



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**L'Intelligenza Artificiale Generativa nei
Processi di Supply Chain: Potenzialità, Ambiti
Applicativi e Barriere all'Adozione**

Relatore:
Prof. Giovanni Zenezini

Candidato:
Antonella Cataldo

Anno Accademico 2024/2025

Abstract

L'introduzione dell'Intelligenza Artificiale Generativa nella gestione della supply chain solleva interrogativi rilevanti circa la sua effettiva capacità di incidere in modo trasformativo sui processi aziendali. Sebbene la letteratura ne riconosca il potenziale disruptive, le riflessioni teoriche risultano frammentarie e ancora poco supportate da evidenze empiriche, mentre le applicazioni operative restano limitate a contesti sperimentali.

Questa ricerca, condotta secondo un approccio esplorativo-descrittivo, indaga la diffusione attuale della GenAI nei processi di supply chain e le percezioni dei professionisti del settore. Il percorso metodologico integra una revisione critica della letteratura, la somministrazione di un questionario quantitativo ad un campione eterogeneo di esperti e la conduzione di interviste qualitative volte ad approfondire casi reali di implementazione.

I risultati restituiscono un quadro in evoluzione, caratterizzato da un crescente interesse verso applicazioni ad alto impatto, quali la manutenzione predittiva, la simulazione operativa, l'automazione contrattuale e il supporto alle decisioni, ma ostacolato da barriere di natura tecnologica, normativa, economica e socio-organizzativa. Tali criticità rendono necessaria una riflessione sistemica sulle condizioni abilitanti per una diffusione sostenibile della GenAI nella filiera.

La tesi contribuisce al dibattito scientifico e manageriale fornendo una riflessione critica sul ruolo della GenAI come leva di innovazione nella supply chain e propone una lettura fondata sulle evidenze raccolte, utile ad orientare future strategie di implementazione.

Indice

1. Introduzione e obiettivi della tesi	9
2. La Supply Chain: Definizione, Evoluzione e Sfide	11
2.1 Definizione di Supply Chain	11
2.2 Definizione di Supply Chain Management	13
2.3 Confronto tra Supply Chain Management e Logistica	15
2.4 Processi della Supply Chain	17
2.5 Digitalizzazione e Supply Chain 4.0.....	20
2.6 Sfide della Supply Chain.....	21
2.6.1 Supply Chain sostenibile.....	22
2.6.2 La resilienza della Supply Chain.....	25
2.7 Gestione del rischio nella Supply Chain.....	29
3. L'Intelligenza Artificiale e le Sue Applicazioni nei Contesti Industriali.....	39
3.1 Introduzione all'Intelligenza Artificiale	39
3.1.1 Dall'Intelligenza Artificiale al deep learning.....	39
3.1.2 Intelligenza Artificiale Generativa e Large Language Models	41
3.2 Applicazioni dell'AI e della GenAI nei contesti industriali	44
4. L'Intelligenza Artificiale Generativa nella Supply Chain	51
4.1 Ruolo strategico e applicazioni dell'AI generativa nella supply chain.....	51
4.1.1 Logistica e trasporti	51
4.1.2 Gestione della produzione	55
4.1.3 Gestione della Fornitura.....	56
4.1.4 Customer Experience e Relazioni con i Clienti	58
4.1.5 Altre Applicazioni Strategiche dell'AI Generativa	60
4.2 Rischi, limiti e ostacoli all'adozione.....	62
5. Metodologia e obiettivi della ricerca.....	69
5.1 Fase 1 – Questionario esplorativo	70

5.1.1	Raccolta di campioni e dati	70
5.1.2	Bias di mancata risposta e metodo comune	78
5.2	Fase 2 – Interviste mirate.....	80
5.2.1	Fondamenti teorici	80
5.2.2	Raccolta di campioni e dati	86
6.	Analisi dei dati e risultati della ricerca	89
6.1	Analisi del questionario	89
6.2	Caso studio 1 – GenAI per la previsione dei prezzi nella supply chain	107
6.3	Caso studio 2 – GenAI per il miglioramento della customer experience post-vendita	112
6.4	Analisi trasversali	116
6.4.1	Gestione del rischio e capacità di resilienza.....	121
6.4.2	Sostenibilità nel contesto analizzato	123
7.	Conclusioni.....	125
8.	Limiti e Prospettive Future.....	129
9.	Bibliografia	1331

Capitolo 1

1. Introduzione e obiettivi della tesi

L'Intelligenza Artificiale Generativa sta assumendo un ruolo sempre più centrale nel dibattito sul futuro dei processi aziendali. La sua capacità di elaborare dati, generare soluzioni e automatizzare attività complesse non riguarda solo l'efficienza operativa, ma coinvolge aspetti decisionali, organizzativi e strategici. Non si tratta quindi di una tecnologia marginale o accessoria, ma di uno strumento che può ridefinire il modo in cui le imprese affrontano l'incertezza, gestiscono la complessità e costruiscono vantaggio competitivo.

In questo scenario, la supply chain si configura come uno dei territori più fertili e, al tempo stesso, più sfidanti per l'implementazione della GenAI. Catene di fornitura sempre più globali, digitali e interdipendenti richiedono strumenti in grado di affrontare complessità crescenti, ridurre le vulnerabilità sistemiche e rispondere in modo proattivo a discontinuità improvvise. La promessa della GenAI non è soltanto quella di incrementare l'efficienza operativa, ma di abilitare un salto qualitativo nella capacità di anticipazione, adattamento e apprendimento dei sistemi logistico-produttivi.

Tuttavia, al di là delle narrazioni entusiaste e delle visioni futuristiche, l'applicazione nella realtà operativa appare più cauta e frammentata. Le evidenze disponibili mostrano un'adozione ancora limitata a contesti sperimentali, una scarsa maturità applicativa e una profonda eterogeneità nelle modalità di implementazione.

Un'evidenza particolarmente rilevante emerge dal report McKinsey (2024) [1], secondo cui solo il 7% delle organizzazioni analizzate ha avviato applicazioni concrete di GenAI nell'ambito della Supply Chain, nonostante questa venga riconosciuta come una delle aree aziendali con il più alto potenziale trasformativo. Questo dato mette in luce non solo un livello di adozione ancora marginale, ma anche ampie opportunità di sviluppo nei prossimi anni.

Emergono così una serie di domande ancora irrisolte:

- La GenAI rappresenta realmente una leva di trasformazione della supply chain?
- Quali vantaggi vengono percepiti dalle imprese che hanno iniziato a utilizzare la GenAI nei processi della supply chain?

- Quali ostacoli e barriere tecnologiche, organizzative, culturali o normative ne rallentano la diffusione?
- E in quali ambiti la sua applicazione risulta più promettente o problematica?

A partire da questi interrogativi, la presente tesi si propone di esplorare criticamente il ruolo dell'Intelligenza Artificiale Generativa nella supply chain, giungendo a riflessioni teoriche derivanti da indagini empiriche mirate. L'obiettivo è duplice: da un lato, comprendere le dinamiche che guidano l'adozione della GenAI nei processi aziendali, dall'altro, fornire un'analisi fondata sulle evidenze raccolte, utile a supportare le imprese a prendere decisioni informate, evitando visioni troppo semplificate o eccessivamente entusiaste.

La ricerca adotta un approccio metodologico esplorativo-descrittivo, articolato in tre fasi:

- una revisione della letteratura per delineare il quadro teorico di riferimento;
- la somministrazione di un questionario quantitativo a un campione eterogeneo di professionisti della supply chain;
- un ciclo di interviste qualitative volte ad approfondire casi reali di implementazione.

La tesi è strutturata in sette capitoli: dopo l'inquadramento teorico della supply chain e dell'intelligenza artificiale (Capitoli 2 e 3), viene analizzato il potenziale applicativo della GenAI nei principali ambiti della filiera (Capitolo 4). Seguono la descrizione dell'impianto metodologico (Capitolo 5), la presentazione e l'analisi dei risultati (Capitolo 6) e, infine, una riflessione conclusiva che identifica i principali contributi della ricerca, i limiti riscontrati e alcune prospettive di sviluppo (Capitolo 7).

Attraverso questa indagine, il presente lavoro intende contribuire a una comprensione più concreta e articolata del ruolo che la GenAI può svolgere nella trasformazione della supply chain, offrendo uno strumento utile tanto alla riflessione accademica quanto alle decisioni operative delle imprese.

Capitolo 2

2. La Supply Chain: Definizione, Evoluzione e Sfide

2.1 Definizione di Supply Chain

La supply chain, o catena di fornitura, può essere definita come un sistema integrato di attività, flussi e relazioni che coinvolge tre o più entità (aziende, individui o altri attori) impegnate nella movimentazione e trasformazione di beni, nell'erogazione di servizi, nella condivisione di informazioni e nella gestione dei flussi finanziari. Questo sistema si estende dal fornitore iniziale fino al consumatore finale, con l'obiettivo di generare valore lungo l'intero ciclo di vita del prodotto o servizio [1].

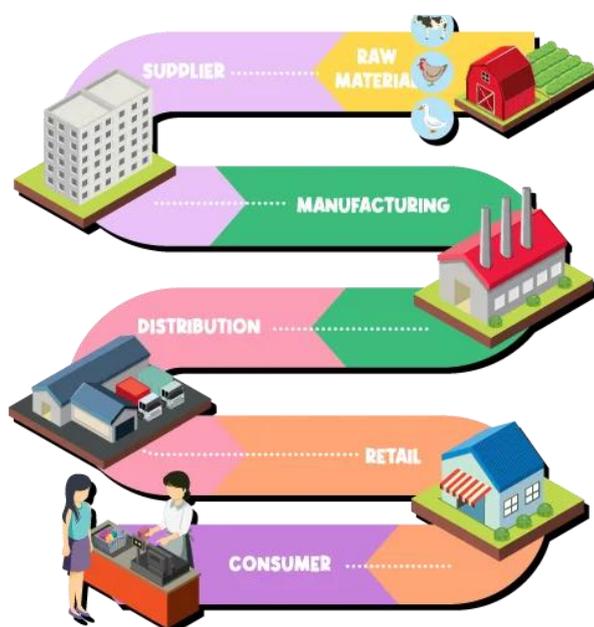


Figura 1: Rappresentazione grafica della catena di approvvigionamento

Essa si configura come un sistema complesso e interconnesso, articolato su più livelli di estensione, ciascuno dei quali riflette una diversa profondità di analisi e coinvolgimento degli attori:

- La **supply chain diretta** rappresenta la configurazione più essenziale, includendo unicamente tre attori principali: un'impresa, un suo fornitore e un cliente immediato.

- La **supply chain estesa** si colloca a un livello superiore, integrando anche i fornitori dei fornitori e i clienti dei clienti, ampliando così la prospettiva oltre i confini diretti dell'impresa.
- La **supply chain ultima** costituisce la visione più ampia e articolata dell'intero ecosistema della catena del valore, comprendendo tutti gli attori coinvolti nei flussi a monte e a valle: dalla fonte originaria delle materie prime fino al consumatore finale. In questa configurazione sono inclusi anche soggetti terzi non direttamente coinvolti nella produzione o trasformazione del bene, ma che svolgono un ruolo cruciale nel supportare o facilitare le attività della supply chain. Tra questi rientrano operatori logistici, intermediari finanziari, consulenti, provider di servizi informativi e altri partner strategici.

TYPES OF CHANNEL RELATIONSHIPS

SUPPLIER ↔ ORGANIZATION ↔ CUSTOMER

FIGURE 1a - DIRECT SUPPLY CHAIN

SUPPLIER'S SUPPLIER ↔ SUPPLIER ↔ ORGANIZATION ↔ CUSTOMER ↔ CUSTOMER'S CUSTOMER

FIGURE 1b - EXTENDED SUPPLY CHAIN

ULTIMATE SUPPLIER ↔ SUPPLIER ↔ ORGANIZATION ↔ CUSTOMER ↔ ULTIMATE CUSTOMER

THIRD PARTY LOGISTICS SUPPLIER

FINANCIAL PROVIDER

MARKET RESEARCH FIRM

FIGURE 1c - ULTIMATE SUPPLY CHAIN

Figura 2: Tipologie di relazioni all'interno della supply chain

A fronte di tale complessità, la supply chain non può più essere interpretata solo come una struttura fisica o funzionale, ma deve essere compresa come un sistema dinamico in cui le decisioni e le interazioni tra gli attori generano impatti significativi sulla performance complessiva, in termini di efficienza, reattività, sostenibilità e competitività.

Le supply chain moderne assumono sempre più spesso una struttura reticolare nella quale un'organizzazione può appartenere contemporaneamente a più catene del valore e ricoprire

ruoli differenti (fornitore, cliente, partner o concorrente) a seconda del contesto e del mercato.

In questo scenario, anche il consumatore finale emerge come un attore attivo, capace di influenzare in modo diretto le strategie di personalizzazione, tracciabilità e sostenibilità adottate dalle imprese lungo tutta la catena [1].

È inoltre importante distinguere tra la supply chain, che è una parte naturale e inevitabile dell'economia globale, e la sua gestione consapevole, che avviene attraverso pratiche organizzate di Supply Chain Management (SCM). Lo SCM è un approccio manageriale che ha l'obiettivo di coordinare e migliorare i flussi fisici, informativi e finanziari, riducendo inefficienze e sprechi, migliorando la flessibilità operativa e generando valore condiviso per tutti gli attori coinvolti.

2.2 Definizione di Supply Chain Management

Il concetto di Supply Chain Management (SCM) ha origine nei primi anni '80, quando Oliver e Webber, in un articolo pubblicato sulla Harvard Business Review (1982), introducono per la prima volta l'idea di una gestione integrata delle attività legate all'approvvigionamento, alla trasformazione e alla distribuzione dei beni. In questa fase iniziale, l'attenzione era posta principalmente sul coordinamento efficiente delle operazioni necessarie per trasformare le materie prime in prodotti finiti e garantirne la consegna tempestiva al cliente finale.

La configurazione della supply chain, in questo contesto originario, era di tipo tradizionale e lineare, con una sequenza definita di attori e funzioni. Gli elementi principali includevano fornitori, produttori, centri di distribuzione, magazzini, rivenditori e, infine, i consumatori finali. Ogni attore ricopriva un ruolo specifico e contribuiva a una fase distinta del processo:

- Il fornitore era responsabile dell'approvvigionamento delle materie prime necessarie all'avvio del ciclo produttivo;
- Il produttore costituiva il nodo centrale della filiera, occupandosi della trasformazione delle risorse in prodotti finiti;
- I distributori gestivano le attività di consolidamento, movimentazione e trasporto delle merci;
- Il rivenditore rappresentava l'anello di collegamento diretto con il cliente finale, assicurando la disponibilità dei prodotti sul mercato.

Nel corso degli anni, il concetto di supply chain ha subito una profonda evoluzione, in risposta a dinamiche economiche, tecnologiche e organizzative sempre più complesse. Fenomeni come l'internazionalizzazione dei mercati, la crescente complessità dei flussi logistici e l'adozione diffusa di tecnologie digitali, hanno contribuito a ridefinire il ruolo e la configurazione della supply chain all'interno del sistema aziendale [2].

Di conseguenza, il Supply Chain Management è diventato nel tempo un modello gestionale fondamentale, necessario per aiutare le imprese moderne a essere più competitive, flessibili e sostenibili.

In questa prospettiva, la supply chain non viene più concepita come una semplice sequenza lineare di processi, ma come una rete interconnessa, spesso definita supply network o supply web, nella quale ciascun nodo rappresenta un'entità attiva, in grado di interagire e influenzare gli altri attori. In un tale sistema dinamico e interdipendente, le decisioni operative e strategiche di ciascun partecipante generano impatti diretti e immediati sull'efficienza complessiva, sulla capacità di risposta al mercato e sulla creazione di valore lungo tutta la catena.

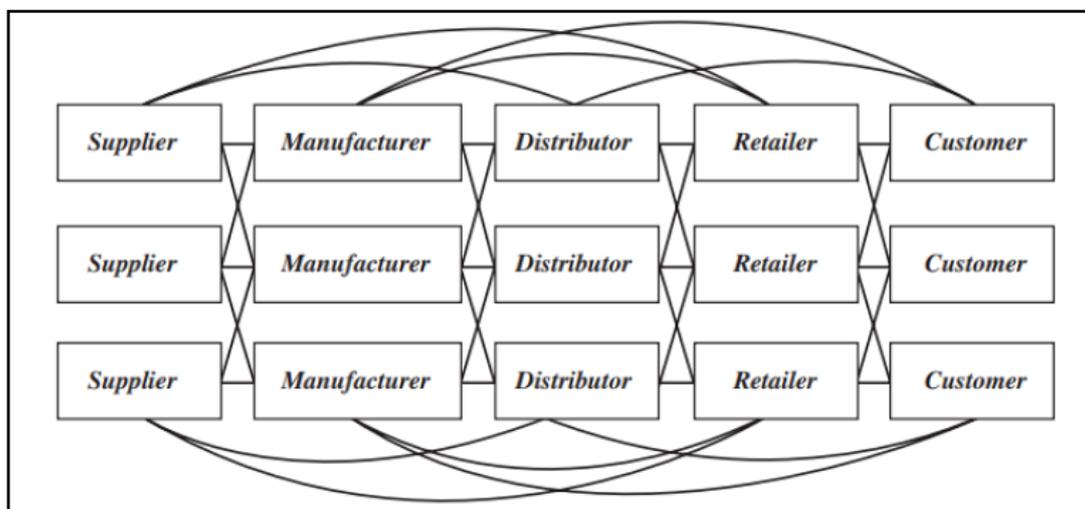


Figura 3: Supply chain complessa con relazioni multiple tra attori

L'obiettivo primario del Supply Chain Management consiste nella creazione di valore per il cliente finale, attraverso un approccio integrato che mira simultaneamente alla riduzione dei costi operativi, all'ottimizzazione dei livelli di servizio e al miglioramento continuo delle performance lungo l'intera filiera produttiva e distributiva.

2.3 Confronto tra Supply Chain Management e Logistica

Un'importante area di approfondimento nella letteratura sul Supply Chain Management (SCM) riguarda il rapporto tra quest'ultimo e la logistica, due concetti frequentemente utilizzati in modo intercambiabile, ma che in realtà presentano differenze sostanziali. Per chiarire questa relazione, Paul Larson e Arni Halldorsson (2004), in un contributo pubblicato sull'*International Journal of Logistics*, propongono quattro diverse prospettive interpretative, che riflettono le principali correnti di pensiero emerse nel dibattito accademico [3]:

- **Visione "traditionalist"**: secondo questa interpretazione, il Supply Chain Management è una sottofunzione della logistica, ossia una sua componente interna, focalizzata su specifici processi di coordinamento e gestione all'interno del più ampio sistema logistico;
- **Visione "re-labeling"**: questa prospettiva considera i due termini sostanzialmente sinonimi, ritenendo che il concetto di SCM rappresenti una semplice riformulazione terminologica della logistica, senza introdurre differenze concettuali rilevanti;
- **Visione "unionist"**: in questo caso, il rapporto tra i due concetti si inverte rispetto alla visione traditionalist. La logistica è vista come una delle componenti operative del SCM, il quale assume una valenza più ampia e strategica. Questa visione è condivisa anche da Mentzer et al. (2001), secondo cui il Supply Chain Management dovrebbe comprendere tutte le principali funzioni aziendali tra cui marketing, vendite, ricerca e sviluppo, produzione, approvvigionamenti, logistica, finanza, sistemi informativi e servizio al cliente– in un'ottica di gestione integrata e trasversale;
- **Visione "intersectionist"**: questa posizione propone un'integrazione selettiva e strategica delle diverse aree funzionali aziendali. Il Supply Chain Management non viene inteso né come un sinonimo né come una somma delle discipline coinvolte (logistica, acquisti, operations, marketing, ecc.), ma piuttosto come un framework che incorpora e coordina elementi cruciali di ciascuna area per supportare obiettivi comuni e condivisi.

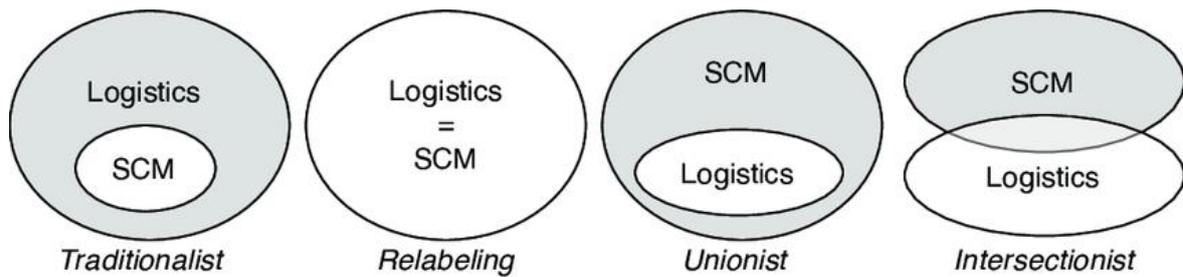


Figura 4: Visioni SCM-Logistica

Tra le quattro visioni interpretative proposte, quella unionista risulta essere la più ampiamente accettata, sia in ambito accademico che nel contesto professionale. Anche il Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) adotta questa prospettiva, definendo la logistica come una funzione operativa integrata all'interno del più ampio sistema del Supply Chain Management.

In questa visione, la logistica ha un ruolo importante e necessario per il buon funzionamento della supply chain, ma rappresenta solo una parte del Supply Chain Management, che include anche altre attività strategiche e di coordinamento lungo l'intera rete del valore.

La distinzione tra logistica e Supply Chain Management diventa ancora più chiara se si confrontano le loro definizioni e i rispettivi obiettivi:

- La **logistica** si occupa principalmente della gestione operativa dei flussi fisici di beni e materiali. Le sue finalità sono garantire un'efficace movimentazione, conservazione e distribuzione delle merci;
- Il **Supply Chain Management**, invece, ha un raggio d'azione più ampio e strategico. Oltre a gestire il trasporto e lo stoccaggio delle merci, si occupa anche di acquisti, produzione, rapporti con fornitori e clienti, e della pianificazione della domanda, coordinando tutte queste attività lungo l'intera catena.

Le principali differenze tra supply chain e logistica sono sintetizzate nella Tabella 1.

	Supply Chain Management	Logistica
Definizione	La somma di attività e processi di approvvigionamento, produzione e distribuzione che coinvolge fabbrica, fornitori, operatori logistici, punti vendita e clienti	È parte della supply chain ed è l'insieme di attività organizzative e strategiche che permettono la corretta gestione dei flussi di merci inbound e outbound
Obiettivi	Raggiungere la massima competitività nel mercato e aumentare i benefici	Migliorare il livello di servizio attraverso una gestione degli ordini efficace
Imprese coinvolte	Nella supply chain vengono coinvolte più imprese	La logistica può essere a carico di una sola impresa
Gerarchia	La supply chain fa riferimento all'ecosistema completo di processi che convergono in un prodotto	La logistica è solo una parte della catena di approvvigionamento
Reparti aziendali coinvolti	Include la maggior parte delle aree aziendali: controllo qualità, customer care, logistica ecc	Implica solo le aree direttamente coinvolte nelle operazioni di stoccaggio, trasporto e gestione dello stock

Tabella 1: Differenze tra Supply chain management e logistica

2.4 Processi della Supply Chain

Il Global Supply Chain Forum (GSCF) ha fornito le linee guida per la definizione e l'implementazione degli otto processi fondamentali del Supply Chain Management. Ciascuno di questi processi include componenti di natura sia strategica che operativa, riflettendo la duplice dimensione del SCM come sistema di pianificazione e di esecuzione.

Le **componenti strategiche** servono a definire come le aziende coinvolte nella supply chain collaborano tra loro, stabilendo il tipo di relazione, il livello di integrazione e le regole comuni da seguire.

Le **componenti operative**, invece, riguardano le attività quotidiane necessarie per far funzionare questi processi, come la gestione degli ordini, delle scorte, dei trasporti e il controllo delle performance.

Per garantire una gestione efficace e coerente di tali processi, è fondamentale il coinvolgimento di team interfunzionali composti da rappresentanti delle principali funzioni aziendali (ad esempio approvvigionamenti, produzione, logistica, vendite, finanza e sistemi informativi).

Questi team hanno il compito di coordinare e integrare le attività, sia all'interno dell'organizzazione sia lungo l'intera rete della supply chain, promuovendo un approccio collaborativo e orientato al miglioramento continuo.

Gli otto processi chiave identificati dal GSCF sono [4]:

- **Customer Relationship Management:** è il punto di partenza per l'integrazione della supply chain. Si focalizza sullo sviluppo di relazioni strategiche con i clienti chiave, attraverso la loro segmentazione in base a criteri quali valore generato, redditività e potenziale di crescita. L'obiettivo è personalizzare l'offerta e migliorare l'esperienza del cliente lungo l'intero ciclo di vita del rapporto commerciale;
- **Customer Service Management:** costituisce il principale punto di contatto operativo con il cliente, garantendo il rispetto degli accordi definiti in fase di CRM. Include attività come la comunicazione sulla disponibilità dei prodotti, la gestione delle spedizioni, l'assistenza post-vendita e la risoluzione proattiva di eventuali criticità, prima che abbiano un impatto negativo sull'esperienza del cliente;
- **Demand Management:** ha il compito di equilibrare la domanda del mercato con la capacità produttiva e logistica dell'impresa. Non si limita alla previsione della domanda, ma promuove una gestione integrata delle informazioni tra tutti gli attori della supply chain, con l'obiettivo di ridurre l'incertezza, anticipare i cambiamenti nel comportamento dei consumatori e migliorare l'allineamento tra offerta e richiesta;

- **Order Fulfillment:** è il processo attraverso il quale un'azienda gestisce e completa gli ordini dei clienti, dall'acquisizione dell'ordine fino alla consegna finale. È uno degli elementi chiave per il successo della supply chain, in quanto incide direttamente sulla soddisfazione del cliente, sulla qualità del servizio percepito e sui costi operativi complessivi. L'obiettivo finale è quello di realizzare un processo fluido e senza interruzioni, capace di collegare in modo efficiente il fornitore al cliente finale;
- **Manufacturing Flow Management:** gestisce la pianificazione e il controllo dei flussi produttivi all'interno della supply chain, con l'obiettivo di garantire una produzione reattiva, flessibile ed efficiente. Il suo obiettivo principale è garantire che i prodotti vengano movimentati efficacemente attraverso gli impianti produttivi, rispondendo in modo tempestivo e conveniente alle variazioni della domanda del mercato;
- **Supplier Relationship Management:** analogamente al CRM, si focalizza sulla costruzione di rapporti strategici con i fornitori chiave. L'obiettivo è garantire un approvvigionamento efficiente e integrato, anche nelle prime fasi di sviluppo del prodotto, attraverso la selezione e la collaborazione con partner affidabili e strategici;
- **Product Development and Commercialization:** riguarda lo sviluppo e l'introduzione di nuovi prodotti, promuovendo la collaborazione tra funzioni aziendali e attori esterni (clienti e fornitori). Per essere efficace, richiede il coordinamento con CRM (per comprendere le esigenze del mercato), con SRM (per la selezione dei materiali e dei fornitori) e con il MFM (per garantire la fattibilità produttiva). Gli obiettivi principali sono la riduzione del time-to-market, il miglior allineamento tra prodotto e domanda e la massimizzazione del valore percepito dal cliente.
- **Returns Management:** Include tutte le attività connesse alla gestione dei resi e alla logistica inversa, sia all'interno dell'azienda sia in collaborazione con partner esterni. Mira non solo a trattare efficacemente i resi, ma anche a identificarne le cause per prevenirne la ricorrenza, recuperare valore dai prodotti restituiti e migliorare il servizio offerto al cliente, riducendo al contempo i costi operativi.

2.5 Digitalizzazione e Supply Chain 4.0

Negli ultimi decenni, la supply chain è stata protagonista di una profonda trasformazione, spinta dalla necessità di affrontare una crescente complessità dovuta a diversi fattori: la globalizzazione dei mercati, l'interconnessione sempre più fitta tra gli attori della catena del valore e la crescente quantità di informazioni da coordinare.

Queste dinamiche hanno reso evidente la necessità di superare le tradizionali modalità operative, spesso frammentate e non reattive, favorendo l'evoluzione verso modelli gestionali più integrati, flessibili e orientati all'innovazione [5].

In questo contesto si inserisce il paradigma della Supply Chain 4.0, che rappresenta il passaggio ad un sistema digitale, connesso e intelligente. Questo nuovo approccio è reso possibile grazie all'integrazione di tecnologie abilitanti quali:

- **Sistemi ERP (Enterprise Resource Planning):** consentono di integrare i dati e le informazioni provenienti da diverse funzioni aziendali (produzione, logistica, contabilità, vendite), favorendo una visione unificata e una pianificazione più accurata delle risorse. L'ERP rappresenta l'infrastruttura informativa centrale su cui si innestano le altre tecnologie digitali;
- **Internet of Things (IoT):** mediante l'uso di sensori intelligenti e dispositivi connessi, l'IoT consente il monitoraggio in tempo reale dei flussi fisici, dalla produzione alla consegna finale. I dati raccolti supportano attività strategiche come la tracciabilità, la manutenzione predittiva e il controllo della qualità, contribuendo a una maggiore reattività della supply chain; [5]
- **Intelligenza Artificiale (IA):** valorizza i dati generati dall'IoT e da altri sistemi digitali, trasformandoli in conoscenza operativa attraverso algoritmi di machine learning e modelli predittivi. L'IA è in grado di anticipare la domanda, ottimizzare le strategie di rifornimento, identificare colli di bottiglia e automatizzare decisioni complesse, migliorando significativamente efficienza, velocità e adattabilità dei processi; [6]
- **Tecnologie di tracciabilità (RFID e codici a barre intelligenti):** aumentano la visibilità e il controllo sugli articoli lungo la supply chain. L'uso dell'RFID, in

particolare, consente l'identificazione automatica e a distanza dei prodotti, velocizzando operazioni come ricezione, stoccaggio e spedizione, riducendo errori e inefficienze; [7]

- **Blockchain:** tecnologia che consente di registrare in modo sicuro e immutabile tutte le transazioni lungo la catena. Garantisce trasparenza, tracciabilità e fiducia tra i partner commerciali ed è particolarmente utile per la gestione delle certificazioni, delle condizioni contrattuali e della provenienza dei materiali.

L'adozione di queste soluzioni consente di raccogliere, analizzare e gestire i dati in tempo reale e su larga scala, trasformando la supply chain in un ecosistema predittivo, proattivo e adattivo, capace di rispondere in modo più efficace e tempestivo alle variazioni del mercato, ai rischi e alle esigenze dei clienti [6].

2.6 Sfide della Supply Chain

Negli ultimi anni, le catene di fornitura hanno attraversato una fase di profondo cambiamento, spinte dalla necessità di rispondere a due sfide centrali e interconnesse: la sostenibilità ambientale e la resilienza operativa.

Da un lato, le crescenti pressioni legate al cambiamento climatico, all'evoluzione delle normative ESG (Environmental, Social and Governance) e alla maggiore consapevolezza dei consumatori impongono alle imprese di ridurre l'impatto ambientale lungo l'intero ciclo di vita del prodotto. In tale contesto, la sostenibilità della supply chain non rappresenta più una scelta accessoria o reputazionale, ma un fattore strategico essenziale per garantire competitività e continuità nel lungo termine.

Dall'altro lato, eventi globali come la pandemia da COVID-19, le tensioni geopolitiche, le interruzioni delle catene di approvvigionamento e le crisi energetiche hanno evidenziato la fragilità dei modelli tradizionali. Ciò ha reso evidente la necessità di sviluppare supply chain resilienti, ovvero sistemi produttivi e logistici in grado di assorbire gli shock esterni, adattarsi rapidamente al cambiamento e mantenere la continuità operativa anche in condizioni di forte instabilità.

Sostenibilità e resilienza si configurano oggi come i due pilastri fondamentali per il futuro della gestione della supply chain. Sebbene si tratti di sfide complesse, esse sono fortemente

interconnesse: una supply chain progettata in modo sostenibile è spesso anche più efficiente, trasparente e reattiva di fronte alle perturbazioni.

Nei paragrafi che seguono, queste due dimensioni verranno analizzate in modo approfondito.

2.6.1 Supply Chain sostenibile

La sostenibilità sta ridefinendo le priorità strategiche delle imprese, non più come vincolo normativo o pressione esterna, ma come leva di innovazione e vantaggio competitivo. In questo scenario, la supply chain rappresenta uno dei principali ambiti di intervento per integrare obiettivi ambientali e sociali nei processi aziendali.

Le imprese non possono più limitarsi a ottimizzare costi e tempi di consegna ma sono chiamate a rivedere in profondità i propri modelli di supply chain, tenendo conto di obiettivi ambientali concreti e misurabili. Ciò implica il ripensamento dei flussi logistici, la ridefinizione dei processi produttivi e l'adozione di criteri di selezione dei fornitori basati non solo sull'efficienza, ma anche su responsabilità ambientale e sociale.

La tecnologia gioca un ruolo centrale in questa trasformazione, abilitando una supply chain più trasparente, efficiente e a basso impatto ambientale.

Secondo i dati della Global Lighthouse Network (GLN), iniziativa congiunta del World Economic Forum e di McKinsey & Company, oltre il 60% delle cosiddette "lighthouse factories" (impianti produttivi che si distinguono per l'adozione su larga scala di tecnologie digitali) ha ottenuto miglioramenti significativi in termini di sostenibilità ambientale grazie all'introduzione di tecnologie digitali 4.0 [8].

Soluzioni come l'IoT industriale, l'intelligenza artificiale, la robotica collaborativa e l'analisi avanzata dei dati consentono un monitoraggio puntuale dei consumi energetici, una riduzione degli scarti e una maggiore trasparenza lungo tutta la catena di fornitura. In questo scenario, efficienza operativa ed efficienza ambientale non sono più obiettivi separati, ma convergenti: le aziende più evolute dimostrano che è possibile ridurre l'impronta ecologica mantenendo, e in molti casi migliorando, la competitività sul mercato.

A dimostrazione di ciò, molte imprese stanno adottando un approccio più responsabile lungo tutta la filiera, allineando la performance economica con l'impatto ambientale e sociale. Questo orientamento si riflette nei principi della Corporate Social Responsibility (CSR),

intesa come l'assunzione volontaria di responsabilità economiche, sociali e ambientali che vanno oltre i vincoli normativi, contribuendo a rafforzare la fiducia degli stakeholder e a mitigare i rischi reputazionali.

In ambito manageriale, la CSR si esprime oggi attraverso il modello ESG (Environmental, Social and Governance), che riassume le tre dimensioni fondamentali della sostenibilità:

- **Ambientale**, legata alla gestione responsabile delle risorse e alla riduzione dell'impatto ecologico;
- **Sociale**, relativa alla tutela del capitale umano e al contributo verso la comunità;
- **Economico/organizzativa**, connessa alla trasparenza, alla governance e alla gestione etica dell'impresa.

L'efficacia delle strategie ESG è strettamente connessa alla capacità dell'impresa di attivare una collaborazione strutturata con i propri stakeholder: clienti, fornitori, enti regolatori, media, istituzioni finanziarie e investitori costituiscono una rete relazionale essenziale per diffondere e implementare pratiche sostenibili lungo la catena del valore.

Un'evoluzione rilevante in questa direzione è rappresentata dal modello della supply chain circolare, che mira a minimizzare i rifiuti e massimizzare il valore attraverso strategie di riutilizzo, riciclo e rigenerazione delle risorse. L'adozione di logiche circolari consente di ridurre la dipendenza da risorse vergini, estendere la vita utile dei prodotti e ripensare l'intero ciclo produttivo in ottica rigenerativa.

Inoltre, la crescente sensibilità dei consumatori verso l'impatto ambientale delle proprie scelte d'acquisto rappresenta un ulteriore incentivo all'adozione di modelli sostenibili. Secondo una ricerca condotta da IBM, sei consumatori su dieci dichiarano di essere disposti a modificare le proprie abitudini di consumo per ridurre l'impatto ambientale, influenzando direttamente le strategie aziendali. Questo orientamento si traduce in un incremento del valore percepito del brand, stimato tra il 15% e il 30%, e in una maggiore competitività sul mercato [9].

Il concetto di sostenibilità applicata alla supply chain si articola in tre ambiti fondamentali:

- **Green Purchasing**: questa pratica prevede l'integrazione di criteri ambientali nella selezione dei fornitori, in aggiunta ai tradizionali parametri di costo, qualità e affidabilità. L'adozione di politiche di acquisto sostenibile consente di contenere i

rischi legati alla filiera, promuovere la visibilità sul ciclo di vita del prodotto e rafforzare la reputazione aziendale. Inoltre, le imprese che adottano pratiche di green purchasing risultano spesso più attrattive nei confronti degli investitori, accedendo più facilmente a condizioni finanziarie favorevoli.

- **Green Logistics:** è l'insieme di pratiche volte a ridurre l'impatto ambientale dei trasporti e della movimentazione delle merci lungo la supply chain. Le soluzioni più adottate includono l'impiego di veicoli a basse emissioni, come quelli elettrici, a gas naturale o ibridi, il ricorso al trasporto intermodale privilegiando modalità meno inquinanti come la ferrovia, e l'utilizzo di imballaggi sostenibili, riciclati, biodegradabili o compostabili. Alcune aziende promuovono anche sistemi di restituzione degli imballaggi da parte dei clienti, incentivando pratiche responsabili.

Tuttavia, la sostenibilità logistica non riguarda solo i trasporti, anche le infrastrutture hanno un impatto significativo. Secondo il World Economic Forum, circa il 13% delle emissioni totali di una supply chain proviene proprio da edifici e impianti logistici [10].

Per affrontare questo problema, le imprese possono investire in strutture energeticamente efficienti, alimentate da fonti rinnovabili (come solare, eolica o idrica) e progettate secondo i principi dell'edilizia sostenibile.

All'interno degli spazi operativi, una gestione attenta del layout può contribuire ulteriormente all'efficienza ambientale. Un'organizzazione razionale degli ambienti, l'uso di mezzi elettrici per la movimentazione interna e il raggruppamento intelligente degli ordini permettono di ridurre gli sprechi, aumentare la produttività e abbattere le emissioni;

- **Reverse Logistics:** si concentra sulla gestione dei flussi logistici inversi, ovvero dalla destinazione finale del prodotto al punto d'origine. Questa pratica consente di recuperare valore dai prodotti al termine del loro ciclo di vita, attraverso riciclo, riutilizzo o rigenerazione, ed è fondamentale per la transizione verso modelli di economia circolare.

In conclusione, la transizione verso una supply chain sostenibile rappresenta una sfida complessa ma imprescindibile per le imprese che intendono competere nel lungo periodo. Sebbene i primi passi possano essere ostacolati da costi elevati, lunghi tempi di

implementazione, resistenze interne e necessità tecnologiche, i benefici futuri in termini di efficienza operativa, reputazione aziendale e conformità normativa giustificano pienamente questo impegno strategico.

2.6.2 La resilienza della Supply Chain

Nel contesto logistico e industriale, la resilienza può essere definita come la capacità di un sistema produttivo-logistico di mantenere o ripristinare le proprie funzioni critiche in presenza di eventi avversi o perturbazioni improvvise.

Tale concetto non si limita alla sola reazione immediata ad una crisi. Include anche una dimensione più ampia, che comprende la preparazione preventiva, la visibilità lungo l'intera filiera e la capacità di adattamento e innovazione dei processi. Questi elementi sono fondamentali per affrontare scenari complessi e in continua evoluzione.

Le recenti crisi globali, dalla pandemia al conflitto russo-ucraino, fino all'inflazione e ai cambiamenti climatici, hanno mostrato quanto possano essere fragili le supply chain che non sono costruite su queste basi.

Secondo uno studio condotto da McKinsey & Company (2022), interruzioni della supply chain di durata superiore a un mese si verificano in media ogni 3-4 anni, con potenziali perdite economiche pari fino al 45% degli utili annuali [11].

In questo scenario, la capacità di anticipare, assorbire e gestire efficacemente tali rotture costituisce un vantaggio competitivo determinante.

In stretta connessione con il concetto di resilienza emerge quello di disruption, inteso come un evento improvviso e significativo che rompe l'equilibrio operativo della supply chain, alterandone dinamiche consolidate e processi gestionali. Le cause delle disruption sono molteplici, spesso interdipendenti e difficilmente prevedibili. Tra le più rilevanti si annoverano:

- **Eventi naturali estremi** (terremoti, inondazioni, incendi), con effetti diretti sulle infrastrutture critiche e sulla continuità dei flussi fisici;

- **Crisi sanitarie e pandemiche**, come il COVID-19, che causano carenze di materie prime, chiusure forzate e squilibri tra domanda e offerta;
- **Instabilità geopolitica e conflitti internazionali**, che interrompono le rotte commerciali e creano incertezze normative o commerciali;
- **Cyberattacchi e vulnerabilità informatiche**, sempre più frequenti in un contesto digitalizzato, che compromettono la sicurezza dei dati e il funzionamento dei sistemi informativi;
- **Rotture delle forniture critiche**, legate alla dipendenza da un numero limitato di fornitori o alla concentrazione geografica delle fonti di approvvigionamento.

Gli impatti delle disruption vanno ben oltre i semplici ritardi o le inefficienze temporanee. Le aziende possono subire perdite di fatturato, danni reputazionali, erosione della quota di mercato, aumento dei costi operativi e disallineamenti significativi nei processi di pianificazione e consegna, con effetti sistemici lungo tutta la catena del valore.

Per costruire una supply chain realmente resiliente, è necessario adottare un approccio sistemico e integrato, in grado di combinare in modo coerente elementi strategici, operativi e tecnologici. La resilienza, infatti, non può essere garantita intervenendo su un singolo aspetto, ma richiede l'attivazione coordinata di più leve interdipendenti, ciascuna delle quali contribuisce alla capacità complessiva del sistema di assorbire, adattarsi e reagire agli shock.

Le principali leve da considerare includono [12]:

- **Visibilità**, intesa come la capacità di accedere in tempo reale a dati, indicatori e stati operativi lungo l'intera catena del valore. Una visibilità completa consente di prevenire potenziali interruzioni, monitorare le performance logistiche e intervenire tempestivamente in caso di deviazioni dai piani;
- **Flessibilità**, ovvero la capacità del sistema di riconfigurare rapidamente processi, fornitori o canali distributivi in risposta a condizioni impreviste. Una supply chain flessibile può adattarsi più facilmente a mutamenti del mercato, riconvertire la produzione o sostituire partner strategici senza compromettere la continuità operativa;
- **Agilità**, che si riferisce alla prontezza dell'organizzazione nel prendere decisioni rapide ed efficaci in risposta a variazioni della domanda o dell'offerta. Si basa sulla

- tempestività dell'informazione e sulla capacità di esecuzione, risultando fondamentale per cogliere opportunità e reagire a perturbazioni in contesti dinamici;
- **Collaborazione** con i partner di filiera, fornitori, operatori logistici, clienti e altri attori chiave. La condivisione delle informazioni, la pianificazione congiunta e la costruzione di relazioni basate sulla fiducia consentono di migliorare la reattività collettiva della rete e di distribuire il rischio in modo più equilibrato tra i soggetti coinvolti.
 - **Ridondanza** rappresenta la disponibilità intenzionale di risorse alternative, come fornitori multipli, capacità produttiva addizionale o scorte di sicurezza, che permettono di assorbire rapidamente eventuali disservizi o colli di bottiglia. Pur comportando costi aggiuntivi, la ridondanza è spesso considerata un investimento strategico volto a rafforzare la robustezza e la continuità della supply chain.

Secondo lo studio "Supply Chain Resilience: A Review, Definition and Conceptual Framework for Future Research" di Chowdhury, Quaddus e Agarwal (2024) [12], queste dimensioni rappresentano i principali pilastri concettuali della resilienza e possono essere analizzate attraverso specifiche metriche di valutazione, utili per progettare interventi mirati e misurarne l'efficacia.

La Tabella 2, di seguito, sintetizza le principali dimensioni della resilienza nella supply chain secondo la letteratura, indicando per ciascuna le definizioni operative, i fattori abilitanti e le metriche comunemente adottate.

Dimensione	Definizione	Abilitatori Comuni	Metriche Tipiche
Flessibilità	Capacità di modificare le operazioni rapidamente in risposta a una disruption	Forza lavoro agile, contratti flessibili	Tempo di cambio produzione, variabilità del lead time
Ridondanza	Disponibilità di sistemi/risorse di riserva	Scorte di sicurezza, fornitori alternativi	Livello delle scorte, capacità di buffer
Visibilità	Accesso in tempo reale alle informazioni lungo tutta la supply chain	IoT, RFID, sistemi ERP	Accuratezza nel tracciamento ordini, tempo di risposta
Collaborazione	Sforzi congiunti e allineamento tra i partner	Condivisione delle informazioni, pianificazione congiunta	Indice di fiducia, accuratezza della previsione, allineamento delle risposte
Adattabilità	Capacità di evolvere nel tempo in risposta a condizioni mutevoli	Riconfigurazione strategica, innovazione	Tempo di adattamento, numero di revisioni dei processi

Tabella 2: Confronto delle Principali Dimensioni della Resilienza della Supply Chain nella Letteratura

Per rafforzare in modo duraturo la resilienza della supply chain, è fondamentale affiancare alle leve operative anche un approccio proattivo basato sui dati, che sfrutti il potenziale delle tecnologie digitali e di strumenti gestionali evoluti. Strumenti di simulazione avanzata, sistemi ERP evoluti e analisi predittive permettono infatti di simulare scenari di crisi, monitorare i flussi in tempo reale e prevedere l’impatto di potenziali disruption, supportando una pianificazione più tempestiva e consapevole [12].

2.7 Gestione del rischio nella Supply Chain

Nel contesto attuale, caratterizzato da elevata interdipendenza tra attori globali, cicli di vita dei prodotti sempre più brevi e mercati instabili, è profondamente cambiata la natura, frequenza e intensità dei rischi che interessano le supply chain. Le catene di fornitura moderne si trovano ad affrontare scenari complessi, nei quali anche eventi localizzati possono generare effetti su scala globale.

Una delle definizioni più citate nella letteratura definisce di rischio nella supply come "la disconnessione del flusso di prodotti o di informazioni causata da incertezze interne o esterne, difficili da prevedere, controllare e gestire" [13].

I rischi possono manifestarsi a vari livelli:

- Internamente all'organizzazione, sotto forma di errori operativi, guasti tecnologici o disallineamenti nei processi;
- A monte, coinvolgendo fornitori critici o nodi produttivi esterni;
- A valle, con impatti diretti sui clienti, sui canali distributivi o sui mercati finali.

In questo scenario, i rischi associati alla supply chain non si limitano più alle sole inefficienze operative, ma comprendono anche minacce strategiche, reputazionali, ambientali e sociali.

Il Supply Chain Risk Management si configura come un processo strutturato, sistematico e continuo, finalizzato all'identificazione, alla classificazione e alla valutazione dei rischi che possono insorgere lungo l'intera filiera. Tale processo prevede l'analisi della probabilità di accadimento e del potenziale impatto di ciascun rischio, nonché la definizione e l'implementazione di misure preventive e correttive coerenti con il profilo di rischio dell'organizzazione.

Tra i contributi più rilevanti nella letteratura sul tema, Rao e Goldsby nello studio "Supply Chain Risks: A Review and Typology" propongono una classificazione dei rischi della supply chain suddivisa in tre macro-categorie, ciascuna con caratteristiche distintive [14]:

- **Rischi organizzativi**, sono connessi alla struttura e alle dinamiche interne all'impresa, riguardano guasti, inefficienze, errori nei processi interni, problemi nella qualità dei prodotti, ritardi nelle consegne o mancato rispetto degli standard di servizio. Tali rischi derivano sia da fattori interni (errori gestionali, processi mal progettati) sia da fattori esterni come eventi imprevisti che interferiscono con i processi aziendali;

- **Rischi industriali**, comprendono incertezze nei mercati di input e output, la volatilità dei prezzi, la pressione concorrenziale e le dinamiche di relazione tra impresa e fornitori. Si tratta di rischi legati al funzionamento e all'equilibrio complessivo del settore di appartenenza;
- **Rischi ambientali**, derivano da eventi al di fuori del controllo diretto dell'impresa come disastri naturali, attacchi terroristici, pandemie, crisi geopolitiche o instabilità finanziarie. La globalizzazione ha aumentato l'esposizione a tali eventi, rendendo difficile il controllo e aumentando l'incertezza.

Nel Journal of Manufacturing Technology Management è stato pubblicato nel 2014 uno studio che propone un modello quantitativo per l'analisi dei rischi nella supply chain. Attraverso una combinazione di revisione sistematica della letteratura e interviste a manager del settore, la ricerca ha permesso di mappare oltre 100 potenziali minacce, contribuendo ad ampliare la tassonomia dei rischi esistenti.

Il loro lavoro offre un valido supporto per il processo di identificazione e prioritizzazione dei rischi, con l'obiettivo di rafforzare l'efficacia del Supply Chain Risk Management [15].

Livello 0	Livello 1	Livello 2	Livello 3
Rischi di una supply chain	Rischi Ambientali	Policy	Controllo del prezzo
			Salario minimo
			Tasse/tariffe
			Nazionalizzazione/Privatizzazione
			Restrizione sull'importazione
			Restrizione sull'esportazione
			Dazi doganali
			Riforme fiscali obbligatorie
			Problemi tecnologici e di sicurezza
			Tempi richiesti per la progettazione e le approvazioni delle normative
			Regolamenti ambientali e sulla sostenibilità - perdita della quota di mercato dovuta alla non conformità
			Nuovi sistemi di tariffazione stradale per i veicoli che trasportano merci
		Rischi Politici	Guerra
			Rivoluzione
			Disordini politici
			Interessi politici di Paesi che lavorano ad un progetto
			Disordini politici internazionali
		Rischi Macroeconomici	Inflazione
			Tassi di cambio
			Tassi di interesse
			Prezzo del lavoro
			Prezzo delle materie prime
			Variazione dei prezzi dell'energia
			Economia povera del Paese
		Infrastrutture e condizioni stradali	
		Rischi Sociali	Terrorismo, Sabotaggio, Dirottamento
			Reputazione del brand

		Dipendenza dal fornitore
		Atteggiamenti generali, valori e credenze
		Obiezione ambientalista
	Rischi Naturali	Terremoti
		Inondazioni
		Vulcani
		Incendi
		Blackouts
		Cambiamenti meteorologici
		Epidemie/Malattie
		Contaminazioni delle acque, aria, terreni

Tabella 3: Rischi ambientali

Livello 0	Livello 1	Livello 2	Livello 3
Rischi di una supply chain	Rischi Industriali	Mercato degli input	Disponibilità di lavoro
			Fluttuazioni della domanda
			Limiti di capacità - abilità a soddisfare le fluttuazioni della domanda con breve preavviso
			Diminuzione della capacità produttiva
			Qualità e quantità dei sottocomponenti dovuti a cambiamenti nei processi di produzione, fluttuazioni della domanda
			Tempi di produzione / incertezze del lead time causate dalla disponibilità del lavoro
			Abbandono del business da parte del fornitore principale, fallimento, liquidazione
			Outsourcing (diminuzione del controllo)
			Outsourcing (rischio di proprietà intellettuale)
			Prodotti contraffatti (bassa qualità, problemi di sicurezza)
			Mercato di fornitura monopolistico
			Posizioni geografiche disparate - lunghi percorsi di trasporto
			Gusti
			Mercato dei prodotti
		Design difettoso - la tecnologia non funziona come anticipato	
		Mancanza di ricambi	
		Rischi competitivi	Aziende esistenti
			Potenziati entranti
			Nuove tecnologie usate dai competitors rendendo obsolete le vecchie tecnologie
			Prodotti contraffatti
Interrelazioni	Disallineamento degli interessi		

		Relazioni con il fornitore di primo livello e sotto livelli a monte e valle
		Dimensione del conto da pagare al fornitore
		Controversie contrattuali
		Disponibilità a condividere informazioni - effetto frusta
		Comportamenti opportunistici del fornitore/consumatore
		Giochi strategici

Tabella 4: Rischi Industriali

Livello 0	Livello 1	Livello 2	Livello 3
Rischi di una supply chain	Rischi Organizzativi	Rischi Operativi	Carenza di materie prime
			Variabilità della qualità
			Produttività dei dipendenti a causa di disordini lavorativi/guasti della macchina/mancanza dei pezzi di ricambio
			Ore di lavoro non bilanciate
			Tecnologia - hardware datati (inabilità ad adattarsi alle nuove tecnologie)
			Problemi di gestione del magazzino
			Aumento dei costi di smaltimento in discarica
			Natura dei regolamenti - materiali pericolosi usati nell'industria
			Scarsa tracciabilità
			Comunicazione/Sistema IT (hardware, software, hackers, virus)
			Cambiamenti del processo, delle macchine/Aggiornamenti
			Scandali, frode e furti
		Cultura Organizzativa	Elevato turnover del personale
			Turnover dell'alta direzione
			Restrizioni sul lavoro
			Previsioni
			Relazioni tra il personale
			Conoscenza, competenze ed esperienza
		Razionalità limitata	
		Responsabilità	Regolamenti (materiali pericolosi)
			Ritiro di prodotti
			Brevetti
			Diritto del lavoro
			Cause legali

			Impatto ambientale di lungo termine a causa di estrazione di materiale non sostenibile e procedure di smaltimento rifiuti
		Credito	Default/Ritardi
			Capacità finanziaria di accedere al capitale
		Rischi Strategici	Fusione/Acquisizione
			Diversificazione nelle attività di business
			Regole istituzionali e procedure

Tabella 5: Rischi Organizzativi

I rischi nella supply chain raramente si manifestano in modo isolato. Al contrario, tendono a generare effetti a cascata che coinvolgono più aree funzionali e si propagano lungo l'intera rete.

Per rappresentare in modo efficace queste interconnessioni sistemiche, viene spesso impiegata la Supply Chain Risk Network Map: uno strumento qualitativo che consente di visualizzare graficamente le relazioni tra diversi fattori di rischio.

In questo tipo di mappa, ciascun rischio è rappresentato da un nodo, mentre le interdipendenze causali tra rischi diversi sono indicate da archi direzionali.

Tuttavia, all'aumentare della complessità del sistema e del numero di variabili considerate, l'interpretazione di tali mappe richiede competenze analitiche avanzate e una conoscenza approfondita dei meccanismi di propagazione del rischio lungo la filiera.

Capitolo 3

3. L'Intelligenza Artificiale e le Sue Applicazioni nei Contesti Industriali

3.1 Introduzione all'Intelligenza Artificiale

L'Intelligenza Artificiale (IA) sta rivoluzionando profondamente il settore industriale e una vasta gamma di altri ambiti, introducendo innovazioni che vanno dall'automazione dei processi produttivi alla gestione strategica delle attività aziendali. Questa trasformazione tecnologica non si limita a semplificare o velocizzare le operazioni quotidiane, ma sta modificando radicalmente il modo in cui le organizzazioni prendono decisioni, allocano risorse e sviluppano nuovi modelli di business.

L'obiettivo principale dell'IA è la creazione di sistemi in grado di emulare, e in alcuni casi superare, le capacità cognitive umane nella risoluzione di problemi complessi. Tali sistemi sono progettati per analizzare enormi quantità di dati, riconoscere schemi ricorrenti, prendere decisioni in tempo reale e adattarsi in modo dinamico ai cambiamenti dell'ambiente in cui operano.

Nel presente capitolo verranno introdotti i concetti fondamentali dell'Intelligenza Artificiale, con un focus iniziale sulle basi del Machine Learning e del Deep Learning. Successivamente, l'attenzione si concentrerà sull'Intelligenza Artificiale Generativa, una delle aree più innovative e promettenti dell'AI, nonché ambito di particolare interesse in questa ricerca.

3.1.1 Dall'Intelligenza Artificiale al deep learning

L'evoluzione dell'Intelligenza Artificiale ha seguito un percorso di crescente specializzazione, che ha portato allo sviluppo di metodologie sempre più sofisticate per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati.

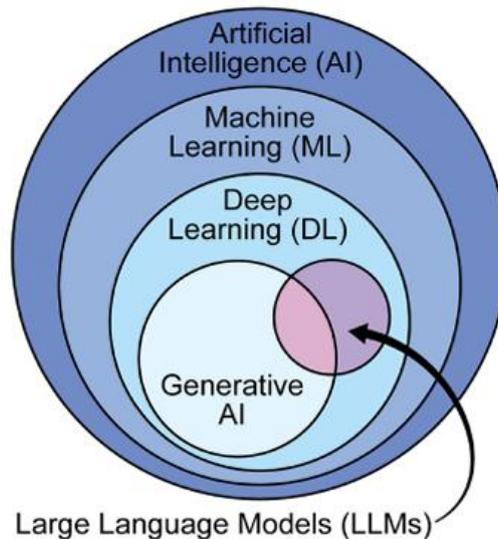


Figura 5: Struttura gerarchica dell'AI

L'immagine riportata nella Figura 5, fornisce una rappresentazione sintetica ed efficace della struttura gerarchica delle principali discipline che compongono il campo dell'Intelligenza Artificiale, evidenziando il progressivo affinamento delle tecniche, dai concetti più generali dell'IA fino alla specificità dei modelli di IA Generativa.

L'Intelligenza Artificiale si configura come un insieme articolato di tecnologie mirate a replicare funzioni cognitive umane attraverso algoritmi e sistemi computazionali. In questo contesto si inserisce il Machine Learning (ML), una disciplina che si concentra sullo sviluppo di modelli capaci di apprendere dai dati in modo autonomo e di migliorare progressivamente le proprie prestazioni attraverso l'esperienza [16].

L'obiettivo del ML è emulare la capacità umana di apprendere osservando il mondo, riconoscendo schemi e prendendo decisioni in modo autonomo. A differenza dell'approccio tradizionale dell'IA, basato su regole fisse e logica deduttiva (es. se A implica B, e B implica C, allora A implica C), il Machine Learning si fonda su metodi statistici e probabilistici, che permettono di riconoscere relazioni implicite e dinamiche sottostanti all'interno dei dati, adattandosi anche a contesti incerti o in continua evoluzione.

Il Machine Learning si articola principalmente in due categorie:

- **Supervised Learning (Apprendimento Supervisionato)**, il modello viene addestrato su un insieme di dati etichettati, contenenti sia gli input sia gli output

desiderati. L'obiettivo è costruire un modello che, una volta addestrato, riesca a prevedere correttamente l'output corrispondente a nuovi dati mai visti prima;

- **Unsupervised Learning (Apprendimento Non Supervisionato)**, il modello non dispone di dati etichettati e deve individuare autonomamente schemi e strutture nei dati grezzi (*Unlabeled Data*) per fare previsioni sui valori futuri. Durante questo processo, il modello valuta progressivamente l'accuratezza delle proprie previsioni e si adatta per migliorare le sue prestazioni. L'obiettivo è ridurre progressivamente l'errore, ovvero la discrepanza tra i valori stimati e quelli reali, fino a ottenere previsioni sempre più precise e affidabili.

La distinzione tra questi due approcci risiede principalmente nel modo in cui i dati vengono elaborati e utilizzati nel processo di apprendimento.

Un'evoluzione particolarmente avanzata del Machine Learning è rappresentata dal Deep Learning (DL), che si distingue per l'utilizzo di reti neurali profonde. Questi modelli, grazie alla loro architettura a più strati gerarchici, sono in grado di apprendere rappresentazioni sempre più astratte e complesse dei dati. Il Deep Learning si dimostra particolarmente efficace nell'elaborazione di dati non strutturati, come immagini, segnali audio e linguaggio naturale, contesti in cui le relazioni tra le informazioni non sono esplicitamente definite. Questa capacità ha reso il DL uno strumento chiave nello sviluppo di applicazioni avanzate, che spaziano dal riconoscimento facciale, alla diagnostica medica basata su immagini, fino ai sistemi di guida autonoma, rivoluzionando numerosi settori industriali e tecnologici [17].

3.1.2 Intelligenza Artificiale Generativa e Large Language

Models

All'interno dell'ecosistema del Deep Learning, l'Intelligenza Artificiale Generativa si distingue come un ambito emergente di particolare impatto, capace non solo di analizzare i dati, ma di crearli ex-novo. Questa capacità segna un'evoluzione sostanziale rispetto agli approcci tradizionali dell'IA, ponendo le basi per applicazioni sempre più autonome e creative.

I modelli sviluppati nell'ambito del Machine Learning possono essere generalmente suddivisi in due grandi categorie:

- Discriminativi
- Generativi

I **modelli discriminativi** sono progettati per prevedere o classificare dati. Il loro obiettivo è apprendere le relazioni tra input e output, distinguendo tra classi o categorie sulla base delle caratteristiche osservate. Ad esempio, un modello discriminativo può essere utilizzato per riconoscere se un'immagine contiene un'automobile o una moto, basandosi su una funzione che separa le diverse classi.

I **modelli generativi**, invece, vanno oltre la semplice classificazione perché sono progettati per apprendere la distribuzione statistica dei dati di addestramento e generare nuovi contenuti che ne riflettano la struttura e le regole implicite. Non si limitano quindi a riconoscere o interpretare informazioni esistenti, ma sono in grado di creare output originali, come testi in linguaggio naturale, immagini, tracce audio e video.

L'IA Generativa rientra in questa categoria, rappresentando una forma avanzata di modello generativo che sfrutta le architetture del Deep Learning per espandere in modo significativo le potenzialità dell'intelligenza artificiale.

Questa abilità creativa rende l'Intelligenza Artificiale Generativa uno strumento estremamente versatile, con applicazioni che spaziano dalla produzione artistica e multimediale alla sintesi di dati, fino alla simulazione e ottimizzazione di processi complessi nei settori della sanità, dell'industria e dell'intrattenimento [18].

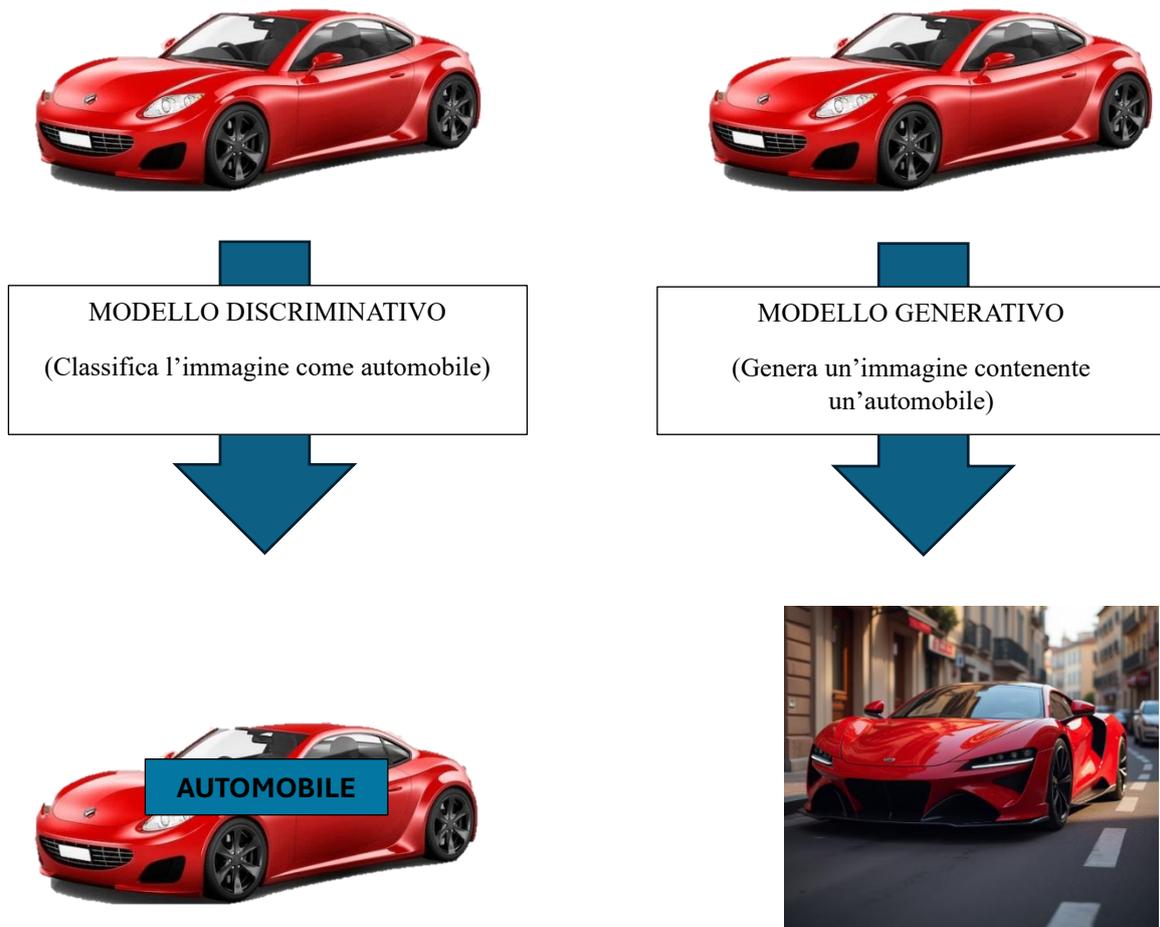


Figura 6: Modelli Discriminativi vs. Generativi

Un esempio pratico è illustrato nella Figura 6, dove il punto di partenza è un'immagine raffigurante un'automobile rossa. Nella parte sinistra della figura è rappresentato un modello discriminativo, il quale analizza l'immagine e la classifica correttamente come "automobile", basandosi sulle caratteristiche visive apprese durante l'addestramento.

Nella parte destra, invece, viene mostrata l'applicazione di un modello generativo. A partire dalla stessa immagine dell'automobile, il modello non si limita a riconoscerla, ma è in grado di generare una nuova immagine visivamente simile, ad esempio un'altra moto rossa con caratteristiche leggermente diverse, pur non essendo una copia esatta dell'originale.

Lo sviluppo dell'intelligenza artificiale generativa è stato accelerato dall'emergere dei Large Language Models (LLMs), come GPT (Generative Pre-trained Transformer) e BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), che hanno rivoluzionato il campo dell'elaborazione del linguaggio naturale. Questi modelli si basano su reti neurali

profonde, in particolare sull'architettura Transformer, e vengono addestrati su grandi quantità di testi.

Durante l'addestramento, utilizzano una combinazione di apprendimento supervisionato e non supervisionato, che permette loro di capire e riprodurre le regole del linguaggio naturale, sia dal punto di vista grammaticale che del significato e del contesto.

Il risultato dell'addestramento dei Large Language Models è una straordinaria capacità di generare testi coerenti, informativi e contestualmente pertinenti, spesso difficili da distinguere da quelli scritti da esseri umani. Il loro funzionamento è di natura probabilistica: ad ogni passo, il modello prevede la parola successiva in una sequenza basandosi sulla distribuzione di probabilità appresa durante l'addestramento. In questo modo, il testo viene generato parola dopo parola, simulando la fluidità e coerenza tipica del linguaggio umano. Sebbene i LLM non comprendano il significato nel senso umano del termine, sono in grado di produrre contenuti che, in molti casi, appaiono logici, pertinenti e ben strutturati.

Per comprendere meglio come operano, possiamo paragonare i LLM ad un bibliotecario erudito che ha letto e memorizzato il contenuto di milioni di libri. Quando gli viene posta una domanda, non cerca una risposta esatta come farebbe un motore di ricerca, ma formula una risposta basata su tutto ciò che ha letto, rielaborando e combinando le informazioni in modo coerente e pertinente. È come se scrivesse una nuova pagina di un libro, utilizzando il proprio vasto bagaglio di conoscenze per costruire una risposta informativa e contestualizzata.

3.2 Applicazioni dell'AI e della GenAI nei contesti industriali

Negli ultimi anni, l'Intelligenza Artificiale è diventata un elemento chiave della trasformazione digitale nei settori industriali e dei servizi, contribuendo in modo significativo a cambiare il modo in cui le aziende producono e gestiscono le proprie attività. L'uso crescente di tecnologie basate su IA sta spingendo le imprese verso sistemi sempre più automatizzati, flessibili e intelligenti, portando a un'evoluzione profonda nei processi decisionali e operativi.

Un contributo rilevante alla comprensione dello stato attuale dell'adozione dell'AI nel mondo industriale è fornito dal report "The State of AI in 2024", pubblicato da McKinsey &

Company, basato su una survey globale condotta nel luglio 2024 [19]. L'indagine ha coinvolto 1.491 partecipanti, tra cui manager, dirigenti e decisori aziendali provenienti da organizzazioni attive in otto principali settori industriali, tutti con ruoli direttamente coinvolti nella strategia, implementazione o governance delle tecnologie AI e GenAI.

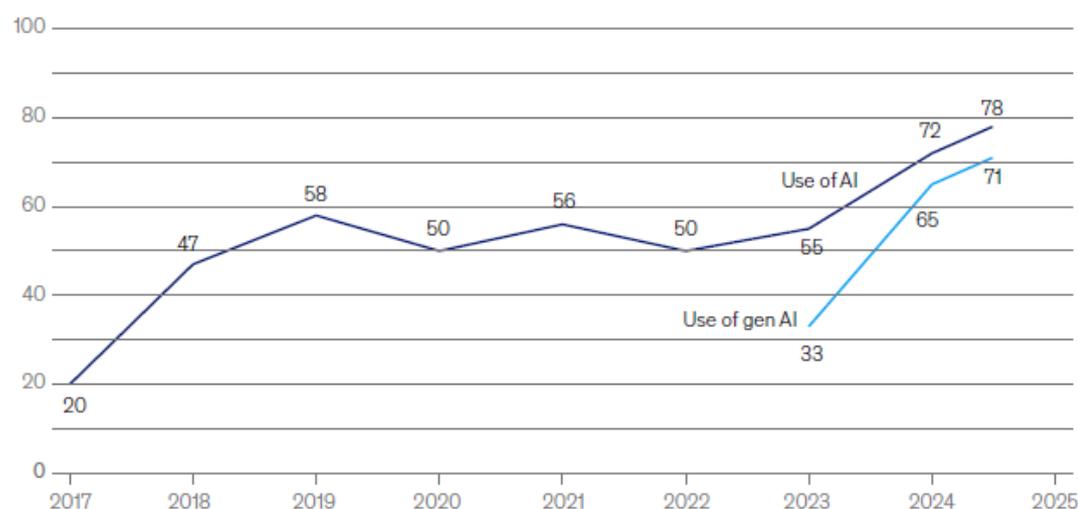
I risultati del report evidenziano una crescita significativa nell'adozione dell'AI a livello aziendale: si è passati dal 55% nel 2023 al 78% nel luglio del 2024, registrando un incremento di 23 punti percentuali in un periodo di soli diciotto mesi (Figura 7).

Questo incremento rappresenta un'accelerazione significativa rispetto alla stabilità osservata negli anni precedenti e riflette una crescente maturità tecnologica, nonché una sempre maggiore consapevolezza del valore dell'AI come leva strategica per l'efficienza e la competitività aziendale.

In parallelo, l'AI Generativa ha registrato un'espansione ancora più rapida. Secondo i dati McKinsey, la percentuale di imprese che dichiara di utilizzare GenAI è passata dal 33% nel 2023 al 71% nel 2024.

Organizations' use of AI has accelerated markedly in the past year, after years of little meaningful change.

Organizations that use AI in at least 1 business function,¹% of respondents



¹In 2017, the definition for AI use was using AI in a core part of the organization's business or at scale. In 2018–19, the definition was embedding at least 1 AI capability in business processes or products. Since 2020, the definition has been that the organization has adopted AI in at least 1 function.
Source: McKinsey Global Surveys on the state of AI

McKinsey & Company

Figura 7: Trend di utilizzo dell'intelligenza artificiale nel contesto aziendale

Nel confronto tra AI e GenAI, emergono differenze sostanziali che ne determinano i rispettivi ambiti di applicazione. Mentre le tecnologie AI convenzionali si confermano strumenti fondamentali per l'automazione di compiti strutturati e ripetitivi, la GenAI offre un vantaggio competitivo laddove è richiesta maggiore flessibilità cognitiva, creatività computazionale e interazione uomo-macchina più evoluta.

Uno studio pubblicato da McKinsey del 2025, basato su un'indagine condotta su un campione internazionale di oltre 1.400 dirigenti aziendali operanti in diversi settori industriali, evidenzia chiaramente l'impatto potenziale della GenAI sulla crescita economica [20].

Secondo i risultati, l'87% degli intervistati prevede un incremento dei ricavi derivante dall'introduzione della GenAI entro i prossimi tre anni, mentre circa il 50% stima una crescita superiore al 5% nello stesso periodo (Figura 8). Tali previsioni evidenziano come la GenAI stia rapidamente evolvendo da tecnologia emergente a vero e proprio fattore abilitante per la generazione di valore.

Half of C-suite respondents expect gen AI to deliver more than 5 percent revenue growth in the next three years.

US C-suite's perception on how gen AI will affected revenue, next 3 years, % of respondents



Source: McKinsey US CxO survey, Oct–Nov 2024 (n = 118)

McKinsey & Company

Figura 8: Previsioni sulla GenAI e crescita dei ricavi

L'adozione della GenAI non è omogenea tra i diversi settori industriali, ma varia sensibilmente in base alla natura delle attività, al livello di digitalizzazione e al contesto operativo di ciascun settore. Riprendendo i dati del “The State of AI” in 2024 di McKinsey [19], il settore tecnologico è quello più avanzato nell'uso della GenAI: l'88% delle

organizzazioni intervistate in questo ambito dichiara di impiegare la tecnologia almeno in una funzione aziendale (campione: n = 199).

Seguono da vicino i servizi professionali, che includono consulenza legale, strategica e finanziaria, con un'adozione pari all'80% (n = 179). Anche le industrie avanzate, che includono settori come l'automotive, l'aerospaziale, insieme al comparto media e telecomunicazioni, registrano un uso elevato della GenAI, entrambi con il 79% di adozione (n = 97 e n = 77 rispettivamente).

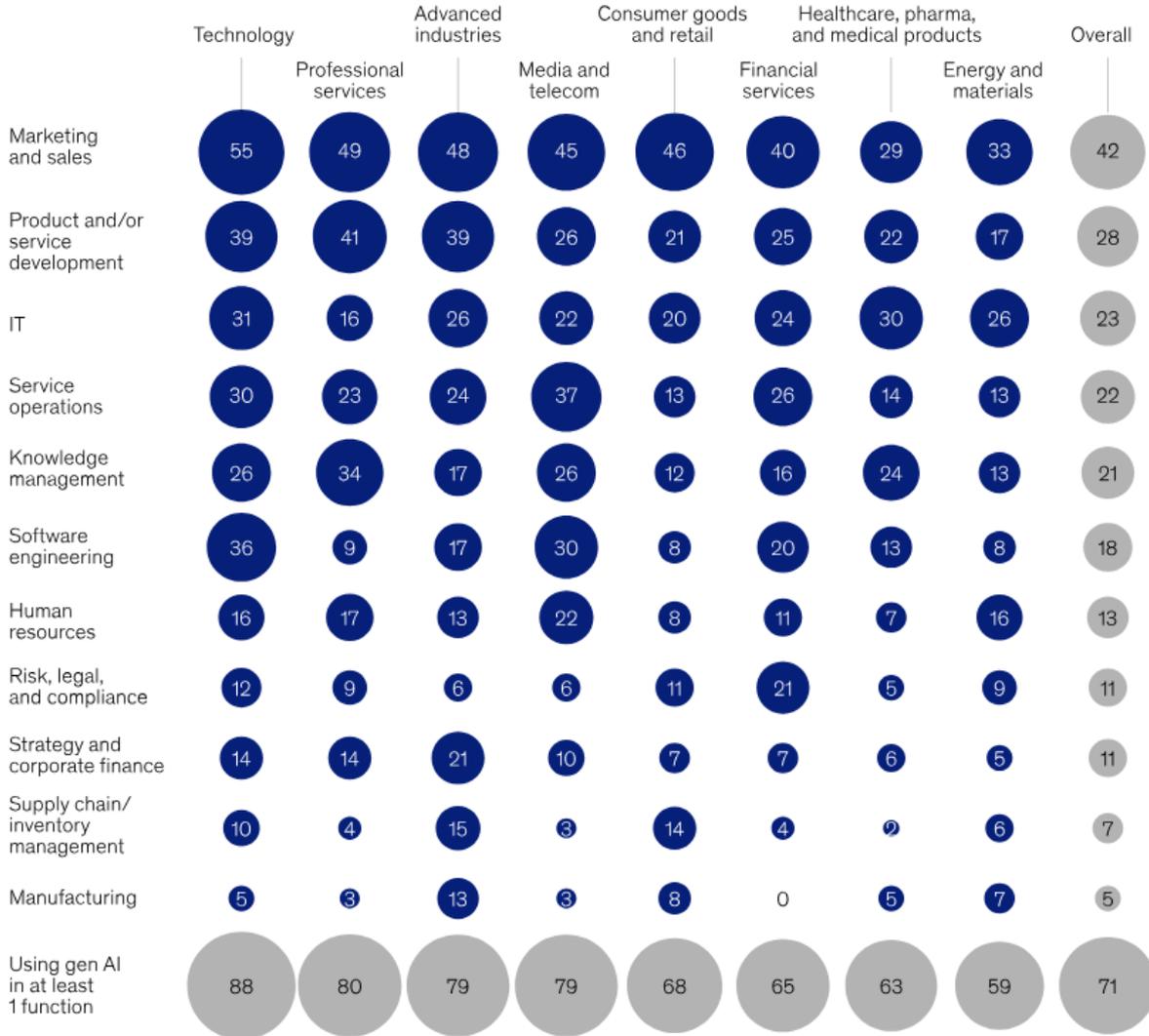
All'estremità opposta della classifica si collocano invece settori che, pur mostrando segnali di crescita, risultano meno maturi nell'integrazione della GenAI nei processi aziendali. È il caso del comparto energia e materiali, dove solo il 59% delle organizzazioni dichiara un impiego attivo della tecnologia (n = 142), del settore sanitario e farmaceutico con un'adozione pari al 63% (n = 113), e dei beni di consumo e retail, che raggiungono il 68% (n = 111). (Figuraxx)

Al contrario, alcuni settori risultano ancora indietro. Nel settore energia e materiali, solo il 59% delle organizzazioni usa attivamente la GenAI (n = 142), mentre nei settori sanitario e farmaceutico l'adozione arriva al 63% (n = 113), e nei beni di consumo e retail al 68% (n = 111).

Queste differenze possono essere spiegate da diversi fattori. I settori più digitalizzati, come la tecnologia e i servizi professionali, hanno una maggiore familiarità con strumenti innovativi e una cultura aziendale più aperta al cambiamento. Al contrario, comparti come l'energia o la sanità devono affrontare regolamentazioni più rigide, standard di sicurezza elevati e una maggiore complessità nell'integrazione di nuove tecnologie, elementi che ne rallentano l'adozione della GenAI.

Organizations across industries have begun to use gen AI in marketing and sales, though other uses vary by industry.

Business functions in which respondents' organizations are regularly using gen AI, by industry,¹
% of respondents



¹For technology, n = 199; for business, legal, and professional services, n = 179; for media and telecom, n = 77; for advanced industries (includes advanced electronics, aerospace and defense, automotive and assembly, and semiconductors), n = 97; for financial services, n = 193; for consumer goods and retail, n = 111; for healthcare, pharma, and medical products, n = 113; and for energy and materials, n = 142.
Source: McKinsey Global Survey on the state of AI, 1,491 participants at all levels of the organization, July 16–31, 2024

McKinsey & Company

Figura 9: Adozione della GenAI per funzione e settore

L'analisi condotta da McKinsey evidenzia come l'adozione della GenAI non dipenda solo dal settore industriale, ma vari in modo significativo anche in base alle funzioni aziendali coinvolte.

L'utilizzo della GenAI nelle organizzazioni presenta infatti un quadro eterogeneo: alcune funzioni sono già ben predisposte all'integrazione con queste tecnologie, mentre altre sono ancora poco sviluppate in questo ambito.

Tra le funzioni maggiormente interessate, spicca quella del marketing e vendite, dove l'utilizzo della GenAI risulta particolarmente trasversale. Le applicazioni in questo ambito includono la generazione automatica di contenuti promozionali, la personalizzazione delle campagne commerciali e il supporto all'analisi del comportamento dei clienti. In diversi settori industriali, l'adozione della GenAI in questa funzione supera il 50%, a testimonianza del valore che tali strumenti possono offrire nella gestione della relazione con il mercato.

La funzione IT e software engineering risulta particolarmente avanzata, soprattutto all'interno del settore tecnologico, dove la GenAI viene impiegata per attività quali la scrittura di codice, il debugging e l'automazione dei test.

Anche le service operations, in particolare nei comparti media e telecomunicazioni, stanno beneficiando dell'impiego della GenAI, ad esempio nell'ottimizzazione dei processi di assistenza, nella gestione delle interazioni con i clienti e nella risoluzione automatizzata dei problemi. Nei servizi professionali, invece, l'applicazione prevalente riguarda il knowledge management, dove la GenAI viene utilizzata per organizzare, classificare e sintetizzare contenuti complessi.

Tuttavia, alcune aree funzionali risultano ancora poco esplorate. Tra queste, spicca la supply chain, che, secondo i dati del report McKinsey, viene attualmente interessata da applicazioni di GenAI solo nel 7% delle organizzazioni analizzate. Pur rappresentando una funzione strategica, la sua integrazione con sistemi generativi risulta ancora agli inizi, ma con ampie prospettive di sviluppo nei prossimi anni (Figura 9).

Nel capitolo successivo, verrà approfondito il tema delle applicazioni della Generative AI nella supply chain, con un focus specifico sugli strumenti gestionali attualmente disponibili e l'analisi di casi studio rappresentativi.

Capitolo 4

4. L'Intelligenza Artificiale Generativa nella Supply Chain

4.1 Ruolo strategico e applicazioni dell'AI generativa nella supply chain

Come emerso dall'analisi presentata nel capitolo precedente sui dati forniti da McKinsey (2024), la supply chain registra un livello di adozione della Generative AI ancora contenuto, nonostante rappresenti una delle aree aziendali con maggiore potenziale di sviluppo.

Questo scenario evidenzia ampie opportunità di crescita per l'integrazione della Generative AI nella supply chain, indicando che ci si trovi ancora in una fase iniziale del processo di diffusione.

Nelle sezioni successive vengono analizzate in modo approfondito i principali processi funzionali della supply chain management che possono essere trasformati o significativamente ottimizzati grazie all'applicazione dell'Intelligenza Artificiale Generativa.

Le principali aree di applicazione della GenAI all'interno della supply chain possono essere raggruppate in:

4.1.1 Logistica e trasporti

Nel contesto della supply chain, la logistica rappresenta un insieme integrato di attività che comprende tanto la gestione operativa delle merci nei centri di stoccaggio quanto la loro successiva distribuzione ai destinatari finali.

Nella fase di gestione delle merci all'interno del magazzino, la Generative AI interviene per risolvere numerose criticità, tra cui la scarsa ottimizzazione degli spazi, l'inadeguatezza dei layout e la mancanza di strumenti previsionali a supporto delle decisioni operative.

Grazie alla simulazione di scenari alternativi, la GenAI consente di creare versioni digitali del magazzino, attraverso i quali è possibile testare nuove configurazioni, riorganizzare i flussi e ottimizzare i percorsi di picking senza interferire con le attività in corso. Questa capacità di sperimentazione virtuale permette di individuare soluzioni più efficienti e aumentare la produttività complessiva del sistema logistico [21].

Oltre al miglioramento dell'efficienza operativa, l'utilizzo della GenAI apporta benefici anche in termini di sostenibilità ambientale. L'ottimizzazione dello spazio e della gestione dell'inventario consente una riduzione dei consumi energetici e dell'impronta di carbonio associata alle attività di stoccaggio. Un utilizzo più razionale degli spazi disponibili permette, infatti, di immagazzinare un volume maggiore di merci in aree più contenute, limitando la necessità di espansione fisica dei magazzini e, di conseguenza, l'impatto ambientale complessivo [21].

Tuttavia, l'efficienza dei processi logistici non dipende unicamente dall'organizzazione ottimale degli spazi e dei flussi all'interno del magazzino, ma anche dalla continuità operativa delle attrezzature impiegate. In questo contesto, l'affidabilità di macchinari come carrelli elevatori, nastri trasportatori e sistemi automatizzati rappresenta un elemento critico: eventuali malfunzionamenti possono generare rallentamenti o interruzioni significative nelle attività operative. La GenAI, grazie all'analisi avanzata dei dati provenienti dai sensori installati sulle apparecchiature, è in grado di identificare pattern anomali e prevedere guasti prima che si verifichino. Questo approccio, noto come manutenzione predittiva, consente di pianificare gli interventi in modo proattivo, riducendo i tempi di fermo macchina e migliorando la continuità del servizio [22].

Oltre alla gestione interna del magazzino, l'intelligenza artificiale generativa svolge un ruolo sempre più rilevante anche nella fase di distribuzione delle merci, contribuendo all'ottimizzazione della pianificazione dei trasporti in contesti caratterizzati da elevata complessità. La GenAI permette infatti una pianificazione dinamica dei percorsi di consegna, integrando in tempo reale un'ampia gamma di variabili quali il traffico, le condizioni meteorologiche, le finestre di consegna, le specifiche dei veicoli e i vincoli economici o ambientali [23].

In presenza di eventi imprevedibili, come interruzioni stradali, variazioni nei volumi di carico o ritardi, gli algoritmi generativi possono elaborare soluzioni alternative, suggerendo strategie di contingenza che rendono l'intera rete logistica più flessibile e resiliente [24].

Un elemento distintivo della GenAI rispetto agli approcci algoritmici tradizionali risiede nella sua capacità di generare spiegazioni in linguaggio naturale a supporto delle decisioni proposte. Ciò significa che i responsabili logistici, oltre a ricevere un piano operativo ottimizzato, possono comprenderne chiaramente la logica sottostante: l'algoritmo è in grado di descrivere i criteri adottati, i vincoli considerati e i benefici attesi, facilitando il confronto tra alternative e rafforzando la trasparenza del processo decisionale [25].

Infine, la GenAI trova applicazione anche nell'automazione della gestione documentale, un ambito spesso trascurato ma di fondamentale importanza per l'efficienza amministrativa e la conformità normativa. L'utilizzo di chatbot evoluti alimentati da modelli generativi consente di automatizzare attività come l'elaborazione, la verifica e l'archiviazione di documenti logistici, tra cui bolle di accompagnamento, fatture e lettere di vettura, riducendo gli errori manuali, snellendo le attività di back office e migliorando la tracciabilità documentale lungo l'intera catena logistica [26].

Di seguito, una panoramica delle applicazioni della GenAI nella gestione logistica:

Processo della Supply Chain	Ambito applicativo	Funzionalità della GenAI	Benefici principali
Logistica e trasporti	Gestione magazzino - layout e spazi	Simulazione di scenari alternativi per ottimizzazione layout e percorsi di picking	Aumento produttività, migliore uso dello spazio
	Gestione magazzino - sostenibilità	Riduzione consumo energetico e impronta carbonica tramite ottimizzazione degli spazi	Maggiore sostenibilità ambientale
	Manutenzione predittiva attrezzature	Analisi dati da sensori per prevenire guasti e pianificare manutenzioni	Riduzione tempi di fermo, maggiore continuità operativa
	Pianificazione dinamica dei trasporti	Ottimizzazione percorsi in tempo reale considerando traffico, meteo e vincoli	Efficienza nei trasporti, riduzione costi e ritardi
	Automazione gestione documentale	Automazione di verifica e archiviazione documentale con chatbot evoluti	Riduzione errori, velocizzazione processi, maggiore compliance

Tabella 6: Applicazioni della GenAI nella gestione logistica

4.1.2 Gestione della produzione

La produzione industriale si trova spesso ad affrontare sfide operative legate a processi rigidi, colli di bottiglia imprevisti, inefficienze nella movimentazione interna e difficoltà di adattamento in risposta a variazioni della domanda. La natura statica di molti impianti e layout produttivi limita la flessibilità e rende rischioso introdurre modifiche non supportate da analisi accurate e strumenti di simulazione avanzati [27].

I tradizionali modelli previsionali, centrati principalmente su dati interni e passati, si rivelano sempre meno adeguati in un mercato altamente volatile, dove fattori esterni, come cambiamenti nelle preferenze dei consumatori, crisi logistiche o variazioni geopolitiche, possono alterare significativamente la domanda nel breve termine. La GenAI, grazie all'integrazione di dati esterni e in tempo reale provenienti da rivenditori, fornitori e altri attori della filiera, consente di anticipare fluttuazioni della domanda e di adattare di conseguenza le strategie di produzione e approvvigionamento. Il risultato è una gestione più efficiente dell'inventario, con una riduzione degli sprechi e un miglioramento della continuità operativa e della soddisfazione del cliente [28].

Un ulteriore ambito applicativo riguarda il controllo qualità. La GenAI, attraverso l'uso di algoritmi di apprendimento automatico e l'analisi di grandi volumi di dati, è in grado di rilevare, classificare e prevedere difetti in modo rapido e preciso, anche in ambienti produttivi complessi. Questo approccio consente di monitorare la qualità in tempo reale durante le fasi di lavorazione, garantendo che i prodotti soddisfino gli standard richiesti prima di raggiungere il cliente finale [29].

Inoltre, la tecnologia permette di definire piani di ispezione personalizzati in base alle caratteristiche specifiche del prodotto, assicurando un controllo mirato ed efficace. A differenza dei metodi tradizionali, spesso manuali, dispendiosi in termini di tempo e soggetti a errori umani, la GenAI favorisce una gestione della qualità più efficiente, accurata e scalabile [25].

Di seguito, una panoramica delle applicazioni della GenAI nella gestione della produzione:

Processo della Supply Chain	Ambito applicativo	Funzionalità della GenAI	Benefici principali
Gestione della produzione	Previsione della domanda	Integrazione di dati interni ed esterni per generare scenari e simulazioni	Maggiore precisione nelle previsioni e miglioramento della gestione dell'inventario
	Controllo qualità	Rilevamento e previsione dei difetti attraverso machine learning e piani di ispezione personalizzati	Controlli più rapidi, minori errori e conformità agli standard di qualità

Tabella 7: Applicazioni della GenAI nella gestione della produzione

4.1.3 Gestione della Fornitura

La gestione dei rapporti con i fornitori rappresenta una funzione strategica all'interno della supply chain, in quanto incide direttamente sulla continuità operativa, sulla qualità degli approvvigionamenti e sulla resilienza dell'intero sistema. Tuttavia, questo processo è spesso caratterizzato da inefficienze strutturali e vulnerabilità che possono compromettere le performance aziendali.

Una delle principali criticità risiede nella comunicazione con i fornitori, che può risultare frammentata, poco strutturata e inefficiente, soprattutto in contesti globali con numerosi interlocutori, differenze linguistiche e frequenti scambi informativi. La mancanza di uniformità e tempestività nello scambio di dati può generare ritardi, errori nell'emissione degli ordini e incomprensioni contrattuali, con impatti negativi sull'efficienza e sulla fiducia tra le parti.

Un secondo ambito problematico riguarda la gestione contrattuale, che comprende la redazione, la negoziazione e il monitoraggio dei contratti di fornitura. In assenza di strumenti digitali avanzati, tali attività vengono spesso svolte manualmente, risultando esposte a errori, clausole poco efficaci e scarsa visibilità sui rischi. Inoltre, la difficoltà di integrare dati storici

e dinamiche di mercato nelle scelte contrattuali limita la capacità di ottenere condizioni vantaggiose o di reagire prontamente ai cambiamenti del contesto competitivo. Un ulteriore rischio riguarda l'eccessiva dipendenza da fornitori unici, una prassi ancora diffusa che espone le imprese a elevata vulnerabilità in caso di interruzioni, crisi politiche o eventi imprevisti che colpiscono un singolo nodo della rete.

L'intelligenza artificiale generativa offre un insieme di soluzioni innovative per affrontare efficacemente queste sfide. In primo luogo, per migliorare la comunicazione lungo la catena di fornitura, la GenAI consente lo sviluppo di chatbot avanzati capaci di gestire autonomamente richieste frequenti, aggiornamenti sugli ordini e chiarimenti tecnici. Questi assistenti virtuali, basati su modelli di linguaggio naturale, migliorano la coerenza e la tempestività delle risposte, riducono il carico amministrativo e facilitano l'interazione tra le parti [30].

Sul fronte contrattuale, la GenAI è in grado di analizzare ampie basi di dati, sia interni che di mercato, per supportare la redazione di contratti più robusti e negoziazioni più efficaci. Attraverso la generazione di scenari alternativi, può identificare clausole critiche, suggerire modifiche migliorative e valutare preventivamente l'impatto di specifici vincoli operativi o economici. In questo modo, le imprese possono aumentare la trasparenza contrattuale, migliorare la gestione del rischio e rafforzare la propria posizione negoziale [31].

La GenAI trova applicazione anche nella gestione del rischio dei fornitori, un'attività essenziale per garantire la stabilità della supply chain. Attraverso modelli generativi, è possibile simulare scenari di approvvigionamento alternativi, analizzando indicatori chiave come tempi di consegna, costi, qualità e rischi associati a ciascun fornitore. Questo consente di valutare la fattibilità di strategie di diversificazione, ridurre la dipendenza da singoli attori e costruire un sistema più resiliente a shock esterni, quali instabilità geopolitiche, eventi climatici estremi o crisi finanziarie. L'adozione di un approccio proattivo alla valutazione dei rischi permette non solo di tutelare la continuità operativa, ma anche di preservare la reputazione aziendale e migliorare la capacità di risposta in scenari complessi [32].

Di seguito, una panoramica delle applicazioni della GenAI nella gestione della fornitura:

Processo della Supply Chain	Ambito applicativo	Funzionalità della GenAI	Benefici principali
Gestione della fornitura	Comunicazione con i fornitori	Utilizzo di chatbot intelligenti per automatizzare risposte, aggiornamenti e chiarimenti	Maggiore tempestività, coerenza e riduzione del carico amministrativo
	Gestione contrattuale	Analisi di dati storici e di mercato per supportare la redazione e la negoziazione dei contratti	Contratti più efficaci, maggiore trasparenza e riduzione dei rischi legali
	Gestione del rischio fornitore	Simulazione di scenari alternativi di approvvigionamento per valutare opzioni e rischi	Strategie di approvvigionamento più resilienti e minor dipendenza da singoli fornitori

Tabella 8: Applicazioni della GenAI nella gestione della fornitura

4.1.4 Customer Experience e Relazioni con i Clienti

Nel contesto competitivo attuale, la gestione della relazione con i clienti rappresenta una leva strategica per la creazione di valore e la sostenibilità a lungo termine delle imprese. Tuttavia, persistono diverse criticità che compromettono l'efficacia delle interazioni tra azienda e cliente.

Una delle principali riguarda la comunicazione, spesso segnata da tempi di risposta elevati, informazioni incoerenti e mancanza di personalizzazione. In particolare, nei canali digitali, l'assenza di supporto immediato e contestuale può generare insoddisfazione, indebolire la fidelizzazione e danneggiare la reputazione aziendale.

Un secondo ambito problematico concerne la gestione dei feedback e dei reclami. Molte organizzazioni affrontano ancora questi processi in modo manuale, reattivo o scarsamente

strutturato. La difficoltà nel trattare grandi volumi di dati testuali compromette la capacità dell'impresa di individuare rapidamente problemi ricorrenti o segnali di insoddisfazione latente. Senza strumenti predittivi adeguati, risulta complesso anticipare i bisogni emergenti dei clienti o prevenire situazioni critiche che possono tradursi in abbandono del servizio.

L'intelligenza artificiale generativa introduce soluzioni innovative e integrate per affrontare tali sfide. Sul piano comunicativo, l'adozione di assistenti virtuali avanzati, basati su modelli linguistici di ultima generazione, consente di fornire supporto in tempo reale, comprendere richieste espresse in linguaggio naturale e adattare dinamicamente risposte e tono comunicativo in base al profilo del cliente [33].

Tali chatbot generativi migliorano l'esperienza utente riducendo i tempi di attesa, garantendo disponibilità continua (24/7) e offrendo un'interazione omogenea su tutti i canali digitali, inclusi siti web, applicazioni e social media.

Inoltre, la GenAI consente di analizzare grandi quantità di dati non strutturati provenienti da recensioni, sondaggi, email e ticket di assistenza. Attraverso tecniche avanzate di text mining generativo e sentiment analysis, è possibile identificare pattern ricorrenti, classificare automaticamente le tipologie di reclami e suggerire azioni correttive personalizzate [34].

L'integrazione di questi strumenti consente alle aziende di passare da un approccio reattivo a una gestione proattiva della relazione con il cliente, migliorando i livelli di servizio, la soddisfazione percepita e, in ultima analisi, la fidelizzazione.

Di seguito, una panoramica delle applicazioni della GenAI nella gestione della customer experience e relazioni con i clienti:

Processo della Supply Chain	Ambito applicativo	Funzionalità della GenAI	Benefici principali
Gestione della customer experience e relazioni con i clienti	Gestione della comunicazione cliente-azienda	Implementazione di chatbot generativi per assistenza in tempo reale, linguaggio naturale e adattamento al profilo del cliente	Miglioramento della coerenza e tempestività del servizio, supporto 24/7 e interazione personalizzata su tutti i canali digitali
	Analisi dei feedback e gestione reclami	Analisi automatizzata di dati testuali con text mining e sentiment analysis per classificare feedback, stimare il tasso di abbandono e suggerire azioni correttive	Gestione proattiva della relazione, riduzione dell'abbandono, maggiore soddisfazione e fidelizzazione del cliente

Tabella 9: Applicazioni della GenAI nelle relazioni con i clienti

4.1.5 Altre Applicazioni Strategiche dell'AI Generativa

Oltre alle applicazioni in ambito operativo, l'intelligenza artificiale generativa (GenAI) sta progressivamente assumendo un ruolo strategico nel supportare le imprese nelle attività di analisi competitiva, gestione del rischio e valorizzazione del capitale intellettuale. In un ambiente competitivo sempre più dinamico e interconnesso, la capacità di anticipare tendenze, reagire tempestivamente a eventi critici e diffondere conoscenza all'interno dell'organizzazione rappresenta un fattore determinante per la sostenibilità del vantaggio competitivo.

Una prima criticità di natura strategica riguarda la difficoltà, per molte aziende, di monitorare sistematicamente il contesto competitivo e di intercettare i trend emergenti. L'eterogeneità delle fonti informative che spaziano da report di settore a social media, da database di brevetti a notizie di mercato, rende complessa la raccolta e l'interpretazione tempestiva dei dati. In assenza di strumenti adeguati, le decisioni strategiche rischiano di basarsi su

informazioni obsolete o parziali. In questo ambito, la GenAI può essere impiegata per automatizzare il processo di raccolta, classificazione e sintesi delle informazioni competitive. Attraverso modelli generativi, le imprese possono ottenere insight aggiornati sui comportamenti dei concorrenti, sulle dinamiche settoriali e sulle tecnologie emergenti, migliorando così la qualità e la tempestività delle decisioni strategiche [35].

Un secondo ambito critico è rappresentato dalla gestione dei rischi lungo la supply chain, che risulta spesso reattiva e frammentata. Eventi improvvisi, come interruzioni logistiche, instabilità geopolitica o crisi ambientali, possono compromettere la continuità operativa e generare impatti economici rilevanti. Tuttavia, molte aziende non dispongono di sistemi in grado di rilevare e interpretare segnali deboli in tempo utile. La GenAI, integrando dati provenienti da notizie, sistemi finanziari, indicatori geografici e fonti aperte, consente di anticipare potenziali minacce e suggerire scenari alternativi attraverso simulazioni automatizzate. Ciò permette di sviluppare piani di emergenza, aumentare la resilienza e ridurre i tempi di reazione in situazioni critiche [36].

Infine, un'ulteriore sfida strategica è rappresentata dalla gestione della conoscenza interna e dal supporto ai dipendenti, soprattutto nei processi di onboarding, formazione e risoluzione autonoma di problemi. In molte organizzazioni, le informazioni operative sono distribuite in documentazione tecnica complessa o centralizzate in figure esperte, rendendo difficile l'accesso alla conoscenza e rallentando i processi decisionali. L'introduzione di assistenti virtuali interni basati su GenAI permette di superare tali limitazioni. Questi sistemi, alimentati da dati aziendali strutturati e non strutturati, sono in grado di fornire risposte immediate, pertinenti e personalizzate su procedure, strumenti e policy interne, contribuendo a migliorare l'autonomia operativa dei lavoratori, l'efficienza complessiva e la diffusione della conoscenza [37].

Di seguito, una sintesi delle principali applicazioni della GenAI descritte nel presente paragrafo, con riferimento ai relativi ambiti di utilizzo e ai benefici strategici associati:

Processo della Supply Chain	Ambito applicativo	Funzionalità della GenAI	Benefici principali
Strategia e competitività	Analisi competitiva e monitoraggio dei trend	Automazione della raccolta e sintesi di dati da fonti eterogenee per generare insight su concorrenza e mercato	Decisioni strategiche più informate e tempestive, vantaggio competitivo
Gestione del rischio	Previsione e risposta a eventi critici nella supply chain	Integrazione di dati da fonti aperte per rilevare segnali deboli e simulare scenari di rischio	Maggiore resilienza organizzativa, riduzione del tempo di reazione e gestione proattiva del rischio
Gestione della conoscenza interna	Supporto ai dipendenti e accesso alla conoscenza	Assistenza virtuale personalizzata per fornire risposte su procedure, strumenti e policy aziendali	Diffusione della conoscenza, maggiore autonomia operativa e miglioramento dell'efficienza

Tabella 10: Altre applicazioni della GenAI nella gestione della Supply Chain

4.2 Rischi, limiti e ostacoli all'adozione

Come illustrato nel paragrafo precedente, l'adozione dell'intelligenza artificiale generativa nei processi di supply chain rappresenta una leva potenzialmente trasformativa, in grado di introdurre cambiamenti strutturali significativi nella gestione delle attività logistiche, produttive e decisionali.

A fronte delle numerose promesse in termini di efficienza operativa, adattabilità e capacità predittiva, emergono tuttavia una serie di limiti e rischi che ne influenzano l'effettiva implementazione e diffusione. Queste criticità non si limitano all'ambito tecnologico, ma coinvolgono anche aspetti organizzativi, etici e ambientali, rendendo necessaria un'attenta

valutazione prima di procedere a una piena integrazione della GenAI nelle dinamiche aziendali.

Di seguito, le principali sfide:

1. Dati disomogenei, previsioni inesatte e bias algoritmici

Uno dei principali vincoli nell'adozione dell'intelligenza artificiale generativa in ambito industriale riguarda la disponibilità, la qualità e la coerenza dei dati necessari per alimentare efficacemente i modelli. Questi sistemi, infatti, dipendono da dataset ampi, accurati, aggiornati e ben strutturati per generare output affidabili e rilevanti. Tuttavia, nelle supply chain, i dati sono spesso frammentati, distribuiti tra sistemi informativi eterogenei e caratterizzati da formati disomogenei. Questa mancanza di uniformità compromette la capacità dell'AI di interpretare correttamente le informazioni, aumentando il rischio di risultati poco attendibili.

Tali limiti strutturali dei dati possono amplificare un fenomeno noto come “allucinazioni algoritmiche”, ovvero la generazione di risposte apparentemente plausibili ma non supportate da dati reali. In contesti industriali dove l'accuratezza è cruciale, come quello logistico, queste allucinazioni possono tradursi in decisioni errate. Ad esempio, una previsione infondata di un picco di domanda può indurre un'azienda a sovrastimare le scorte, con conseguenti costi elevati di magazzino e rischio di obsolescenza. Al contrario, una sottostima può causare stockout, perdite di vendite e danni reputazionali.

Parallelamente, l'affidabilità dei modelli generativi è ulteriormente condizionata dalla presenza di bias nei dati di addestramento. Distorsioni storiche, scarsa rappresentatività di determinati gruppi o scelte arbitrarie nella raccolta dei dati possono condurre a pregiudizi sistematici che l'AI tende a replicare e amplificare. Nel contesto del supply chain management, ciò può tradursi in trattamenti preferenziali verso specifici fornitori, prodotti o aree geografiche, con il rischio di generare disuguaglianze e ridurre l'efficacia delle decisioni operative.

Per mitigare questi rischi, resta fondamentale il ruolo dei professionisti umani, che forniscono competenze contestuali e supervisione esperta. Il loro contributo è essenziale non solo durante la fase di addestramento e calibrazione dei modelli, ma anche nel continuo monitoraggio dei risultati, garantendo che le decisioni supportate dall'AI siano fondate e coerenti con la realtà operativa [38].

2. Opacità dei modelli (black box)

I modelli di GenAI sono caratterizzati da un'elevata complessità intrinseca, che operano frequentemente come "scatole nere". I processi decisionali sottostanti risultano spesso opachi e difficili da interpretare, persino per gli sviluppatori. Questa mancanza di trasparenza mina la fiducia degli stakeholder e rappresenta una criticità soprattutto in settori regolamentati o ad alta sensibilità decisionale, dove è fondamentale poter ricostruire, motivare e giustificare ogni scelta effettuata dal sistema. In tali contesti, la trasparenza algoritmica diventa un requisito imprescindibile per garantire affidabilità, tracciabilità e accettazione delle soluzioni basate su GenAI, soprattutto quando le decisioni automatizzate incidono direttamente su individui o gruppi.

3. Conformità normativa e cybersecurity

Un altro aspetto cruciale nell'adozione dell'intelligenza artificiale generativa riguarda la conformità normativa e la resilienza informatica. L'utilizzo estensivo di dati, spesso sensibili o personali, impone alle organizzazioni l'adozione di rigorose pratiche di data governance per evitare violazioni delle normative vigenti, come il GDPR in Europa o le recenti disposizioni statunitensi in materia di copyright per contenuti generati da AI. La gestione inadeguata di queste informazioni può comportare gravi conseguenze legali, sanzioni regolatorie e danni reputazionali, compromettendo la fiducia di clienti, partner e investitori.

In parallelo, l'aumentata dipendenza da sistemi AI espone le organizzazioni a un rischio crescente di attacchi informatici. Tali violazioni rappresentano una minaccia particolarmente rilevante nei settori a forte interconnessione informativa come la logistica e il supply chain management, dove una vasta quantità di dati viene condivisa lungo l'intera filiera. Le vulnerabilità possono derivare da database non protetti, reti insicure, API mal configurate o anelli deboli nella catena, come fornitori di dimensioni ridotte con standard di sicurezza inferiori. Esempi emblematici includono l'attacco informatico a SolarWinds nel 2020, che ha compromesso numerose entità pubbliche e private, e l'incidente tecnico che ha coinvolto ChatGPT nel 2023, in cui un errore ha esposto informazioni personali, tra cui dati parziali di carte di credito.

Le conseguenze di una violazione informatica possono includere l'interruzione delle attività, la perdita di vantaggi competitivi, azioni legali da parte di stakeholder coinvolti e l'erosione della fiducia nel brand. Per questo motivo, è fondamentale che le organizzazioni investano in misure preventive concrete, tra cui il rafforzamento delle infrastrutture digitali,

l'aggiornamento costante delle policy di sicurezza, la formazione continua del personale e la diffusione di una solida cultura della cybersecurity a tutti i livelli aziendali.

4. Obsolescenza e inadeguatezza delle infrastrutture IT

L'adozione della GenAI richiede una profonda revisione delle infrastrutture IT aziendali. Molte organizzazioni operano con informatiche obsolete, che risultano inadatte a supportare soluzioni avanzate basate su intelligenza artificiale. L'implementazione di tali strumenti richiede, infatti, interventi infrastrutturali articolati, che comportano significativi investimenti in termini di tempo, risorse economiche e capitale umano. Tale complessità, soprattutto per le imprese meno mature digitalmente, può costituire un ostacolo rilevante alla diffusione su larga scala della GenAI nei contesti industriali.

5. Impatto occupazionale e competenze e risorse specialistiche

L'evoluzione dell'intelligenza artificiale generativa sta incidendo in modo sempre più profondo sulla dimensione occupazionale, trasformando radicalmente il ruolo del capitale umano all'interno delle organizzazioni. I lavoratori si trovano oggi nella necessità di adattarsi all'introduzione di nuovi strumenti digitali, modificando competenze tecniche, modalità operative e approcci professionali. Attualmente, le tecnologie intelligenti svolgono prevalentemente una funzione di supporto, automatizzando compiti ripetitivi e semplificando processi decisionali. Tuttavia, secondo proiezioni recenti, l'evoluzione delle capacità computazionali potrebbe portare, entro il prossimo decennio, all'automatizzazione di attività equivalenti a quelle svolte oggi da circa 3,8 milioni di lavoratori solo in Italia [38].

A livello globale, una ricerca condotta da Goldman Sachs stima che circa 300 milioni di posti di lavoro a tempo pieno siano potenzialmente a rischio di sostituzione, con due terzi concentrati negli Stati Uniti e in Europa. Anche l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico ha segnalato che quasi il 27% delle professioni nei Paesi membri potrebbe essere automatizzato, con impatti anche sulle professioni altamente qualificate.

L'integrazione dell'intelligenza artificiale nelle attività logistiche e di gestione della supply chain richiede un percorso di implementazione complesso, in cui la valorizzazione dei dati, l'expertise professionale e il supporto di tecnologie evolute si combinano in modo strategico per garantire risultati concreti e sostenibili.

L'impatto sul mondo del lavoro, dunque, è duplice: da un lato si assiste a un rischio di sostituzione delle mansioni ripetitive; dall'altro emerge una crescente domanda di competenze complementari a quelle delle macchine.

Le figure professionali dovranno sviluppare capacità trasversali come pensiero critico, problem solving complesso, gestione del cambiamento e visione strategica. Inoltre, i nuovi ruoli richiederanno competenze tecniche avanzate per progettare, integrare, monitorare e migliorare i sistemi intelligenti.

Questa trasformazione richiede un cambiamento profondo non solo a livello di formazione continua e riqualificazione professionale, ma anche sul piano culturale e strategico. Le imprese devono adottare una visione a lungo termine, promuovendo una cultura della collaborazione uomo-macchina, nota anche come collaborative intelligence, in cui le capacità cognitive umane e quelle computazionali si integrano in modo sinergico. Questo modello consente di trasformare la tecnologia da minaccia a leva competitiva, generando valore attraverso un'interazione consapevole con gli strumenti algoritmici.

Infine, la costruzione di sistemi AI robusti e adattabili richiede team interdisciplinari composti da esperti in data science, machine learning, sviluppo software e operation management. Per molte piccole-medie imprese, sostenere questo investimento in termini economici, organizzativi e umani, rappresenta una sfida significativa. Tuttavia, è una condizione necessaria per affrontare con successo la trasformazione digitale e governare il cambiamento anziché subirlo.

6. Impatto ambientale

Un ulteriore ambito di criticità riguarda l'impatto ambientale associato all'utilizzo dell'intelligenza artificiale generativa. L'addestramento di modelli di grandi dimensioni richiede risorse computazionali enormi, traducendosi in consumi energetici elevati e significative emissioni di carbonio. Questo solleva interrogativi sulla sostenibilità dell'adozione di GenAI, soprattutto in un momento storico in cui le imprese sono chiamate a rendere le proprie supply chain più green e coerenti con gli obiettivi di sviluppo sostenibile. La tensione tra progresso tecnologico e sostenibilità ambientale impone dunque un'attenta valutazione delle priorità e delle strategie di implementazione.

7. Costi elevati di adozione e mantenimento

L'adozione dell'intelligenza artificiale generativa comporta costi significativi che non si esauriscono nella sola implementazione tecnologica, ma si estendono a molteplici dimensioni della gestione aziendale. Si tratta di investimenti complessi, ricorrenti e spesso sottovalutati nella fase iniziale, che possono incidere in modo sostanziale sulla sostenibilità economica, soprattutto per le piccole e medie imprese.

Oltre alle spese previste per l'acquisto di tecnologie e l'adeguamento delle infrastrutture, emergono costi indiretti e meno visibili, come quelli legati alla gestione del cambiamento organizzativo, alla formazione del personale e all'integrazione dei nuovi strumenti nei flussi operativi esistenti. In molti casi, le aziende si trovano a dover dipendere da fornitori esterni per accedere a competenze specialistiche o per usufruire di piattaforme proprietarie, con il rischio di incorrere in forme di dipendenza tecnologica difficilmente reversibili.

Un ulteriore aspetto critico riguarda la mancata previsione dei costi di lungo periodo. Il ciclo di vita di un sistema basato su GenAI non termina con l'adozione iniziale, ma richiede monitoraggio costante, aggiornamenti periodici dei modelli, verifica della qualità dei dati e conformità a normative in continua evoluzione. A ciò si aggiungono i costi-opportunità derivanti dal rallentamento o dalla sospensione di altri progetti strategici per concentrare risorse su iniziative di intelligenza artificiale.

Al fine di sintetizzare i principali ostacoli e criticità legati all'adozione dell'intelligenza artificiale generativa nella supply chain, si propone di seguito una mappa concettuale che ne illustra le principali categorie di rischio:

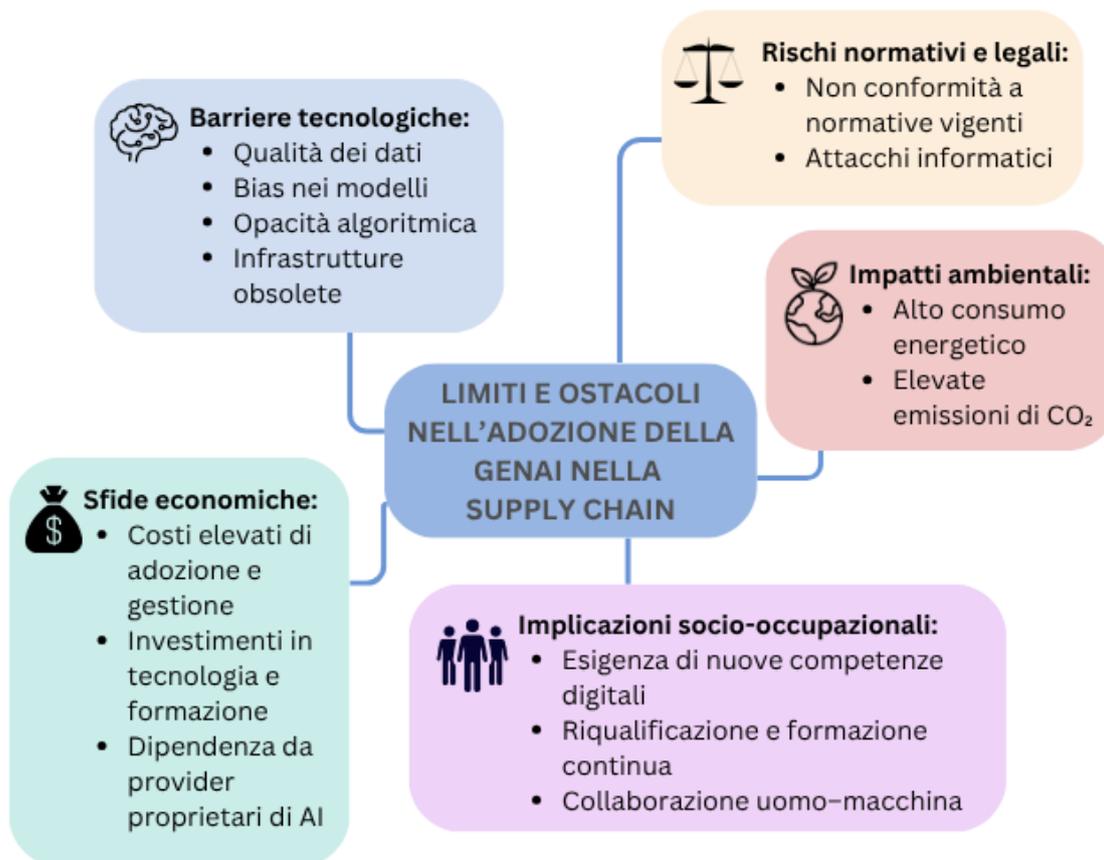


Figura 10: Limiti e ostacoli nell'adozione della GenAI nella Supply Chain

In conclusione, mentre la GenAI offre potenzialità concrete per il rafforzamento delle supply chain, la sua implementazione efficace richiede una gestione consapevole dei rischi, un impegno costante nella costruzione di una governance tecnologica etica e responsabile, nonché una valutazione sistematica dei costi, delle competenze e delle implicazioni sociali.

Capitolo 5

5. Metodologia e obiettivi della ricerca

Negli ultimi anni, l'Intelligenza Artificiale Generativa ha suscitato un crescente interesse, sia nel contesto accademico sia in quello professionale, venendo frequentemente descritta come una tecnologia rivoluzionaria, capace di trasformare in modo radicale modelli organizzativi e processi operativi. La presente ricerca si propone di esplorare se, e in quale misura, tale visione sia effettivamente rispecchiata nelle pratiche aziendali, con particolare riferimento all'ambito della supply chain. La domanda centrale che percorso di indagine è la seguente:

“L'Intelligenza Artificiale Generativa rappresenta davvero una forza disruptive per i processi di supply chain, come sostenuto nel dibattito teorico e mediatico, oppure il suo impatto reale è ancora contenuto e limitato a contesti specifici?”

A partire da questo interrogativo centrale, la ricerca si propone di:

- Esplorare il livello di conoscenza e consapevolezza della GenAI tra i professionisti della supply chain;
- Individuare le aree aziendali in cui tale tecnologia è già stata implementata o si prevede di farlo nel prossimo futuro;
- Rilevare i benefici concreti percepiti a seguito della sua adozione;
- Comprendere se, e in che modo, la GenAI possa costituire una leva di trasformazione significativa per i processi della supply chain.

Per affrontare questi obiettivi, lo studio adotta un approccio metodologico di tipo esplorativo-descrittivo, particolarmente indicato per l'analisi di fenomeni emergenti, ancora poco approfonditi o soggetti a rapida evoluzione, come l'introduzione della GenAI nei contesti organizzativi. La componente esplorativa consente di indagare ambiti conoscitivi ancora non pienamente strutturati, favorendo l'emergere di tematiche, trend e criticità rilevanti per successive indagini. L'approccio descrittivo, invece, mira a fornire una rappresentazione dettagliata e sistematica del fenomeno osservato, evidenziando le pratiche in atto, le percezioni degli attori coinvolti e le modalità di utilizzo della tecnologia.

Il quadro di ricerca è articolato in due fasi successive e complementari, ciascuna con specifici obiettivi metodologici e operativi.

Fase 1 – Questionario esplorativo

In una prima fase, è stato realizzato un questionario rivolto a un ampio campione di professionisti della supply chain, attivi in aziende appartenenti a diversi settori industriali. Sono stati raccolti dati quantitativi e qualitativi relativi alla percezione della GenAI, per verificare il livello di conoscenza della tecnologia, l'interesse verso la sua adozione e l'eventuale presenza di esperienze di implementazione già in corso. Questo strumento ha anche permesso di individuare i profili più rilevanti per la successiva fase dell'indagine.

Fase 2 – Interviste mirate

Nella seconda fase sono state condotte interviste semi-strutturate con un sottoinsieme selezionato di partecipanti che, nella fase preliminare, avevano dichiarato di avere esperienza diretta nell'implementazione di soluzioni basate sulla GenAI.

Le interviste sono state progettate per approfondire in modo sistematico diversi aspetti, tra cui le motivazioni strategiche alla base dell'adozione della tecnologia, le modalità di integrazione nei processi aziendali, gli impatti osservati, i benefici concretamente percepiti e le principali criticità riscontrate nel corso del percorso implementativo.

L'analisi del materiale raccolto ha consentito di esaminare **casi concreti di applicazione** della GenAI nella supply chain, con l'obiettivo di valutare in che misura le esperienze aziendali confermino o smentiscano le rappresentazioni teoriche e mediatiche che descrivono tale tecnologia come un fattore dirompente e trasformativo.

5.1 Fase 1 – Questionario esplorativo

5.1.1 Raccolta di campioni e dati

La fase iniziale dell'indagine ha previsto la somministrazione di un questionario online, rivolto a professionisti del settore Supply Chain, impiegati in diverse funzioni organizzative e ambiti industriali. Il questionario, intitolato "*AI Generativa e Supply Chain: Innovazione e Impatti Operativi nei Processi Aziendali*", è stato concepito con l'obiettivo di raccogliere opinioni, conoscenze e aspettative riguardo all'introduzione della GenAI nei processi.

Il testo integrale del questionario somministrato è riportato di seguito.

AI Generativa e Supply Chain:

Innovazione e Impatti Operativi nei Processi Aziendali

La trasformazione digitale sta rivoluzionando il modo in cui le aziende gestiscono i processi produttivi e logistici. L'Intelligenza Artificiale (AI) tradizionale si occupa di analizzare dati e automatizzare processi decisionali, mentre l'AI Generativa va oltre, creando autonomamente nuovi contenuti, come testi ed immagini, scenari e soluzioni operative. Funziona grazie a reti neurali complesse che apprendono dai dati e generano nuove informazioni senza un input umano diretto.

Questa tecnologia non sostituisce i sistemi esistenti, come ERP, WMS e TMS, ma li potenzia, integrandosi perfettamente con essi per offrire un supporto decisionale ancora più efficace e dinamico.

Questo sondaggio fa parte di una ricerca accademica volta a esplorare il potenziale impatto dell'Intelligenza Artificiale nella gestione della supply chain nelle grandi aziende. Le risposte, raccolte in forma anonima e utilizzate in forma aggregata esclusivamente per scopi accademici, integrate con interviste di approfondimento successive, contribuiranno ad identificare le soluzioni AI più performanti nella Supply Chain.

BASTANO SOLO 15 MINUTI PER COMPLETARE IL QUESTIONARIO, IL TUO CONTRIBUTO È IMPORTANTE!

Qual è il suo ruolo professionale?

Supply Chain Manager

Responsabile Logistica

Responsabile Acquisti

Responsabile Produzione

Data Analyst

Altro (specificare): _____

Qual è il suo background formativo?

Diploma

Laurea triennale

Laurea magistrale

<input type="checkbox"/> Master
<input type="checkbox"/> Dottorato
<input type="checkbox"/> Altro (specificare): _____
Da quanti anni lavora in ambito Supply Chain?
<input type="checkbox"/> Meno di 1 anno
<input type="checkbox"/> 1-5 anni
<input type="checkbox"/> 6-10 anni
<input type="checkbox"/> Più di 10 anni
In quale settore opera principalmente la vostra azienda?
<input type="checkbox"/> Manifatturiero
<input type="checkbox"/> Retail e Distribuzione
<input type="checkbox"/> Automotive
<input type="checkbox"/> Farmaceutico
<input type="checkbox"/> Alimentare
<input type="checkbox"/> Altro (specificare): _____
Qual è la dimensione della vostra azienda (numero di dipendenti)?
<input type="checkbox"/> Meno di 50
<input type="checkbox"/> 50 -249
<input type="checkbox"/> 250 – 999
<input type="checkbox"/> 1000 o più
Qual è l'estensione geografica della vostra supply chain?
<input type="checkbox"/> Nazionale
<input type="checkbox"/> Internazionale
<input type="checkbox"/> Globale

Quanto si sente sicuro della propria conoscenza in ambito AI generativa?
<input type="checkbox"/> Per niente sicuro
<input type="checkbox"/> Poco sicuro
<input type="checkbox"/> Neutro
<input type="checkbox"/> Abbastanza sicuro
<input type="checkbox"/> Molto sicuro
A che punto è la digitalizzazione della vostra Supply Chain?
<input type="checkbox"/> Fase iniziale (uso limitato di software gestionali, processi manuali prevalenti)
<input type="checkbox"/> In sviluppo (implementazione di soluzioni digitali con alcuni automatismi)
<input type="checkbox"/> Avanzata (utilizzo esteso di tecnologie digitali e parziale integrazione con AI)
<input type="checkbox"/> Matura (integrazione avanzata di AI, automazione e sistemi digitali interconnessi)
La vostra azienda utilizza soluzioni basate su Intelligenza Artificiale nella gestione della Supply Chain?
<input type="checkbox"/> Sì, in maniera estesa
<input type="checkbox"/> Sì, attualmente in fase di test o pilotaggio
<input type="checkbox"/> No, ma stiamo valutando la loro implementazione
<input type="checkbox"/> No, e non abbiamo piani di implementazione
Se sì, potete descrivere brevemente un caso specifico di utilizzo?
_____ (Risposta aperta)
Dove può generare l'AI il maggior impatto?
<i>Si prega di esprimere il proprio grado di accordo per ciascuna delle seguenti opzioni, utilizzando una scala da 1 a 5:</i>
<i>1 = Per niente d'accordo</i>
<i>2 = Poco d'accordo</i>
<i>3 = Neutro</i>
<i>4 = Abbastanza d'accordo</i>
<i>5 = Estremamente d'accordo</i>

Gestione della Logistica

1. Simulazione di scenari operativi: Utilizzare l'AI generativa per creare versioni digitali del magazzino, permettendo la simulazione di diverse configurazioni e ottimizzazioni dei flussi operativi.

Valutazione: 1 2 3 4 5

2. Manutenzione predittiva delle attrezzature: Utilizzare l'IA generativa per analizzare i dati dei sensori sulle apparecchiature di magazzino, prevedendo guasti e programmando interventi di manutenzione prima che si verifichino problemi, riducendo i tempi di inattività.

Valutazione: 1 2 3 4 5

3. Ottimizzazione dei percorsi di consegna: L'IA generativa può analizzare dati in tempo reale su traffico e condizioni meteorologiche per suggerire i percorsi di consegna più efficienti, riducendo i tempi di viaggio e il consumo di carburante.

Valutazione: 1 2 3 4 5

4. Automazione della gestione documentale: Implementare chatbot avanzati alimentati da IA generativa per automatizzare la gestione di documenti logistici, come documenti di trasporto e fatture, migliorando l'efficienza e riducendo gli errori.

Valutazione: 1 2 3 4 5

Gestione della Produzione

1. Simulazione dei processi produttivi: Applicare l'IA generativa per simulare linee di produzione ed ottimizzare i processi produttivi senza interrompere le operazioni reali.

Valutazione: 1 2 3 4 5

Gestione della Fornitura

1. Comunicazione con i fornitori: Utilizzare l'AI generativa per creare chatbot avanzati* che automatizzano le risposte a domande frequenti e gestiscono richieste informative.

Valutazione: 1 2 3 4 5

* Un chatbot avanzato è un assistente virtuale basato su AI generativa, in grado di elaborare, comprendere e generare risposte personalizzate in linguaggio naturale.

2. Ottimizzazione della stesura, negoziazione e monitoraggio dei contratti di fornitura: Applicare l'AI generativa per analizzare dati storici e attuali, facilitando la creazione di contratti vantaggiosi e la riduzione dei rischi associati.

Valutazione: 1 2 3 4 5

3. Test di scenari con fornitori multipli per ridurre la dipendenza da un'unica fonte: Utilizzare l'AI generativa per simulare collaborazioni con diversi fornitori, diminuendo il rischio associato alla dipendenza da un singolo fornitore.

Valutazione: 1 2 3 4 5

Customer Experience e Relazione con i Clienti

1. Comunicazione con i clienti: Sfruttare l'AI generativa per sviluppare assistenti virtuali capaci di fornire supporto ai clienti in tempo reale.

Valutazione: 1 2 3 4 5

2. Analisi di feedback e reclami: Utilizzare l'AI generativa per analizzare feedback e reclami, identificando pattern ricorrenti, prevedendo potenziali problemi e proponendo soluzioni proattive.

Valutazione: 1 2 3 4 5

Altre Applicazioni Strategiche dell'AI Generativa

1. Analisi della concorrenza e trend emergenti: Applicare l'AI generativa per monitorare il mercato, raccogliendo dati sui concorrenti e analizzando le tendenze per informare le strategie aziendali.

Valutazione: 1 2 3 4 5

2. Gestione dei rischi: Implementare l'AI generativa per monitorare in tempo reale eventi che possono avere un impatto negativo sulla Supply Chain, fornendo dati e analisi utili per sviluppare strategie alternative e piani di emergenza.

Valutazione: 1 2 3 4 5

3. Formazione e supporto interno: Implementare AI generativa per sviluppare chatbot interni in grado di fornire risposte rapide e precise su procedure aziendali, strumenti e processi, riducendo il carico sui team di supporto e migliorando l'onboarding dei nuovi dipendenti.

Valutazione: 1 2 3 4 5

Se è disponibile ad essere ricontattato per un'intervista di approfondimento, può lasciare il suo indirizzo email o un altro recapito qui:

_____ (Risposta aperta)

Ti ringrazio per la disponibilità e il tempo che hai dedicato a questo questionario.

Strutturato in quattro sezioni principali, lo strumento ha consentito la raccolta integrata di dati quantitativi e qualitativi:

1. Dati anagrafici e professionali

Questa sezione ha raccolto informazioni sui partecipanti in relazione a:

- Ruolo professionale (es. Supply Chain Manager, Responsabile Logistica, Acquisti, Produzione, Data Analyst);

- Background formativo (diploma, laurea triennale, magistrale, master, dottorato);
- Anni di esperienza nel settore;
- Settore industriale di appartenenza (manifatturiero, retail, automotive, farmaceutico, alimentare, altro);
- Dimensione aziendale e copertura geografica della supply chain.

2. Livello di digitalizzazione e familiarità con l'AI

Questa parte ha permesso di inquadrare il grado di maturità digitale delle aziende, chiedendo ai partecipanti di valutare il livello di digitalizzazione dei processi e la propria familiarità con l'intelligenza artificiale generativa.

3. Applicazioni percepite della GenAI nella supply chain

I partecipanti hanno espresso il proprio grado di accordo, su una scala Likert a cinque punti (da 1 = “per niente d'accordo” a 5 = “estremamente d'accordo”), rispetto a una serie di affermazioni riguardanti i possibili impieghi della GenAI in:

- Logistica (es. simulazioni operative, manutenzione predittiva, ottimizzazione dei percorsi, automazione documentale);
- Produzione (es. simulazione di processi produttivi);
- Gestione della fornitura (es. contrattualistica, comunicazioni, test di scenari);
- Customer service (es. analisi di reclami, risposte automatiche, feedback);
- Strategia aziendale (es. formazione, analisi dei competitor, gestione del rischio).

4. Domanda aperta

Al termine del questionario, è stato previsto uno spazio per commenti liberi, utile a raccogliere esempi concreti di utilizzo della GenAI nei processi aziendali, nonché eventuali osservazioni aggiuntive non coperte dalle domande chiuse.

Il questionario è stato somministrato online, attraverso inviti diretti rivolti a professionisti attivi in ambiti legati alla supply chain e alla logistica. Questi professionisti operano in aziende appartenenti a diversi settori industriali, selezionate tramite una ricerca mirata volta

a garantire la rilevanza e l'eterogeneità del campione. I contatti sono stati stabiliti principalmente via e-mail e tramite la piattaforma LinkedIn.

Per ampliare la partecipazione e favorire l'eterogeneità del campione, è stata inoltre avviata una campagna sponsorizzata sulla stessa piattaforma, promossa dalla ricercatrice e dal docente relatore.

Le risposte sono state acquisite in forma anonima, nel pieno rispetto della normativa vigente in materia di protezione dei dati personali, garantendo la riservatezza dei partecipanti e l'utilizzo esclusivo delle informazioni raccolte per finalità di ricerca accademica.

La validazione dei dati è stata condotta mediante l'impiego di tecniche statistiche standard, comprendenti test di bias comuni (CMB) e la valutazione dell'affidabilità interna attraverso il coefficiente di Cronbach. Il processo ha seguito linee guida metodologiche consolidate, tra cui quelle proposte da Podsakoff et al. (2003), ampiamente adottate nella letteratura sull'implementazione della GenAI nei contesti organizzativi. Un esempio recente è lo studio di Haddud (2024), intitolato "ChatGPT in supply chains: Exploring potential applications, benefits and challenges" [39].

5.1.2 Bias di mancata risposta e metodo comune

Prima di procedere con l'analisi dei dati raccolti, è fondamentale considerare alcuni aspetti metodologici che possono influenzare la validità e l'affidabilità delle evidenze empiriche ottenute tramite questionario. In particolare, due potenziali fonti di distorsione meritano attenzione: il bias di mancata risposta (nonresponse bias) e il bias di metodo comune (common method bias). Tali bias sono riconosciuti come criticità metodologiche rilevanti nella letteratura sulle indagini survey-based. In questo contesto, lo studio ha adottato approcci consolidati per mitigarne l'impatto, facendo riferimento, tra gli altri, al lavoro di Haddud (2024) [39], che analizza in modo approfondito le problematiche connesse alla qualità dei dati nei contesti organizzativi.

Di seguito si descrivono le misure adottate per identificare e ridurre tali rischi metodologici, in linea con le raccomandazioni della letteratura di riferimento. Tra le prime considerazioni affrontate vi è la possibile presenza del bias di mancata risposta, che può compromettere la validità dei dati qualora i soggetti che decidono di non partecipare differiscano in modo sistematico da quelli che rispondono. In altre parole, se i non rispondenti possiedono

conoscenze, opinioni o comportamenti significativamente diversi rispetto ai partecipanti, le conclusioni tratte potrebbero non riflettere accuratamente la popolazione target [40]

Per mitigare questo il rischio, sono stati adottati due accorgimenti nella progettazione dell'indagine:

- Un promemoria è stato inviato a distanza di una settimana ai partecipanti che non avevano completato il questionario;
- La struttura e la lunghezza del questionario sono state pensate per favorire la partecipazione: il tempo di compilazione è stato mantenuto entro i 15 minuti, per ridurre al minimo il carico percepito dai partecipanti.

Nonostante l'invio di promemoria ai partecipanti che inizialmente non avevano risposto, alcune aziende non hanno comunque completato il questionario. Di conseguenza, non è stato possibile effettuare una reale analisi comparativa tra risposte iniziali e tardive per valutare l'eventuale presenza di bias di mancata risposta. Non si può pertanto escludere completamente la presenza di tale bias. Una possibile motivazione per la mancata partecipazione potrebbe essere una limitata conoscenza dell'Intelligenza artificiale generativa o la percezione che il tema trattato non fosse una priorità immediata rispetto ad altre esigenze operative delle aziende.

Il secondo potenziale bias preso in considerazione è il bias di metodo comune (Common Method Bias), una distorsione sistematica che può insorgere quando i dati relativi a più variabili vengono raccolti dalla stessa fonte, nello stesso momento e utilizzando strumenti simili. Per ridurre il rischio che tale bias compromettesse la validità dei risultati, sono state adottate misure preventive in fase di progettazione del questionario, in linea con le raccomandazioni di Podsakoff et al. (2003). In particolare, sono stati individuati quattro principali punti critici, ciascuno dei quali è stato affrontato con specifiche strategie di mitigazione [41].

Il primo rischio individuato riguarda il bias del valutatore comune, ossia la possibilità che i rispondenti, compilando autonomamente il questionario, fossero influenzati dal desiderio di fornire risposte percepite come più appropriate o socialmente accettabili. Al fine di contenere tale rischio, è stato scelto di garantire la totale anonimizzazione delle risposte, creando un contesto che incentivasse l'onestà e riducesse la pressione a fornire risposte percepite come socialmente desiderabili.

Il secondo aspetto critico ha riguardato le caratteristiche degli item. In letteratura è noto che ambiguità nella formulazione delle domande o scelte linguistiche poco precise possono generare errori sistematici nelle risposte. Per questo motivo, si è proceduto con una costruzione degli item basata su criteri di chiarezza, semplicità e univocità semantica, utilizzando scale di risposta consolidate, come la scala Likert a cinque punti, che consentono una comparabilità più agevole dei dati raccolti.

Un terzo elemento di attenzione ha riguardato gli effetti del contesto degli item, in particolare il rischio che l'ordine e il raggruppamento delle domande possano influenzare in modo non intenzionale le risposte fornite. Per contenere tale rischio, il questionario è stato organizzato in sezioni tematiche ben distinte, con passaggi chiari da un'area all'altra, così da favorire una riflessione autonoma e specifica su ciascun ambito di indagine (logistica, produzione, gestione fornitori, customer experience), riducendo possibili condizionamenti tra i diversi temi.

Infine, è stato considerato il rischio connesso al contesto di misurazione, derivante dalla rilevazione simultanea, con il medesimo strumento, sia delle variabili indipendenti (es. familiarità con l'AI) sia delle variabili dipendenti (es. percezione dell'impatto dell'AI). Per ridurre questa fonte di bias, si è ritenuto opportuno separare nettamente la sezione dedicata alla raccolta delle informazioni anagrafiche e di background da quella relativa alle valutazioni operative.

Nonostante tutte queste precauzioni, si riconosce che il rischio di Common Method Bias non può essere completamente eliminato, come accade nella maggior parte delle ricerche basate su questionari auto-compilati. Pertanto, i risultati devono essere interpretati tenendo conto di queste possibili limitazioni.

5.2 Fase 2 – Interviste mirate

5.2.1 Fondamenti teorici

La seconda fase della ricerca, incentrata su interviste dirette a esperti e professionisti operanti nel settore della supply chain, è stata strutturata a partire da un solido impianto teorico. Per la costruzione della guida all'intervista e per l'analisi delle risposte raccolte, si è fatto riferimento a un insieme di modelli teorici consolidati in letteratura, con particolare

attenzione ai contributi recenti di Korzynski et al. (2023) e Singh et al. (2024). Queste teorie sono state selezionate per la loro rilevanza rispetto all'introduzione di tecnologie basate su GenAI nei processi aziendali e hanno fornito una struttura concettuale utile sia per la formulazione delle domande sia per l'interpretazione dei dati qualitativi raccolti.

1. Diffusion of Innovation Theory (DOI) (Everett Rogers, 1962)

La Diffusion of Innovation Theory (DOI), elaborata da Everett M. Rogers nel 1962 e successivamente aggiornata fino all'edizione del 2003, rappresenta uno dei riferimenti teorici più consolidati per analizzare il modo in cui le innovazioni si diffondono all'interno di sistemi sociali e organizzativi. La teoria nasce da studi condotti negli anni '30, inizialmente in ambito agricolo, tra cui la celebre ricerca sull'adozione del mais ibrido tra gli agricoltori dell'Iowa (Ryan & Gross, 1943). Rogers definisce la diffusione come il processo attraverso il quale un'innovazione viene comunicata attraverso determinati canali nel tempo tra i membri di un sistema sociale.

Il concetto di "innovazione" è ampio e include qualsiasi idea, pratica o oggetto percepito come nuovo da un individuo o da un'unità organizzativa. Un elemento chiave della teoria è la gestione dell'incertezza: l'adozione di un'innovazione comporta sempre un certo grado di rischio percepito e la diffusione mira a ridurre questa incertezza attraverso il passaggio di conoscenza e di esperienze tra pari.

Secondo Rogers, il tasso di adozione di un'innovazione dipende da cinque caratteristiche fondamentali:

- **Vantaggio relativo:** misura in cui l'innovazione è percepita come migliore rispetto alla soluzione attuale;
- **Compatibilità:** quanto l'innovazione è coerente con i valori, le esperienze e le esigenze degli utenti;
- **Semplicità/complessità:** livello di facilità o difficoltà percepita nell'uso;
- **Trialability:** possibilità di testare l'innovazione prima dell'adozione definitiva;
- **Osservabilità:** visibilità dei benefici ottenuti.

Questi elementi influenzano direttamente la velocità e la portata della diffusione.

La DOI descrive inoltre un processo decisionale articolato in cinque fasi: la conoscenza, in cui il soggetto viene a conoscenza dell'esistenza dell'innovazione; la

persuasione, in cui si forma un'attitudine positiva o negativa nei suoi confronti; la decisione, che porta all'adozione o al rifiuto; l'implementazione pratica della nuova tecnologia; e infine la conferma, ovvero la ricerca di elementi che rafforzino la validità della scelta compiuta.

Un concetto particolarmente rilevante è quello di reinvenzione, che si riferisce alla capacità degli utenti di adattare e modificare l'innovazione in base al proprio contesto, contribuendo in modo attivo alla sua evoluzione.

Pur essendo ampiamente diffusa e utilizzata in contesti quali sanità, educazione, media, tecnologie digitali e supply chain, la DOI ha ricevuto nel tempo anche diverse critiche. Tra queste, vi è l'accusa di semplificare eccessivamente le dinamiche organizzative complesse, di trascurare la fase di implementazione vera e propria, di adottare una visione tecno-deterministica in cui la tecnologia è considerata il principale motore del cambiamento.

Nel contesto della presente ricerca, la DOI si rivela particolarmente utile per analizzare i processi di adozione della GenAI all'interno della supply chain. Essa consente di esplorare le motivazioni che spingono le aziende a introdurre questa tecnologia, le barriere che ostacolano la sua diffusione, i fattori che ne determinano il successo o l'insuccesso e il ruolo svolto dalle dinamiche interne, come la comunicazione tra i team e la gestione del cambiamento. Inoltre, fornisce un quadro interpretativo per comprendere le fasi attraverso cui le soluzioni basate su GenAI vengono prima sperimentate e poi integrate nei processi operativi [42].

2. Resource-Based View (RBV) (Barney, 1991)

La Resource-Based View (RBV) rappresenta un approccio teorico alla strategia aziendale che si distingue per aver spostato il focus dell'analisi competitiva dall'ambiente esterno all'impresa verso le sue risorse e capacità interne. In contrasto con l'approccio tradizionale della Market-Based View, che attribuisce il vantaggio competitivo principalmente alle dinamiche settoriali e alle forze di mercato, la Resource-Based View (RBV) sostiene che la capacità di un'organizzazione di ottenere e mantenere una posizione di superiorità sostenibile nel tempo dipenda soprattutto dalle risorse interne che essa possiede e sviluppa.

La teoria affonda le sue radici nei contributi pionieristici di Penrose (1959), Wernerfelt (1984) e, successivamente, Barney (1991), il quale ne ha fornito una sistematizzazione teorica organica. Secondo Barney, affinché una risorsa possa generare un vantaggio competitivo, essa deve possedere quattro caratteristiche fondamentali, sintetizzate nell'acronimo VRIN:

- **Valuable (V):** la risorsa contribuisce a migliorare l'efficienza, l'efficacia o la posizione competitiva dell'impresa;
- **Rare (R):** non è ampiamente disponibile tra i concorrenti;
- **Inimitable (I):** la risorsa non può essere facilmente copiata, replicata o acquistata;
- **Non-substitutable (N):** non esistono alternative equivalenti in grado di generare lo stesso valore.

Solo se tutte queste condizioni sono soddisfatte, una risorsa può essere considerata strategica e capace di garantire un vantaggio competitivo durevole.

Le risorse, secondo l'RBV, possono essere sia tangibili, come impianti, infrastrutture tecnologiche o capitale finanziario, sia intangibili, quali la reputazione, la cultura organizzativa o i dati proprietari. A queste si affiancano le capacità organizzative, intese come l'insieme di competenze, routine e conoscenze integrate che permettono all'impresa di mobilitare e combinare efficacemente le risorse disponibili. In tale prospettiva, la distinzione tra risorse fisiche, umane e organizzative si rivela essenziale per comprendere la natura del vantaggio competitivo generato.

Nonostante la sua ampia diffusione, la RBV è stata oggetto di diverse critiche. Tra le più rilevanti si annoverano: l'ambiguità concettuale nell'uso intercambiabile dei termini "risorsa", "competenza" e "capacità"; il rischio di circolarità logica, secondo cui un'impresa ha successo perché dispone di risorse strategiche, e le risorse sono definite strategiche in quanto l'impresa ha successo; e, infine, una visione relativamente statica, che non considera appieno l'evoluzione dinamica delle risorse nel tempo.

Nel contesto della supply chain, la Resource-Based View offre un quadro teorico utile per valutare se la GenAI possa essere considerata una risorsa strategica in base ai criteri VRIN. L'analisi si propone inoltre di indagare in che misura il suo utilizzo

abbia contribuito allo sviluppo di capacità distintive, quali modelli predittivi interni o asset digitali proprietari [43].

3. Bounded Rationality Theory (Simon, 1987)

La Bounded Rationality Theory, elaborata da Herbert A. Simon a partire dal 1947, ha rappresentato un punto di svolta nella teoria delle decisioni e nelle scienze manageriali. Simon si discosta dall'assunto classico di razionalità perfetta, secondo cui gli individui sarebbero in grado di prendere decisioni ottimali massimizzando l'utilità attesa grazie a informazioni complete e capacità cognitive illimitate.

Al contrario, egli introduce una visione più realistica del processo decisionale, sostenendo che le scelte vengono compiute all'interno di vincoli cognitivi, informativi e temporali. Questa condizione di razionalità limitata implica che, di fronte a problemi complessi, gli individui non riescano a considerare tutte le alternative né a valutarne pienamente le conseguenze, a causa della scarsità di risorse conoscitive, tempo e capacità di elaborazione.

In questo scenario, le decisioni non emergono da un processo di ottimizzazione assoluta, ma si orientano verso soluzioni sufficientemente soddisfacenti, in grado di rispondere a criteri minimi di accettabilità, anche se non necessariamente ottimali.

Il comportamento decisionale, secondo Simon, è quindi il risultato dell'interazione tra incertezza, accesso limitato ai dati rilevanti, vincoli di tempo e capacità cognitive ridotte, fattori che rendono irrealistico il raggiungimento di scelte perfettamente razionali [44].

Nel contesto della presente ricerca, si intende indagare se e in che misura l'Intelligenza Artificiale Generativa possa offrire strumenti utili per superare o attenuare i limiti delineati dalla teoria della razionalità limitata. L'analisi si concentra sul potenziale di questi strumenti nel facilitare l'accesso alle informazioni, accelerare l'elaborazione dei dati, supportare la valutazione delle alternative e, in definitiva, migliorare la qualità delle decisioni.

4. SECI model (Nonaka e Takeuchi, 1995)

Nel contesto delle organizzazioni contemporanee, la conoscenza è sempre più riconosciuta come una risorsa strategica fondamentale per sostenere l'innovazione, promuovere l'apprendimento organizzativo e costruire un vantaggio competitivo durevole. In questo scenario, il SECI model di Nonaka e Takeuchi (1995) rappresenta

uno dei riferimenti teorici più influenti per comprendere il processo dinamico attraverso cui la conoscenza viene generata, condivisa e valorizzata all'interno delle imprese. A differenza di modelli lineari e sequenziali che trattano la conoscenza come un oggetto da trasferire, il modello SECI propone una visione circolare e interattiva, fondata sulla continua trasformazione tra due forme di conoscenza: quella tacita, di natura personale, contestuale e difficilmente formalizzabile, e quella esplicita, codificata, trasmissibile e documentabile.

Secondo il modello, la creazione della conoscenza avviene attraverso quattro modalità di conversione:

- **Socializzazione (da tacito a tacito):** la conoscenza si trasmette attraverso l'esperienza condivisa, l'osservazione diretta e la pratica, senza passare per una formalizzazione esplicita;
- **Esteriorizzazione (da tacito a esplicito):** il sapere personale viene reso esplicito attraverso il dialogo, la narrazione, la riflessione collettiva e altri processi che ne favoriscono la concettualizzazione;
- **Combinazione (da esplicito a esplicito):** conoscenze formalizzate vengono integrate, riorganizzate e sistematizzate per generare nuovi contenuti, come modelli, report e linee guida;
- **Internalizzazione (da esplicito a tacito):** la conoscenza codificata viene interiorizzata dagli individui attraverso la formazione, la sperimentazione e l'uso operativo, trasformandosi in nuove competenze implicite.

L'interazione continua e ciclica tra queste quattro modalità genera quella che Nonaka e Takeuchi definiscono la "spirale della conoscenza", un processo dinamico attraverso cui il sapere si espande progressivamente dai singoli individui ai gruppi, dall'organizzazione nel suo complesso fino ad ambienti inter-organizzativi. Questa prospettiva introduce una dimensione ontologica al modello, evidenziando non solo la trasformazione della conoscenza, ma anche la sua diffusione su più livelli sociali. Dal punto di vista pratico, il SECI non è solo una teoria ma anche uno strumento operativo per progettare ambienti che favoriscano la circolazione del sapere. Attività come il mentoring, la rotazione dei ruoli, i debriefing strutturati, la documentazione delle esperienze, l'uso di piattaforme collaborative e la formazione immersiva ne rappresentano applicazioni concrete.

Tuttavia, il modello presenta alcune criticità. In particolare, la difficoltà di misurare la conoscenza tacita, per sua natura personale e contestuale, rende complessa una valutazione oggettiva.

Inoltre, essendo stato sviluppato in un contesto culturale specifico, quello giapponese, potrebbe risultare meno immediatamente trasferibile a organizzazioni con modelli culturali e gestionali differenti [45].

La presente ricerca si propone di indagare se, e in che modo, l'Intelligenza Artificiale Generativa, nel contesto della supply chain, possa svolgere un ruolo complementare nel facilitare la creazione, la formalizzazione e la diffusione della conoscenza all'interno dei processi organizzativi.

5.2.2 Raccolta di campioni e dati

La seconda fase della ricerca ha previsto il contatto diretto con professionisti che, attraverso il questionario preliminare, avevano dichiarato esperienza diretta nell'implementazione della GenAI all'interno della supply chain e avevano fornito il loro indirizzo e-mail per essere successivamente intervistati.

Le interviste semi-strutturate hanno costituito il principale strumento di raccolta dati. È stata predisposta una guida con domande predefinite, pensata per garantire coerenza tra le interviste, ma che lasciava ampio spazio a narrazioni spontanee, approfondimenti estemporanei e domande emergenti durante il colloquio. Questa flessibilità ha permesso di cogliere vissuti, esperienze e significati attribuiti dai partecipanti alle tecnologie di GenAI nei processi decisionali.

Le interviste sono state registrate, previa esplicita richiesta di consenso agli intervistati. La registrazione si è rivelata essenziale per la trascrizione integrale e per un'analisi dettagliata del contenuto.

A supporto della validità dei dati raccolti e in linea con il principio della triangolazione metodologica [46], le interviste sono state affiancate, ove possibile, da fonti complementari:

- Documenti aziendali, come policy interne, report e presentazioni, forniti volontariamente da alcuni intervistati;
- Dati secondari, tra cui articoli di settore, comunicati stampa e contenuti web, utilizzati per verificare e contestualizzare le dichiarazioni raccolte;

- Non è stato invece possibile effettuare osservazioni dirette in loco, a causa di vincoli logistici e restrizioni di accesso da parte delle aziende coinvolte.

Di seguito verranno presentate le domande utilizzate durante le interviste, organizzate secondo i principali riferimenti teorici adottati. Ogni gruppo di domande è stato costruito per esplorare aspetti specifici dell'introduzione della GenAI, con particolare attenzione ai processi decisionali, alle dinamiche organizzative, alla gestione della conoscenza e alle implicazioni strategiche connesse all'adozione della tecnologia.

Intervista sulle applicazioni della GenAI nei processi della Supply Chain	
Contesto e Caso studio	1. Qual è il processo specifico della supply chain in cui avete adottato o testato una soluzione di GenAI?
	2. Qual era l'esigenza operativa o il problema principale che ha portato a esplorare l'uso della GenAI in questo contesto?
Adozione e integrazione	3. Come è avvenuto il percorso di adozione della GenAI? È stato strutturato (formazione, fasi di test) o più sperimentale?
	4. Avete avuto la possibilità di testare GenAI su processi limitati prima di estenderla?
	5. Quanto è stato complesso integrare la GenAI nei sistemi e nei flussi esistenti? Quali ostacoli tecnologici o culturali avete incontrato e come li avete gestiti?
	6. Ci sono stati ostacoli nell'integrazione con i sistemi già esistenti?
	7. Ci sono stati casi di resistenza interna da parte dei team operativi? Se sì, come li avete affrontati?
Impatti e metriche	8. Come avete misurato l'impatto della GenAI? Quali KPI o risultati sono stati decisivi per ottenere il consenso degli stakeholder?
	9. Come sono stati comunicati e condivisi internamente i benefici ottenuti dall'introduzione della GenAI?
	10. Cosa ha reso unica questa implementazione?

	<p>11. Ritenete che la soluzione GenAI adottata sia difficilmente replicabile da competitor? In cosa consiste la sua inimitabilità?</p>
	<p>12. Avete adottato misure specifiche per proteggere le conoscenze, i dati o i modelli sviluppati con la GenAI?</p>
	<p>13. Secondo voi, la GenAI si inserisce nella logica dei sistemi gestionali tradizionali (ERP, WMS) oppure presenta caratteristiche che la rendono diversa e richiede approcci nuovi?</p>
Gestione della conoscenza	<p>14. La conoscenza generata con GenAI è stata combinata con dati strutturati o documentazione esistente per ottenere analisi più chiare e comprensibili?</p>
	<p>15. Avete implementato meccanismi di formazione o onboarding che sfruttano quanto appreso con GenAI?</p>

Capitolo 6

6. Analisi dei dati e risultati della ricerca

6.1 Analisi del questionario

Questa sezione costituisce il nucleo centrale della presente indagine, poiché si propone di analizzare in modo critico e sistematico le evidenze empiriche emerse dall'elaborazione dei questionari e dalle interviste condotte sui casi studio. L'analisi non si limita alla restituzione descrittiva delle risposte, ma si configura come un processo interpretativo strutturato, che tiene conto sia del contesto in cui sono state formulate le valutazioni, sia dei fattori che possono averne condizionato il contenuto.

Per assicurare solidità metodologica alla fase di analisi, è stato preliminarmente necessario valutare la rilevanza e l'adeguatezza del campione coinvolto. A tal fine, nella parte introduttiva del questionario sono state inserite domande mirate a raccogliere informazioni sul ruolo professionale dei rispondenti, sul loro background formativo e sull'esperienza maturata nel settore della supply chain. Sono state inoltre considerate alcune variabili legate alle caratteristiche delle aziende di appartenenza, al livello di digitalizzazione e al grado di familiarità con l'intelligenza artificiale generativa. Questi elementi hanno consentito di delineare un quadro più preciso del contesto in cui si collocano le valutazioni espresse, contribuendo così a una lettura più consapevole e fondata dei dati emersi.

Complessivamente, sono state raccolte 15 risposte, tutte considerate valide per l'analisi statistica. Sebbene non tutti i professionisti contattati individualmente abbiano partecipato, il tasso di risposta, pari al 75%, può essere considerato molto soddisfacente, in particolare nel contesto delle indagini online rivolte a figure manageriali, spesso caratterizzate da limitata disponibilità di tempo e priorità operative stringenti.

L'analisi di questi dati preliminari evidenzia che i partecipanti al questionario sono, nella maggior parte dei casi, professionisti con un elevato livello di competenza ed esperienza: oltre il 46% dichiara infatti più di dieci anni di attività nel settore, a conferma di una consolidata conoscenza delle dinamiche operative e strategiche della supply chain. Anche la distribuzione dei ruoli è coerente con l'obiettivo della ricerca: le figure più rappresentate sono Supply Chain Manager, Responsabili della Logistica e professionisti con incarichi

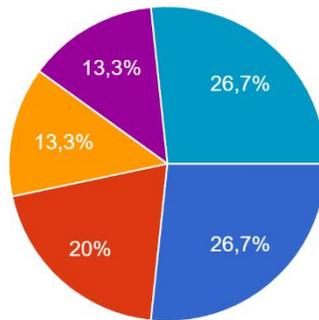
trasversali, a conferma del fatto che le valutazioni raccolte provengono da soggetti effettivamente coinvolti nella gestione dei processi aziendali.

Sotto il profilo formativo, prevalgono titoli accademici di livello universitario, con una netta predominanza di laureati magistrali. Solo in misura minore si riscontrano diplomati o soggetti con formazione non universitaria. Anche questo aspetto concorre a delineare un campione dotato non solo di esperienza pratica, ma anche di una preparazione teorica adeguata, utile per riflettere in modo critico sulle potenzialità e i limiti dell'intelligenza artificiale generativa nei diversi contesti operativi.

Per quanto concerne il settore di appartenenza delle aziende rappresentate nel campione, emerge una prevalenza di realtà attive nei comparti alimentare, retail e distribuzione, cui si affiancano esperienze significative nei settori dell'energia, in particolare nella produzione e nel trasporto di energia elettrica da fonti rinnovabili, e in ambiti più specialistici come i servizi IT per la supply chain e la produzione di attrezzature ludiche. Questa diversificazione conferma l'interesse trasversale verso l'intelligenza artificiale generativa come leva per innovare processi e decisioni.

Qual è il suo ruolo professionale?

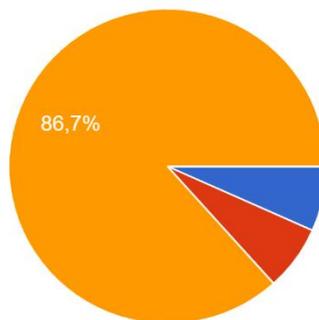
15 risposte



- Supply Chain Manager
- Responsabile Logistica
- Responsabile Acquisti
- Responsabile Produzione
- Data Analyst
- Altro (specificare)

Qual è il suo background formativo?

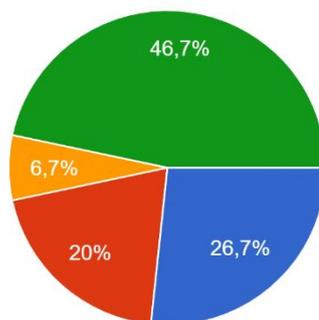
15 risposte



- Diploma
- Laurea triennale
- Laurea magistrale
- Master
- Dottorato
- Altro (specificare)

Da quanti anni lavora in ambito Supply Chain?

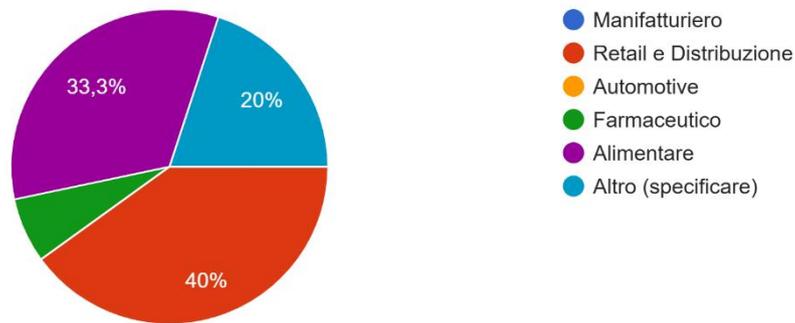
15 risposte



- Meno di 1 anno
- 1-5 anni
- 6-10 anni
- Più di 10 anni

In quale settore opera principalmente la vostra azienda?

15 risposte



Qual è la dimensione della vostra azienda (numero di dipendenti)?

15 risposte

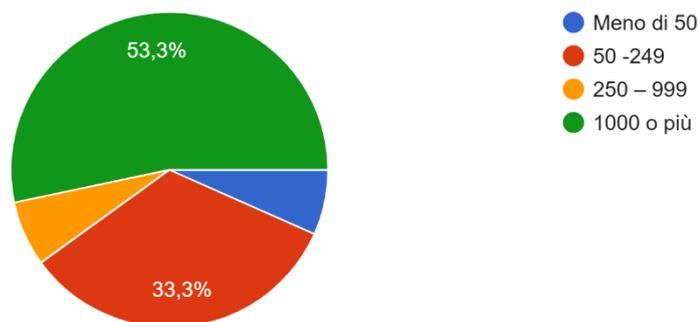


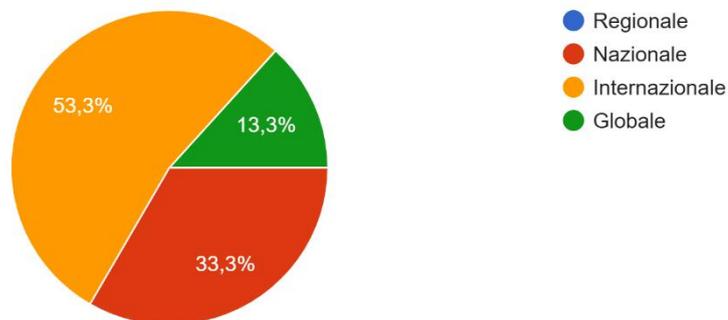
Figura 11: Profilo dei rispondenti

Anche l'estensione della supply chain conferma una dimensione rilevante: molte delle imprese partecipanti operano su scala internazionale (53,3%), seguite da aziende operanti a livello nazionale (33,3%) e globale (13,3%). L'assenza di contesti esclusivamente regionali suggerisce che gran parte del campione opera in scenari complessi e interconnessi, dove l'intelligenza artificiale generativa può rappresentare un supporto strategico. A ciò si aggiunge l'analisi dell'autovalutazione delle competenze in ambito GenAI, che mostra una distribuzione tendenzialmente centrata tra i livelli "neutro" e "abbastanza sicuro". Questa evidenza suggerisce che, sebbene non si possa parlare di una competenza tecnica pienamente consolidata, esiste comunque una familiarità di base con la tecnologia e una diffusa disponibilità ad approfondirne le potenzialità applicative.

Infine, un elemento particolarmente significativo riguarda il livello di digitalizzazione delle aziende coinvolte. Nessuno dei partecipanti ha indicato di operare in una fase iniziale del processo di digitalizzazione. Al contrario, tutte le imprese rappresentate si collocano in uno stadio evolutivo avanzato o maturo, caratterizzato da un'adozione progressiva di soluzioni automatizzate e strumenti integrati. Sebbene in molti casi l'utilizzo della GenAI sia ancora in fase esplorativa o di test, il contesto organizzativo e tecnologico appare complessivamente favorevole a una futura adozione sistemica.

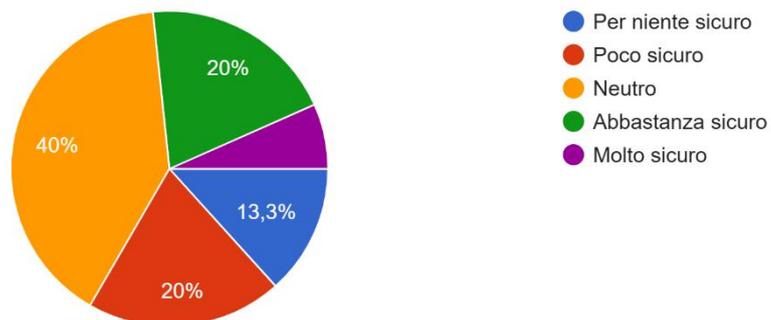
Qual è l'estensione geografica della vostra supply chain?

15 risposte



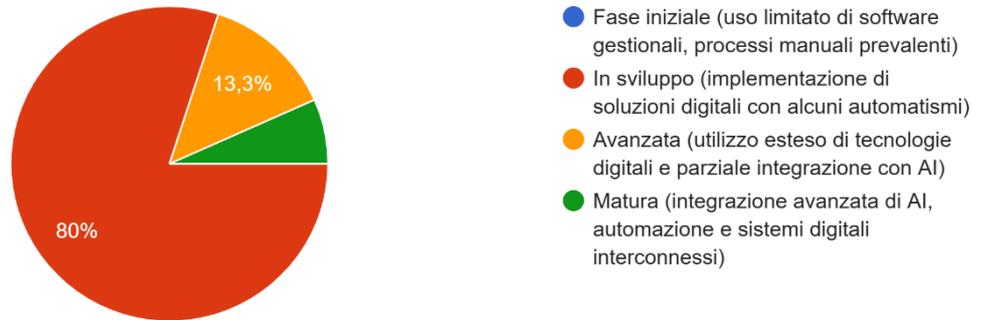
Quanto si sente sicuro della propria conoscenza in ambito AI generativa?

15 risposte



A che punto è la digitalizzazione della vostra Supply Chain?

15 risposte



La vostra azienda utilizza soluzioni basate su Intelligenza Artificiale nella gestione della Supply Chain?

15 risposte

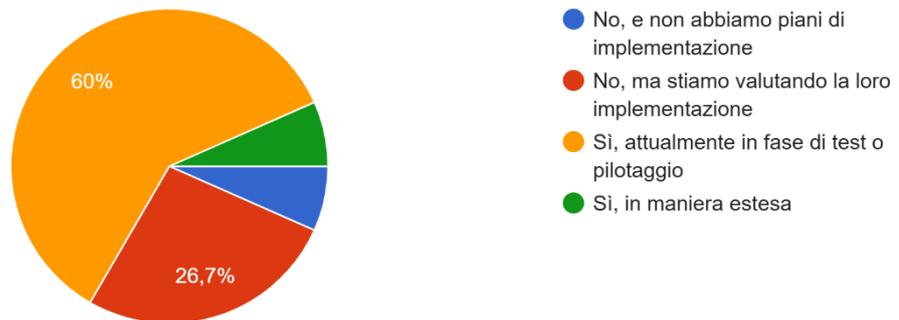


Figura 12: Profilo tecnologico e operativo delle aziende rispondenti

Nel complesso, il campione analizzato è coerente con gli obiettivi della ricerca: i partecipanti possiedono esperienza, operano in contesti aziendali complessi e mostrano una consapevolezza crescente dell'importanza dell'innovazione digitale nella supply chain.

La tabella seguente riassume i dati principali relativi al profilo degli intervistati.

Risposte tot. n=15		
Domande del sondaggio	Numero di risposte	Percentuale (%)
Dimensione dell'azienda (numero di dipendenti)		
• Meno di 50	1	6.7
• 50–249	5	33.3
• 250–999	1	6.7
• 1000 o più	8	53.3
Confidenza nella conoscenza dell'AI generativa		
• Per niente sicuro	2	13.3
• Poco sicuro	3	20.0
• Neutro	6	40.0
• Abbastanza sicuro	3	20.0
• Molto sicuro	1	6.7
Stadio di digitalizzazione della Supply Chain		
• Fase iniziale	0	0.0
• In sviluppo	12	80.0
• Avanzata	2	13.3
• Matura	1	6.7
Titolo di studio		
• Diploma	1	6.7
• Laurea triennale	1	6.7
• Laurea magistrale	13	86.7
• Master	0	0.0
• Dottorato	0	0.0
• Altro (specificare)	0	0.0
Estensione geografica della Supply Chain		
• Regionale	0	0.0

• Nazionale	5	33.3
• Internazionale	8	53.3
• Globale	2	13.3
Settore principale dell'azienda		
• Manifatturiero	3	20.0
• Retail e Distribuzione	6	40.0
• Automotive	0	0.0
• Farmaceutico	1	6.7
• Alimentare	5	33.3
• Altro (specificare)	0	0.0
Ruolo professionale		
• Supply Chain Manager	4	26.7
• Responsabile Logistica	3	20.0
• Responsabile Acquisti	2	13.3
• Responsabile Produzione	0	0.0
• Data Analyst	2	13.3
• Altro (specificare)	4	26.7
Uso dell'AI nella gestione della Supply Chain		
• No, e non abbiamo piani	1	6.7
• No, ma stiamo valutando	4	26.7
• Sì, test o pilotaggio	9	60.0
• Sì, in maniera estesa	1	6.7
Anni di esperienza nella Supply Chain		
• Meno di 1 anno	4	26.7
• 1–5 anni	3	20.0
• 6–10 anni	1	6.7
• Più di 10 anni	7	46.7

Tabella 11: Profilo degli intervistati

La seconda sezione del questionario è stata finalizzata ad esplorare le percezioni degli intervistati rispetto alle aree in cui l'intelligenza artificiale generativa può generare il maggiore impatto, con l'obiettivo di esplorare il grado di accettazione e l'aspettativa associata a queste tecnologie emergenti.

Le risposte sono state raccolte mediante una scala Likert a 5 punti, in cui il valore 1 indica completo disaccordo e il valore 5 pieno accordo con le affermazioni proposte. Per ciascuna affermazione è stata calcolata la media aritmetica, al fine di identificare le aree percepite come maggiormente promettenti, e la deviazione standard, utile a valutare la coerenza o la dispersione delle opinioni tra i partecipanti. Una deviazione standard contenuta segnala un'elevata convergenza di giudizio tra i rispondenti, mentre valori più elevati indicano una maggiore eterogeneità nelle valutazioni, potenzialmente attribuibile a fattori come il settore di appartenenza, il grado di maturità tecnologica dell'organizzazione o l'esperienza pregressa con soluzioni basate su intelligenza artificiale.

Per facilitare l'interpretazione comparativa dei risultati, è stata predisposta una tabella riepilogativa che, per ciascuna area applicativa analizzata, presenta i valori di media

aritmetica, deviazione standard, mediana, minimo e massimo rilevati tra le risposte del campione.

DOMANDE	MEDIA	DEV.STD	MEDIANA	MAX	MIN
Gestione della Logistica					
1. Simulazione di scenari operativi	3,93	1,03	4	5	3
2. Manutenzione predittiva delle attrezzature	4,13	0,83	4	5	3
3. Ottimizzazione dei percorsi di consegna	3,80	1,08	3	5	2
4. Automazione della gestione documentale	4,53	0,64	5	5	3
Gestione della Produzione					
5. Simulazione dei processi produttivi	3,73	0,80	4	5	3
Gestione della Fornitura					
6. Comunicazione con i fornitori	3,27	1,28	4	5	2
7. Ottimizzazione della stesura, negoziazione e monitoraggio dei contratti di fornitura	3,80	1,15	4	5	1
8. Test di scenari con fornitori multipli	3,27	1,22	3	5	2
Customer Experience e Relazione con i Clienti					
9. Ottimizzazione della comunicazione con i clienti	3,80	1,01	4	5	2
10. Analisi di feedback e reclami	3,67	1,11	4	5	2
Altre Applicazioni Strategiche dell'AI Generativa					
11. Analisi della concorrenza e trend emergenti	4,07	0,88	4	5	3
12. Gestione dei rischi	4,00	0,76	4	5	3
13. Formazione e supporto interno	4,33	0,90	4	5	2

Tabella 12: Valutazione media delle risposte

Nell'ambito della gestione della logistica, emerge un forte interesse verso l'adozione dell'intelligenza artificiale generativa. In particolare, la manutenzione predittiva delle attrezzature (media = 4,13) e l'automazione della gestione documentale (media = 4,53) risultano le applicazioni più apprezzate dell'intero questionario. Oltre a registrare i punteggi medi più elevati, entrambe mostrano una limitata variabilità nelle risposte (deviazione standard compresa tra 0,6 e 0,8), segnale di una percezione condivisa della loro utilità, trasversalmente ai diversi contesti organizzativi. Questo risultato può essere spiegato con il fatto che si tratta di ambiti in cui l'introduzione dell'AI generativa consente di trasformare attività ripetitive e ad alto impatto benefici immediatamente percepibili con miglioramenti in termini di efficienza operativa, riduzione dei costi e miglioramento della continuità dei processi. Inoltre, sono contesti dove il dato strutturato è già ampiamente disponibile, facilitando l'integrazione di strumenti intelligenti.

Al contrario, l'applicazione relativa all'ottimizzazione dei percorsi di consegna ha registrato una media più contenuta (3,80) e una deviazione standard sensibilmente più elevata (1,08), segnalando giudizi più eterogenei. Questo divario può essere ricondotto alla complessità tecnica di questo tipo di applicazione, che richiede l'integrazione di dati geolocalizzati in tempo reale, sistemi di trasporto flessibili e infrastrutture digitali avanzate, problemi spesso menzionati nella letteratura come ostacoli alla piena adozione. È plausibile che le aziende che operano in contesti urbani complessi o che dispongono di flotte proprie possano riconoscere in modo più chiaro il valore dell'ottimizzazione dinamica, mentre altre, con supply chain più statiche o terziarizzate, percepiscano maggiori ostacoli nell'adozione.

Nell'ambito della produzione, sebbene sia stata indagata solamente l'applicazione relativa alla simulazione dei processi produttivi, il punteggio medio ottenuto (3,73) e la relativa deviazione standard (0,80) suggeriscono un interesse concreto e piuttosto uniforme. Questo potrebbe derivare dalla crescente attenzione verso la digitalizzazione dei processi produttivi e dalla volontà di disporre di strumenti capaci di supportare scenari previsionali e decisioni complesse, soprattutto in contesti caratterizzati da elevata variabilità della domanda o da vincoli produttivi stringenti.

Una logica simile può essere estesa alla domanda relativa alla simulazione di scenari con fornitori multipli, che ha registrato una media di 3,53 e una deviazione standard pari a 1,10. Anche in questo caso, l'utilizzo dell'AI generativa come strumento per testare alternative e

gestire l'incertezza viene percepito come promettente, sebbene con valutazioni meno omogenee rispetto al contesto produttivo. La maggiore variabilità delle risposte potrebbe essere attribuita alla complessità intrinseca della gestione dei fornitori, soprattutto in filiere globali o frammentate, dove la possibilità di reperire dati affidabili e aggiornati è spesso limitata, e dove il grado di collaborazione e trasparenza tra partner non è sempre sufficiente a sostenere simulazioni credibili.

Nel complesso, l'intero blocco di domande relativo alla gestione della fornitura mostra un quadro articolato. Oltre alla simulazione multi-fornitore, le altre due applicazioni analizzate (utilizzo di chatbot per la comunicazione con i fornitori e ottimizzazione dei contratti tramite AI generativa) si attestano su valori medi molto simili, rispettivamente pari a 3,56 e 3,45, accompagnati entrambe da una deviazione standard superiore a 1. Questi dati evidenziano un interesse potenziale ma non ancora consolidato, con giudizi fortemente influenzati dal contesto specifico in cui opera ciascuna organizzazione.

Anche la dimensione della relazione con il cliente restituisce un quadro piuttosto articolato, caratterizzato da segnali contrastanti. Le due applicazioni analizzate (l'utilizzo di chatbot per il supporto clienti e l'analisi automatizzata dei feedback) hanno ottenuto punteggi medi compresi tra 3,7 e 3,8, accompagnati da una deviazione standard pari a 1,00. Questi valori suggeriscono un interesse moderato ma non ancora consolidato, con un grado di incertezza evidente nella variabilità delle risposte. È verosimile che tale prudenza sia riconducibile alla natura prevalentemente B2B delle aziende coinvolte nella ricerca, dove la relazione con il cliente tende a essere più personalizzata e complessa rispetto al contesto B2C. In tali ambienti, il supporto automatizzato viene spesso percepito come meno strategico, o addirittura rischioso in termini di qualità del servizio e mantenimento della relazione commerciale. Inoltre, la fiducia negli strumenti basati su AI generativa per la gestione diretta dell'interazione con il cliente potrebbe essere limitata dalla percezione di una scarsa capacità di adattamento ai contesti comunicativi più delicati o personalizzati.

Al contrario, il quadro risulta decisamente più netto per quanto riguarda le applicazioni strategiche dell'intelligenza artificiale generativa. L'impiego di chatbot per la formazione e il supporto interno si colloca tra le soluzioni più apprezzate, con un punteggio medio pari a 4,33 e una deviazione standard contenuta (0,90). Questo dato indica una forte adesione all'idea che l'AI possa rappresentare un valido alleato nella gestione e diffusione della conoscenza organizzativa, specialmente in contesti ad alto tasso di complessità operativa,

dove la disponibilità di strumenti generativi può agevolare la risoluzione autonoma di problemi ricorrenti e favorire processi di apprendimento continuo del personale. Tali valutazioni suggeriscono che le aziende percepiscano l'AI generativa non soltanto come una leva tecnologica, ma anche come un vero e proprio abilitatore culturale all'interno dell'organizzazione.

L'analisi congiunta delle medie e delle deviazioni standard si è dimostrata particolarmente utile per individuare con maggiore precisione le aree in cui esiste già un consenso consolidato e quelle in cui, al contrario, prevalgono incertezza o visioni divergenti. A supporto di questa analisi è stato realizzato un grafico a dispersione che consente una lettura immediata dei risultati. Sull'asse orizzontale (X) è riportata la deviazione standard, mentre sull'asse verticale (Y) è indicata la media delle risposte. Ogni punto del grafico rappresenta una delle domande del questionario ed è identificato dal relativo codice (Q1, Q2, ...).

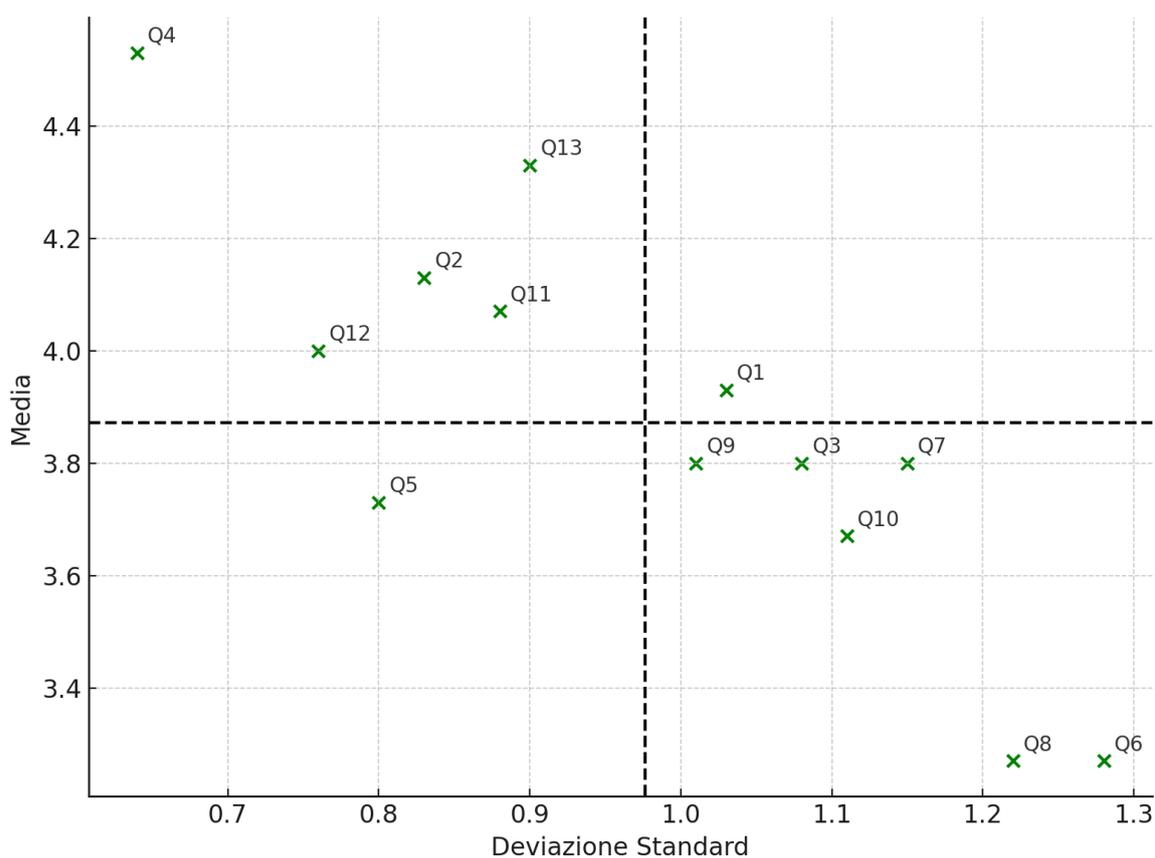


Figura 13: Analisi media e variabilità delle applicazioni AI

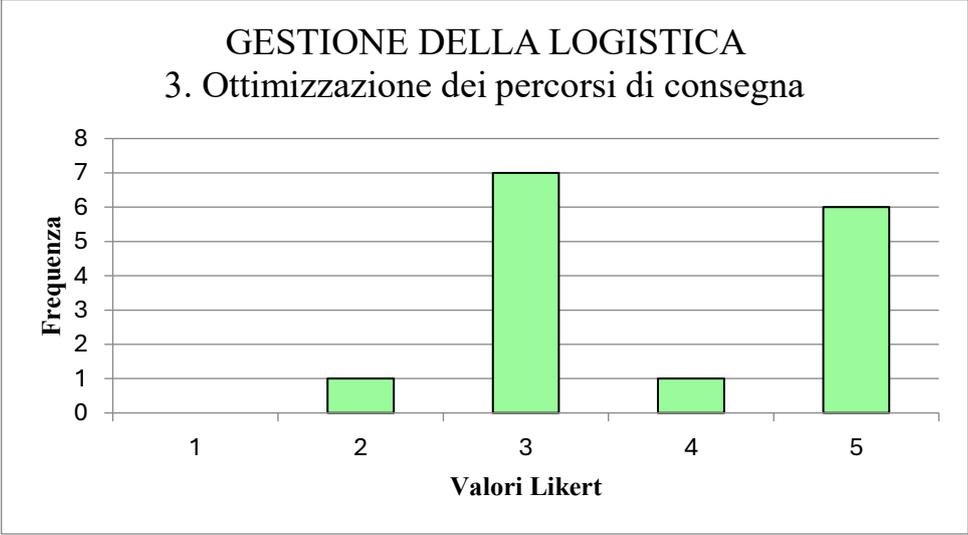
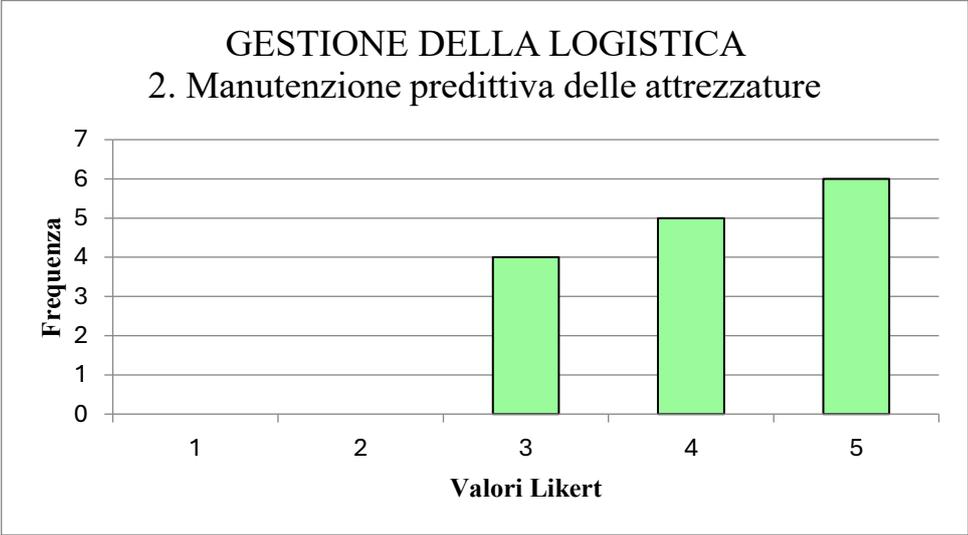
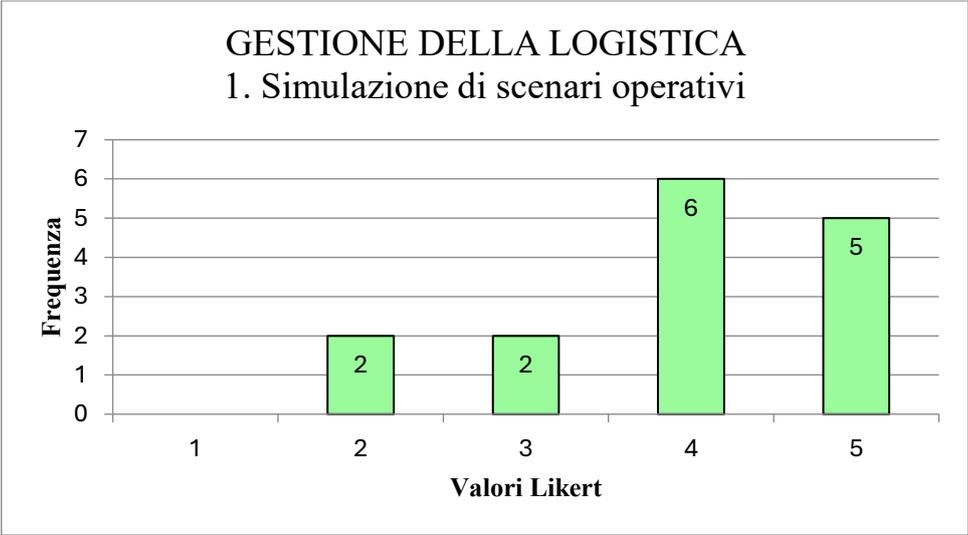
Attraverso questa rappresentazione grafica è possibile distinguere con chiarezza due gruppi principali di applicazioni. Nella parte superiore sinistra del grafico si collocano quelle

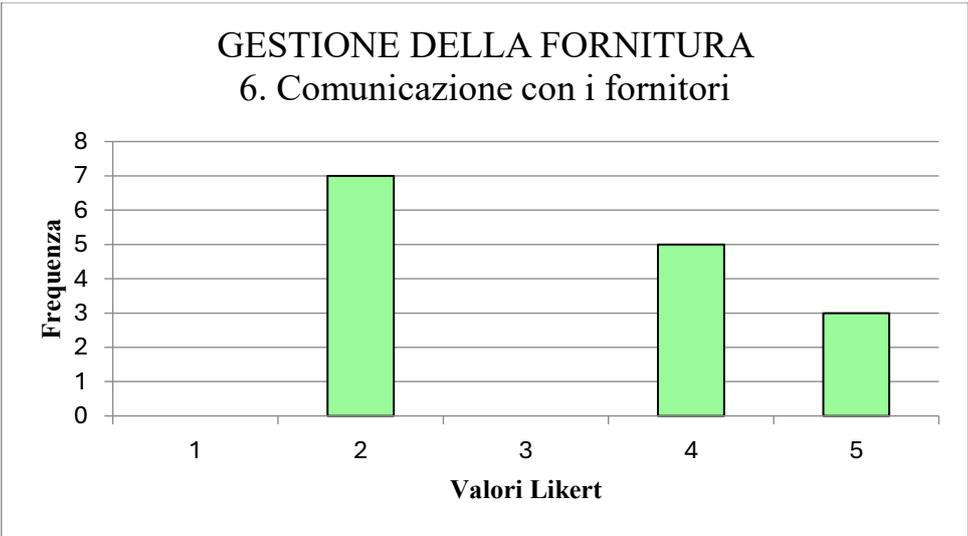
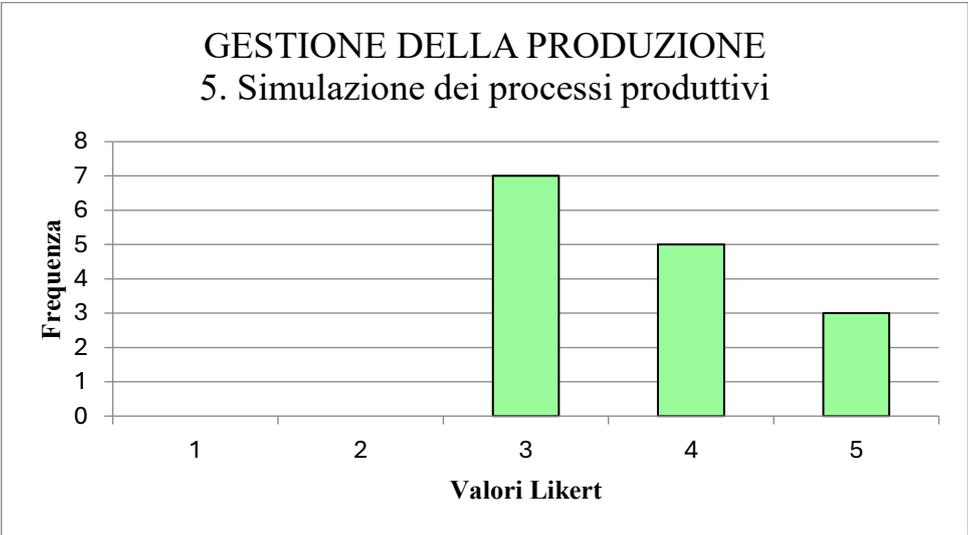
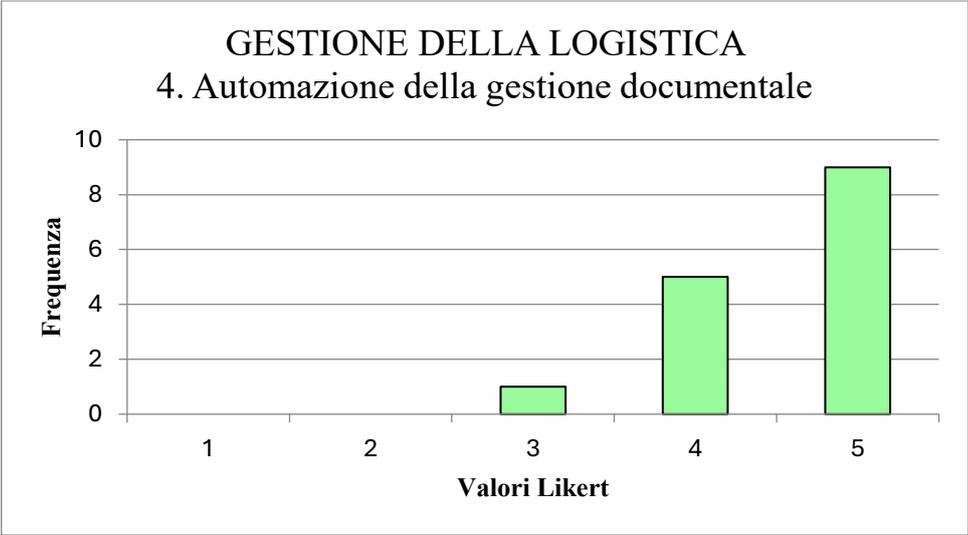
percepiti come più consolidate, che combinano valutazioni mediamente elevate e una bassa variabilità nelle risposte: sono soluzioni considerate utili e realisticamente implementabili, per le quali si registra un buon livello di consenso tra i partecipanti. Al contrario, nella parte destra del grafico (soprattutto quella superiore), si trovano le applicazioni che, pur ottenendo punteggi medi positivi, mostrano una maggiore dispersione nelle opinioni: in questo caso, il potenziale viene riconosciuto, ma con valutazioni meno uniformi.

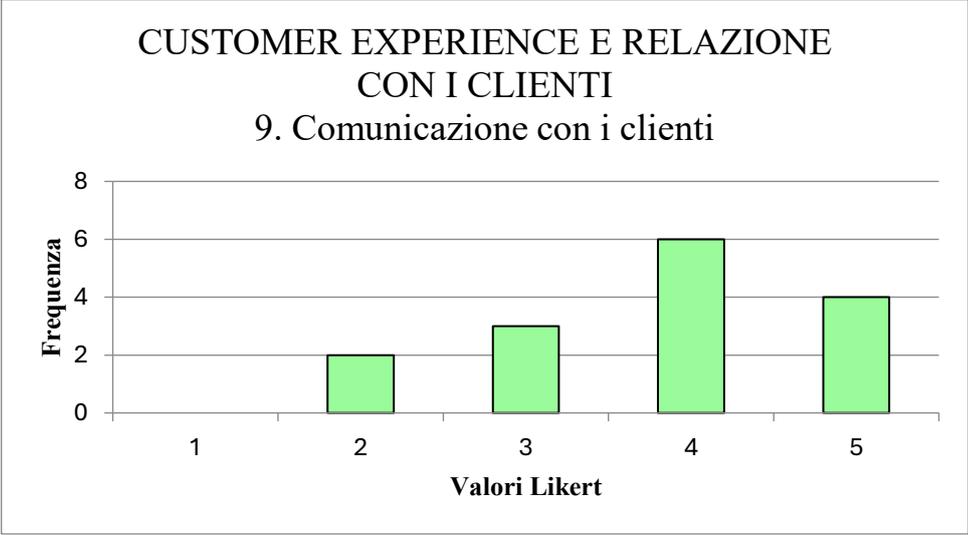
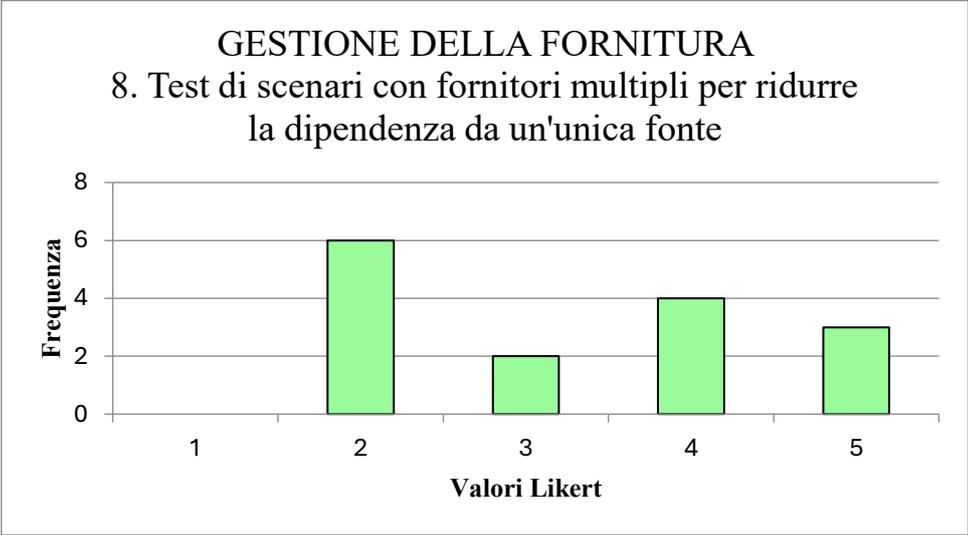
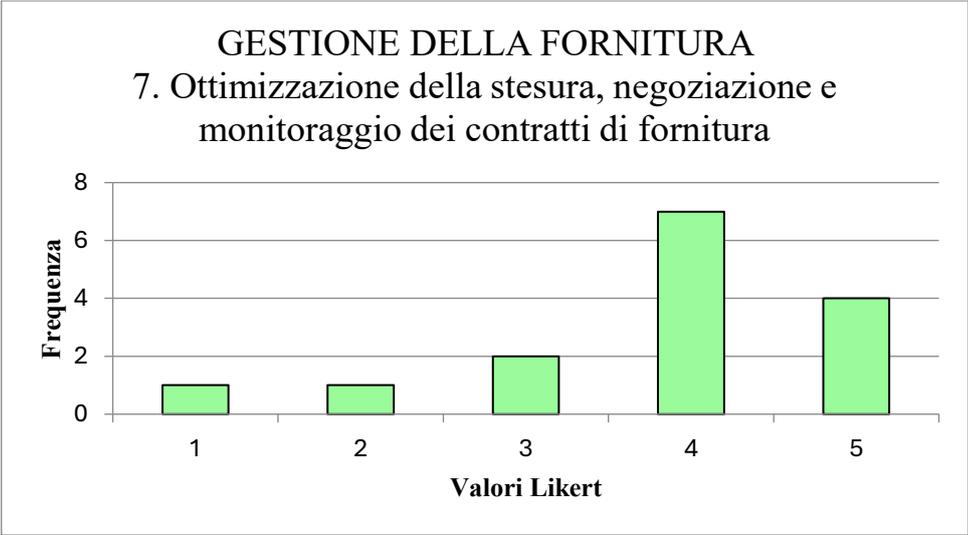
Nel complesso, i risultati ottenuti suggeriscono che il livello di accettazione e l'entusiasmo verso l'intelligenza artificiale generativa variano in modo significativo in funzione dell'ambito applicativo, del grado di maturità digitale delle organizzazioni e della chiarezza con cui vengono percepiti i benefici potenziali. Le applicazioni il cui impatto è diretto, misurabile e concretamente sperimentabile (come la gestione documentale in ambito logistico o il supporto alla formazione interna) tendono a ricevere valutazioni più elevate e omogenee. Al contrario, nei contesti più articolati o ancora poco esplorati, come il procurement multi-attore o le interazioni automatizzate con il cliente, le risposte risultano più variegata, a testimonianza di un divario tra il riconoscimento del potenziale tecnologico e la percezione della sua effettiva applicabilità.

Questa dinamica trova riscontro anche nelle evidenze emerse dalla fase qualitativa dell'indagine. In particolare, un intervistato ha osservato come le applicazioni percepite come più efficaci nel breve termine non siano necessariamente quelle a valenza strategica, ma piuttosto quelle rivolte ad attività operative, ripetitive, a basso contenuto decisionale e ad alto potenziale di automazione. Secondo tale prospettiva, l'AI generativa si rivela particolarmente efficace nel ridurre il carico cognitivo degli operatori, mitigare i rischi associati alla gestione di grandi volumi di informazioni e incrementare l'efficienza in quei processi che presentano un'elevata complessità informativa.

Lo stesso intervistato ha inoltre proposto una visione trasversale della tecnologia, descrivendo la GenAI non come una soluzione da applicare verticalmente su singole funzioni, ma come una risorsa abilitante a livello orizzontale, capace di creare valore in qualsiasi ambito in cui le informazioni risultino frammentate, non strutturate o difficilmente gestibili attraverso strumenti tradizionali. Questo approccio interpretativo si inserisce coerentemente nel quadro emerso dai dati quantitativi, dove le applicazioni percepite come più promettenti coincidono spesso con quelle in cui l'AI generativa può essere impiegata per aggregare, sintetizzare e trasformare dati complessi in insight operativi.

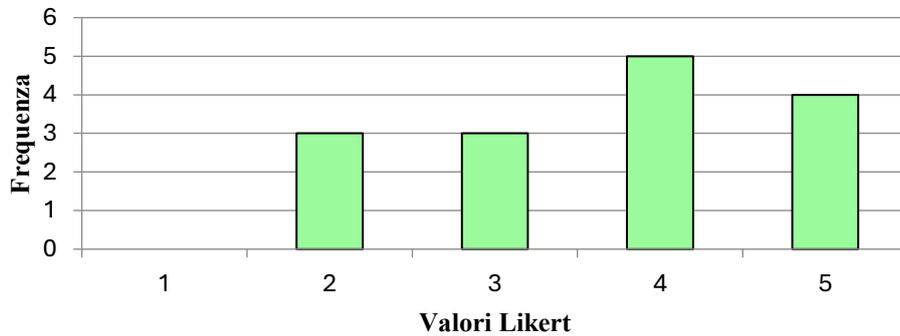






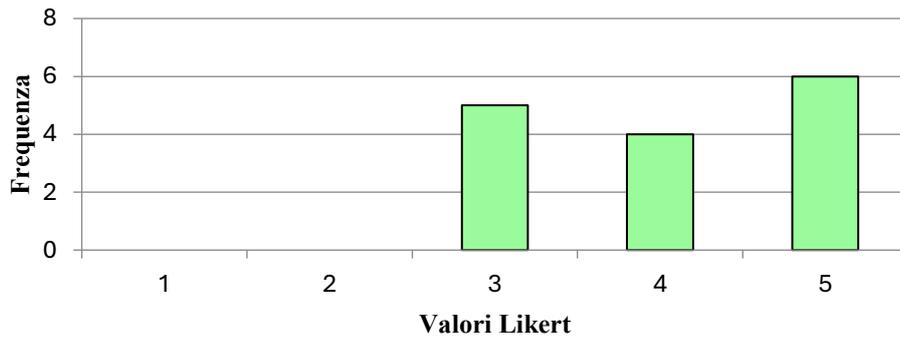
CUSTOMER EXPERIENCE E RELAZIONE
CON I CLIENTI

10. Analisi di feedback e reclami



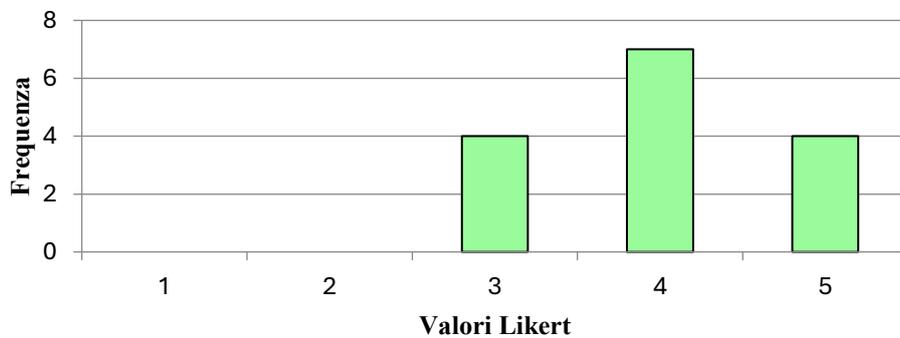
ALTRE APPLICAZIONI STRATEGICHE
DELL'AI GENERATIVA

11. Analisi della concorrenza e trend emergenti



ALTRE APPLICAZIONI STRATEGICHE
DELL'AI GENERATIVA

12. Gestione dei rischi



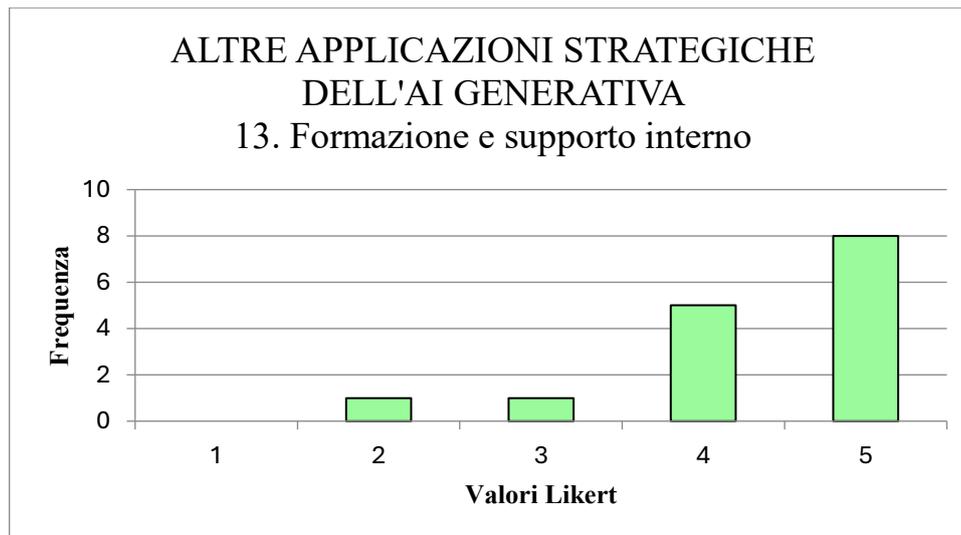


Figura 14: Frequenza delle risposte per ciascuna domanda su scala Likert

A completamento dei risultati emersi dal questionario, le interviste qualitative condotte con professionisti del settore hanno permesso di approfondire in modo significativo le modalità di adozione della GenAI nei processi aziendali. Grazie alla ricchezza informativa emersa durante i colloqui, è stato possibile ricostruire due casi studio distinti, che illustrano applicazioni concrete della tecnologia in ambiti diversi: il primo focalizzato sulla previsione dei prezzi e la pianificazione degli acquisti nella supply chain, il secondo sull'automazione e il miglioramento della qualità del servizio post-vendita.

6.2 Caso studio 1 – GenAI per la previsione dei prezzi nella supply chain

Il primo caso studio è stato sviluppato a partire da un'intervista con un manager dell'area Supply Chain Management di una società di consulenza internazionale, specializzata nell'implementazione di soluzioni basate su Intelligenza Artificiale Generativa applicate ai processi aziendali. Durante il colloquio, l'intervistato ha illustrato un progetto realizzato per un cliente appartenente a una grande realtà industriale del settore alimentare, finalizzato all'introduzione di tecnologie GenAI a supporto delle attività di previsione dei prezzi e pianificazione degli acquisti lungo la supply chain.

L'iniziativa si inserisce in un contesto caratterizzato da crescente incertezza nei mercati di approvvigionamento, influenzati da dinamiche inflazionistiche, instabilità geopolitica e da

una volatilità strutturale nelle quotazioni delle materie prime. Secondo l'intervistato, infatti, *"Al giorno d'oggi è fondamentale poter reagire rapidamente a eventi esterni e avere visibilità in tempo reale sui principali fattori di rischio"*.

La soluzione proposta è stata progettata per rafforzare la capacità dell'organizzazione di monitorare in tempo reale l'evoluzione dei fattori critici, anticipare le tendenze di mercato e adottare strategie di approvvigionamento più tempestive ed efficaci.

Gli obiettivi principali del progetto riguardavano il miglioramento dell'accuratezza nella previsione dei prezzi delle materie prime, il monitoraggio continuo dei principali driver di mercato, il supporto alle decisioni relative alla gestione delle scorte e la possibilità di gestire le trattative con i fornitori in modo più efficace, grazie alla disponibilità di dati aggiornati e affidabili.

La tecnologia adottata consente di aggregare ed elaborare grandi volumi di dati strutturati e non strutturati, provenienti da fonti interne (sistemi ERP, storici di acquisto, report operativi) e da fonti esterne (notizie economico-finanziarie, trend di settore, prezzi di mercato).

Grazie al materiale condiviso dall'intervistato, è stato possibile analizzare nel dettaglio la logica di funzionamento della soluzione adottata, articolata in tre fasi principali. La prima fase è dedicata all'individuazione dei principali driver che influenzano l'andamento dei prezzi di acquisto di beni critici. Tra gli esempi illustrati nella documentazione, particolare attenzione è stata riservata al caso dell'olio di palma, per il quale sono stati identificati fattori determinanti come i livelli di produzione, le scorte disponibili, le condizioni climatiche, i cambiamenti normativi e l'evoluzione della domanda in settori alternativi, come quello del biodiesel. A questo proposito, l'intervistato ha spiegato: *"Abbiamo scelto i driver in base alla loro rilevanza empirica, cioè al loro impatto dimostrato sui prezzi nel tempo"*.

La seconda fase prevede la generazione qualitativa degli output tramite GenAI. Il sistema attiva un flusso di monitoraggio continuo e automatizzato di fonti informative eterogenee, attraverso un processo articolato in tre sottofasi: la centralizzazione delle notizie, la data augmentation e l'analisi semantica, e infine la classificazione e previsione. Il primo passaggio consiste nella raccolta automatica di contenuti rilevanti mediante query semantiche su fonti pubbliche e private, con la generazione di file strutturati che contengono articoli, report e comunicati.

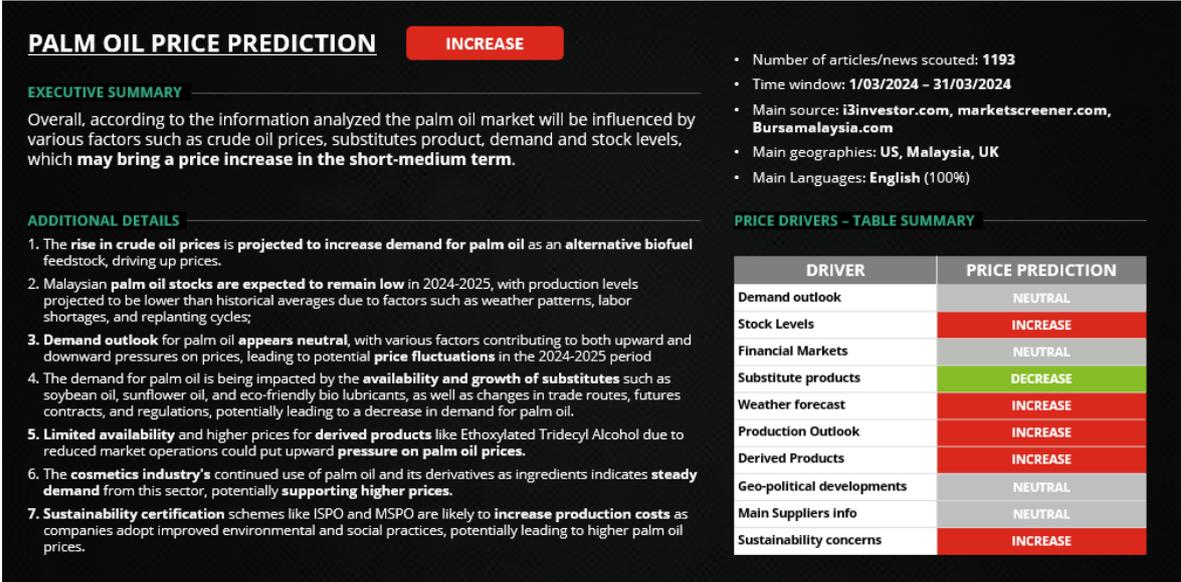


Figura18: Previsione dei prezzi dell'olio di palma e fattori di influenza

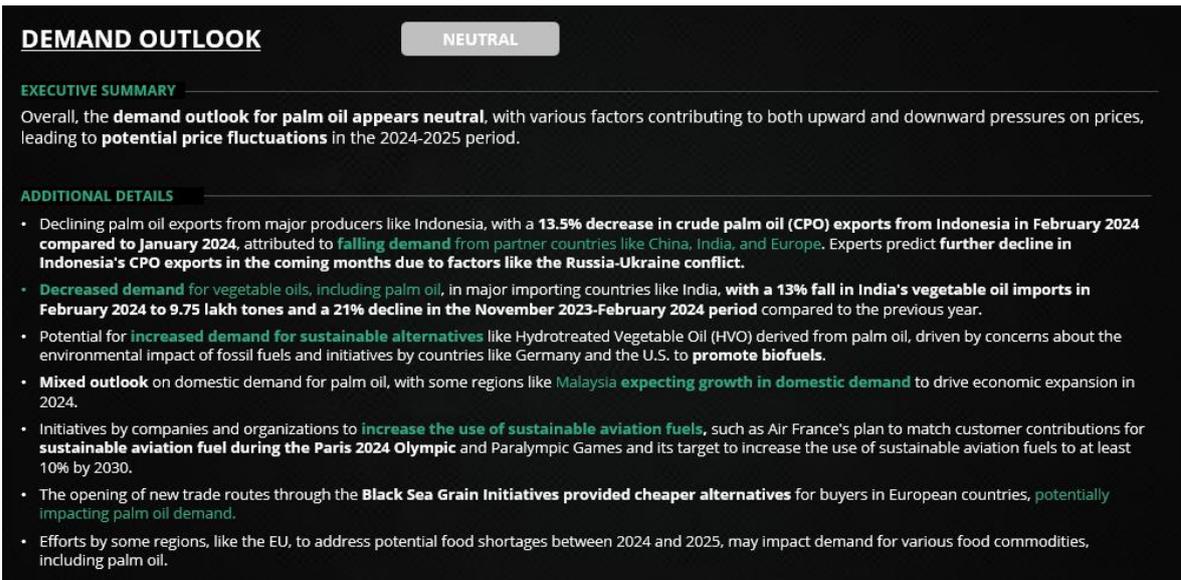


Figura19: Domanda prevista per l'olio di palma

È rilevante sottolineare che il processo di adozione di questa soluzione è stato strutturato secondo un approccio in quattro fasi, coerente con il framework "Bite the new – Think Big – Start Small – Scale Fast". Tale approccio prevede inizialmente l'esplorazione delle potenzialità dell'AI lungo l'intera catena del valore ("Bite the new"), la progettazione di una soluzione estesa e la definizione del modello operativo ("Think Big"), l'avvio di progetti pilota circoscritti ("Start Small") e infine la scalabilità a più processi ("Scale Fast").

Attualmente, il progetto si trova ancora nella fase di sperimentazione (“Start Small”) ed è stato implementato come strumento stand-alone, non ancora integrato nei sistemi ERP o nelle piattaforme di procurement del cliente. Ciò ha permesso di condurre una fase di test agile, senza dover affrontare complesse integrazioni tecniche. Inoltre, essendo il processo in questione più strategico che operativo, non si è resa necessaria un'integrazione immediata nei workflow aziendali.

Dal punto di vista organizzativo, non sono emerse resistenze culturali: *“I team hanno colto subito il valore del sistema: prima servivano ore di lavoro per trovare le informazioni giuste, ora arrivano già selezionate e contestualizzate”*.

Il tool è stato adottato prevalentemente da figure manageriali (come category manager e referenti IT), con un approccio orientato all'innovazione. L'impatto della GenAI è stato misurato lungo due principali dimensioni. Primo, la riduzione dei costi di approvvigionamento: il confronto tra i prezzi di due materie prime (olio di palma e burro) prima e dopo l'introduzione del tool, normalizzato rispetto ai trend di mercato, ha evidenziato una riduzione media dei costi pari al -5%. Secondo, l'incremento dell'efficienza operativa: l'analisi comparativa dei tempi di raccolta e trattamento dei dati ha mostrato un miglioramento del +20% in termini di efficienza.

L'intervistato ha concluso l'intervista affermando: *“Abbiamo sicuramente aumentato la nostra capacità di anticipare le variazioni nei costi delle materie prime e di essere più efficaci nelle trattative con i fornitori”*.

6.3 Caso studio 2 – GenAI per il miglioramento della customer experience post-vendita

Il secondo caso studio analizzato è stato sviluppato a partire da un'intervista con l'Innovation Manager di una società di consulenza internazionale, specializzata nello sviluppo di ecosistemi digitali per la Supply Chain. A differenza del primo caso, incentrato su un progetto svolto per un cliente industriale, questo studio documenta un'applicazione interna della tecnologia di Intelligenza Artificiale Generativa (GenAI), implementata direttamente all'interno dell'organizzazione.

Tale scelta metodologica ha permesso di esaminare un'esperienza di implementazione endogena, caratterizzata da un'elevata efficacia operativa e da risultati già consolidati. In

particolare, la tecnologia è stata introdotta nell'ambito dei servizi post-vendita, con un focus specifico sulla gestione dei ticket di help desk aperti dai clienti. Il problema gestionale che ha motivato l'iniziativa riguardava la difficoltà di garantire standard qualitativi elevati nella comunicazione scritta tra operatori e clienti, elemento cruciale per la fidelizzazione e la customer experience.

Come spiegato dall'Innovation Manager: *“Con oltre 100.000 ticket all'anno, era impensabile effettuare un controllo manuale sulla qualità delle risposte. Avevamo bisogno di una soluzione che ci permettesse di monitorare e migliorare in modo automatico la comunicazione, senza caricare ulteriormente i team”*.

La soluzione sviluppata si basa su un sistema GenAI capace di analizzare, valutare e migliorare i messaggi redatti dagli operatori. L'attenzione si concentra principalmente su due elementi: il contenuto del ticket iniziale, che rappresenta la richiesta del cliente, e la risposta fornita, la quale deve restituire sinteticamente le attività svolte e i risultati ottenuti. Il sistema non considera il tempo di risposta, data la variabilità delle richieste, ma si focalizza su aspetti formali e comunicativi come coerenza linguistica, adeguatezza del registro (ad esempio, evitando l'uso eccessivo del condizionale), presenza di formule di cortesia e chiarezza espositiva.

“La GenAI non si limita a valutare: è anche un supporto in tempo reale. L'operatore può inviare una bozza di risposta e ricevere suggerimenti su come migliorarla, sia nel contenuto che nello stile”, ha aggiunto l'intervistato, sottolineando il valore della componente proattiva del sistema.

L'introduzione della GenAI ha seguito un percorso ibrido, a metà tra la sperimentazione e la pianificazione strutturata. L'organizzazione dispone infatti di un comitato permanente sull'innovazione, che si riunisce mensilmente per raccogliere proposte progettuali e identificare aree di miglioramento operativo. In questo contesto è emersa l'idea di applicare la GenAI alla gestione dei ticket, proposta che è stata prontamente accolta, anche grazie al recente rafforzamento della strategia aziendale in ambito GenAI. *“Il sostegno del top management è stato determinante: la direzione ha creduto fin da subito nel progetto, anche sul piano degli investimenti”*, ha evidenziato l'Innovation Manager.

La fase di test ha coinvolto una selezione mirata dei ticket, limitata ai casi di richiesta pervenuti via email. Sono stati esclusi i ticket generati automaticamente dai sistemi di monitoraggio, in quanto considerati poco rappresentativi rispetto agli obiettivi iniziali

dell'iniziativa. Il campione selezionato è stato sottoposto a una doppia valutazione: da un lato i responsabili di funzione hanno assegnato un punteggio qualitativo alle risposte, dall'altro la GenAI ha generato autonomamente i propri giudizi. Il confronto ha mostrato una buona coerenza tra le due valutazioni, con uno scarto medio limitato ad un punto su una scala da uno a dieci. Tuttavia, come ha precisato l'intervistato: *“Il modello GenAI tende a essere più severo: rileva con più attenzione errori formali, mancanze nel tono o nella struttura, che spesso l'occhio umano lascia passare”*.

Nonostante questa maggiore rigidità, la distanza tra le due valutazioni è rimasta entro limiti accettabili, confermando l'affidabilità del sistema e la sua idoneità a essere progressivamente esteso su scala più ampia. Questa fase pilota ha dunque rivestito un ruolo cruciale, consentendo di validare il funzionamento dello strumento e di consolidare le basi per un'implementazione più estesa.

Tra gli indicatori chiave di performance (KPI) monitorati, uno dei più significativi è stato il miglioramento progressivo del punteggio medio assegnato alle risposte fornite dagli operatori. A partire dall'introduzione dello strumento, avvenuta nel mese di gennaio, il valore medio è aumentato da poco meno di sette a oltre sette e mezzo, con una tendenza positiva ancora in corso. Questo miglioramento è attribuibile sia all'efficacia del supporto generativo, che facilita la produzione di risposte più complete e appropriate, sia a un'evoluzione sul piano culturale, come ha osservato l'intervistato: *“Non è solo merito della tecnologia: sapere che c'è un sistema che valuta le risposte ha spinto molti operatori a prestare più attenzione. C'è stata una crescita culturale, non solo tecnica”*.

Un ulteriore indicatore chiave di performance rilevante riguarda l'efficienza operativa. La valutazione manuale di oltre 100.000 ticket all'anno sarebbe stata insostenibile a causa dell'elevato impiego di risorse richieste. L'automazione del processo, resa possibile dall'introduzione della GenAI, ha dunque generato un risparmio significativo sia in termini di tempo che di costi operativi, riducendo al contempo la dipendenza dal lavoro umano per attività a basso valore aggiunto.

Tuttavia, va evidenziata la dipendenza tecnologica dal fornitore esterno della tecnologia GenAI, la quale comporta costi ricorrenti legati all'elaborazione dei dati e alla generazione dei contenuti. Per questo motivo, è attualmente in corso un'analisi più approfondita volta a isolare e quantificare con maggiore precisione il contributo diretto dello strumento all'incremento delle performance. Tale attività ha l'obiettivo di supportare una valutazione

più sistematica del ritorno sull'investimento e di rafforzare la legittimazione della soluzione presso gli stakeholder interni.

Dal punto di vista tecnologico, l'integrazione della GenAI nei sistemi informativi aziendali si è svolta senza particolari criticità. L'accesso al database dei ticket è stato reso possibile grazie alla collaborazione con il fornitore della piattaforma esterna. Sulla base di questi dati, il team ha sviluppato un'applicazione indipendente utilizzando competenze interne, prevalentemente in linguaggio Python. I risultati elaborati dal sistema vengono successivamente reintegrati nel database originale, garantendo continuità informativa e piena coerenza con i flussi aziendali esistenti.

Anche sul piano culturale, l'adozione della tecnologia non ha incontrato particolari resistenze. L'iniziativa è stata infatti promossa direttamente dal responsabile dell'help desk e accolta positivamente dagli operatori, alcuni dei quali hanno contribuito attivamente alla fase di sviluppo. Questo coinvolgimento diretto ha favorito un forte senso di ownership e ha ridotto il rischio che lo strumento venisse percepito come un meccanismo di controllo o una minaccia al proprio ruolo.

In conclusione, questo caso rappresenta un'applicazione promettente della GenAI in un contesto interno, con indicazioni preliminari di miglioramento in termini di qualità del servizio e ottimizzazione operativa.

Nel corso dell'intervista, al di là del percorso strutturato previsto dalla traccia, è stato richiesto all'Innovation Manager di fornire ulteriori esempi di applicazione della tecnologia GenAI all'interno dell'organizzazione. In risposta, l'intervistato ha illustrato un progetto attualmente in fase di avvio, volto allo sviluppo di una soluzione di Root Cause Analysis (RCA) potenziata attraverso l'impiego di tecnologie di Intelligenza Artificiale Generativa.

La Root Cause Analysis rappresenta una metodologia sistematica finalizzata all'identificazione delle cause profonde alla base di malfunzionamenti o eventi critici, con l'obiettivo di prevenirne la ricorrenza. In contesti ad elevata complessità, come quelli della supply chain, la RCA costituisce uno strumento essenziale per aumentare l'affidabilità operativa, ridurre i tempi di inattività e migliorare la qualità complessiva dei processi.

In questo ambito, l'impiego della GenAI introduce un potenziale significativo di miglioramento, grazie alla capacità del sistema di analizzare grandi volumi di dati eterogenei, tra cui log di sistema, report operativi, segnalazioni manuali e comunicazioni

non strutturate e di sintetizzare evidenze complesse in modo comprensibile anche per utenti non tecnici. Tali funzionalità contribuiscono ad accelerare l'individuazione delle anomalie e a rendere più trasparente la ricostruzione dei nessi causali.

Il progetto, nato da una specifica richiesta di un cliente, si configura come una soluzione su misura, sviluppata in logica di co-progettazione tra la società di consulenza e il committente. L'intervento è stato concepito per rispondere a esigenze operative concrete, emergenti da problematiche riscontrate sul campo.

Secondo quanto riportato dall'Innovation Manager, rispetto ad applicazioni più operative come quelle legate alla gestione dei ticket, la RCA supportata da GenAI presenta un potenziale di impatto percepito più diretto, in quanto consente un'azione proattiva nella prevenzione dei problemi e nella riduzione dei rischi. Tuttavia, la misurazione del valore creato risulta meno immediata: *“I benefici non sono subito quantificabili. Parliamo di miglioramenti sulla resilienza e sulla reattività dell'organizzazione, che si misurano nel tempo”*. Essendo il progetto ancora in fase iniziale, gli effetti concreti non sono al momento pienamente osservabili, ma le prospettive emerse indicano un elevato potenziale di sviluppo.

6.4 Analisi trasversali

Alla luce di entrambe le esperienze analizzate, è ora possibile formulare alcune considerazioni trasversali sull'effettivo valore strategico della GenAI nella supply chain, soprattutto se lette alla luce dei modelli teorici adottati in questa ricerca: la Diffusion of Innovation Theory, la Resource-Based View, la Bounded Rationality Theory e il modello SECI di Nonaka e Takeuchi.

La tabella seguente presenta una sintesi dei principali elementi emersi dalle due interviste condotte nell'ambito della ricerca, con l'obiettivo di comparare modalità di adozione, utilizzi, risultati e potenziale strategico della GenAI in due diversi contesti organizzativi.

INTERVISTE		
Dimensioni	Caso studio 1	Caso studio 2
Processo SC coinvolto	Previsione prezzi acquisto, approvvigionamento	Gestione ticket help desk post-vendita
Motivazione principale	Ottimizzare sourcing, gestire inventario, supporto negoziazione prezzi	Garantire comunicazione efficace e supporto costante al cliente post-vendita
Percorso di adozione	Strutturato in quattro fasi: esplorazione, progettazione, pilota, estensione	Ibrido: iniziato in modo sperimentale, poi strutturato
Test preliminari	Fase pilota in corso, test su materie prime selezionate (olio di palma, burro)	Fase pilota in corso, sperimentazione su ticket aperti dal cliente tramite email
Integrazione nei sistemi	Non ancora integrata con ERP, prevista in futuro	Pienamente integrata, facile accesso al database preesistente
Resistenze interne	Nessuna resistenza, tool ben accolto da team manageriali	Nessuna resistenza, coinvolgimento diretto del team help desk
KPI principali	Riduzione costi (-5%), aumento efficienza operativa (+20%)	Miglioramento qualità risposte, efficienza operativa
Risultati osservati	Maggiore accuratezza analisi, report più rapidi e affidabili	Aumento punteggio medio risposte, risparmio tempi e costi
Aspetti distintivi	Strumento per la sintesi di dati eterogenei volto al monitoraggio continuo dei driver di costo	Valutazione automatizzata della qualità comunicativa con supporto attivo alla stesura dei contenuti
Inimitabilità percepita	Soluzione su misura, competenze specifiche e asset proprietari	Expertise interna, adattamento ai processi specifici, prompting mirato
Protezione dei dati	Controllo interno completo, asset non esternalizzati	Accesso ristretto, infrastruttura interna in valutazione
Relazione con ERP/WMS	Complementare a ERP/WMS, aggiunge capacità predittiva	Integra e potenzia i gestionali tradizionali

Gestione della conoscenza	Integrata con dati strutturati e informazioni esterne	Attualmente non integrata con fonti esterne, ma con prospettive di integrazione futura
Formazione interna	Formazione focalizzata sull'uso, non sui principi teorici	Nessun programma strutturato, tool intuitivo

Tabella 13. Sintesi comparativa dei casi studio sull'adozione della GenAI nella supply chain

Entrambe le organizzazioni hanno adottato un approccio graduale e sperimentale, avviando progetti pilota su ambiti ben delimitati. Questa modalità ha permesso di testare l'efficacia della tecnologia, valutarne i primi risultati e gestire in modo più controllato i rischi legati all'adozione. Tale approccio risulta coerente con il concetto di "trialability" della Diffusion of Innovation Theory, secondo cui l'adozione di un'innovazione è facilitata quando è possibile sperimentarne i benefici in modo concreto e progressivo.

Quando i vantaggi si sono dimostrati chiari e misurabili, come la riduzione dei costi, l'aumento dell'efficienza o il miglioramento della qualità delle comunicazioni, l'accettazione da parte degli utenti è stata rapida, così come il sostegno degli stakeholder. Ad esempio, nel primo caso è stata registrata una riduzione media del 5% sui costi d'acquisto e un incremento del 20% dell'efficienza operativa. Nel secondo caso, l'impiego della GenAI ha permesso di automatizzare un'attività di valutazione qualitativa che, fino a quel momento, risultava troppo complessa e onerosa da gestire manualmente su larga scala.

Dal punto di vista teorico, ciò conferma come la GenAI sia percepita non solo come compatibile con i sistemi esistenti, ma anche capace di generare un vantaggio relativo rispetto alle soluzioni precedenti. Si tratta dunque di un'innovazione la cui diffusione si avvantaggia della possibilità di osservare concretamente i risultati e di inserirsi progressivamente nei processi aziendali, senza generare rotture traumatiche né resistenze significative. È interessante notare, inoltre, come in entrambi i contesti la tecnologia sia stata integrata non solo sul piano tecnico, ma anche culturale: l'adozione è avvenuta in ambienti organizzativi favorevoli all'innovazione, sostenuti da una governance consapevole e da una leadership che ha promosso l'investimento in GenAI come parte integrante della strategia aziendale.

Dal punto di vista della Resource-Based View Theory, emergono elementi significativi che suggeriscono come la GenAI possa configurarsi come una risorsa dotata delle caratteristiche VRIN (valuable, rare, inimitable e non-substitutable) nel momento in cui viene integrata in modo specifico e contestualizzato nei processi aziendali. In entrambi i contesti, l'introduzione della GenAI ha portato a benefici concreti, non solo in termini di riduzione dei costi o aumento dell'efficienza, ma anche nel miglioramento della qualità delle decisioni, della tempestività operativa e della gestione delle informazioni. Tuttavia, il valore non si esaurisce nei risultati quantitativi, bensì si manifesta nella capacità della tecnologia di affrontare nodi critici della catena decisionale e comunicativa, offrendo soluzioni che sarebbero difficilmente realizzabili con strumenti convenzionali.

Questo valore si rafforza ulteriormente grazie al modo in cui la tecnologia è stata adottata. Sebbene la base algoritmica della GenAI sia, almeno in teoria, accessibile a molti attori di mercato, l'efficacia osservata nei due casi deriva da un processo di sviluppo e personalizzazione che ha richiesto una combinazione articolata di competenze tecniche, conoscenza operativa e visione strategica. La tecnologia è stata costruita attorno a bisogni concreti, ed è diventata parte integrante delle routine organizzative. Questa integrazione profonda ne determina la rarità, non perché lo strumento in sé sia esclusivo, ma perché è il risultato di un percorso di apprendimento interno, difficilmente replicabile da chi non condivide le stesse condizioni organizzative e lo stesso patrimonio di conoscenze.

Di conseguenza, la GenAI, così come è stata incorporata nei due casi analizzati, risulta anche difficilmente imitabile. Il vantaggio non deriva da una sofisticazione tecnica fine a sé stessa, ma dalla capacità dell'organizzazione di assorbirla nei propri flussi decisionali, nei processi di gestione della conoscenza e nelle competenze dei team. Non è sufficiente replicare l'infrastruttura tecnologica per ottenere i medesimi risultati, poiché il valore dipende dalla stratificazione di conoscenze tacite, adattamenti progressivi e allineamento con la cultura organizzativa.

Infine, questa specificità d'uso rende la tecnologia anche non facilmente sostituibile. Anche qualora esistano sul mercato soluzioni analoghe, esse non riuscirebbero a produrre lo stesso impatto se non inserite in un ecosistema operativo altrettanto coerente. La GenAI, in questi casi, non opera come una risorsa isolata, ma come parte di un sistema integrato di dati, competenze e pratiche, la cui coesione è fondamentale per il funzionamento complessivo. Per queste ragioni, è possibile concludere che la GenAI, quando appropriata e incorporata

nel tessuto operativo dell'impresa, non solo crea valore, ma lo protegge nel tempo, configurandosi come una capability distintiva e sostenibile.

La prospettiva della Bounded Rationality Theory risulta particolarmente utile per interpretare il contributo della GenAI alla qualità decisionale nei contesti analizzati. In entrambi i casi, la tecnologia ha svolto un ruolo di supporto cognitivo, aiutando i decisori a gestire situazioni caratterizzate da elevata complessità informativa e da vincoli di tempo e attenzione. Nel primo caso studio, l'intelligenza artificiale ha consentito di raccogliere, elaborare e sintetizzare informazioni eterogenee provenienti da fonti diverse, migliorando la precisione delle previsioni e la tempestività delle decisioni. Nel secondo caso, la GenAI ha reso possibile una valutazione automatica e coerente della qualità comunicativa, introducendo un controllo continuo e standardizzato che sarebbe stato impossibile da realizzare con sole risorse umane. In questo senso, l'intelligenza artificiale non sostituisce il processo decisionale umano, ma ne amplia le possibilità, riducendo l'effetto dei limiti cognitivi e migliorando la coerenza e l'efficacia delle scelte.

Infine, l'applicazione del SECI model consente di osservare come l'adozione della GenAI favorisca dinamiche virtuose nella gestione della conoscenza. In particolare, emerge un contributo significativo nella fase di esteriorizzazione, cioè nella trasformazione della conoscenza tacita in forme esplicite e formalizzabili. Questo è evidente, ad esempio, nei casi in cui la GenAI elabora previsioni o suggerisce riformulazioni di risposte, traducendo intuizioni individuali in output condivisibili. Anche la fase di combinazione risulta attivata, soprattutto laddove i risultati prodotti dall'AI vengono integrati con dati strutturati aziendali, come nel primo caso. Meno sviluppata, ma comunque presente, è la dimensione dell'internalizzazione, che si manifesta nella progressiva acquisizione di nuove competenze da parte degli utenti, derivanti dall'interazione con lo strumento. Anche in assenza di percorsi formativi formali, infatti, l'uso reiterato della GenAI sembra generare apprendimento operativo e miglioramento continuo.

In conclusione, i due casi analizzati confermano che la GenAI può rappresentare una risorsa chiave per l'evoluzione della supply chain, non solo per l'impatto operativo immediato, ma anche per la sua capacità di generare valore strategico, rafforzare le capacità distintive e abilitare nuovi modelli di gestione della conoscenza. A condizione che venga integrata in modo consapevole, protetta come asset critico e valorizzata attraverso un uso intelligente e contestualizzato, l'intelligenza artificiale generativa può configurarsi come una leva di

vantaggio competitivo durevole, contribuendo in modo sostanziale alla trasformazione digitale delle organizzazioni.

6.4.1 Gestione del rischio e capacità di resilienza

Nel contesto delle trasformazioni digitali che stanno interessando la gestione della supply chain, uno degli ambiti di maggiore rilevanza strategica riguarda la capacità delle imprese di affrontare i molteplici rischi che caratterizzano un ambiente globale altamente interconnesso, volatile e incerto. In parallelo, si afferma sempre più la necessità di costruire sistemi logistico-produttivi resilienti, ovvero capaci non solo di resistere agli shock, ma anche di adattarsi rapidamente e apprendere dalle perturbazioni per rafforzarsi nel tempo.

Attraverso l'analisi congiunta delle risposte fornite al questionario e dei due casi studio approfonditi, il presente capitolo intende evidenziare come, anche in assenza di una esplicita dichiarazione d'intenti, le imprese si dimostrino propense a utilizzare la GenAI in modo funzionale sia alla gestione del rischio sia al rafforzamento della resilienza.

Le interviste qualitative evidenziano, infatti, come numerose applicazioni della GenAI, sebbene non definite formalmente come strumenti di gestione del rischio, siano di fatto orientate alla riduzione dell'incertezza e all'incremento della resilienza operativa. Nel primo caso analizzato, ad esempio, la tecnologia è stata impiegata per la previsione dei prezzi di acquisto delle materie prime, con l'obiettivo di ottimizzare le decisioni di sourcing. In un mercato segnato da forte volatilità e spinte inflazionistiche, la possibilità di anticipare l'andamento dei prezzi rappresenta un vantaggio competitivo rilevante, oltre che una forma concreta di protezione dai rischi legati alla variabilità dei costi di input.

Nel secondo caso analizzato, la GenAI è stata utilizzata inizialmente per migliorare la qualità delle risposte fornite ai ticket del servizio di help desk. Anche se l'obiettivo principale non era direttamente legato alla gestione del rischio, l'adozione di questa tecnologia ha portato a risultati rilevanti, soprattutto nella riduzione delle inefficienze operative e nella prevenzione di rischi legati alla reputazione aziendale. In particolare, l'automazione della valutazione delle risposte e la possibilità di fornire suggerimenti agli operatori hanno permesso di rendere la comunicazione più coerente e professionale, migliorando l'esperienza dei clienti e contribuendo a rafforzare l'immagine dell'azienda.

Un'evoluzione rilevante di questo approccio è rappresentata dall'applicazione della GenAI alla Root Cause Analysis (RCA), metodologia finalizzata all'identificazione delle cause profonde di eventi critici. In questo contesto, la GenAI viene impiegata per analizzare grandi volumi di dati eterogenei come log di sistema, report tecnici e scambi comunicativi, al fine di rilevare pattern ricorrenti e nessi causali tra eventi. La possibilità di ottenere insight diagnostici in tempi rapidi consente alle organizzazioni di intervenire in modo tempestivo, prevenendo la ricorrenza di anomalie e rafforzando la stabilità complessiva dei processi.

Come sottolineato dall'intervistato, la RCA supportata dalla GenAI non solo migliora la reattività operativa, ma contribuisce anche alla diffusione di una cultura organizzativa orientata alla prevenzione, elemento cruciale per una gestione efficace dei rischi operativi e ambientali. Pur riconoscendo la difficoltà di quantificare i benefici nel breve periodo, è stato evidenziato l'elevato valore potenziale di questa applicazione in termini di affidabilità, continuità operativa e apprendimento organizzativo.

Le evidenze quantitative raccolte tramite il questionario confermano e rafforzano le indicazioni emerse dalle interviste. Numerosi rispondenti hanno espresso un chiaro interesse per funzionalità che, di fatto, risultano orientate alla gestione del rischio, anche se non sempre esplicitamente identificate come tali. In particolare, la voce "Gestione dei rischi", riferita all'utilizzo della GenAI per il monitoraggio in tempo reale di eventi critici e la definizione di piani alternativi, ha ottenuto una valutazione media di 4,00 su 5, a testimonianza della crescente rilevanza attribuita a questa dimensione.

Tuttavia, un'analisi incrociata di altre aree applicative rivela come molte delle funzionalità ritenute più promettenti siano anch'esse strettamente connesse alla mitigazione del rischio. In ambito logistico, ad esempio, spiccano la manutenzione predittiva delle attrezzature (media: 4,13), e la simulazione di scenari operativi (media: 3,93), strumenti che contribuiscono rispettivamente alla prevenzione dei guasti, alla riduzione degli errori umani e alla valutazione preventiva degli impatti di modifiche operative. Anche l'ottimizzazione dei percorsi di consegna (media: 3,80) si rivela utile per aumentare affidabilità e puntualità, riducendo i rischi di interruzioni o disservizi.

Nel settore produttivo, la simulazione dei processi (media: 3,73) evidenzia l'interesse per soluzioni che permettano di testare cambiamenti in ambienti virtuali, minimizzando il rischio di inefficienze o blocchi operativi. Per quanto riguarda il rapporto con i fornitori, le valutazioni risultano mediamente più contenute: la simulazione di scenari con fornitori

multipli ottiene una media di 3,27, segnalando una crescente, seppur non ancora pienamente sviluppata, consapevolezza del ruolo strategico della funzione nel contenimento dei rischi legati alla dipendenza contrattuale.

Nell'ambito delle relazioni con i clienti, l'analisi di feedback e reclami (media: 3,67) suggeriscono una percezione diffusa della GenAI come strumento utile per intercettare tempestivamente segnali di disfunzioni operative o criticità reputazionali. Particolarmente rilevante anche il dato riferito all'analisi della concorrenza e dei trend emergenti (media: 4,07), che consente una lettura strategica del contesto competitivo e aiuta le imprese ad anticipare minacce esterne.

Nel loro insieme, questi dati confermano che le organizzazioni non percepiscono la GenAI unicamente come uno strumento di automazione, ma sempre più come una leva abilitante per rafforzare la resilienza organizzativa.

Domanda		Valutazione media
Q2	Manutenzione predittiva delle attrezzature	4,13
Q11	Analisi della concorrenza e trend emergenti	4,07
Q12	Gestione dei rischi	4,00
Q1	Simulazione di scenari operativi	3,93
Q3	Ottimizzazione dei percorsi di consegna	3,80
Q5	Simulazione dei processi produttivi	3,73
Q10	Analisi di feedback e reclami	3,67
Q8	Test di scenari con fornitori multipli	3,27

Tabella 14: Media delle valutazioni AI per rischio e resilienza

6.4.2 Sostenibilità nel contesto analizzato

Nel contesto della crescente attenzione globale verso pratiche industriali più responsabili, la sostenibilità ambientale, economica e sociale assume un ruolo centrale anche nell'ambito della gestione della supply chain. Sebbene il questionario somministrato non includesse una sezione specificamente dedicata alla sostenibilità, l'analisi delle valutazioni fornite dagli intervistati evidenzia come molte delle applicazioni più apprezzate della GenAI siano strettamente connesse a impatti positivi in termini ambientali, energetici e organizzativi.

Tra le applicazioni considerate più rilevanti in chiave sostenibile emergono con particolare evidenza l'automazione della gestione documentale, con una valutazione media pari a 4,53, e la manutenzione predittiva delle attrezzature, valutata 4,13. La prima permette una sostanziale dematerializzazione dei processi amministrativi, favorendo una drastica riduzione dell'uso della carta e dei consumi energetici associati alla gestione fisica dei documenti. La seconda contribuisce all'efficienza operativa dei macchinari industriali, riducendo sprechi energetici e intervenendo preventivamente per evitare guasti, con l'effetto di prolungare la vita utile degli impianti e diminuire l'impatto ambientale legato a sostituzioni premature o malfunzionamenti.

A queste si affianca l'ottimizzazione dei percorsi di consegna, che con una media di 3,80 segnala comunque una rilevante attenzione verso pratiche di logistica più sostenibili. Questa funzionalità consente, infatti, di pianificare tragitti più efficienti sulla base di dati in tempo reale, riducendo così le emissioni di CO2 legate ai trasporti e favorendo un utilizzo più razionale dei mezzi.

Anche la simulazione di scenari operativi e dei processi produttivi, rispettivamente con valutazioni medie di 3,93 e 3,73, evidenziano un impatto significativo sulla riduzione degli sprechi. Entrambe le applicazioni permettono di sperimentare soluzioni alternative e ottimizzazioni prima della loro implementazione concreta, limitando così l'utilizzo non necessario di materiali e risorse energetiche e migliorando la flessibilità della filiera.

Ciò indica l'esistenza di una crescente sensibilità implicita nei confronti delle dimensioni green della trasformazione digitale, specialmente in quelle organizzazioni già orientate a logiche di responsabilità e innovazione.

Domanda		Valutazione media
Q4	Automazione della gestione documentale	4,53
Q2	Manutenzione predittiva delle attrezzature	4,13
Q1	Simulazione di scenari operativi	3,93
Q3	Ottimizzazione dei percorsi di consegna	3,80
Q5	Simulazione dei processi produttivi	3,73

Tabella 15: Media delle valutazioni AI in ambito sostenibilità

Capitolo 7

7. Conclusioni

Questo lavoro ha indagato il ruolo dell'Intelligenza Artificiale Generativa nella supply chain, con l'obiettivo di comprenderne le applicazioni attuali, le percezioni delle imprese e il potenziale strategico nei processi decisionali e operativi. Piuttosto che limitarsi a teorie astratte o scenari futuristici, la ricerca si è focalizzata su casi reali e pratiche emergenti, con l'aspettativa che possa essere uno strumento utile alle imprese e possa offrire un contributo concreto alla letteratura accademica. Sono state approfondite le applicazioni pratiche della GenAI in ambito logistico e produttivo, evidenziando al contempo le principali sfide operative e organizzative che accompagnano il suo impiego.

Grazie all'approccio metodologico misto è stato possibile analizzare non solo il livello di diffusione della tecnologia, ma anche le modalità attraverso cui le imprese ne stanno valutando la rilevanza strategica. I risultati offrono spunti preziosi e interessanti, aprendo la strada a ulteriori ricerche in diversi contesti settoriali e geografici, sia per le aziende, che possono iniziare a orientarsi in modo più consapevole rispetto alle opportunità offerte dalla GenAI, sia per le ricerche accademiche di settore.

Per i decision-maker, i risultati offrono una guida concreta: aiutano a riconoscere le potenzialità operative della GenAI, a individuare le competenze necessarie e a valutare l'impatto strategico dell'adozione in termini di efficienza, rapidità e qualità.

Alla luce dei risultati emersi, è possibile dare una risposta articolata alla domanda centrale della ricerca: la GenAI presenta un elevato potenziale trasformativo, ma il suo impatto reale resta oggi circoscritto a contesti in cui esistono le condizioni organizzative, tecnologiche e culturali per valorizzarla pienamente.

L'introduzione dell'Intelligenza Artificiale Generativa nella gestione della supply chain segna, in questa prospettiva, una tappa cruciale nel processo di evoluzione delle pratiche industriali e logistiche. Le capacità predittive e decisionali dinamiche offerte dalla GenAI consentono alle aziende non solo di migliorare l'efficienza, ma anche di affrontare le crisi in modo proattivo e di cogliere nuove opportunità in tempi rapidi.

Questo connubio tra supply chain management e GenAI apre quindi un percorso evolutivo che coniuga produttività, flessibilità e creatività. Tuttavia, il pieno sfruttamento di queste potenzialità richiede una consapevolezza critica: la valorizzazione dell'innovazione tecnologica implica un equilibrio tra sperimentazione e governance, tra entusiasmo e cautela, tra progresso e responsabilità.

I risultati emersi consentono di delineare quattro direttrici chiave, che sintetizzano il valore attuale e prospettico della GenAI nella supply chain.

1. Una tecnologia promettente, ma ancora in fase di assestamento

Dai dati raccolti emerge un quadro sfaccettato. Da un lato, la GenAI è percepita dai professionisti della supply chain come una tecnologia dotata di elevato potenziale trasformativo, in particolare nelle aree legate all'automazione delle attività ripetitive, alla gestione documentale, alla manutenzione predittiva e al supporto alla formazione interna. Tuttavia, l'impiego effettivo della tecnologia risulta ancora circoscritto a progetti pilota o iniziative sperimentali, spesso limitati a specifici ambiti operativi, con una piena integrazione nei sistemi legacy ancora rara.

Questa distanza tra entusiasmo percepito e adozione concreta è riconducibile a quanto descritto dalla Diffusion of Innovation Theory: la GenAI si colloca in una fase intermedia del ciclo di adozione, dove la sperimentazione è diffusa, ma l'implementazione su scala incontra ostacoli culturali, infrastrutturali e cognitivi. La possibilità di testare soluzioni in ambienti controllati (trialability), tuttavia, rappresenta un fattore abilitante, capace di alimentare un'apertura crescente all'innovazione e di ridurre la distanza tra sperimentazione e sistema.

2. GenAI come risorsa strategica e capability distintiva

L'analisi dei casi studio ha evidenziato che il valore generato dalla GenAI non risiede esclusivamente nella sua dimensione tecnologica, ma soprattutto nella sua integrazione contestuale nei processi organizzativi. Quando adottata in modo mirato e supportata da competenze interne, la GenAI può assumere le caratteristiche di una risorsa VRIN, secondo la prospettiva della Resource-Based View: è preziosa, difficile da imitare, specifica al contesto aziendale e non facilmente sostituibile.

In entrambi i casi osservati, l'AI generativa ha consentito di migliorare la qualità decisionale e operativa, non attraverso un rimpiazzo dell'intelligenza umana, ma come strumento di

supporto cognitivo, in grado di potenziare la capacità di elaborazione, sintesi e reazione dei team coinvolti. Ciò conferma il valore della GenAI come risposta ai limiti della razionalità descritti da Herbert Simon, rafforzando l'idea di una sinergia tra uomo e macchina orientata all'efficienza e alla resilienza.

3. Una leva per la resilienza e la gestione del rischio

Un ulteriore elemento emerso trasversalmente è il contributo della GenAI alla gestione dell'incertezza. Senza essere esplicitamente progettate a tale scopo, molte applicazioni si configurano di fatto come strumenti per rafforzare la resilienza operativa, anticipare rischi (es. volatilità dei prezzi), migliorare la reattività e garantire una continuità dei servizi anche in contesti instabili. Questo potenziale andrebbe ulteriormente esplorato in futuro, estendendo l'analisi ad ambiti quali la gestione delle crisi, il procurement strategico e la sicurezza delle informazioni.

4. Conoscenza organizzativa e trasformazione culturale

Infine, alla luce del SECI Model, è possibile interpretare l'introduzione della GenAI anche come un acceleratore nei processi di creazione e condivisione della conoscenza. La tecnologia abilita nuove modalità di esternalizzazione delle intuizioni individuali, favorisce la combinazione di fonti eterogenee (dati strutturati e insight generati) e sostiene l'apprendimento operativo continuo.

Capitolo 8

8. Limiti e Prospettive Future

Sebbene i risultati raccolti siano coerenti con le ipotesi teoriche e abbiano offerto riscontri significativi, è necessario riconoscere alcuni limiti che circoscrivono l'attuale portata della ricerca. Una lettura critica dei dati emersi dal questionario e dalle interviste richiede infatti attenzione ai diversi fattori che possono averne influenzato l'esito, a partire dalla composizione del campione e dal contesto esperienziale dei rispondenti.

Il numero contenuto di partecipanti e la predominanza di figure professionali già attivamente impegnate in ambiti digitalizzati della supply chain limitano la possibilità di estendere i risultati a un quadro più ampio e rappresentativo. Inoltre, la prevalenza di aziende digitalmente mature potrebbe aver introdotto un bias di selezione, escludendo realtà meno strutturate ma altrettanto rilevanti per comprendere le difficoltà iniziali nell'adozione della GenAI. È plausibile ritenere che, in contesti meno innovativi o meno inclini al cambiamento, le percezioni emerse sarebbero state più caute.

Anche il ruolo professionale e il grado di coinvolgimento operativo degli intervistati hanno avuto un peso significativo. Le risposte provenienti da figure direttamente coinvolte nella progettazione o nella gestione delle soluzioni GenAI, sono risultate più approfondite, tecnicamente dettagliate e orientate all'analisi dei processi. Al contrario, gli intervistati con profili manageriali hanno offerto una prospettiva maggiormente strategica, ponendo l'accento sulle implicazioni organizzative, sui potenziali benefici economici e sulle opportunità di scalabilità.

Un altro fattore da considerare riguarda il grado di maturità dei progetti analizzati nei casi studio. In un'azienda, la soluzione GenAI era ancora in fase pilota, implementata in modalità stand-alone e non integrata nei sistemi ERP, generando valutazioni più caute e focalizzate su benefici localizzati. Al contrario, nel secondo caso, relativo a un sistema di supporto help desk pienamente operativo, l'integrazione nei processi aziendali ha prodotto risultati concreti in termini di efficienza e qualità del servizio. Questa differenza si riflette nella maggiore articolazione e sicurezza delle risposte raccolte.

Dal punto di vista metodologico, l'impiego di domande a risposta chiusa su scala Likert nel questionario ha consentito di cogliere tendenze generali, ma ha anche esposto le risposte a possibili effetti di distorsione. Alcuni partecipanti, in assenza di un'esperienza diretta con la

GenAI, potrebbero aver risposto sulla base di aspettative astratte più che di valutazioni fondate. Non si può escludere inoltre un effetto di "contagio valutativo", per cui la soddisfazione legata a un'applicazione conosciuta, come i chatbot, abbia influenzato positivamente anche la percezione di soluzioni meno familiari.

Oltre ai limiti legati al campione e agli strumenti di rilevazione, occorre considerare l'impostazione esplorativa dell'indagine. L'analisi si è concentrata su esperienze iniziali e casi d'uso parziali, fornendo una fotografia in divenire più che una valutazione consolidata. A questo si aggiunge la rapidità dell'evoluzione tecnologica: molte delle soluzioni oggi considerate avanzate potrebbero essere superate in tempi brevi, rendendo necessaria una continua revisione dei modelli interpretativi e degli strumenti di analisi.

Tuttavia, proprio da questi limiti emergono interessanti **prospettive di sviluppo**. Una prima direzione utile sarà quella di **seguire l'evoluzione dei progetti GenAI nel tempo**, per capire se e come le soluzioni adottate vengano consolidate, adattate, estese o abbandonate. Parallelamente, sarà utile estendere l'analisi a contesti aziendali più eterogenei, incluse PMI o settori meno digitalizzati, per comprendere le diverse condizioni che facilitano o ostacolano l'adozione della tecnologia.

Un'altra prospettiva cruciale riguarda le persone. **Chi accompagna davvero il cambiamento?** Che ruolo giocano i team interfunzionali, i manager visionari, gli esperti di dati? È necessaria una riflessione più ampia sul tema delle competenze ibride e sul modo in cui l'intelligenza artificiale ridefinisce il lavoro, le responsabilità e le relazioni nei processi decisionali.

Molti degli ambiti applicativi più promettenti restano ancora ai margini dell'adozione effettiva. Il procurement strategico, la root cause analysis, la gestione predittiva delle crisi, l'ottimizzazione sostenibile dei flussi logistici o la collaborazione automatizzata con fornitori sono solo alcune delle aree in cui la GenAI potrebbe generare impatti tangibili.

Infine, non si può affrontare il tema della GenAI senza considerare seriamente le implicazioni legate alla **governance tecnologica**. Più le soluzioni diventano sofisticate e integrate nei processi decisionali, più diventa urgente interrogarsi su responsabilità, trasparenza e controllo. Quali sono i confini tra innovazione e rischio? Le risposte non possono venire solo dalla tecnologia: dovranno coinvolgere policy aziendali, codici di condotta, ruoli professionali e cultura organizzativa.

In definitiva, i risultati di questa ricerca mostrano che l'adozione della GenAI non segue un percorso lineare né automatico: richiede contesti preparati, leadership consapevole e strutture organizzative capaci di evolvere. **Il vero valore non risiede nell'algoritmo, ma nell'ecosistema umano, tecnico e culturale che ne guida l'utilizzo.**

La GenAI nella supply chain non è più una possibilità remota, ma una realtà in movimento. Una tecnologia che va capita, guidata, testata e soprattutto resa sostenibile. Le imprese, i ricercatori e i professionisti che sceglieranno di proseguire su questa strada avranno il compito non solo di adottarla, ma di interpretarla: costruendo visioni, regole e modelli in grado di trasformare il suo potenziale in valore concreto e duraturo.

9. Bibliografia

- [1] McKinsey & Company, «The state of AI in 2024: Gen AI adoption spikes and starts to generate value,» 2024.
- [2] J. Mentzer, W. DeWitt, J. Keebler e S. Min, Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 2001.
- [3] T. Choi, K. Dooley e M. Rungtusanatham, Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence. *Journal of Operations Management*, 2001.
- [4] P. Larson e A. Halldorsson, Logistics versus supply chain management: An international survey. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 2004.
- [5] D. Lambert, M. Cooper e J. Pagh, Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities. *The International Journal of Logistics Management*, 1998.
- [6] A. Frank, L. Dalenogare e N. Ayala, Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 2019.
- [7] S. Wamba, A. Gunasekaran, S. Akter, S. Dubey e S. Childe, Big data analytics and firm performance: Effects of dynamic capabilities. *Journal of Business Research*, 2017.
- [8] W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjes e W. Sihn, Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification, 2018.
- [9] «What is supply chain?,» *McKinsey & Company*, 2022.
- [10] IBM Institute for Business Value, «Meet the 2020 consumers driving change: Why brands must deliver on omnipresence, agility, and sustainability,» 2020.
- [11] World Economic Forum, *Supply Chain Decarbonization: The Role of Logistics and Transport in Reducing Supply Chain Carbon Emissions*, 2009.
- [12] K. Alicke e D. Luchtenberg, «Supply-chain resilience: Is there a holy grail? McKinsey & Company.,» 2021.
- [13] M. Chowdhury, M. Quaddus e R. Agarwal, «Supply chain resilience: A review, definition and conceptual framework for future research,» 2024.
- [14] M. Morgan e M. Henrion, «Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis. Cambridge University Press,» 1990.
- [15] S. Rao e T. Goldsby, «Supply chain risks: a review and typology,» *International of Journal of Logistics Management*, 2009.

- [16] B. Fazleena, M. Shuaib, K. Wijekoon, A. Brown, W. Faulkner, J. Amundson, I. Jawahir e T. Goldsby, «Quantitative modeling and analysis of supply chain risks using Bayesian theory,» *Journal of Manufacturing Technology Manage.*
- [17] Z. Zhou, «Machine learning. Springer Nature.,» 2021.
- [18] Y. LeCun, Y. Bengio e G. Hinton, «Deep learning. Nature,» 2015.
- [19] Red Hat, «What is generative AI?,» 2020.
- [20] H. Mayer, L. Yee, M. Chui e R. Roberts, «Superagency in the workplace: Empowering people to unlock AI's full potential at work. McKinsey & Company,» 2025.
- [21] Mecalux, «Simulazione di scenari operativi nel magazzino,» 2021.
- [22] G. Sisinna, «Come l'AI trasforma il warehouse management system,» 2024.
- [23] T. Saheb e H. Ismail, «AI-based Route Optimization in Smart Supply Chains. Journal of Artificial Intelligence Research,» 2022.
- [24] M. Kalasani, «Applications of Generative AI in Transportation and Logistics Optimization,» . *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 2023.
- [25] J. Richey, T. Morgan e K. Lindsey-Hall, «Generative AI for Logistics Managers: Enhancing Transparency and Decision Quality,» 2023.
- [26] R. Loconte, «LLM e automazione documentale nella logistica e supply chain: come l'IA generativa migliora l'efficienza operativa,» *Lexter*, 2023.
- [27] A. Downie e T. Finn, «What is AI in supply chain?,» *IBM Think*, 2024.
- [28] T. Saheb e H. Ismail, «AI-based Route Optimization in Smart Supply Chains,» 2022.
- [29] M. Kalasani, «Applications of Generative AI in Transportation and Logistics Optimization.,» *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 2023.
- [30] T. Zhang, A. Kumar e H. Lee, «Conversational AI for supplier relationship management: An empirical perspective. Computers in Industry, 149, 103796.,» 2023.
- [31] R. Raj e Y. Dwivedi, «Smart contracts and AI in procurement: Emerging applications in supply management.,» *International Journal of Information Management*, 2023.
- [32] Y. Chen, H. Zhang e X. Wang, «Supply chain resilience through AI-driven supplier diversification strategies,» *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 2022.
- [33] M. Finio e A. Downie, «AI-powered customer service: Unlocking smarter client interactions,» *BM Think/AI in customer service*, 2025.

- [34] S. Bhatnagar, R. Singh e A. Varma, «Generative AI for enhancing customer support operations: A text-based analysis approach,» 2023.
- [35] S. Chatterjee, N. Rana, A. Sharma e Dwivedi, «Leveraging Generative AI for Strategic Competitive Intelligence. *Journal of Strategic Marketing,*» 2023.
- [36] S. Kumar e A. Upadhyay, «AI-enabled risk monitoring in global supply chains: A real-time approach,» *International Journal of Production Research,* 2022.
- [37] Y. Li, W. Song e J. Wu, «AI-powered knowledge assistants for enterprise support: Enhancing internal communication and onboarding,» *Computers in Human Behavior Reports,* 2023.
- [38] M. Winkenbach, M. Ketzenberg, X. Wang e C. Wood, «Artificial Intelligence in Logistics and Supply Chain Management: A Primer and Roadmap for Research,» 2022.
- [39] A. Haddud, «ChatGPT in supply chains: Exploring potential applications, benefits and challenges,» *Journal of Manufacturing Technology Management,* 2024.
- [40] J. Bethlehem, «Applied survey methods: A statistical perspective,» *John Wiley & Sons,* 2009.
- [41] P. Podsakoff, S. MacKenzie, J. Lee e N. Podsakoff, «Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies,» *Journal of Applied Psychology,* 2003.
- [42] J. García-Avilés, «Diffusion of Innovation,» 2020.
- [43] P. Madhani, «Resource Based View (RBV) of Competitive Advantage: An Overview,» *Icfai University Press,* 2009.
- [44] H. Simon, «Rationality in Psychology and Economics,» *R. M. Hogarth,* 1987.
- [45] Wickes, Martin e et al, «A perspective of NONAKA'S SECI MODEL from programme management: combining management information, performance measurement and information design,» *4th Conference on Organisational Knowledge, Learning and Capabilities (OKLC).*
- [46] R. Yin, «Case Study Research: Design and Methods (3rd ed.),» 2003.

