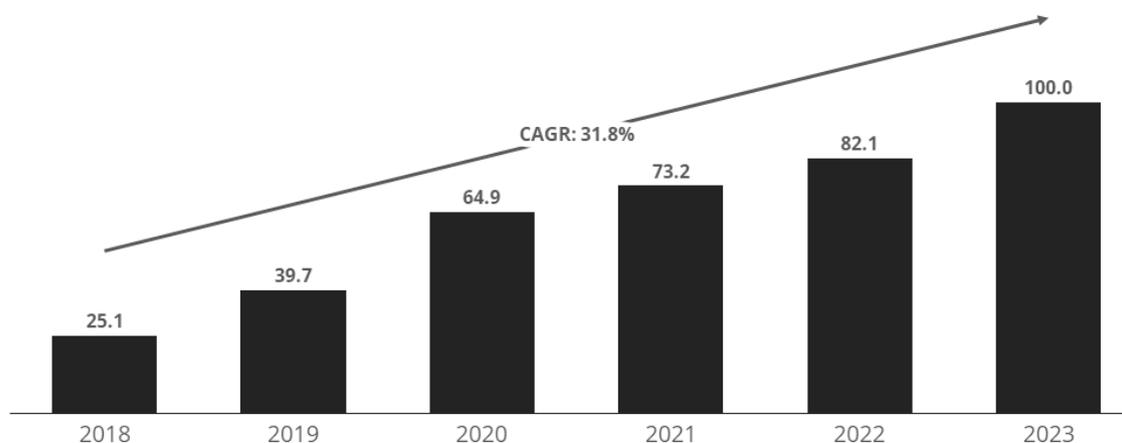


Figura 7, Crescita significativa delle vendite online nette di Walmart dal 2018 al 2023, tasso di crescita annuale composto (CAGR) del 31,8%. ECBD, Walmart, 2024.

Un altro aspetto cruciale dell'uso dell'IA nella *Supply Chain* di Walmart è la capacità di prendere decisioni strategiche basate su dati concreti. L'IA permette di raccogliere e analizzare una vasta gamma di dati operativi in tempo reale, fornendo ai manager insights dettagliati che possono guidare le decisioni aziendali. Per esempio, Walmart utilizza l'analisi predittiva per identificare quali prodotti avranno probabilmente una domanda elevata in periodi specifici, come durante le vacanze o in risposta a tendenze emergenti. Questo permette all'azienda di prepararsi meglio, garantendo la disponibilità dei prodotti richiesti e riducendo i tempi di reazione alle fluttuazioni del mercato.

In conclusione, l'integrazione dell'intelligenza artificiale nella *Supply Chain* di Walmart è stata fondamentale per mantenere Walmart competitiva nel settore retail a livello globale. L'IA ha permesso all'azienda di sfruttare tecnologie avanzate per ottimizzare le operazioni e migliorare l'esperienza del cliente. Questo ha consentito a Walmart di affrontare con successo la concorrenza

di giganti come Amazon e Target, che stanno anch'essi investendo in tecnologie avanzate per ottimizzare i loro processi. Grazie all'IA, Walmart è in grado di analizzare dati in tempo reale, prevedendo con precisione la domanda e adattandosi rapidamente alle mutevoli condizioni del mercato. Questo ha contribuito a una riduzione dei costi operativi e a un miglioramento nella disponibilità dei prodotti, mantenendo Walmart competitiva in un mercato in continua evoluzione. In un contesto dominato da Amazon nel mercato dell'e-commerce e da Target per l'esperienza *omnichannel*²², l'IA consente a Walmart di mantenere la leadership e di rispondere rapidamente alle sfide poste dai concorrenti. Inoltre, l'IA non solo ha migliorato l'efficienza operativa e la soddisfazione del cliente, ma ha anche posizionato Walmart come leader nell'adozione di tecnologie emergenti per garantire il successo a lungo termine. L'innovazione continua e la competitività tecnologica rimarranno fattori chiave per il futuro successo di Walmart nel mercato retail globale.

4.2 Il caso Amazon

4.2.1 Storia e Missione di Amazon

Dopo aver studiato Walmart e le sue strategie di innovazione, ora analizzeremo la sua rivale diretta, Amazon, un'azienda che ha trasformato radicalmente il panorama della *Supply Chain* globale grazie all'adozione di tecnologie avanzate e l'integrazione dell'IA. Mentre Walmart ha dominato per anni con un modello logistico altamente efficiente, Amazon ha introdotto un approccio ancora più innovativo, sfruttando le tecnologie digitali e il *cloud computing* per ottimizzare i suoi processi operativi. Amazon ha saputo adattarsi rapidamente all'evoluzione del mercato, non solo attraverso la sua piattaforma di *e-commerce*, ma anche attraverso il suo servizio di *cloud computing*, Amazon Web Services (AWS), che ha rivoluzionato il modo in cui le aziende gestiscono i dati, le infrastrutture e i servizi digitali. Questo ha permesso ad Amazon di creare una *Supply Chain* flessibile, reattiva e altamente scalabile, offrendo al tempo stesso soluzioni

²² Strategia di marketing e vendita che integra e coordina tutti i canali di comunicazione e distribuzione di un'azienda per offrire ai clienti un'esperienza uniforme e senza interruzioni. Ciò significa che i consumatori possono interagire con l'azienda attraverso diversi canali (negozi fisici, siti web, app mobili, social media) e avere un'esperienza coerente e integrata, indipendentemente dal punto di contatto scelto.

logistiche all'avanguardia. L'analisi di Amazon ci permetterà di comprendere come l'integrazione dell'IA e del *cloud computing* non solo abbia ottimizzato i processi interni dell'azienda, ma abbia anche contribuito a ridefinire le aspettative dei clienti in termini di rapidità, efficienza e personalizzazione del servizio. Approfondiremo, quindi, come Amazon sia riuscita a costruire un ecosistema digitale che combina commercio, logistica e tecnologia in un'unica piattaforma, ponendosi in competizione diretta con Walmart e altri giganti del settore.

Amazon è stata fondata da Jeff Bezos nel 1994 come libreria online, operando inizialmente dal garage di Bezos a Seattle, Washington. L'idea di Bezos era di sfruttare il potenziale di internet per creare un modello di vendita al dettaglio rivoluzionario. Nel luglio del 1995, Amazon.com venne lanciata come piattaforma per la vendita di libri, ma già dai primi anni di attività Bezos aveva chiaro che l'obiettivo a lungo termine sarebbe stato quello di trasformare Amazon nel "negozio di tutto", dove i clienti potessero trovare e acquistare qualsiasi prodotto. Grazie alla visione di Bezos, Amazon iniziò rapidamente a espandere la gamma di prodotti offerti, aggiungendo musica, elettronica, abbigliamento e molto altro. La strategia di crescita fu sostenuta da un approccio aggressivo all'innovazione e alla *customer experience*. Amazon investì massicciamente nella creazione di una rete di distribuzione capillare, composta da magazzini automatizzati e hub logistici strategici, che permettevano consegne rapide e efficienti su scala globale. Uno dei momenti di svolta per Amazon fu il lancio di Amazon Prime nel 2005, un servizio di abbonamento che garantiva spedizioni rapide e gratuite ai clienti, il che aumentò la fedeltà degli utenti e favorì la crescita del volume delle vendite. Negli anni successivi, Amazon ha continuato a diversificare la propria offerta, entrando in nuovi mercati come il *cloud computing*, l'intrattenimento (Amazon Prime Video) e i dispositivi elettronici (Kindle, Echo).

La missione di Amazon è stata chiara sin dal principio: "essere l'azienda più *customer-centric* al mondo, dove le persone possono trovare e scoprire qualsiasi cosa vogliano comprare online". Questa filosofia ha guidato ogni decisione strategica dell'azienda, spingendola a sviluppare servizi che migliorassero continuamente l'esperienza del cliente. L'azienda ha adottato una cultura basata sull'ossessione per il cliente, l'innovazione continua e l'efficienza operativa. Questo approccio ha portato Amazon a diventare un pioniere nell'uso della *data analytics* per personalizzare le offerte e prevedere la domanda, nonché nello sviluppo di un ecosistema logistico all'avanguardia (Kantor e Streitfeld, 2015).

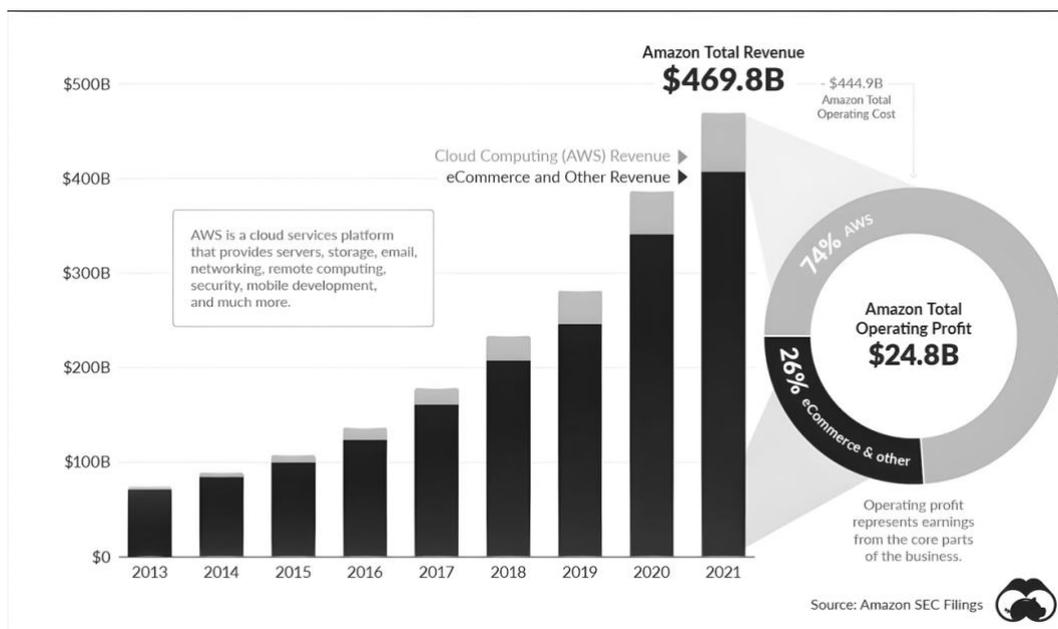


Figura 8, Impatto di AWS sui ricavi e profitti di Amazon 2013-2021. Amazon SEC Filings.

Una pietra miliare nella storia di Amazon è stato il lancio di Amazon Web Services (AWS) nel 2006. AWS nacque inizialmente come un'infrastruttura cloud sviluppata per sostenere l'enorme volume di transazioni gestite da Amazon stessa. Tuttavia, Jeff Bezos e il suo team intuirono rapidamente che altre aziende, grandi e piccole, avrebbero potuto beneficiare dello stesso tipo di infrastruttura scalabile e flessibile, e decisero di offrire AWS come servizio esterno. Questa intuizione si rivelò rivoluzionaria: AWS trasformò Amazon in uno dei principali fornitori globali di servizi cloud, rendendolo rapidamente il leader indiscusso del settore. Oggi, AWS fornisce una vasta gamma di servizi avanzati, tra cui storage, potenza computazionale, IA, ML e gestione di *database*, permettendo alle aziende di qualsiasi dimensione di accedere a tecnologie all'avanguardia senza dover investire in costose infrastrutture fisiche.

Grazie a questa offerta, le imprese possono sperimentare, innovare e scalare rapidamente, adattandosi con agilità alle richieste del mercato globale. Oggi, AWS rappresenta una delle divisioni più redditizie e cruciali di Amazon, contribuendo in modo significativo ai ricavi complessivi dell'azienda e alimentando il suo continuo successo. La piattaforma ha trasformato l'ecosistema tecnologico globale, rendendo accessibili a milioni di aziende strumenti avanzati che una volta erano riservati solo a grandi corporation. Con AWS, Amazon ha consolidato la sua posizione di leadership tecnologica, rafforzando ulteriormente la propria capacità di influenzare l'evoluzione dell'industria tecnologica e del business su scala globale (Barr, 2018).

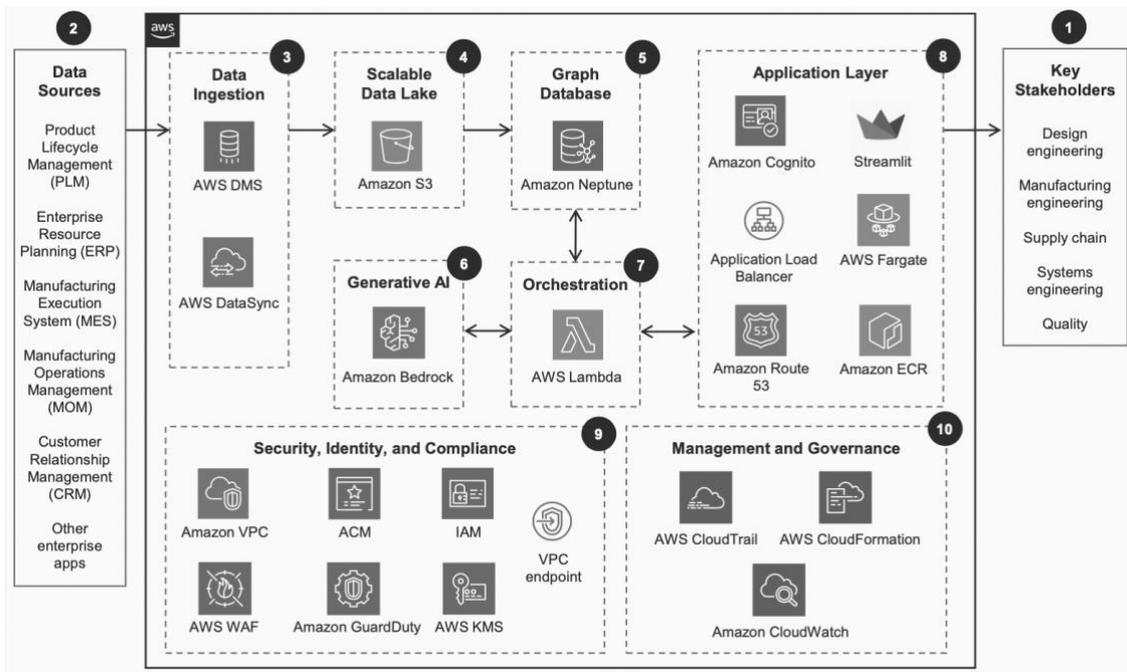


Figura 9, Utilizzi dell'IA all'interno di AWS. Amazon, 2024.

4.2.2 Innovazione in Amazon

Amazon è da anni un punto di riferimento globale per la sua capacità di innovare non solo nel campo del commercio elettronico, ma soprattutto nella gestione della *Supply Chain* e della logistica. L'azienda ha capito fin da subito che il vero vantaggio competitivo non sarebbe derivato solo dall'offerta di una vasta gamma di prodotti, ma dalla capacità di gestire con efficienza e velocità i processi di distribuzione e consegna, elementi che sono diventati il fulcro della sua strategia di crescita. Nel 2020, Amazon ha investito oltre 42,7 miliardi di dollari in ricerca e sviluppo, una cifra che rappresenta circa il 10%²³ dei suoi ricavi annuali. Questo investimento colloca Amazon tra le aziende leader mondiali per spese in R&D, superando colossi tecnologici come Google e Microsoft. Parte significativa di questi investimenti è destinata al miglioramento continuo della *Supply Chain*, con l'obiettivo di ridurre i tempi di consegna, migliorare l'efficienza operativa e mantenere i costi di gestione sotto controllo.

²³ Amazon. (2020). *Annual Report 2020*.

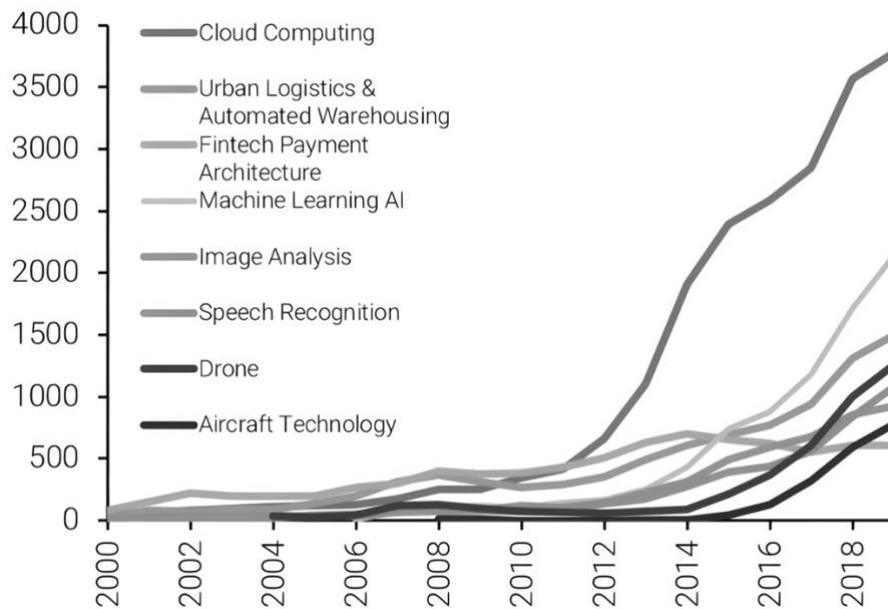


Figura 10, Crescita delle tecnologie strategiche implementate da Amazon nel periodo 2000-2018. PatentSight Business Intelligence, 2020

Uno degli esempi più noti dell'innovazione di Amazon è rappresentato dai centri di distribuzione automatizzati, che costituiscono il cuore della sua strategia logistica. Con l'acquisizione di Kiva Systems nel 2012 per 775 milioni di dollari, Amazon ha avviato un processo di integrazione della robotica nei suoi magazzini, portando l'automazione a livelli senza precedenti. Entro il 2021, Amazon ha impiegato oltre 350.000 robot mobili nei suoi centri di distribuzione, capaci di trasportare scaffali interi di prodotti direttamente ai lavoratori umani, riducendo drasticamente i tempi di movimentazione delle merci e ottimizzando il layout dei magazzini. Grazie a questa tecnologia, Amazon è stata in grado di ridurre i costi operativi del 20-30%²⁴ e di accelerare i tempi di evasione degli ordini, contribuendo a garantire consegne rapide ai clienti di tutto il mondo. Parallelamente, Amazon ha sviluppato una vasta rete logistica globale che include oltre 175 centri di distribuzione situati in più di 30 paesi. Questi centri sono stati progettati per essere altamente interconnessi e consentono ad Amazon di spostare i prodotti in modo dinamico, rispondendo in tempo reale alla domanda dei consumatori e ottimizzando le scorte.

Un altro elemento cruciale nella strategia logistica di Amazon è la gestione dell'ultimo miglio, una delle parti più costose e complesse della catena di approvvigionamento. Con l'obiettivo di

²⁴ Wulfraat, M. (2018). Amazon's supply chain innovation: A deep dive. MWPVL International Inc.

ridurre i costi e migliorare la velocità delle consegne, Amazon ha lanciato il programma Amazon Flex nel 2015, che permette a conducenti indipendenti di consegnare pacchi utilizzando i propri veicoli. Questo approccio ha permesso ad Amazon di scalare rapidamente la sua capacità di consegna senza dover investire direttamente in una flotta enorme di veicoli. Nel 2021, 700.000 autisti erano già registrati al programma Flex, permettendo ad Amazon di gestire in modo efficace e flessibile le consegne anche durante i periodi di picco (Cao e Zhang, 2020). Oltre a Flex, Amazon ha fatto un grande passo avanti con il lancio di Amazon Air nel 2016, il suo servizio di trasporto aereo dedicato. Con oltre 80 aerei in servizio entro il 2021, Amazon Air ha migliorato significativamente la capacità dell'azienda di effettuare consegne veloci su scala globale. L'investimento di oltre 1,5 miliardi di dollari per costruire il suo hub aereo principale a Cincinnati/Northern Kentucky è una chiara dimostrazione dell'impegno dell'azienda verso l'espansione delle operazioni di trasporto autonomo, con l'obiettivo di ridurre ulteriormente la dipendenza da terzi come FedEx e UPS. Amazon Air consente all'azienda di mantenere una promessa di consegne rapide, contribuendo a ridurre i tempi di transito, in particolare nelle aree geografiche più remote (Ray, 2020).

Una delle caratteristiche distintive della logistica di Amazon è la sua straordinaria capacità di gestire i resi in modo efficiente. Amazon ha investito in soluzioni innovative per semplificare il processo di restituzione dei prodotti, offrendo ai clienti opzioni di reso semplici come punti di *drop-off* senza imballo aggiuntivo presso catene di negozi partner, tra cui Kohl's e Whole Foods. Questa innovazione non solo ha migliorato la soddisfazione del cliente, ma ha anche contribuito a ridurre i costi di gestione per l'azienda, accelerando il processo di reintegro degli articoli restituiti nel sistema di inventario (Grewal, 2021).

Nel tentativo di mantenere un forte vantaggio competitivo e di migliorare la sostenibilità delle sue operazioni, Amazon ha annunciato l'iniziativa Shipment Zero²⁵, che mira a ridurre a zero le emissioni di carbonio delle sue spedizioni entro il 2040. Questo progetto rappresenta un impegno a lungo termine per rendere la logistica più ecologica, con investimenti significativi in tecnologie verdi, come l'acquisto di 100.000 veicoli elettrici da Rivian, e l'introduzione di flotte di veicoli elettrici in diverse aree urbane. L'uso di veicoli elettrici ridurrà non solo l'impatto ambientale, ma anche i costi operativi legati al carburante e alla manutenzione. Un altro ambito in cui Amazon ha

²⁵ Amazon. (2023). *Annual Report 2023*.

dimostrato una straordinaria capacità di innovazione è la gestione delle crisi. Durante la pandemia di COVID-19, mentre molte aziende hanno subito interruzioni significative nelle catene di approvvigionamento, Amazon è riuscita non solo a mantenere la continuità operativa, ma anche ad espandere le sue attività. Nel 2020, l'azienda ha aggiunto oltre 500.000 lavoratori ai suoi magazzini e ha implementato rigorose misure di sicurezza per proteggere i dipendenti. Questo ha permesso ad Amazon di soddisfare l'aumento esplosivo della domanda durante i lockdown globali, portando i ricavi dell'azienda a raggiungere 386,1 miliardi di dollari nel 2020, con una crescita del 38% rispetto all'anno precedente (Christopher e Holweg, 2017).

La capacità di Amazon di reagire rapidamente alle crisi e di adattarsi a circostanze avverse è un chiaro indicatore della resilienza della sua *Supply Chain*. Attraverso investimenti continui in automazione, tecnologie digitali e reti logistiche globali, Amazon non solo è riuscita a mantenere la sua posizione dominante nel mercato del commercio elettronico, ma ha anche dimostrato di poter superare sfide impreviste con agilità e determinazione. Questi fattori rendono Amazon un esempio di eccellenza nel settore della gestione della *Supply Chain*, un'azienda che continua a spingere i confini dell'innovazione logistica anno dopo anno.

4.2.3 Uso dell'IA in Amazon

L'intelligenza artificiale è diventata una componente cruciale delle operazioni di Amazon, influenzando ogni aspetto del suo modello di business e consolidando il suo ruolo di leader globale nell'*e-commerce* e nella logistica. L'adozione dell'IA da parte di Amazon non si limita alla gestione della *Supply Chain*, ma permea molte altre aree, tra cui il servizio clienti, la gestione dell'inventario, le raccomandazioni personalizzate, e le operazioni di AWS. Questa integrazione strategica di tecnologie avanzate ha permesso ad Amazon di mantenere la sua posizione di vertice e di rispondere in modo efficiente alle sfide poste da una domanda sempre crescente. Nel 2023, Amazon ha investito 85,6 miliardi di dollari in tecnologia e infrastruttura, con un focus particolare su automazione e IA. Questo investimento ha portato a un'ottimizzazione significativa dei processi logistici, riducendo i tempi di gestione e migliorando la produttività nei centri di distribuzione. Grazie all'uso dell'IA, l'azienda è riuscita a ridurre i costi operativi nelle attività di magazzino del 15-20%. Di conseguenza, Amazon ha registrato un miglioramento notevole dell'utile operativo, salito da 12,2 miliardi di dollari nel 2022 a 36,9 miliardi di dollari nel 2023, con un margine operativo del 6,4%, rispetto al 2,4% dell'anno precedente. Questo progresso è stato reso possibile dalla combinazione tra riduzione dei costi e aumento dell'efficienza operativa, ottenuti attraverso l'adozione estesa dell'IA.

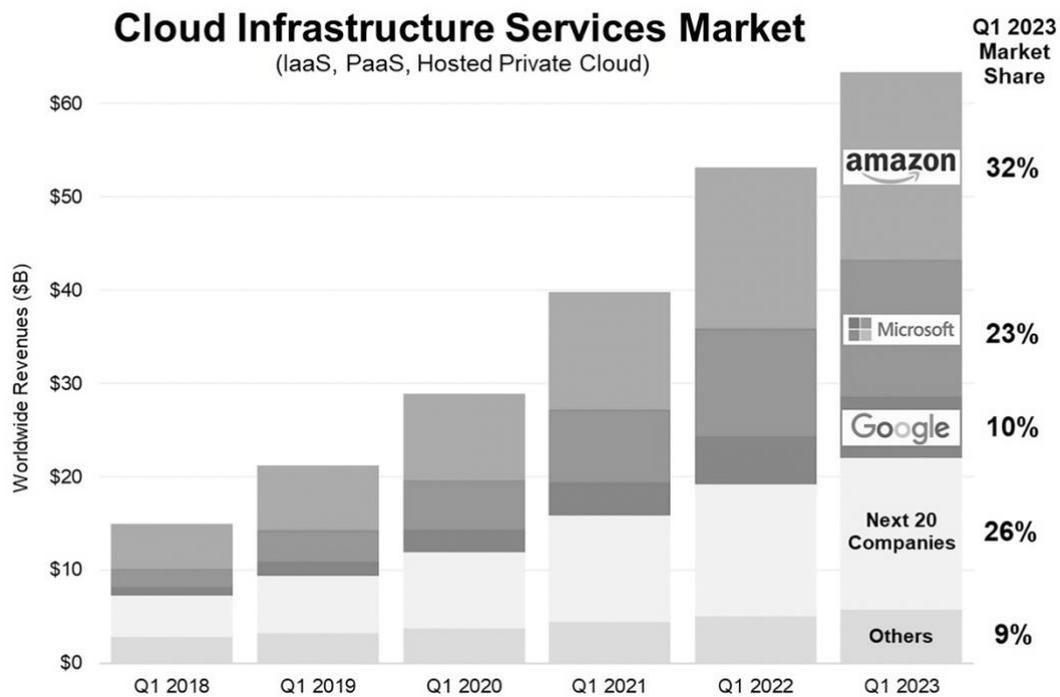


Figura 11, Dominio di Amazon nel mercato dei servizi di infrastruttura *cloud* (IaaS, PaaS, Hosted Private Cloud).
Sinergy Research Group, 2023.

Amazon utilizza algoritmi di ML per prevedere in modo preciso la domanda di prodotti, analizzando dati storici di vendita, comportamenti dei clienti e variabili esterne come le tendenze stagionali. Questa capacità permette all'azienda di ottimizzare la gestione dell'inventario, assicurandosi che i prodotti siano posizionati nei magazzini più vicini ai clienti per velocizzare le consegne. L'IA permette di ridurre i costi operativi legati allo stoccaggio, con un risparmio che, secondo stime recenti, raggiunge il 25-30%²⁶ rispetto ai modelli tradizionali di gestione dell'inventario. Inoltre, gli algoritmi di IA analizzano in tempo reale i dati sui livelli di scorte e le vendite per regolare in modo dinamico le operazioni di rifornimento. Amazon ha raggiunto una precisione del 90% nella previsione della domanda grazie agli algoritmi di ML, questa capacità adattiva è particolarmente utile durante eventi come il Prime Day o il Black Friday, quando la domanda aumenta drasticamente. Grazie a tali innovazioni, Amazon ha registrato una riduzione significativa dei tempi di riapprovvigionamento, che influiscono positivamente sull'efficienza della *Supply Chain* (Singh, 2023).

²⁶Amazon.com Inc. (2023). Annual Report 2023.

Nei magazzini di Amazon, l'IA e la robotica lavorano in sinergia per aumentare l'efficienza delle operazioni logistiche. Sebbene i già menzionati robot Kiva abbiano già avuto un ruolo significativo nell'automazione dei processi, Amazon ha introdotto nuovi sistemi di visione artificiale e algoritmi avanzati per migliorare ulteriormente le prestazioni. Questi sistemi di visione artificiale monitorano le scorte in tempo reale, identificando anomalie come prodotti mal posizionati o difettosi. Grazie a queste tecnologie, l'intero processo di gestione dell'inventario risulta ottimizzato, con una notevole riduzione degli errori umani e un'accelerazione dei tempi di evasione degli ordini (Ranganathan, 2023). Oltre a ciò, il 50% delle decisioni operative legate alla *Supply Chain* di Amazon è ora automatizzato tramite IA e ML, inclusa la gestione dinamica dei flussi di merci tra i magazzini, la selezione dei mezzi di trasporto e l'ottimizzazione del carico durante i picchi di domanda (Vidani, 2023).

La gestione delle consegne dell'ultimo miglio, la fase più critica e costosa della *Supply Chain*, è stata notevolmente migliorata grazie all'intelligenza artificiale. Gli algoritmi di *routing* dinamico utilizzati da Amazon sono in grado di ottimizzare le rotte di consegna in tempo reale, basandosi su dati riguardanti il traffico, le condizioni meteorologiche e il numero di ordini da consegnare in una determinata area. Questo approccio ha ridotto i costi operativi legati alle consegne e ha migliorato la puntualità delle stesse, contribuendo a mantenere elevata la soddisfazione dei clienti (Doshi, 2023).

Amazon gestisce un enorme volume di resi e utilizza l'IA per migliorare l'efficienza della logistica inversa. Gli algoritmi di ML analizzano i motivi più comuni per cui i prodotti vengono restituiti e forniscono suggerimenti per ottimizzare la produzione o il confezionamento degli articoli, riducendo così i tassi di reso. Inoltre, Amazon ha sviluppato una rete di centri di distribuzione specificamente dedicati alla gestione dei resi, dove l'IA aiuta a reintegrare rapidamente i prodotti nel sistema di inventario, minimizzando i costi associati alla logistica inversa. Nel 2023, il 70% dei processi legati alla gestione dei resi è stato automatizzato, riducendo del 30% i tempi necessari per processare e rimettere in vendita i prodotti restituiti. L'IA ottimizza il flusso dei resi, riducendo anche i costi associati

Oltre alla gestione interna della logistica, AWS svolge un ruolo cruciale nell'ecosistema di Amazon, offrendo soluzioni avanzate alle aziende esterne per integrare l'IA nelle loro operazioni. AWS fornisce servizi di cloud computing che permettono alle imprese di accedere a modelli di machine learning scalabili, come Amazon SageMaker, per ottimizzare le loro *Supply Chain*. Nel 2023, AWS ha ulteriormente potenziato le sue capacità con l'introduzione di nuovi servizi di

analisi predittiva, migliorando le performance aziendali su larga scala. Grazie all'uso di chip come Graviton, AWS ha aiutato i suoi clienti a ridurre i costi del 40% per i servizi cloud, migliorando al contempo l'efficienza operativa. Continuando a crescere, AWS ha rappresentato il 16% delle entrate totali di Amazon nel 2023, generando oltre 24,6 miliardi di dollari di utile operativo²⁷.

In conclusione, l'uso dell'IA nella Supply Chain di Amazon ha portato a significativi miglioramenti in termini di efficienza, riduzione dei costi e sostenibilità. Attraverso l'integrazione di algoritmi predittivi, automazione avanzata e l'uso strategico di AWS, Amazon continua a spingere i confini dell'innovazione nel settore della logistica, mantenendo un vantaggio competitivo duraturo. Con l'obiettivo di diventare un'azienda *carbon-neutral* entro il 2040, l'IA e le tecnologie correlate continueranno a giocare un ruolo cruciale nel futuro della *Supply Chain* di Amazon.

4.3 Considerazioni sui casi

Riassumendo, l'uso dell'Intelligenza Artificiale nella *Supply Chain* trova applicazioni di successo in aziende come Walmart e Amazon, che hanno dimostrato come queste tecnologie possano trasformare radicalmente le operazioni logistiche e migliorare l'efficienza operativa. Walmart ha implementato algoritmi predittivi per ottimizzare la gestione degli inventari, riuscendo a ridurre al minimo gli sprechi e garantendo che i prodotti giusti siano disponibili nel momento e nel luogo giusto. Inoltre, l'integrazione della tecnologia RFID ha migliorato la tracciabilità delle merci, permettendo una gestione più efficiente delle scorte e una risposta più rapida alle variazioni della domanda. Questi strumenti hanno consentito a Walmart di ridurre i costi operativi e migliorare significativamente la *customer experience*. Dall'altra parte, Amazon ha portato l'uso dell'IA nella *Supply Chain* a un livello ancora più avanzato, integrando l'automazione in ogni fase delle sue operazioni. I suoi magazzini sono diventati modelli di efficienza grazie all'uso di robot autonomi che collaborano con il personale umano per velocizzare il movimento delle merci. L'IA è stata inoltre impiegata per ottimizzare le consegne dell'ultimo miglio, con algoritmi di ML che calcolano le rotte più efficienti, riducendo così i tempi di consegna e i costi. Amazon ha persino esplorato l'uso di droni e veicoli autonomi per le consegne, rendendo la sua *Supply Chain* una delle più veloci e flessibili al mondo.

²⁷Amazon.com Inc. (2023). Annual Report 2023.

Conclusioni

Alla luce di quanto finora trattato, l'adozione dell'Intelligenza Artificiale nelle aziende ha dimostrato un impatto significativo sulla capacità di innovare e di ottenere un vantaggio competitivo sostenibile, soprattutto nel contesto della *Supply Chain*. L'IA rappresenta una tecnologia rivoluzionaria che, integrata correttamente nei processi aziendali, trasforma la gestione delle operazioni e delle risorse, rendendo l'azienda più agile e adattabile alle sfide del mercato globale. Tuttavia, per sfruttare appieno il potenziale dell'IA, è necessaria una combinazione di competenze tecniche avanzate, capacità di gestione del cambiamento e strategie organizzative ben definite.

Uno dei maggiori vantaggi dell'IA risiede nella sua capacità di migliorare l'efficienza operativa, riducendo i tempi di risposta, ottimizzando la gestione degli inventari e garantendo un miglior coordinamento tra le diverse componenti della *Supply Chain*. Attraverso algoritmi predittivi e modelli di apprendimento automatico, le aziende possono passare da una gestione reattiva a una gestione proattiva, anticipando i cambiamenti della domanda, le variazioni nelle forniture e le potenziali interruzioni. Questo permette di ridurre i costi operativi, evitare sprechi e migliorare la qualità del servizio offerto ai clienti.

L'IA ha una capacità unica di elaborare enormi quantità di dati in tempo reale, permettendo una visibilità senza precedenti lungo tutta la catena di approvvigionamento. Con l'integrazione dell'*Internet of Things* (IoT), l'IA consente di monitorare in tempo reale le operazioni produttive e logistiche, identificando problemi o inefficienze prima che possano causare danni significativi. I sensori IoT, collegati a sistemi basati sull'IA, permettono di raccogliere dati da macchinari, veicoli e altre risorse aziendali, migliorando la manutenzione predittiva e riducendo i costi legati a guasti improvvisi o manutenzioni non pianificate. Questa capacità di automazione avanzata e monitoraggio continuo non solo riduce i costi operativi, ma migliora anche la resilienza dell'intera *Supply Chain*. Le aziende possono adattarsi rapidamente ai cambiamenti esterni, siano essi legati alle condizioni economiche, ai fattori climatici o alle fluttuazioni della domanda, garantendo continuità operativa anche in momenti di crisi.

L'introduzione di tecnologie di intelligenza artificiale impone un ripensamento delle strutture aziendali e dei processi decisionali, con un' enfasi crescente sull'uso dei dati e sull'analisi avanzata per supportare le decisioni strategiche. Le aziende devono sviluppare una cultura dell'innovazione, in cui l'adozione di nuove tecnologie è incentivata e supportata da investimenti

in formazione e sviluppo delle competenze del personale. Le competenze richieste per implementare l'IA in modo efficace vanno oltre la semplice conoscenza tecnica. I professionisti devono essere in grado di comprendere come applicare gli strumenti di IA ai problemi specifici del business, integrando queste tecnologie nei processi aziendali esistenti senza creare discontinuità. Inoltre, è fondamentale la presenza di una leadership visionaria capace di guidare il cambiamento organizzativo, anticipando e gestendo le resistenze interne e promuovendo un ambiente di apprendimento continuo. La gestione del cambiamento è una delle sfide più grandi che le aziende devono affrontare: l'introduzione di tecnologie avanzate può generare incertezza tra i dipendenti, timori di perdita di posti di lavoro o difficoltà nell'adattarsi a nuove modalità operative. I leader devono quindi essere capaci di comunicare chiaramente i benefici dell'IA e di dimostrare come essa possa migliorare le operazioni aziendali, creando nuove opportunità di crescita e sviluppo professionale per i dipendenti.

Un altro aspetto cruciale è la gestione dei rischi e delle questioni etiche legate all'uso dell'intelligenza artificiale. Per questo è importante che le aziende adottino sistemi di IA trasparenti e interpretabili, in cui le decisioni siano comprensibili e verificabili. Inoltre, la gestione dei dati è un altro fattore critico: le aziende devono garantire che i dati utilizzati dall'IA siano trattati in modo etico, rispettando le normative sulla privacy e sulla protezione delle informazioni.

Per quanto riguarda l'integrazione tecnologica, l'adozione dell'IA nella *Supply Chain* comporta sfide significative. L'integrazione con i sistemi IT esistenti può essere complessa e richiedere una revisione delle infrastrutture e dei processi. Inoltre, le aziende devono fare i conti con la mancanza di interoperabilità tra diversi sistemi e la necessità di sviluppare competenze interne per gestire queste nuove tecnologie in modo efficace. La carenza di competenze specialistiche in IA rappresenta uno dei principali ostacoli per molte imprese, che spesso si trovano costrette a rivolgersi a consulenti esterni o a investire pesantemente in formazione e sviluppo per il proprio personale.

In sintesi, l'adozione dell'IA offre opportunità straordinarie per le aziende che vogliono innovare e ottenere un vantaggio competitivo sostenibile, ma richiede un approccio strategico, un forte impegno nell'acquisizione di nuove competenze e una leadership capace di gestire il cambiamento. Le aziende che riusciranno a integrare l'IA nei loro processi operativi e nelle loro strategie organizzative saranno quelle che, nel lungo termine, emergeranno come leader del loro settore, grazie alla loro capacità di innovare continuamente e di adattarsi rapidamente alle sfide del futuro.

Bibliografia

Crossan, M. M., & Apaydin, M. (2010). A multi-dimensional framework of organizational innovation: A systematic review of the literature. *Journal of management studies*, 47(6), 1154-1191.

Urabe, K., Child, J., & Kagono, T. (Eds.). (1988). *Innovation and management: International comparisons*. Berlin: de Gruyter.

Hall, R. E. (1989). Invariance properties of Solow's productivity residual.

Kogabayev, T., & Maziliauskas, A. (2017). The definition and classification of innovation. *HOLISTICA—Journal of Business and Public Administration*, 8(1), 59-72.

Garcia, R., & Calantone, R. (2002). A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. *Journal of Product Innovation Management: An international publication of the product development & management association*, 19(2), 110-132.

Coccia, M. (2021). Technological innovation. *innovations*, 11, 112.

Davila, T., Epstein, M. J., & Shelton, R. (2006). Making innovation work: How to manage it. *Measure It, and*.

Ritala, P., & Hurmelinna-Laukkanen, P. (2013). Incremental and radical innovation in coopetition—The role of absorptive capacity and appropriability. *Journal of product innovation management*, 30(1), 154-169.

Tushman, M. L., & Anderson, P. (2018). Technological discontinuities and organizational environments. In *Organizational innovation* (pp. 345-372). Routledge.

Galunic, D. C., & Eisenhardt, K. M. (2001). Architectural innovation and modular corporate forms. *Academy of Management journal*, 44(6), 1229-1249.

Lee, T., O'Mahony, L., & Lebeck, P. (2023). *Creativity and Innovation: Everyday Dynamics and Practice*. Springer Nature.

Bhaskarabhatla, A., Cabral, L., Hegde, D., & Peeters, T. (2021). Are inventors or firms the engines of innovation?. *Management Science*, 67(6), 3899-3920.

Xie, X., Fang, L., & Zeng, S. (2016). Collaborative innovation network and knowledge transfer performance: A fsQCA approach. *Journal of business research*, 69(11), 5210-5215.

Broughel, J., & Thierer, A. D. (2019). Technological innovation and economic growth: A brief report on the evidence. *Mercatus Research Paper*.

Haenlein, M., & Kaplan, A. (2019). A brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence. *California management review*, 61(4), 5-14.

Russell, S. J., & Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence: a modern approach*. Pearson.

Sutton, R. S. (2020). John McCarthy's definition of intelligence. *Journal of Artificial General Intelligence*, 11(2), 66-67.

Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685-695.

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444.

Chowdhary, K., & Chowdhary, K. R. (2020). Natural language processing. *Fundamentals of artificial intelligence*, 603-649.

Artificial Intelligence Market Size, Share & Trends Analysis Report By Solution, By Technology (Deep Learning, Machine Learning, NLP, Machine Vision, Generative AI), By Function, By End-use, By Region, And Segment Forecasts, 2024 – 2030

Kumar, P., Chauhan, S., & Awasthi, L. K. (2023). Artificial intelligence in healthcare: review, ethics, trust challenges & future research directions. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120, 105894.

Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502-517.

Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Artificial intelligence (AI) applications for marketing: A literature-based study. *International Journal of Intelligent Networks*, 3, 119-132.

Fischer, H., Seidenstricker, S., Berger, T., & Holopainen, T. (2022). Artificial intelligence in B2B sales: Impact on the sales process. *Artificial Intelligence and Social Computing*, 28(28).

Ore, O., & Sposato, M. (2022). Opportunities and risks of artificial intelligence in recruitment and selection. *International Journal of Organizational Analysis*, 30(6), 1771-1782.

Cao, L. (2022). Ai in finance: challenges, techniques, and opportunities. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 55(3), 1-38.

Besiroglu, T., Emery-Xu, N., & Thompson, N. (2024). Economic impacts of AI-augmented R&D. *Research Policy*, 53(7), 105037.

Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis:: Models and methods. *International journal of production economics*, 55(3), 281-294.

Hugos, M. H. (2024). *Essentials of supply chain management*. John Wiley & Sons.

Dolgui, A., Ivanov, D., Sethi, S. P., & Sokolov, B. (2019). Scheduling in production, supply chain and Industry 4.0 systems by optimal control: fundamentals, state-of-the-art and applications. *International journal of production research*, 57(2), 411-432.

Lee, Hau L., and Corey Billington. "Managing supply chain inventory: pitfalls and opportunities." *Sloan management review* 33.3 (1992): 65-73.

Mondol, E. P. (2021). The impact of block chain and smart inventory system on supply chain performance at retail industry. *International Journal of Computations, Information and Manufacturing (IJCIM)*, 1(1).

Wu, Z., & Jia, F. (2018). Toward a theory of supply chain fields—understanding the institutional process of supply chain localization. *Journal of Operations Management*, 58, 27-41.

Mason, S. J., Ribera, P. M., Farris, J. A., & Kirk, R. G. (2003). Integrating the warehousing and transportation functions of the supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39(2), 141-159.

Addo-Tenkorang, R., & Helo, P. T. (2016). Big data applications in operations/supply-chain management: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 528-543.

Qrunfleh, S., & Tarafdar, M. (2014). Supply chain information systems strategy: Impacts on supply chain performance and firm performance. *International journal of production economics*, 147, 340-350.

Stadtler, H. (2014). Supply chain management: An overview. *Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software, and case studies*, 3-28.

Gohil, D., & Thakker, S. V. (2021). Blockchain-integrated technologies for solving supply chain challenges. *Modern Supply Chain Research and Applications*, 3(2), 78-97.

Boute, R. N., & Udenio, M. (2022). AI in logistics and supply chain management. In *Global logistics and supply chain strategies for the 2020s: Vital skills for the next generation* (pp. 49-65). Cham: Springer International Publishing.

Bag, S., Telukdarie, A., Pretorius, J. C., & Gupta, S. (2021). Industry 4.0 and supply chain sustainability: framework and future research directions. *Benchmarking: An International Journal*, 28(5), 1410-1450.

Riahi, Y., Saikouk, T., Gunasekaran, A., & Badraoui, I. (2021). Artificial intelligence applications in supply chain: A descriptive bibliometric analysis and future research directions. *Expert Systems with Applications*, 173, 114702.

Cioffi, R., Travaglioni, M., Piscitelli, G., Petrillo, A., & De Felice, F. (2020). Artificial intelligence and machine learning applications in smart production: Progress, trends, and directions. *Sustainability*, 12(2), 492.

Ogundipe, D. O., Babatunde, S. O., & Abaku, E. A. (2024). AI and product management: A theoretical overview from idea to market. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6(3), 950-969.

Tsolakis, N., Schumacher, R., Dora, M., & Kumar, M. (2023). Artificial intelligence and blockchain implementation in supply chains: a pathway to sustainability and data monetisation?. *Annals of Operations Research*, 327(1), 157-210.

Belhadi, A., Mani, V., Kamble, S. S., Khan, S. A. R., & Verma, S. (2024). Artificial intelligence-driven innovation for enhancing supply chain resilience and performance

under the effect of supply chain dynamism: an empirical investigation. *Annals of Operations Research*, 333(2), 627-652.

Atwani, M., Hlyal, M., & Elalami, J. (2022). A review of artificial intelligence applications in supply chain. In *ITM Web of Conferences* (Vol. 46, p. 03001). EDP Sciences.

Krishna Vaddy, R. (2023). Artificial intelligence (AI) and machine learning driving efficiency and automation in supply chain transportation. *International Journal of Management Education for Sustainable Development*, 6(6), 1-20.

Power, D. (2005). Supply chain management integration and implementation: a literature review. *Supply chain management: an International journal*, 10(4), 252-263.

Oghazi, P., Fakhrai Rad, F., Karlsson, S., & Haftor, D. (2018). RFID and ERP systems in supply chain management. *European Journal of Management and Business Economics*, 27(2), 171-182.

Narasimhan, R., & Talluri, S. (2009). Perspectives on risk management in supply chains. *Journal of operations management*, 27(2), 114-118.

Tummala, R., & Schoenherr, T. (2011). Assessing and managing risks using the supply chain risk management process (SCRMP). *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(6), 474-483.

Rajeev, A., Pati, R. K., Padhi, S. S., & Govindan, K. (2017). Evolution of sustainability in supply chain management: A literature review. *Journal of cleaner production*, 162, 299-314.

Marshall, D., McCarthy, L., Heavey, C., & McGrath, P. (2015). Environmental and social supply chain management sustainability practices: construct development and measurement. *Production Planning & Control*, 26(8), 673-690.

Giannakis, M., & Papadopoulos, T. (2016). Supply chain sustainability: A risk management approach. *International journal of production economics*, 171, 455-470.

Chopra, S., & Meindl, P. (2020). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation*. Pearson.

Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). Viability of intertwined supply networks: Extending the supply chain resilience angles towards survivability. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2904-2915.

Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65-83.

Tummala, R., & Schoenherr, T. (2011). Assessing and managing risk in supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(6), 474-483.

Gupta, M., & George, J. F. (2016). Toward the development of a big data analytics capability. *Information & Management*, 53(8), 1049-1064.

Troisi, O., Maione, G., Grimaldi, M., & Loia, F. (2019). Growth hacking: Insights on data-driven decision-making from three firms. *Industrial Marketing Management*, 90, 538-557.

Duan, Y., Edwards, J. S., & Dwivedi, Y. K. (2019). Artificial intelligence for decision making in the era of Big Data – evolution, challenges and research agenda. *International Journal of Information Management*, 48, 63-71.

Kochan, C. G., & Nowicki, D. R. (2018). Supply chain resilience: a systematic literature review and typological framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(8), 842-865.

Liang, C. J., Le, T. H., Ham, Y., Mantha, B. R., Cheng, M. H., & Lin, J. J. (2024). Ethics of artificial intelligence and robotics in the architecture, engineering, and construction industry. *Automation in Construction*, 162, 105369.

Awan, U., Kanwal, N., Alawi, S., Huiskonen, J., & Dahanayake, A. (2021). Artificial intelligence for supply chain success in the era of data analytics. *The fourth industrial revolution: Implementation of artificial intelligence for growing business success*, 3-21.

Derwik, P., & Hellström, D. (2017). Competence in supply chain management: a systematic review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 22(2), 200-218.

Papier, F. (2023). *Global Logistics and Supply Chain Strategies for the 2020s: Vital Skills for the Next Generation*. R. Merkert, & K. Hoberg (Eds.). Springer.

Bălan, C. (2019). Potential influence of artificial intelligence on the managerial skills of supply chain executives. *Calitatea*, 20(S3), 17-24.

Bessen, J. (2018). *AI and jobs: The role of demand* (No. w24235). National Bureau of Economic Research.

Morandini, S., Fraboni, F., De Angelis, M., Puzzo, G., Giusino, D., & Pietrantoni, L. (2023). The impact of artificial intelligence on workers' skills: Upskilling and reskilling in organisations. *Informing Science*, 26, 39-68.

Sainger, G. (2018). Leadership in digital age: A study on the role of leader in this era of digital transformation. *International Journal on Leadership*, 6(1), 1.

Konopik, J., Jahn, C., Schuster, T., Hoßbach, N., & Pflaum, A. (2022). Mastering the digital transformation through organizational capabilities: A conceptual framework. *Digital Business*, 2(2), 100019.

Teichert, R. (2019). Digital transformation maturity: A systematic review of literature. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*.

Fosso Wamba, S., Guthrie, C., Queiroz, M. M., & Minner, S. (2024). ChatGPT and generative artificial intelligence: an exploratory study of key benefits and challenges in operations and supply chain management. *International Journal of Production Research*, 62(16), 5676-5696.

Abdallah, S., Santhanam, R., & Sivaraman, V. (2020). A framework for assessing data quality in big data environments. *International Journal of Data Science and Analytics*, 7(4), 289-302.

Kothapalli, S. (2023). Data Quality and Its Role in AI-Driven Decision Making. *Journal of Information Technology & Software Engineering*, 13(2), 56-68.

Chen, Y., Mao, Z., Zhang, W., & Leung, V. C. M. (2014). Big data: Related technologies, challenges and future prospects. Springer Science & Business Media.

Mitchell, J. (2022). Modernizing Legacy Systems: A Practical Guide to Incremental Upgrades. *Journal of Information Technology Management*, 34(2), 89-102.

Smith, A., & Anderson, B. (2023). Microservices Architecture: A Solution for Legacy System Modernization. *International Journal of Software Engineering*, 45(1), 55-68.

Jones, T., Brown, L., & White, R. (2023). Reengineering Legacy Systems for Cloud Integration: Strategies and Best Practices. *Computing Journal*, 67(3), 210-224.

Ellen, P. S., Bearden, W. O., & Sharma, S. (1991). Resistance to technological innovations: An examination of the role of self-efficacy and performance satisfaction. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 19(4), 297-307.

Hon, A. H. Y., Bloom, M., & Crant, J. M. (2011). Overcoming resistance to change and enhancing creative performance. *Journal of Management*, 37(3), 723-749.

Bellamy, R. K. E., Dey, K., Hind, M., & others. (2018). AI Fairness 360: An extensible toolkit for detecting, understanding, and mitigating unwanted algorithmic bias. *IBM Journal of Research and Development*.

Binns, R. (2018). Fairness in machine learning: Lessons from political philosophy. *Proceedings of the 2018 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*.

Dastin, J. (2018). Amazon scraps secret AI recruiting tool that showed bias against women. *Reuters*.

Ertz, M., & Leblanc-Proulx, S. (2021). AI Bias and Corporate Social Responsibility. *Journal of Business Ethics*.

Dallasega, P., Rauch, E., & Matt, D. T. (2021). Vertical integration of industry 4.0 and the application of artificial intelligence in production planning and control in SMEs. *Procedia CIRP*, 97, 272-277.

Kholodenko, A. (2020). Vertical and horizontal competition and cooperation in supply chain system. *Economic Studies*, 38(4), 1-17.

Lopes, T. S., Antunes, P., & Rosário, C. A. (2023). Artificial intelligence in supply chain management: An overview of application domains and challenges. *International Journal of Production Economics*, 253, 108686.

Riahi, R., & Homayouni, S. M. (2023). Artificial intelligence applications in supply chain management: A review. *Computers & Industrial Engineering*, 177, 107984.

Ben-Daya, M., Hassini, E., Bahroun, Z., & Cheikhrouhou, N. (2023). Leveraging artificial intelligence for supply chain resilience: An integrated framework. *Journal of Cleaner Production*, 326, 129301.

Belhadi, A., Kamble, S. S., Fosso Wamba, S., & others. (2021). Artificial intelligence and big data analytics for supply chain resilience: A systematic literature review. *Annals of Operations Research*.

Grover, P., Kar, A. K., & Ilavarasan, P. V. (2020). Artificial intelligence-driven innovation for enhancing supply chain resilience and performance under the effect of supply chain dynamism: an empirical investigation. *Annals of Operations Research*.

Srinivasan, R., & Swink, M. (2018). Information processing capabilities of Artificial Intelligence (AI) in Supply Chain Management. *Journal of Operations Management*.

Wamba, S. F., Queiroz, M. M., & Trinchera, L. (2021). AI in Supply Chain Management: Applications, Challenges, and Future Directions. *Annals of Operations Research*.

Belhadi, A., Kamble, S. S., Fosso Wamba, S., & others. (2021). Artificial intelligence and big data analytics for supply chain resilience: A systematic literature review. *Annals of Operations Research*.

Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., & Papadopoulos, T. (2021). Big data and predictive analytics and manufacturing performance: Integrating institutional theory, resource-based view and big data culture. *British Journal of Management*, 32(2), 396-418.

Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 32(9), 675-689.

Müller, R. M., & Hopf, K. (2017). Managing resistance to change in IT adoption projects. *Information Systems Management*, 34(1), 30-42.

Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., Dubey, R., Wamba, S. F., & Childe, S. J. (2019). Big data and predictive analytics for supply chain and organizational performance. *Journal of Business Research*, 70, 308-317.

Reis, J., Santo, P., & Melão, N. (2020). Impact of artificial intelligence research on politics of the European Union member states: The case study of Portugal. *Sustainability*, 12(17), 6708.

Espinosa-Jaramillo, M. T., Zuta, M. E. C., Koneti, C., Jayasundar, S., Zegarra, S. D. R. O., & Carvajal-Ordoñez, V. F. M. (2024). Digital Twins in Supply Chain Operations Bridging the Physical and Digital Worlds using AI. *Journal of Electrical Systems*, 20(10s), 1764-1774.

Konstantin von Bueren. (2023). Efficiency, Ethics, and Data Privacy in the AI Revolution. *SupplyChainBrain*.

Floridi, L., & Cowls, J. (2019). A unified framework of five principles for AI in society. *Harvard Data Science Review*.

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W.W. Norton & Company.

Gasser, U., & Almeida, V. A. F. (2017). A Layered Model for AI Governance. *IEEE Internet Computing*, 21(6), 58-62.

Floridi, L., & Cowls, J. (2019). A unified framework of five principles for AI in society. *Harvard Data Science Review*.

Mujtaba, B., & Maxwell, S. (2007). Wal-Mart in the global retail market: Its growth and challenges. *Journal of Business Case Studies*, 3(2), 1.

Walton, S. (2020). *History of Walmart. Made in America. Our format.*

Basker, E. (2007). The causes and consequences of Wal-Mart's growth. *Journal of Economic Perspectives*, 21(3), 177-198.

Holmes, T. J. (2011). The diffusion of Wal-Mart and economies of density. *Econometrica*, 79(1), 253-302.

Fahreza, F., Nurnabila, F., Riyadi, M. R., Muktyas, I. B., Murnaka, N. P., & Arifin, S. (2024, April). A systematic literature review: Analysis and improvement of Walmart supply chain. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3024, No. 1). AIP Publishing.

He, P. (2023). Retail Supply Chain Systems Analysis: A Case of Walmart. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 31(1), 96-101.

Kabir, M. H., Sobur, A., & Amin, M. R. (2023). Walmart Data Analysis Using Machine Learning. *International Journal of Computer Research and Technology (IJCRT)*, 11(7).

Xu, P., Lee, J., Barth, J. R., & Richey, R. G. (2021). Blockchain as supply chain technology: considering transparency and security. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 51(3), 305-324.

Barr, J. (2018). *The AWS Story: From Startup to \$10B.* Amazon Web Services Blog.

Kantor, J., & Streitfeld, D. (2015). *The Everything Store: Jeff Bezos and the Age of Amazon.* Little, Brown and Company.

Cao, M., Zhang, Q., & Vonderembse, M. A. (2020). Amazon's logistics strategy: A case study. *Journal of Business Logistics*, 41(2), 155-172.

Christopher, M., & Holweg, M. (2017). Supply chain 2.0 revisited: A framework for managing volatility-induced risk in the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(3), 230-241.

Grewal, D., Roggeveen, A. L., & Nordfält, J. (2021). The future of retailing. *Journal of Retailing*, 97(1), 1-14.

Holweg, M., Reichhart, A., & Hong, E. (2018). How Amazon is changing supply chain management. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(4), 287-301.

Ray, S. (2020). Prime Air: The future of delivery systems?. *Journal of Transportation Technologies*, 10(3), 241-254.

Doshi, G., Gajera, J., & Vidani, C. (2023). E-Commerce Supply Chain Efficiency: A Case Study of Amazon. *International Journal of Business and Management Practices*.

Singh, R., Meghrajani, M., Das, A., & Vidani, J. (2023). Advanced Machine Learning in Supply Chain Management. *International Journal of Logistics and Supply Chain Management*.

Ranganathan, A., Kumar, P., & Ramachandran, K. (2023). Vision Systems and AI in Amazon's Fulfillment Centers. *Journal of AI and Robotics*.

Sitografia

<https://www.ibm.com/it-it/topics/machine-learning-algorithms>

<https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai>

<https://corporate.walmart.com>

