

Università Ca' Foscari Venezia

Dipartimento di Management

Corso di Laurea Magistrale in
Economia e gestione delle aziende



Tesi di Laurea

Il problema del positioning lungo la supply chain

Un approccio analitico alle sfide della catena di fornitura globale

Relatore

Prof. Marco Tolotti

Laureando

Luca Feltrin

Matricola

867168

Anno Accademico

2023 / 2024

Sommario

INTRODUZIONE.....	5
CAPITOLO 1:.....	8
1.1 INTRODUZIONE.....	8
1.2 ANALISI A LIVELLO MACROECONOMICO.....	8
1.3 ANALISI A LIVELLO AZIENDALE.....	16
CAPITOLO 2.....	27
2.1 ANALISI BIBLIOGRAFICA.....	27
2.2 RISULTATI OTTENUTI.....	30
CAPITOLO 3.....	33
3.1 INTRODUZIONE.....	33
3.2 MAKE TO ORDER E MAKE TO STOCK.....	34
3.3 UN PROBLEMA DI MINIZZAZIONE DI COSTI CON VINCOLI.....	40
3.3.1 MODELLIZZAZIONE MATEMATICA.....	40
3.4 ANALISI E RISULTATI.....	42
3.4.1 ESEMPIO NUMERICO.....	42
3.4.2 PARAMETRI DEL MODELLO.....	43
3.4.3 DESCRIZIONE DEGLI SCENARI.....	43
CAPITOLO 4.....	49
4.1 INTRODUZIONE AL MODELLO.....	49
4.2 LA FUNZIONE OBIETTIVO.....	53
4.3 LA BILL OF MATERIAL.....	54
4.3 RIPRODUZIONE DEL MODELLO.....	59
4.4 RIPRODUZIONE DEI 4 SCENARI.....	64
4.4.1 STRATEGIA 1.....	67
4.4.2 STRATEGIA 2.....	72
4.4.3 STRATEGIA 3.....	76
4.4.4 STRATEGIA 4.....	81
CONCLUSIONE.....	87
SITOGRAFIA.....	89
BIBLIOGRAFIA.....	89

INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni, la gestione della supply chain ha assunto un ruolo sempre più centrale nella strategia aziendale. L'integrazione globale dei mercati, la digitalizzazione dei processi produttivi e la crescente domanda di personalizzazione dei prodotti hanno trasformato radicalmente il modo in cui le imprese gestiscono le proprie catene di approvvigionamento. Parallelamente, le sfide emerse a seguito di eventi globali come la pandemia di COVID-19, le tensioni geopolitiche, e i cambiamenti climatici hanno evidenziato la fragilità di molte catene di fornitura, rendendo necessario un ripensamento delle strategie tradizionali.

Il concetto di posizionamento strategico dei punti di disaccoppiamento (Decoupling Points, DP) nella supply chain rappresenta una risposta efficace a queste nuove esigenze. I DP sono nodi cruciali che definiscono il confine tra la produzione basata su previsioni (Make to Stock, MTS) e quella su ordinazione (Make to Order, MTO), e la loro collocazione ottimale permette di bilanciare efficienza, costi e tempi di risposta alle variazioni della domanda. La gestione di questi punti risulta fondamentale per rispondere alle fluttuazioni del mercato e per mantenere alta la competitività, soprattutto in contesti caratterizzati da elevata variabilità della domanda e da pressioni per ridurre i tempi di consegna.

L'obiettivo di questa tesi è duplice: da un lato, si intende fornire un'analisi dettagliata delle strategie di posizionamento dei DP all'interno della supply chain; dall'altro, si mira a sviluppare un modello quantitativo che permetta di ottimizzare il loro posizionamento, tenendo conto di parametri quali i costi di produzione, i costi di inventario e i tempi di consegna. Attraverso l'analisi della letteratura esistente e l'applicazione di metodologie matematiche, si cercherà di individuare le condizioni in cui le strategie MTS, MTO e ibride risultano più efficaci.

Il contesto di riferimento è quello delle moderne reti di fornitura, sempre più complesse e interconnesse, che richiedono una pianificazione dinamica e flessibile. In particolare, verranno esaminati scenari diversi con variazioni nei tempi di consegna e nella domanda dei clienti, al fine di proporre soluzioni che possano essere applicabili a

settori differenti, dall'elettronica di consumo alla moda, passando per l'industria manifatturiera. I risultati di questa analisi forniranno strumenti pratici per migliorare l'efficienza operativa e ridurre i rischi legati alla variabilità della domanda.

La tesi è strutturata in quattro capitoli. Nel primo capitolo viene introdotto il problema del posizionamento lungo la supply chain, con un'analisi macroeconomica e aziendale che fornisce un quadro teorico e contestuale. Il secondo capitolo è dedicato all'analisi della letteratura esistente, esaminando le principali teorie e studi sul posizionamento dei punti di disaccoppiamento (Decoupling Points, DP) e identificando le lacune nella ricerca. Nel terzo capitolo, viene sviluppato un modello quantitativo per ottimizzare il posizionamento dei DP, bilanciando costi di produzione, inventario e tempi di consegna. Infine, il quarto capitolo applica il modello a scenari concreti, analizzando i risultati ottenuti e proponendo soluzioni per migliorare l'efficienza della supply chain in contesti reali.

CAPITOLO 1:

1.1 INTRODUZIONE

Questo capitolo iniziale si propone di contestualizzare e fornire i fondamenti teorici necessari per comprendere appieno l'importanza e l'impatto del posizionamento all'interno della catena di approvvigionamento.

L'analisi del problema della supply chain richiede una comprensione approfondita delle dinamiche globali che influenzano il panorama aziendale, così come una focalizzazione sulle sfide e le opportunità specifiche che le imprese devono affrontare nella gestione quotidiana delle proprie catene di approvvigionamento. Solo attraverso un approccio integrato e strategico è possibile sviluppare soluzioni efficaci per migliorare l'efficienza e la competitività delle supply chain sia a livello globale che a livello aziendale.

1.2 ANALISI A LIVELLO MACROECONOMICO

Nell'ambito dell'odierno panorama aziendale caratterizzato da una crescente complessità e competizione, il posizionamento nella supply chain emerge come un elemento cruciale per il successo e la sopravvivenza delle aziende.

Il rapporto sul Global Risks Report 2024 appena rilasciato dal World Economic Forum¹ descrive una situazione preoccupante e caratterizzata da crescente incertezza, evidenziando la frammentazione geopolitica e le sfide nella cooperazione internazionale. Le conseguenze della pandemia del COVID-19 e l'inizio della guerra tra Ucraina e Russia hanno messo in evidenza le crepe della società odierna e queste ultime sono state messe a dura prova da episodi sconvolgenti. Eppure, il sistema globale si è dimostrato sorprendentemente resistente. La recessione, ampiamente prevista l'anno

¹ World Economic Forum Global Risks Perception Survey (2023-2024)

scorso, non si è concretizzata e le turbolenze finanziarie sono state repentinamente attenuate, ma le prospettive rimangono incerte. I conflitti violenti e politici, dal Niger e Sudan a Gaza e Israele hanno catturato l'attenzione e l'apprensione delle popolazioni di tutto il mondo. Questi sviluppi, per il momento, non hanno ancora portato a conflitti più ampi, né hanno creato conseguenze destabilizzanti a livello globale come quelle osservate allo scoppio iniziale della guerra in Ucraina o all'emergenza COVID-19, ma le loro prospettive a lungo termine potrebbero portare ulteriori shock.

All'inizio del 2024, i risultati del Global Risks Perception Survey 2023-2024 evidenziano una prospettiva prevalentemente negativa per il mondo a breve termine, con un peggioramento previsto per il lungo periodo.

In un sondaggio, condotto a settembre del 2023, la maggioranza degli intervistati (54%) prevede una certa instabilità e un rischio moderato di catastrofi globali, mentre un altro 27% si aspetta maggiori turbolenze e il 3% si aspetta una maggiore turbolenza globale. Solo il 16% si aspetta una prospettiva globale stabile per i prossimi 2 anni. Le prospettive peggiorano su orizzonte temporale di 10 anni, con il 63% degli intervistati che si aspetta una prospettiva turbolenta e meno del 10% si aspetta una situazione calma e stabile.

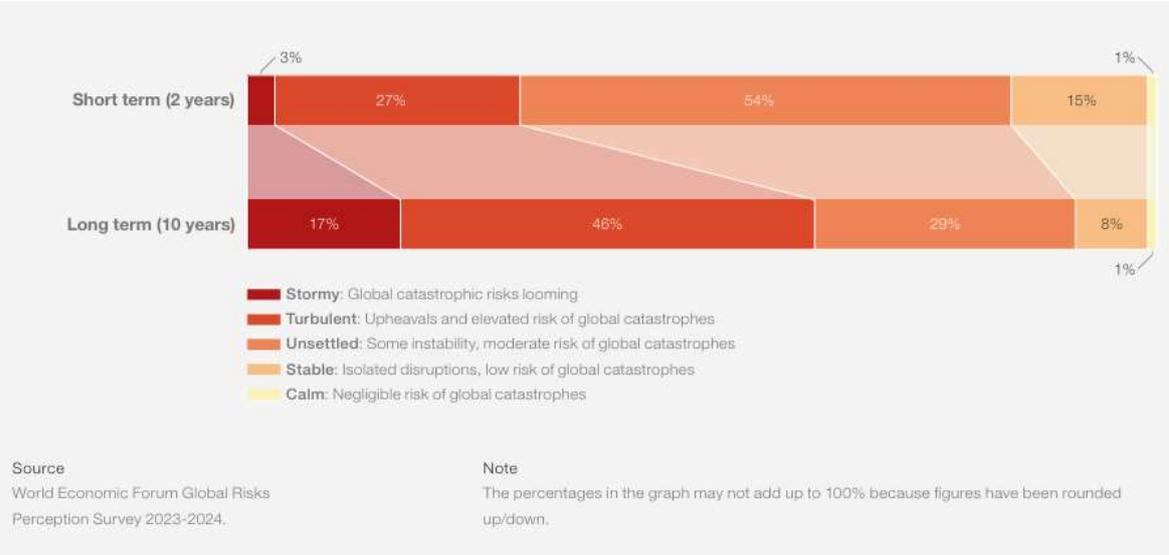


Figura 1.1 - WEF Global risks perception survey 2023/2024

Nello stesso sondaggio, è stato chiesto di selezionare fino a 5 rischi che, secondo loro, potrebbero presentare una crisi materiale su scala globale nel 2024. I risultati sono visibili nella figura 1.2.

Dopo l'estate più calda mai registrata nella storia dell'emisfero settentrionale nel 2023, il 66% degli intervistati hanno selezionato "condizioni meteorologiche estreme" come il rischio principale affrontato nel 2024.

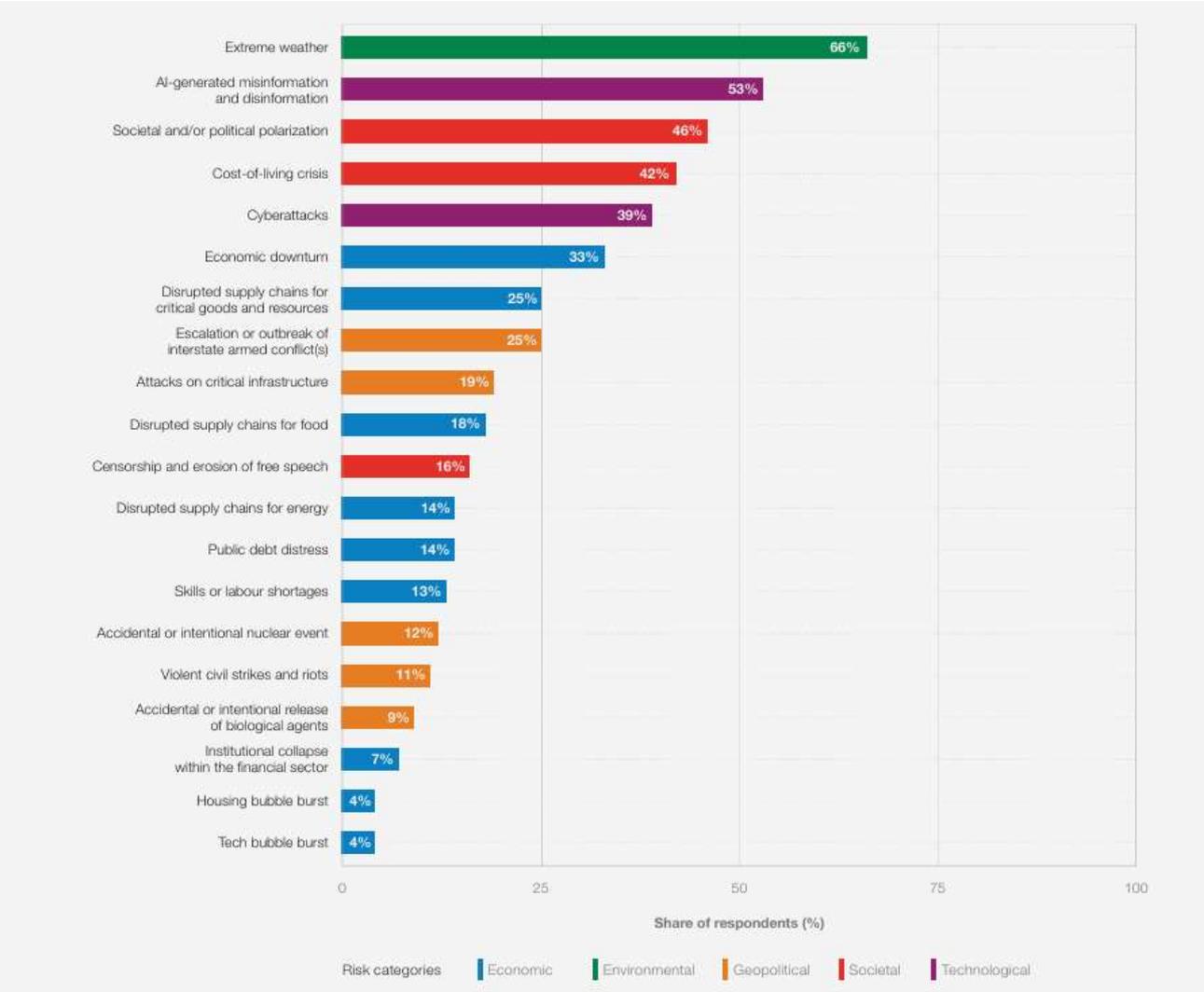


Figura 1.2 - WEF Global risks perception survey 2023/2024

Fra i principali rischi identificati nelle cinque categorie: Economia, Ambiente, Geopolitica, Società, Tecnologia, ci concentreremo su quelli che hanno un impatto significativo sulla gestione della catena di approvvigionamento, delineando strategie per affrontarli.

Per i prossimi due anni troviamo, fra altri:

- Eventi climatici estremi
- Mancanza di Sicurezza informatica
- Conflitti armati tra Stati
- Inflazione
- Recessione economica
- Con un orizzonte temporale di 10 anni, invece, oltre ai già citati
- Eventi climatici estremi
- Mancanza di Sicurezza informatica
- Si aggiungono, fra altri:
- Carenza di risorse naturali
- Disinformazione
- È del tutto evidente che questi fattori di rischio hanno impatto rilevante su:
- costi e reperibilità delle materie prime
- prezzi, disponibilità e tempestività delle forniture
- evoluzione ed affidabilità della base fornitori
- costi, tempi e sicurezza dei flussi logistici
- affidabilità di informazioni e comunicazioni nel network di fornitura

Più nel dettaglio:

- Gli eventi climatici estremi possono interrompere le vie di trasporto e danneggiare le infrastrutture logistiche, riducendo la disponibilità e aumentando i costi delle materie prime, inoltre possono causare ritardi nelle forniture e aumentare i tempi logistici.

- La mancanza di sicurezza informatica può compromettere i sistemi di gestione della supply chain, causando la perdita delle informazioni e dei dati e interrompere le operazioni. Questo può avere un'influenza negativa sulla reperibilità delle materie prime e la tempestività delle forniture, nonché l'affidabilità delle informazioni sui flussi delle merci.
- I conflitti armati tra stati possono interrompere le rotte di trasporto e danneggiare le infrastrutture logistiche, con un conseguente aumento dei costi e dei tempi logistici e riducendo la disponibilità delle materie prime. In più possono causare instabilità politica causando danni all'affidabilità della base fornitori.
- L'inflazione può causare aumenti di prezzi delle materie prime e una maggiore competizione per l'accesso a queste.
- Informazioni errate o incomplete possono portare a decisioni errate nella supply chain, aumentando i costi e i tempi logistici. In più possono compromettere l'affidabilità delle informazioni sul flusso delle merci, condizionando la precisione e l'efficacia della pianificazione e del controllo delle operazioni.

La recente crisi nel Mar Rosso, provocata dagli attacchi degli Houthi, ribelli yemeniti, alle navi in transito verso il Canale di Suez, ha generato notevoli difficoltà e rischi nel passaggio delle navi mercantili lungo quella rotta. Questa situazione ha reso necessaria, per le spedizioni dal Far East all'Europa, la circumnavigazione del continente africano, aumentando la distanza di viaggio di 3.600 miglia nautiche e causando ritardi nelle consegne di oltre un mese. Secondo i dati monitorati da Drewry, nei primi due settimane del 2024, i transiti attraverso il Canale di Suez sono diminuiti del 64% rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente, mentre i transiti attraverso il Capo di Buona Speranza sono aumentati del 168%. Anche il trasporto aereo ha registrato un aumento, con conseguente aumento dei costi di trasporto che hanno raggiunto il picco di 4.500\$ a metà dicembre. I costi logistici sono in aumento: le rotte più lunghe

comportano maggiori consumi e emissioni, oltre a maggiori costi assicurativi e una minore disponibilità di container e navi impegnati per periodi più lunghi. Il prezzo dei container dalla Cina è salito a oltre 6.000\$ dai 1.500\$ di inizio dicembre. I ritardi nelle consegne stanno portando i grandi gruppi industriali, soprattutto le multinazionali come Tesla e Volvo, a ridurre le produzioni. I beni di consumo provenienti dal Far East rischiano di alimentare l'inflazione in Europa.

Il conflitto Russo-Ucraino ha un impatto significativo sulla catena di approvvigionamento alimentare, soprattutto per quanto riguarda i cereali. Secondo l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura, la Russia e l'Ucraina rappresentano oltre il 25% del commercio mondiale di grano e oltre il 60% del commercio mondiale di olio di girasole, oltre al 30% delle esportazioni di orzo.

Inoltre, la Russia è un importante esportatore di fertilizzanti, il che potrebbe influenzare le rese delle colture a livello globale. D'altro canto, negli ultimi anni, l'Ucraina ha aumentato costantemente le sue esportazioni, diventando un importante fornitore di materie prime, prodotti chimici e macchinari. In ciascuno di questi casi, si è già manifestato un aumento dei prezzi e una discontinuità nell'approvvigionamento.

Per affrontare queste complessità, il rapporto stesso suggerisce quattro possibili approcci macro, da considerare non come alternative, ma piuttosto da attivare in combinazione.

1. Approcci di localizzazione, attuabili da singoli paesi o attori interessati.
2. Innovazioni tecnologiche e processuali per gestire le discontinuità.
3. Iniziative collaborative che coinvolgono più paesi e/o attori interessati che agiscono insieme.
4. Coordinamento internazionale che richiede collaborazione tra paesi e/o attori interessati.

Dal punto di vista della gestione della catena di approvvigionamento, ciò implica aumentare la visibilità e consolidare pratiche attive di gestione del rischio. Le catene di approvvigionamento sono sempre più complesse e interconnesse, per causa della globalizzazione e della complessità delle reti commerciali moderne quindi più fragili ed esposte a eventi esterni come calamità naturali, interruzioni delle infrastrutture, instabilità politica e crisi economiche. Protocolli robusti abilitati dalle tecnologie digitali come l'intelligenza artificiale, che svolge un ruolo fondamentale nell'ottimizzazione delle operazioni di approvvigionamento, aiutando a prevedere la domanda futura, ottimizzare i flussi di merci e identificare i rischi potenziali. Il monitoraggio in tempo reale è un altro strumento cruciale che consente alle aziende di rilevare e rispondere prontamente a eventuali interruzioni lungo la catena di approvvigionamento, ad esempio attraverso l'uso di sensori IoT (Internet of Things), le aziende possono monitorare lo stato dei loro trasporti, delle scorte e delle infrastrutture critiche, permettendo una gestione più efficiente dei rischi. La pianificazione delle contingenze è un'altra strategia importante per affrontare la complessità e la fragilità delle catene di approvvigionamento. Ciò implica la creazione di piani dettagliati per gestire situazioni di emergenza o interruzione, assicurando che le aziende siano in grado di adattarsi rapidamente a cambiamenti imprevisti senza compromettere la continuità operativa. Infine, la risposta rapida è essenziale per limitare gli impatti negativi delle interruzioni della catena di approvvigionamento. Le aziende devono essere in grado di mobilitare risorse e attuare piani di contingenza rapidamente ed efficacemente per ripristinare le operazioni il prima possibile.

Questi protocolli suggeriscono strategie per limitare i danni, come:

- Diversificazione dei fornitori.
- Utilizzo di fonti alternative di approvvigionamento (ad esempio, il dual sourcing).
- Identificazione di siti di produzione alternativi predefiniti.
- Pianificazione di rotte logistiche alternative.
- Vicinanza geografica dei fornitori (nearshoring).
- Decisioni di fabbricazione interna o esterna (make vs buy).

- Collaborazione e partenariato con altri attori della catena di approvvigionamento.
- Utilizzo di canali di comunicazione alternativi.

È essenziale rivalutare costantemente il contesto e creare scenari alternativi con il supporto di sistemi evoluti per configurare le risposte ai rischi emergenti, garantendo resilienza e adattabilità. Ciò richiede anche la protezione informatica dei dati, delle comunicazioni e delle fonti informative, rendendo la cybersecurity necessaria.

In sostanza, si assiste a un cambiamento di paradigma nel modello industriale, dove la gestione della catena di approvvigionamento, grazie alle nuove tecnologie digitali, non si concentra solo sull'efficienza, intesa come la capacità dell'azienda di commercializzare i suoi prodotti e consegnarli nel posto giusto, al momento giusto oltre che al minor costo possibile, ottimizzando le risorse disponibili (come nei trasporti, nelle scorte e nel capitale circolante, nelle economie di scala nella produzione e nella distribuzione), ma diventa un elemento differenziante per la continuità del business e per la competitività, sviluppando flessibilità e tempestività.²

² Rusconi G., Supply chain sempre più digitalizzate, dati e IA per renderle più resilienti, Il sole 24 ore, 24/04/2023

1.3 ANALISI A LIVELLO AZIENDALE

L'80% delle aziende a livello mondiale ha sperimentato una o più interruzioni nella loro catena di approvvigionamento nell'ultimo anno e mezzo a causa della fluttuazione della domanda e del contesto macroeconomico attuale, con conseguenti impatti significativi sulla produttività e sui profitti per circa la metà delle organizzazioni coinvolte. Questa situazione è stata descritta nel rapporto "Meeting the challenge of supply chain disruption" di Deloitte³, evidenziando variabili incidentali come i blocchi nei porti e l'aumento dei prezzi delle materie prime e dei costi di trasporto, che stanno spingendo tutti i partecipanti a riconsiderare rapidamente la costruzione di un nuovo modello di catena di approvvigionamento:

1. Più resiliente: una supply chain più resiliente si riferisce ad un sistema di gestione delle risorse che è in grado di resistere e riprendersi rapidamente da perturbazioni, interruzioni o cambiamenti improvvisi come catastrofi naturali, interruzioni della catena di approvvigionamento, cambiamenti normativi o fluttuazioni della domanda di mercato.
2. Basata sui dati: basata sull'uso strategico dei dati per migliorare le prestazioni e resilienza della catena di approvvigionamento, consentendo alle aziende di adattarsi rapidamente alle mutevoli condizioni di mercato e di mantenere un vantaggio competitivo.
3. Sostenibile: in riferimento ad un sistema di gestione e distribuzione delle risorse che tiene conto dell'impatto sociale, ambientale ed economico lungo l'intera catena di approvvigionamento, al fine di garantire una produzione e distribuzione responsabile e a lungo termine. Ciò significa considerare non solo gli aspetti economici della catena di approvvigionamento, ma anche quelli

³ Wellener P., Hardin K., Laaper S., Parrott A., Gold S. - "Meeting the challenge of supply chain disruption" – 21/09/2022

ambientali e sociali, lavorando per ridurre l'impatto negativo sulle persone e sul pianeta.

In questo contesto di cambiamento, la tecnologia svolgerà un ruolo chiave. Secondo il rapporto annuale del 2022 di Mitsubishi Heavy Industries⁴, il 64% delle aziende globali aumenterà gli investimenti nella digitalizzazione dei processi della catena di approvvigionamento. Di queste, il 66% prevede di destinare più di un milione di dollari nei prossimi due anni per aumentare l'efficienza e ridurre i costi.

Una tendenza incoraggiante emerge, tuttavia, per l'88% delle organizzazioni permane una preoccupazione sottostante per la sicurezza informatica all'interno dell'ecosistema della catena di approvvigionamento. Questa preoccupazione riguarda il rischio di furto di dati o proprietà intellettuale, nonché la vulnerabilità delle informazioni legali e finanziarie. Sebbene la necessità di proteggere queste informazioni lungo tutta la catena di approvvigionamento sia una priorità per la maggior parte delle imprese, l'adozione su vasta scala di nuove tecnologie è ormai inevitabile per far progredire la supply chain.

Così, l'attenzione dei dirigenti degli acquisti si concentra principalmente sugli strumenti per ottimizzare l'inventario e la rete di logistica e distribuzione, aree in cui, come indicato nel rapporto di Mitsubishi, si prevedono i principali investimenti. Un altro aspetto significativo di questa trasformazione digitale sono i servizi cloud, i quali vedranno un tasso di adozione vicino al 90%, insieme a strumenti per l'identificazione automatica delle merci, come i tag RFID e il codice a barre.

La blockchain e l'attuale tecnologia di punta, l'intelligenza artificiale, devono ancora essere pienamente integrate, ma si prevede che entro i prossimi cinque anni saranno implementate nei sistemi di gestione della filiera di circa il 70% delle aziende⁵.

"Stiamo osservando un cambiamento nel procurement," commenta Luca Musso, Chief Technology Officer di Primeur Group, un'azienda italiana multinazionale attiva nel campo delle soluzioni di integrazione dati. "Passiamo dall'attuale sistema di gestione basato sugli accordi con i fornitori a un loop in cui il mondo fisico e digitale si comunicano attraverso un flusso continuo di dati e informazioni provenienti da diverse

⁴ MHI Report 2022 - https://www.mhi.com/finance/library/annual/pdf/report_2022.pdf

⁵ MHI Report 2022 - https://www.mhi.com/finance/library/annual/pdf/report_2022.pdf

fonti riguardanti lo stato dei beni e dei servizi rilevanti per l'azienda. Solo attraverso la digitalizzazione di tutte le fasi della catena del valore sarà possibile creare un sistema di approvvigionamento in grado di affrontare le nuove interruzioni del mercato e rendere il procurement più reattivo ai cambiamenti."

Ci sono numerosi esempi di applicazione di questo nuovo paradigma. Con l'uso dell'intelligenza artificiale, come sottolinea Musso, sarà possibile prevedere la domanda e il consumo di materiale, anticipare gli ordini e ridurre i rischi di mancanza di beni. Gli algoritmi permetteranno di analizzare le spese, come ad esempio l'aggiornamento in tempo reale dei dazi doganali, eseguire audit sui fornitori anche in termini di sostenibilità, e semplificare o automatizzare processi eliminando operazioni ripetitive.

In questo contesto di evoluzione digitale, sottolinea Musso, le soluzioni di integrazione dati avranno un ruolo cruciale, poiché le aziende devono gestire dati provenienti da fonti diverse e in vari formati, e devono farlo con efficienza.

Un dato tratto dal rapporto "State of Supply Chain Management 2022" pubblicato da supplychain247.com⁶ evidenzia le difficoltà con cui molte aziende devono confrontarsi: l'80% di esse non riesce a tracciare digitalmente il movimento delle proprie merci. Ciò evidenzia la necessità di un nuovo approccio che consenta al procurement di prendere decisioni in tempo reale e basate sui dati, con maggiore autonomia all'interno dei processi aziendali.

"Saranno necessari nuovi modelli operativi e talenti in grado di sfruttare al meglio queste nuove tecnologie," conclude Musso. "Grazie ai dati e alle analisi disponibili, la funzione acquisti potrà disporre delle migliori informazioni per rendere più efficienti i processi di gestione e migliorare nel contempo il valore dei contratti di fornitura e la qualità delle strategie aziendali."

Al giorno d'oggi la maggior parte delle aziende cerca un vantaggio competitivo per ottenere profitti. Per ottenere ciò, è necessario concentrarsi sulla riduzione dei costi che può essere ottenuta con l'aiuto di un adeguato flusso di rete di beni o servizi e di informazioni attraverso le varie fasi della produzione e del consumo. Tra questi processi, si inserisce anche la catena di approvvigionamento. Per ottimizzare i costi, il flusso delle merci attraverso la catena di fornitura, si devono ridurre i costi di inventario associati alle rispettive fasi della rete della catena di fornitura.

⁶ "State of Supply Chain Management 2022" – supplychain247.com

La catena di approvvigionamento comprende tutte le fasi dal fornitore della materia prima iniziale al cliente finale che riceve il prodotto finito. I prodotti scorrono sulla linea, mentre le informazioni fluiscono a monte.

L'inventario ha effetti sia positivi che negativi sui costi sostenuti dalla gestione caratteristica, con più inventario il costo aumenta, mentre con meno inventario potremmo riscontrare *stock out* con una conseguente perdita di clienti. Per ottenere un livello di inventario ottimale dobbiamo sviluppare una politica in cui vanno prese in considerazione due decisioni:

1. Quanto ordinare?
2. Quando ordinare?

La domanda su quanto ordinare è basata sulla quantità. La domanda su quando ordinare è semplicemente una questione di tempistica. Pianificatori e buyer continuano a validare, verificare e integrare ciò che i metodi tradizionali come l'MRP, dice loro di fare e sono costantemente messi alla prova su come hanno risposto storicamente a queste domande e sul perché le cose non sono disponibili nel tempo o nella quantità in cui sono necessarie. Forse tutta questa attività e serie di risposte costantemente insoddisfacenti non è correlata alle domande quanto e quando. Forse è prima di tutto legato alla nostra capacità di porre una domanda: come si potrebbe massimizzare l'efficacia di una catena di approvvigionamento o di un'organizzazione?

Questo produce una serie di risposte non sempre adeguate in costante cambiamento date da un sistema alquanto imprevedibile e dal cosiddetto effetto *bullwhip*. Secondo il dizionario APICS l'effetto *bullwhip* si descrive come:

Un cambiamento estremo nella posizione dell'offerta a monte di una catena di approvvigionamento generato da una piccola variazione della domanda a valle della catena di approvvigionamento. L'inventario può passare rapidamente dall'essere in ritardo all'eccesso. Questo è causato dalla natura seriale della comunicazione degli ordini lungo la catena con il ritardo di trasporto intrinseci allo spostamento del prodotto lungo la catena. L'effetto frusta può essere eliminato sincronizzando la catena di fornitura.

Le cause dell'effetto *bullwhip* possono includere:

1. Ritardi nell'informazione: Quando la domanda viene comunicata lungo la catena di approvvigionamento con ritardi, le decisioni prese da ciascun attore possono essere basate su informazioni obsolete o distorte.
2. Ordini in lotti: Le imprese spesso effettuano ordini in lotti, il che può portare a fluttuazioni eccessive nella domanda reale rispetto alla quantità effettivamente necessaria.
3. Mancanza di coordinamento: Quando i membri della catena di approvvigionamento operano indipendentemente e senza comunicazione efficace, possono verificarsi discrepanze tra la domanda effettiva e quella prevista.
4. Razionalizzazione d'inventario: Le aziende tendono a razionalizzare l'inventario, ordinando grandi quantità quando i prezzi sono bassi o quando si prevedono aumenti di prezzi. Questo comportamento può amplificare le fluttuazioni della domanda.

L'accumulo e l'impatto della variabilità della domanda e dell'offerta sono nemici del flusso. La variabilità può essere minimizzata e gestita sistematicamente, ma non sarà mai eliminata. L'unico modo per fermare il nervosismo e l'effetto *bullwhip* è fermare la variazione dall'essere un punto passante per la catena di fornitura ad entrambe le direzioni. Ciò si ottiene attraverso un concetto chiamato "disaccoppiamento". Il dizionario APICS definisce il disaccoppiamento come:

Creare indipendenza tra fornitura e utilizzo del materiale. Comunemente denota fornire inventario tra le operazioni in modo che le fluttuazioni del tasso di produzione dell'operazioni di fornitura non limita la produzione o l'utilizzo di tariffe dell'operazione successiva.

In altre parole, significa generare autonomia tra l'approvvigionamento e l'utilizzo dei materiali, in modo che le variazioni nel ritmo di produzione non limitino l'utilizzo dei materiali nella fase produttiva successiva.

Il disaccoppiamento disconnette un'entità da un'altra. Questo isola eventi che sono capitati in un'entità o porzione di un sistema e impedisce loro di influenzare altre entità o parti di un sistema. Si pensi al disaccoppiamento come se fosse un firewall in un edificio, in un'automobile o un'informazione. Il concetto di disaccoppiamento fornisce la rottura fondamentale rispetto alle convenzioni necessarie per mitigare la variabilità. Il disaccoppiamento interrompe la connessione diretta tra le dipendenze. I punti in cui il sistema è disaccoppiato sono chiamati "punti di disaccoppiamento". Secondo il dizionario APICS, un punto di disaccoppiamento è:

La posizione nella struttura di produzione o nella rete di distribuzione dove l'inventario strategico viene posizionato per creare indipendenza tra processi e entità. La selezione dei punti di disaccoppiamento è una decisione strategica che determina tempi di consegna ai clienti e investimenti in scorte.

La figura 1.3⁷ illustra la visione dipendente di un sistema MRP e la distorsione del segnale della domanda accumulata (la freccia in alto che si sposta da destra a sinistra) e la variabilità della continuità della catena di fornitura (la freccia inferiore si sposta da sinistra a destra). Non c'è disaccoppiamento, quindi la distorsione sia delle informazioni rilevanti che dei materiali si accumula attraverso il sistema.

⁷ Ptack C., Smith C., "DDMRP Version 2", 2018

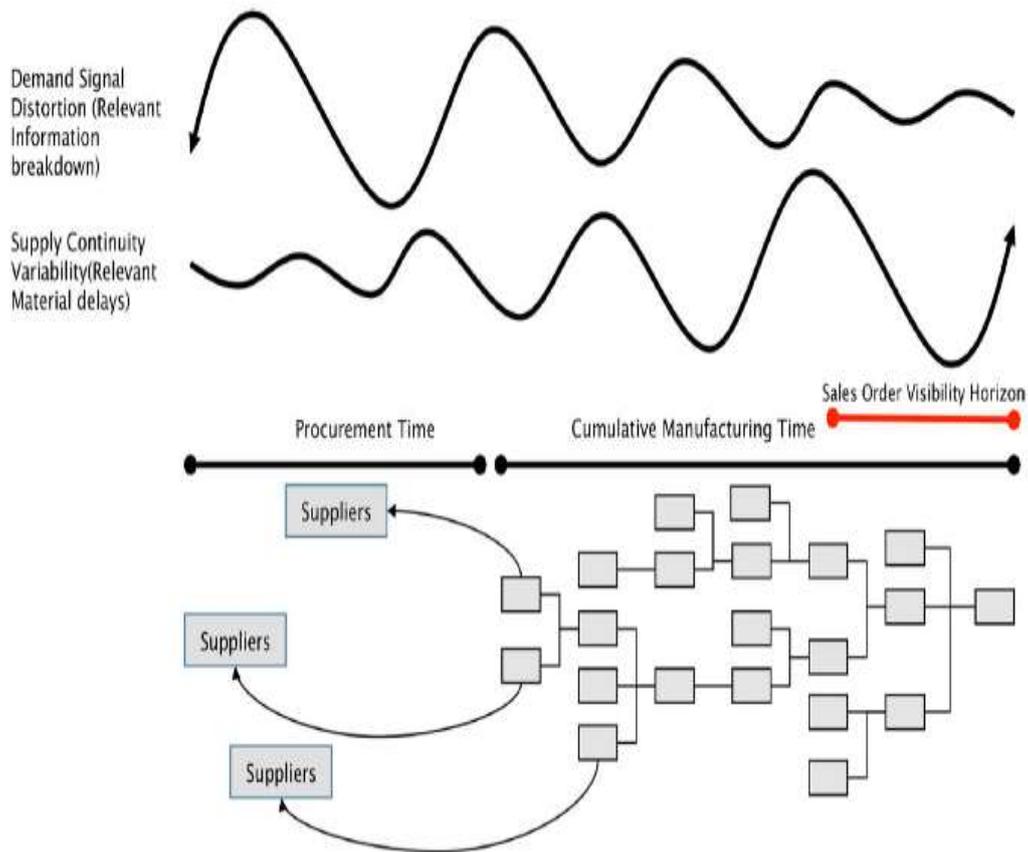


Figura 1.3 - Ptack C., Smith C., "DDMRP Version 2" 2018

Affinché i punti di disaccoppiamento mantengano il loro effetto di disaccoppiamento, deve esserci un livello protezione che assorbe contemporaneamente la variabilità della domanda e dell'offerta. Questo livello di protezione è un concetto chiamato "disaccoppiamento dell'inventario". APICS definisce il disaccoppiamento dell'inventario come:

Una quantità di inventario conservata tra le entità in azienda manifatturiera o rete di distribuzione per creare indipendenza tra processi e entità. L'obiettivo del disaccoppiamento dell'inventario è quello di disconnettere il tasso di utilizzo da quello di fornitura dell'articolo.

L'inventario dei punti di disaccoppiamento viene anche chiamato "punti di disaccoppiamento buffer", d'ora in avanti "*buffer*".

I buffer dei punti di disaccoppiamento sono quantità d'inventario o stock che sono progettati per disaccoppiare la domanda dall'offerta. I buffer sono

comunemente quantità d'inventario che fornirà ai consumatori una disponibilità affidabile mentre allo stesso tempo consentendo l'aggregazione degli ordini di domanda, creando un sistema di segnali più stabile, realistico ed efficiente per i fornitori dello stock.

La figura 1.4 illustra lo stesso sistema della figura 1, ma con i buffer dei punti di disaccoppiamento. Il posizionamento dei buffer dei punti di disaccoppiamento (rappresentati come icone dei contenitori a più livelli) crea orizzonti di pianificazione ed esecuzione indipendenti. Questi orizzonti sono tracciati da linee tratteggiate con punti terminali arrotondati da ciascun lato.

La variabilità della domanda e dell'offerta impedisce un ulteriore accumulo in questi punti terminali. Questo è rappresentato dalle icone simili a muri etichettate "break-wall". Ciò significa che l'uso dei buffer affronta entrambi i componenti del *bullwhip* contemporaneamente e dallo stesso punto; è una soluzione bidirezionale.

Il disaccoppiamento del posizionamento dei buffer ha enormi implicazioni sul tempo di consegna. Disaccoppiando e fornendo tempi di consegna dal lato del consumo del buffer, i tempi di consegna sono subito compressi tra buffer e cliente.

Questa riduzione dei tempi di consegna ha un impatto immediato sul servizio e sull'inventario. Possiamo cogliere le opportunità del mercato ottimizzando l'allocazione del capitale necessario, concentrando le riserve nei livelli superiori della struttura di prodotto per ridurre al minimo l'importo complessivo.

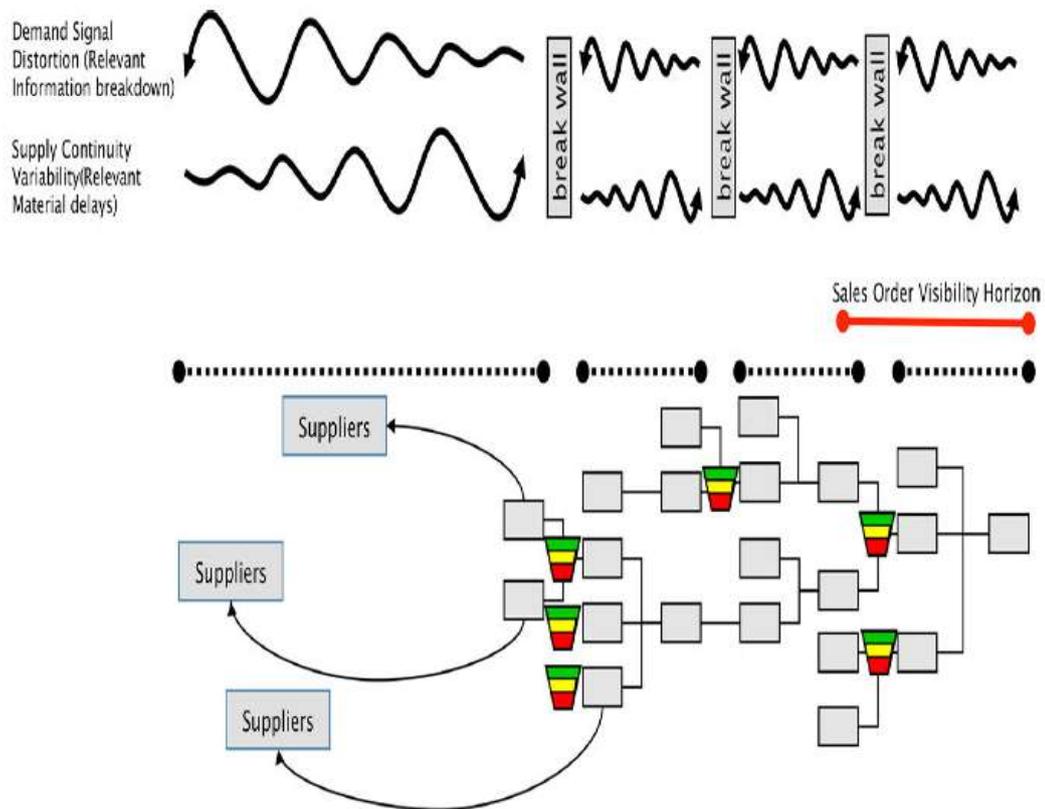


Figura 1.4 - Ptack C., Smith C., "DDMRP Version 2" 2018

Come discusso precedentemente, la chiave per proteggere e promuovere il flusso delle informazioni rilevanti richiede l'uso dei buffer.

Per una migliore comprensione di come determinare i livelli di protezione nelle posizioni di disaccoppiamento, è importante porsi una domanda, l'inventario è un'attività o una passività? Secondo il bilancio d'esercizio l'inventario è un'attività. Per decenni le grandi aziende hanno "giocato" con l'inventario. Nonostante non abbiano domanda, molte aziende continuano a incrementare l'inventario, realizzando il valore aggiunto contabile e dichiarando i profitti contabili a fronte di esso. In questo processo, le aziende vengono prosciugate di liquidità e possono indebitarsi profondamente, ma secondo i principi contabili generalmente accettati la società risulta redditizia.

La liquidità è un obiettivo importante e anche Wall Street è venuta a conoscenza dello stratagemma e delle sanzioni associate ad un eccesso di scorte.

La chiave per sfruttare in modo efficace il capitale circolante e l'impegno in termini di capacità inerenti all'inventario è trovare i luoghi in cui l'inventario può avere il maggior impatto positivo e quindi fornire il rendimento maggiore. L'inventario può disaccoppiare eventi altrimenti dipendenti in modo che gli effetti cumulativi della variazione non vengano trasmessi o amplificati dalle dipendenze. Pertanto, le scorte possono rappresentare un muro di rottura contro la variabilità sperimentata dalla variabilità dell'offerta (esterna e interna) o della domanda. Tuttavia, come qualsiasi muro divisorio, è efficace solo se posizionato e dimensionato correttamente. Forse il valore di questi posizionamenti critici nell'inventario può essere calcolato sulla base di qualcosa che sappiamo sia direttamente collegato al ROI (*Return of Investments*): il flusso di informazioni e materiali rilevanti. I sistemi di pianificazione convenzionali tipicamente danno come risultato una distribuzione bimodale in relazione ai livelli di inventario. Molte parti hanno scorte in eccesso, mentre allo stesso tempo altre scorte sono insufficienti. Che si tratti di scorte eccessive o insufficienti, si verifica un'interruzione nel flusso di informazioni e materiali rilevanti. Questo significa che, per quanto riguarda l'inventario, esiste un intervallo in cui l'inventario è veramente un'attività, e quando è al di fuori di questo intervallo, l'inventario diventa veramente una passività. Quindi l'obiettivo per un'azienda è mantenere l'inventario entro un intervallo ottimale in cui contribuisce positivamente alle operazioni, evitando di accumularne eccessivamente che potrebbero pesare sulle finanze e sull'efficienza complessiva dell'azienda.

Quando un'azienda ha troppe scorte (eccedenze), sappiamo che sono necessari, liquidità, capacità, materiali, e spazio in eccesso. I rischi di obsolescenza sono maggiori. Gli sconti per liquidare le scorte causano perdite e potenzialmente cannibalizzano altre vendite con margini più elevati. Inoltre, ampliando i tempi di consegna oltre il tempo di tolleranza del cliente danneggiano le vendite. Dal punto di vista del flusso, questo è tutt'altro che ottimale.

Quando un'impresa ha un quantitativo insufficiente di scorte, si verificano spesso carenze ricorrenti e persistenti, causando ritardi nella pianificazione, mancate opportunità di vendita, costi elevati dovuti a tempi lunghi, necessità di spedizioni parziali con conseguente aggiunta di merci supplementari e il ricorso a

lavoro straordinario. Dal punto di vista del flusso di lavoro, questa situazione non è affatto ottimale.

Ciò significa che l'inventario è una risorsa a metà tra questi due punti: un punto nominale. Inoltre, significa che esiste una funzione di perdita che si verifica in entrambe le direzioni rispetto al valore nominale. La figura 1.5 illustra questa perdita di valore mentre ci muoviamo verso gli estremi di troppo poco o troppo e al di fuori di un intervallo ottimale.

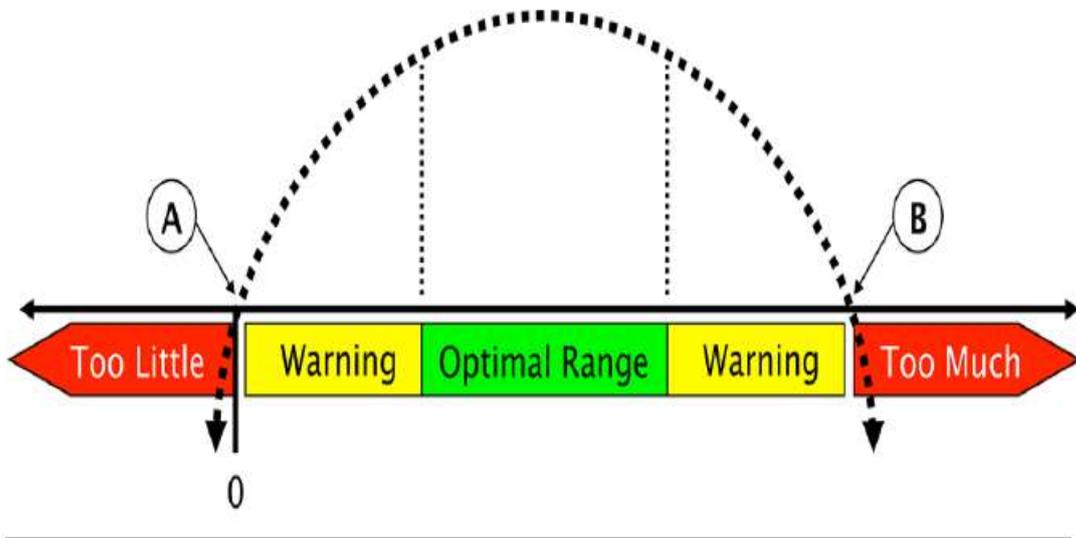


Figura 1.5 - Ptack C., Smith C., "DDMRP Version 2" 2018

CAPITOLO 2

2.1 ANALISI BIBLIOGRAFICA

L'analisi bibliografica è un processo fondamentale per ogni ricerca accademica o scientifica. Attraverso questo metodo, gli studiosi esplorano e valutano la letteratura esistente su un determinato argomento al fine di comprendere meglio le conoscenze precedenti, individuare eventuali lacune nel campo di studio e sviluppare nuove prospettive. In questa trattazione approfondita, esploreremo ogni fase della procedura di analisi bibliografica, dalla definizione dell'argomento alla redazione del rapporto finale.

1. Definizione dell'Argomento di Ricerca

Prima di iniziare l'analisi bibliografica, è essenziale definire chiaramente l'argomento di ricerca. Questo passaggio costituisce il fondamento su cui si baserà l'intero processo e contribuirà a mantenere la ricerca concentrata e mirata. La definizione dell'argomento di ricerca comprende l'identificazione dei concetti chiave, la determinazione dei limiti del campo di studio e la formulazione di domande di ricerca pertinenti. Ad esempio, se il nostro argomento di ricerca riguarda il posizionamento nella supply chain, potremmo definire i concetti chiave come "posizionamento", "supply chain" e, magari, dei concetti collegati come "disaccoppiamento". Inoltre, stabiliremo i limiti del nostro campo di studio, ad esempio concentrandoci su un'area geografica specifica o su un determinato periodo di tempo, come abbiamo fatto concentrandoci sull'arco temporale di 10 anni, dal 2013 al 2023. Le domande di ricerca saranno formulate per guidare la nostra indagine e aiutarci a ottenere informazioni specifiche sul nostro argomento.

2. Identificazione delle Fonti Bibliografiche

Una volta definito l'argomento di ricerca, il passo successivo consiste nell'identificare le fonti bibliografiche pertinenti. Questo può essere fatto utilizzando una varietà di strumenti e risorse, tra cui banche dati accademiche, biblioteche digitali, cataloghi online

e motori di ricerca specializzati. Nella nostra ricerca sono stati utilizzati: Scopus, Google Scholar, la biblioteca dell'Ateneo, Orcid, Jstor. È importante utilizzare una combinazione di queste risorse per garantire una copertura completa della letteratura disponibile sull'argomento. Durante questa fase, è utile utilizzare una serie di parole chiave e sinonimi correlati per ampliare la ricerca e identificare il maggior numero possibile di fonti pertinenti. Ad esempio, nel nostro caso sul posizionamento nella supply chain, potremmo utilizzare parole chiave come "approvvigionamento", "disaccoppiamento", "logistica", "Make to Order", e così via.

3. Selezione dei Materiali

Una volta identificate le fonti bibliografiche, è necessario esaminarle attentamente per determinarne la rilevanza e l'affidabilità. La selezione dei materiali dovrebbe essere guidata dai criteri di inclusione definiti in precedenza durante la definizione dell'argomento di ricerca. Alcuni dei criteri comuni per la selezione delle fonti includono la pertinenza dell'argomento, l'autore, l'anno di pubblicazione e la reputazione della fonte. Durante questa fase, è importante essere rigorosi nel processo decisionale e escludere le fonti che non soddisfano i criteri stabiliti. Tuttavia, è anche importante essere flessibili e aperti a considerare fonti che potrebbero offrire prospettive diverse o nuove informazioni sull'argomento.

4. Valutazione Critica delle Fonti

Una volta selezionate le fonti, è importante valutarle criticamente per determinarne la qualità e l'affidabilità. Questa valutazione può includere la revisione della metodologia di ricerca utilizzata, la verifica delle fonti citate e la valutazione della coerenza e della completezza delle argomentazioni presentate. La valutazione critica delle fonti aiuta a garantire che solo le fonti di alta qualità e affidabilità vengano utilizzate nell'analisi bibliografica.

5. Organizzazione dei Materiali

Una volta completata la valutazione delle fonti bibliografiche, è utile organizzare i materiali raccolti in modo da facilitare la sintesi e l'analisi. Questo può essere fatto utilizzando strumenti come tabelle di sintesi, mappe concettuali o software di gestione bibliografica. L'organizzazione dei materiali consente agli studiosi di visualizzare facilmente le relazioni tra le diverse fonti e di identificare i temi ricorrenti o le lacune nella ricerca esistente. Durante questa fase, è importante mantenere un approccio sistemico e organizzato per garantire che tutti i materiali siano accuratamente documentati e facilmente accessibili durante l'analisi.

6. Sintesi e Analisi dei Dati

La fase successiva dell'analisi bibliografica coinvolge la sintesi e l'analisi dei dati raccolti dalle fonti selezionate. Questo processo può includere la categorizzazione dei risultati, l'identificazione dei temi ricorrenti, l'analisi comparativa delle diverse prospettive e la valutazione delle relazioni tra le fonti. Durante questa fase, gli studiosi devono essere in grado di sintetizzare le informazioni in modo chiaro e conciso, evidenziando le principali conclusioni e le implicazioni per la ricerca futura. È importante anche essere consapevoli delle eventuali limitazioni dei dati e delle fonti analizzate e di fornire una valutazione critica delle stesse.

7. Identificazione delle Lacune nella Ricerca

Durante l'analisi dei dati, è importante prestare attenzione alle lacune nella ricerca esistente sull'argomento. Queste lacune possono rappresentare opportunità per futuri studi e possono essere utilizzate per guidare lo sviluppo di nuove ipotesi e teorie. Durante questa fase, gli studiosi dovrebbero essere in grado di identificare le aree in cui la ricerca è incompleta o contraddittoria e di proporre possibili direzioni per la ricerca futura al fine di colmare tali lacune.

2.2 RISULTATI OTTENUTI

Per la nostra ricerca bibliografica sono stati utilizzati: la biblioteca di ateneo, Google Scholar e Scopus, quest'ultimo ha fornito risultati di ricerca migliori rispetto gli altri due. Nel dettaglio la ricerca su Scopus si è svolta, seguendo i passi appena descritti:

È stato definito l'argomento di ricerca: Il posizionamento nella supply chain, con correlate le parole chiave "posizionamento" e "supply chain" e argomenti connessi come "disaccoppiamento". La ricerca avanzata di Scopus permette di aggiungere dei filtri alla nostra ricerca in modo che questa risulti molto più precisa. Nel nostro caso la ricerca è iniziata con le parole chiave "decoupling" e "supply chain" filtrando l'area di ricerca in "Business, management and accounting" nel range di anni dal 2000 al 2024. Questa prima ricerca ha prodotto più di 200 risultati, decisamente troppi e molti riguardavano soprattutto la supply chain in modo generico. È stata eseguita una seconda ricerca utilizzando sempre le 2 parole chiave "decoupling" e "supply chain" però aggiungendo il filtro dell'area di ricerca su "decision science", in questo caso la ricerca ha prodotto 47 risultati. Anche qui, la ricerca conduceva ad articoli che non riguardavo il posizionamento. È stato deciso di sostituire la parola chiave "supply chain" con "decoupling", mantenendo i filtri della ricerca precedente, la ricerca ha prodotto i 27 risultati riportati nella tabella 1.

AUTORE	TITOLO	ANNO
Chowdhury R.M.M.I.; Arli D.; Septianto F.	Consumers' responses to moral controversies of religiously positioned brands: the effects of religiosity on brand loyalty	2022
Arena M.; Azzone G.; Mapelli F	What drives the evolution of Corporate Social Responsibility strategies? An institutional logics perspective	2018
Wikner J.; Rudberg M.	Introducing a customer order decoupling zone in logistics decision-making	2005
Olhager J.	Strategic positioning of the order penetration point	2003
Liu W.; Mo Y.; Yang Y.; Ye Z.	Decision model of customer order decoupling point on multiple customer demands in logistics service supply chain	2013
Wikner J.; Rudberg M.	Integrating production and engineering perspectives on the customer order decoupling point	2005
Pettic C.	China's Going Global and the Truths and Myths of Decoupling	2015
Mbhele T.P.	Decoupling paradigm of push-pull theory of oscillation in the FMCG industry	2016
Velasco Acosta A.P.; Mascle C.; Baptiste P.	Applicability of Demand-Driven MRP in a complex manufacturing environment	2017
Hagbjer E.; Kraus K.; Lind J.; Sidgren E.	Role attribution in public sector accountability processes: Dynamic and situation-specific accountor and constituent roles	2017
Lu J.; Humphreys P.; McIvor R.; Maguire L.	Algorithm approach to reducing the bullwhip effect by investigating the efficient and responsive strategy in online supply	2009
Cannas V.G.; Pero M.; Rossi T.; Gosling J.	Integrate Customer Order Decoupling Point and Mass Customisation Concepts: A Literature Review	2019
Cannas V.G.; Pero M.; Rossi T.; Gosling J.	Three-dimensional model of customer order decoupling point position in mass customisation	2019
Cannas V.G.; Pero M.; Rossi T.; Gosling J.	Determinants for order-fulfillment strategies in engineer-to-order companies: Insights from the machinery industry	2022
Khan Z.	Component layout in placement processes	2019
Cannas V.G.; Gosling J.; Pero M.; Rossi T.	Engineering and production decoupling configurations: An empirical study in the machinery industry	2021
Aktan H.E.; Akyuz G.	Positioning the decoupling point along a supply chain: A case study	2013
Hedenstierna P.; Ng A.H.C.	Dynamic implications of customer order decoupling point positioning	2011
Devasia S.; Lee A.	Scalable low-cost unmanned-aerial-vehicle traffic network	2016
Schoenwitz M.; Potter A.; Gosling J.; Naim M.	Product, process and customer preference alignment in prefabricated house building	2017
Sinha A.; Ubale S.S.	Demand driven approach to combat nervousness of auto supply chain in India	2017
Ben Naylor J.; Naim M.M.; Berry D.	Leagility: integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain	1999
Sun X.Y.; J.P.; Sun L.Y.; Wang Y.L.	Positioning multiple decoupling points in a supply network	2008
Cannas V.G.; Gosling J.	A decade of engineering-to-order (2010-2020): Progress and emerging themes	2021
Kumar M.; Garg D.; Agarwal A.	Cause and effect analysis of inventory management in leagile supply chain	2019
Filstad C.; Olsen T.H.; Karp T.	Constructing managerial manoeuvring space in contradictory contexts	2021

Tabella 2.1: riferimenti bibliografici relativi a studi su supply chain, decoupling points e positioning

Di questi 27 risultati, gli articoli più rilevanti per la nostra ricerca sono stati: “Strategic positioning of the order penetration point” di Jan Ohlger e “Positioning multiple decoupling points in a supply network” di X.Y. Sun, P.Ji, L.Y. Sun, Y.L. Wang⁸. Quest’ultimo ha descritto il modello che verrà presentato nel prossimo capitolo di questa tesi.

Durante questa ricerca bibliografica è emerso che trovare articoli pertinenti a questo argomento è molto difficile. Delle motivazioni sulla complessità potrebbero essere:

- Natura complessa e multidisciplinare: il posizionamento nella supply chain coinvolge discipline diverse: economia, ingegneria gestionale, logistica.
- Esistono molte terminologie e approcci diversi per discutere del posizionamento nella supply chain. Termini come “strategia della supply chain”, “ottimizzazione della supply chain”, “gestione dell’inventario” possono essere utilizzati in modi intercambiabili o con significati leggermente diversi.
- La supply chain è un campo in rapida evoluzione, soprattutto negli ultimi anni, con nuove tecnologie e metodologie che emergono continuamente. questo può rendere difficile trovare articoli aggiornati o consolidati, poiché le pratiche e le teorie si sviluppano rapidamente.
- Le strategie di supply chain sono spesso considerate informazioni strategiche critiche per le aziende. Pertanto, molte organizzazioni sono riluttanti a condividere dettagli specifici sul loro posizionamento e strategie per motivi di concorrenza.

⁸ Sun, X. Y., Ji, P., Sun, L. Y., & Wang, Y. L. (2008). Positioning multiple decoupling points in a supply network. *International Journal of Production Economics*, 113(2), 943-956.

CAPITOLO 3

3.1 INTRODUZIONE

Il concetto di punto di disaccoppiamento (DP) è stato introdotto da Sharman nel 1984 come un confine tra i sistemi make-to-order (MTO) e make-to-stock (MTS).

In Sun et al. (2023) viene esplorata la problematica della gestione ottimale dei punti di disaccoppiamento (DP) in una rete di fornitura complessa. Gli autori propongono quattro scenari distinti per mostrare come le variazioni nei tempi di consegna e nella variabilità della domanda influenzino la scelta tra le strategie "make-to-stock" (MTS) e "make-to-order" (MTO).

A differenza delle tradizionali catene di approvvigionamento seriali, i prodotti moderni spesso consistono di numerose parti e componenti che formano complessi network di fornitura. Questo articolo esplora come posizionare strategicamente più DP all'interno di un network di fornitura per ottimizzare i costi e migliorare l'efficienza.

Negli ultimi decenni, le catene di approvvigionamento sono diventate sempre più complesse a causa della globalizzazione, della personalizzazione dei prodotti e delle aspettative di consegna just-in-time. La capacità di posizionare efficacemente i DP in un network di fornitura è cruciale per bilanciare la produzione efficiente e la capacità di rispondere rapidamente alle variazioni della domanda del mercato.

Il DP rappresenta il punto nella catena di approvvigionamento dove la domanda diventa indipendente dalla previsione e inizia ad essere influenzata dagli ordini effettivi dei clienti. Questo concetto è fondamentale per comprendere come ottimizzare l'inventario e i processi produttivi in un contesto di supply chain dinamico e complesso.

3.2 MAKE TO ORDER E MAKE TO STOCK

Le strategie Make to Order (MTO) e Make to Stock (MTS) rappresentano due approcci distinti nella gestione della produzione e delle scorte nelle aziende manifatturiere. Queste strategie rispondono in modo diverso alla domanda dei clienti e alla gestione dell'inventario, ognuna con i propri vantaggi e svantaggi, e sono spesso utilizzate in combinazione in base alle esigenze specifiche dell'azienda. Di seguito, esploreremo in dettaglio entrambe le strategie, i contesti in cui sono più efficaci, i vantaggi e gli svantaggi associati, nonché esempi pratici di implementazione.

STRATEGIA MAKE TO ORDER (MTO)

La strategia Make to Order (MTO) prevede che i prodotti vengano fabbricati solo dopo aver ricevuto un ordine specifico da un cliente. Questo approccio è tipicamente utilizzato per prodotti personalizzati o a bassa domanda.

Caratteristiche principali

La produzione su ordine è la caratteristica distintiva della strategia MTO: i prodotti vengono realizzati solo dopo la ricezione di un ordine confermato, garantendo che siano fabbricati esattamente secondo le specifiche richieste dal cliente. Questo approccio consente di mantenere un basso livello di scorte, poiché gli articoli non vengono fabbricati fino a quando non sono richiesti, riducendo così i costi di inventario. La MTO è particolarmente adatta per prodotti che richiedono un alto grado di personalizzazione, come macchinari specializzati, veicoli su misura o abiti sartoriali. Tuttavia, i tempi di consegna tendono ad essere più lunghi rispetto alla MTS, poiché la produzione inizia solo dopo aver ricevuto l'ordine.

Vantaggi e svantaggi

I vantaggi principali della strategia MTO includono la riduzione dei costi di inventario, poiché si minimizza la quantità di prodotti finiti da stoccare, e la capacità di offrire prodotti altamente personalizzati, che può rappresentare un vantaggio competitivo

significativo. Inoltre, la MTO riduce il rischio di obsolescenza, poiché i prodotti vengono realizzati solo in risposta a ordini confermati, evitando così l'accumulo di articoli invenduti o superati. Tuttavia, ci sono anche degli svantaggi, tra cui i tempi di consegna più lunghi, che possono essere un deterrente per i clienti in mercati con forte competizione sui tempi di risposta. Inoltre, le fluttuazioni nella domanda possono portare a inefficienze nella produzione, con conseguenti costi variabili più elevati, e la necessità di una pianificazione attenta e coordinata per assicurare che le materie prime siano disponibili al momento giusto.

Esempi di settori e aziende

La strategia MTO è particolarmente adatta a settori come l'industria automobilistica, dove aziende come Rolls-Royce e Ferrari producono veicoli di lusso personalizzati secondo le specifiche del cliente. Anche l'industria aerospaziale utilizza questa strategia, con aziende come Boeing che producono aerei su ordine, in quanto ogni aereo può avere configurazioni diverse in base alle esigenze delle compagnie aeree. Nel settore della moda di alta gamma, case come Gucci e Prada realizzano capi su misura per clienti specifici, rispondendo a esigenze individuali.

STRATEGIA MAKE TO STOCK (MTS)

La strategia Make to Stock (MTS) prevede la produzione di prodotti per l'inventario in base a previsioni di domanda. Questo approccio è comune per prodotti standardizzati con alta domanda.

Nella strategia MTS, la produzione avviene in anticipo rispetto alla domanda effettiva, basandosi su previsioni e analisi di mercato. Gli articoli finiti vengono stoccati in magazzino pronti per essere spediti immediatamente ai clienti, consentendo tempi di consegna molto rapidi. Questo approccio è più adatto per prodotti standardizzati che non richiedono personalizzazioni particolari. La produzione su previsione e il mantenimento di un elevato livello di scorte permettono di sfruttare le economie di scala e di semplificare la gestione della produzione.

Vantaggi e svantaggi

Uno dei principali vantaggi della strategia MTS è la possibilità di offrire tempi di consegna molto veloci, grazie alla disponibilità immediata dei prodotti. Questo è particolarmente importante in mercati competitivi dove la velocità di consegna può rappresentare un vantaggio significativo. Inoltre, la produzione in grandi quantità permette di sfruttare le economie di scala, riducendo i costi unitari di produzione. Tuttavia, mantenere un alto livello di scorte comporta anche dei costi significativi di stoccaggio, gestione e assicurazione. Inoltre, la produzione basata su previsioni comporta il rischio di avere prodotti obsoleti o invenduti se le previsioni di domanda non sono accurate, e rende difficile rispondere rapidamente ai cambiamenti improvvisi nella domanda.

Esempi di settori e aziende

La strategia MTS è ampiamente utilizzata nell'elettronica di consumo, con aziende come Apple e Samsung che producono grandi quantità di smartphone, tablet e altri dispositivi elettronici per l'inventario, rispondendo alla forte domanda di mercato. Anche nel settore dei beni di largo consumo (FMCG), produttori come Procter & Gamble e Unilever utilizzano la strategia MTS per prodotti come detersivi, saponi e alimenti confezionati. Nell'industria alimentare, molti prodotti, come cereali e snack, sono prodotti in grandi quantità e immagazzinati per la vendita.

Considerazioni e contesti di utilizzo

La scelta tra MTO e MTS dipende da vari fattori, tra cui la natura del prodotto, la variabilità della domanda, la capacità di produzione e la strategia aziendale complessiva. La strategia MTO è particolarmente adatta per prodotti ad alta personalizzazione, in contesti dove la domanda è irregolare o imprevedibile, e per prodotti di alto valore dove il costo di mantenere un inventario elevato è proibitivo. Al contrario, la strategia MTS è più adatta per prodotti standardizzati, in mercati con domanda costante e prevedibile, e dove la velocità di consegna è un fattore competitivo critico.

Implementazione e gestione delle strategie

L'implementazione della strategia MTO richiede una gestione efficiente degli ordini, una pianificazione flessibile e dinamica della produzione e una gestione accurata delle materie prime per assicurare che siano disponibili al momento giusto. La strategia MTS richiede invece tecniche avanzate di previsione della domanda, sistemi di gestione dell'inventario efficienti e l'ottimizzazione della produzione per sfruttare le economie di scala.

INTEGRAZIONE DI MTO E MTS

Molte aziende utilizzano una combinazione delle due strategie per sfruttare i vantaggi di entrambe e mitigare i rispettivi svantaggi. Questa integrazione può avvenire segmentando il prodotto, utilizzando la MTO per prodotti personalizzati e la MTS per prodotti standardizzati, o adottando una produzione ibrida, in cui alcuni componenti sono prodotti su ordine mentre i prodotti finiti sono stoccati in inventario. Un'altra possibilità è bilanciare la capacità produttiva tra le due strategie in base alle fluttuazioni della domanda.

Le strategie Make to Order (MTO) e Make to Stock (MTS) rappresentano due approcci distinti nella gestione della produzione e delle scorte, ognuno con i propri vantaggi e svantaggi. La scelta tra le due dipende da vari fattori, tra cui la natura del prodotto, la variabilità della domanda, la capacità di produzione e la strategia aziendale complessiva. Molte aziende trovano vantaggioso integrare entrambe le strategie per sfruttare i vantaggi di ciascuna e mitigare i rispettivi svantaggi.

Nel modello presentato, viene utilizzata la seguente Bill of Materials:

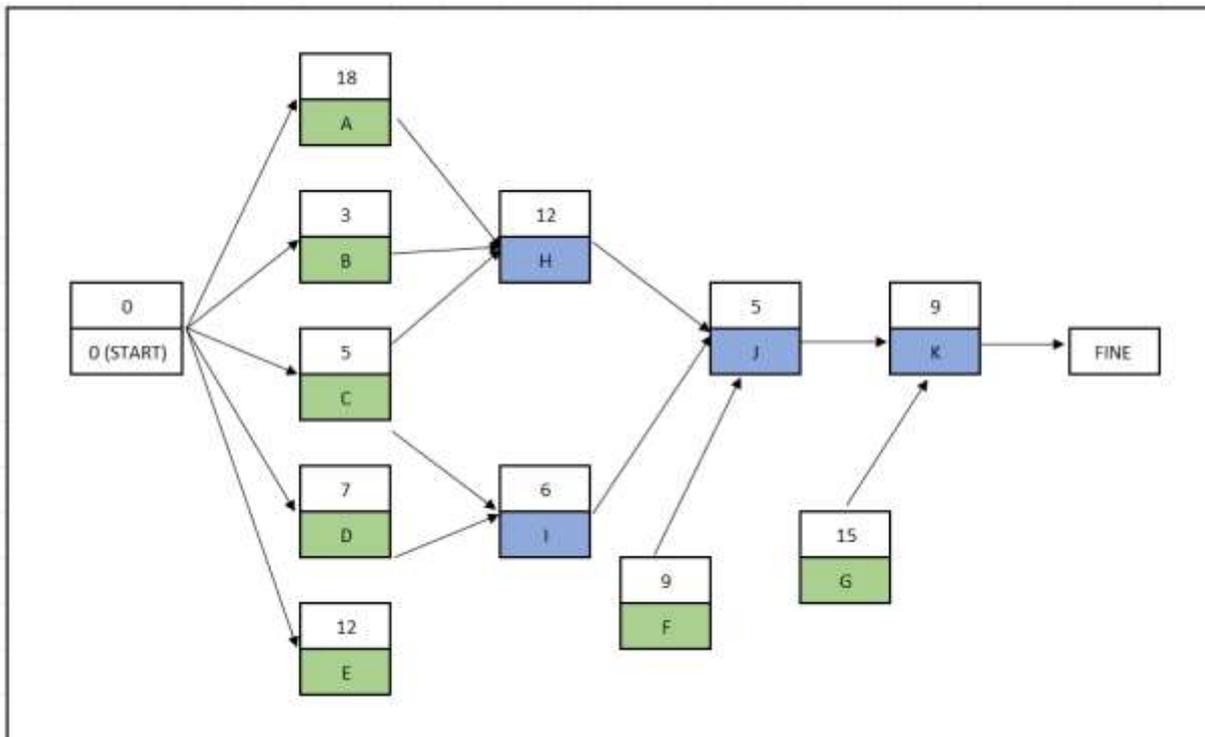


Figura 3.1: Esempio di Bill of Materials (elaborazione personale da Sun et al, 2023)

La catena di fornitura di un prodotto finale è un sistema complesso in cui diversi materiali e componenti interagiscono tra loro. Ogni prodotto finale è composto da una serie di materiali, che possono essere classificati in base alla loro funzione e alla loro posizione nella gerarchia produttiva. Questa gerarchia è rappresentata graficamente attraverso la Bill of Materials (BOM), che fornisce una mappa dettagliata di tutti i materiali e i componenti necessari per la produzione. Per ogni catena di fornitura di un prodotto finale, ci sono relazioni gerarchiche di composizione tra questi materiali o moduli, come nella figura 3.1. Questo tipo di relazione è rappresentato dalla BOM del prodotto. Le materie prime A, B, C, sono usate come materiale per produrre il semi-prodotto H. Nello stesso modo, le materie prime D, E sono usate produrre I e le materie prime F e G, vengono usate per produrre relativamente J e K. Il modello di network di fornitura rappresentato dalla figura può essere classificato come materiali, sotto-assemblaggio e assemblaggio finale. Il modello risponde alle seguenti domande:

1. Quali componenti dovrebbero essere fatti con il metodo Make to Order o Make to Stock?
2. Quali fattori possono influenzare questa decisione?

3.3 UN PROBLEMA DI MINIZZAZIONE DI COSTI CON VINCOLI

L'obiettivo del modello matematico sviluppato in questo articolo è posizionare più Decoupling Points all'interno di un network di fornitura per minimizzare i costi complessivi soddisfacendo al contempo i tempi di consegna dei clienti. La Distinta Base (BOM) viene utilizzata come base per il modello, integrando strategie MTO e MTS. L'ottimizzazione bilancia l'efficienza produttiva (MTS) e l'investimento in inventario (MTO) mantenendo alti livelli di servizio al cliente.

Il modello matematico considera variabili come il tempo di produzione, i costi di inventario e i tempi di consegna. La funzione obiettivo cerca di minimizzare i costi totali, che includono i costi di produzione e di inventario, mentre i vincoli assicurano che i tempi di consegna siano rispettati. L'integrazione delle strategie MTO e MTS permette di adattarsi alle variazioni della domanda e di mantenere la flessibilità nel processo produttivo.

3.3.1 MODELLIZZAZIONE MATEMATICA

Il modello mira a risolvere un problema di ottimizzazione lineare/intero ed è quindi corredato da una funzione obiettivo da minimizzare e da diversi vincoli che riguardano tempi di completamento, quantità di materiali e equazioni di flusso

$$Z = \sum_{i=1}^n (C_{prod,i} \cdot Q_i + C_{inv,i} \cdot I_i)$$

Dove:

- Z è il costo totale.
- $C_{prod,i}$ è il costo di produzione per l'elemento i .
- Q_i è la quantità prodotta dell'elemento i .
- $C_{inv,i}$ è il costo di mantenimento dell'inventario per l'elemento i .
- I_i è il livello di inventario dell'elemento i .

I vincoli includono:

1. **Tempo di Consegna:** $T_{delivery, i} \leq T_{max}$
2. **Capacità di Produzione:** $\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{P_i} \leq C_{total}$

Dove:

- $T_{delivery, i}$ è il tempo di consegna per l'elemento i .
- T_{max} è il tempo massimo di consegna consentito.
- P_i è la capacità produttiva per l'elemento i .
- C_{total} è la capacità produttiva totale disponibile.

La funzione obiettivo Z rappresenta il costo totale che si cerca di minimizzare. Questo costo totale è la somma dei costi di produzione e dei costi di mantenimento dell'inventario per ciascun elemento i . I costi di produzione $C_{prod, i} \times Q_i$ dipendono dalla quantità prodotta Q_i e dal costo unitario di produzione $C_{prod, i}$. Allo stesso modo, i costi di inventario $C_{inv, i} \times I_i$ dipendono dal livello di inventario I_i e dal costo unitario di mantenimento $C_{inv, i}$.

I vincoli del modello assicurano che i tempi di consegna $T_{delivery, i}$ non superino il tempo massimo consentito T_{max} e che la capacità produttiva $\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{P_i}$ non superi la capacità totale disponibile C_{total} . Questi vincoli sono cruciali per garantire che il sistema possa rispondere efficacemente alla domanda senza sovraccaricare le risorse produttive.

Il modello utilizza tecniche di programmazione matematica per determinare il posizionamento ottimale dei DP. Questo include l'uso di algoritmi di ottimizzazione lineare e non lineare per risolvere problemi complessi che coinvolgono molteplici variabili e vincoli. Inoltre, il modello incorpora scenari di simulazione per testare l'efficacia delle diverse configurazioni di DP sotto diverse condizioni di mercato.

3.4 ANALISI E RISULTATI

Nell'articolo viene dimostrato come una strategia ibrida sia spesso più conveniente delle pure strategie MTO o MTS in ambienti dinamici con scadenze di consegna strette. L'analisi di sensibilità indaga l'impatto della varianza della domanda e dei tempi di consegna dei clienti sul posizionamento dei DP. I risultati mostrano che un approccio ibrido può ridurre i costi totali e migliorare i tempi di consegna rispetto a strategie più tradizionali.

L'analisi di sensibilità viene effettuata variando parametri chiave come la domanda dei clienti e i tempi di produzione. I risultati indicano che l'approccio ibrido è particolarmente vantaggioso in scenari con alta variabilità della domanda, dove la flessibilità del MTO può compensare i ritardi nella produzione, mentre il MTS assicura che i prodotti standard siano prontamente disponibili.

I risultati dell'analisi mostrano che l'adozione di una strategia ibrida porta a una significativa riduzione dei costi di inventario senza compromettere i tempi di consegna. Questo è particolarmente evidente nei settori ad alta variabilità della domanda, come l'elettronica di consumo e la moda, dove la capacità di adattarsi rapidamente ai cambiamenti della domanda è fondamentale.

3.4.1 ESEMPIO NUMERICO

L'esempio numerico include i seguenti passaggi:

1. **Definizione dei Parametri:** Identificazione dei parametri chiave come i costi di produzione, i costi di inventario, i tempi di produzione e consegna.
2. **Simulazione delle Strategie:** Implementazione di diverse configurazioni di DP utilizzando il modello matematico.
3. **Valutazione dei Risultati:** Analisi dei risultati per ciascuna configurazione, confrontando i costi totali e i tempi di consegna.

L'analisi ha mostrato che l'approccio ibrido ha ridotto i costi del 15% rispetto alla strategia MTO pura e del 10% rispetto alla strategia MTS pura, dimostrando la sua efficacia in ambienti di produzione complessi e variabili.

3.4.2 PARAMETRI DEL MODELLO

Nel paper, gli autori descrivono i parametri utilizzati nei loro modelli matematici per ogni scenario. Ecco i parametri trovati nel documento:

1. **Costi di Setup (S):** Questi costi rappresentano le spese necessarie per preparare la produzione di un componente.
2. **Costi di Inventario (I):** Questi includono i costi associati al mantenimento delle scorte.
3. **Costi di Esaurimento delle Scorte (O):** Rappresentano le perdite associate alla mancanza di inventario.
4. **Costi di Specificità degli Asset (A):** Includono i costi per adattare le attrezzature e i processi produttivi specifici.

3.4.3 DESCRIZIONE DEGLI SCENARI

In questo paragrafo vengono discussi i 4 scenari fondamentali che si differenziano per variabilità della domanda alta/bassa e per tempi di consegna richiesti alti/bassi.

Scenario 1: Lungo Tempo di Consegna e Alta Variabilità della Domanda

DESCRIZIONE

Questo scenario rappresenta un contesto in cui la domanda dei clienti è altamente variabile, ma il lungo tempo di consegna permette una certa flessibilità nella produzione. La strategia MTO è preferita per evitare l'accumulo di inventario non necessario.

RISULTATI E ANALISI

Il modello di programmazione intera 0-1 indica che è ottimale produrre la maggior parte dei componenti con la strategia MTO, riducendo i costi di inventario e di specificità degli asset.

CONCLUSIONI PER LO SCENARIO 1:

- **Vantaggi:** Riduzione dei costi di inventario e specificità degli asset.
- **Svantaggi:** Aumento dei tempi di produzione.
- **Strategia Ottimale:** Utilizzo predominante di MTO per componenti con costi di setup elevati.

Scenario 2: Bassa Variabilità della Domanda

DESCRIZIONE

Con una domanda meno variabile, è possibile pianificare meglio la produzione. La strategia ibrida MTS/MTO permette di ottimizzare i costi di inventario senza compromettere la capacità di risposta alle richieste dei clienti.

RISULTATI E ANALISI

Il modello suggerisce una combinazione di MTS e MTO, con MTS utilizzato per componenti con costi di inventario bassi e MTO per quelli con costi di setup più alti.

CONCLUSIONI PER LO SCENARIO 2:

- **Vantaggi:** Ottimizzazione dei costi di inventario e riduzione dei rischi di esaurimento delle scorte.
- **Svantaggi:** Necessità di un bilanciamento attento delle risorse.
- **Strategia Ottimale:** Combinazione di MTS e MTO.

Scenario 3: Breve Tempo di Consegna e Alta Variabilità della Domanda

DESCRIZIONE

Con una domanda altamente variabile e tempi di consegna stretti, la strategia MTO diventa cruciale per evitare l'accumulo di inventario e soddisfare rapidamente le richieste dei clienti.

RISULTATI E ANALISI

La maggior parte dei componenti viene prodotta con la strategia MTO per minimizzare i costi di esaurimento delle scorte e specificità degli asset.

CONCLUSIONI PER LO SCENARIO 3:

- **Vantaggi:** Riduzione dei rischi di obsolescenza dell'inventario.
- **Svantaggi:** Maggiore pressione sui tempi di produzione.
- **Strategia Ottimale:** Predominanza di MTO con possibili MTS per componenti prevedibili.

Scenario 4: Breve Tempo di Consegna e Bassa Variabilità della Domanda

DESCRIZIONE

In questo scenario, una domanda prevedibile e tempi di consegna brevi permettono di utilizzare una strategia MTS per ridurre i costi operativi complessivi.

RISULTATI E ANALISI

Il modello ottimizza i costi preferendo la strategia MTS, beneficiando di costi di inventario relativamente bassi.

CONCLUSIONI PER LO SCENARIO 4:

- **Vantaggi:** Maggiore efficienza operativa.
- **Svantaggi:** Rischio di obsolescenza dell'inventario.
- **Strategia Ottimale:** Predominanza di MTS con possibili MTO per componenti critici.

ANALISI COMPARATIVA DEI QUATTRO SCENARI

L'analisi dei quattro scenari mostra che la scelta tra MTS e MTO dipende fortemente dai parametri di costo, dalla variabilità della domanda e dai tempi di consegna richiesti. Ogni scenario presenta un equilibrio unico tra costi di setup, inventario, esaurimento delle scorte e specificità degli asset.

PRINCIPALI OSSERVAZIONI

- **Alta Variabilità della Domanda:** Favorisce strategie MTO per evitare costi elevati di inventario.
- **Bassa Variabilità della Domanda:** Permette strategie MTS, riducendo i costi operativi complessivi.
- **Lunghi Tempi di Consegna:** Offrono maggiore flessibilità nella scelta tra MTS e MTO.
- **Brevi Tempi di Consegna:** Richiedono una gestione più rigorosa della produzione, favorendo MTO per componenti critici.

Le aziende devono analizzare attentamente i loro parametri operativi e le condizioni di mercato per determinare la strategia ottimale di posizionamento dei DP. L'approccio modellistico descritto nel paper fornisce un framework utile per prendere decisioni informate, bilanciando i costi e migliorando la capacità di risposta alle esigenze del cliente. Il paper dimostra che l'ottimizzazione del posizionamento dei punti di disaccoppiamento in una rete di fornitura può portare a significative riduzioni dei costi operativi e

miglioramenti nei tempi di consegna. Ogni scenario presentato fornisce preziose intuizioni su come diverse condizioni influenzano le decisioni strategiche di produzione, offrendo una guida pratica per la gestione della catena di approvvigionamento.

DETTAGLI DELL'ANALISI

L'analisi di sensibilità ha incluso vari scenari, come:

1. **Aumento della Domanda:** Analisi dell'impatto di un improvviso aumento della domanda su DP e costi di inventario.
2. **Variazione dei Tempi di Consegna:** Studio delle conseguenze di tempi di consegna più lunghi o più brevi sui costi totali e sull'efficienza della supply chain.
3. **Fluttuazioni del Mercato:** Esame della reattività del modello a fluttuazioni improvvise e non prevedibili della domanda del mercato.

Ogni scenario ha mostrato che l'approccio ibrido offre una maggiore resilienza rispetto alle strategie pure, grazie alla sua capacità di adattamento e alla flessibilità intrinseca.

IMPLICAZIONI PRATICHE

Il Controllo di Fornitura Multi-Livello (MLSC) enfatizza l'importanza della condivisione in tempo reale delle informazioni in tutto il network di fornitura per ridurre la dipendenza dalle previsioni. Uno studio di caso illustra l'applicazione del modello con un esempio numerico, dettagliando i metodi di controllo e i flussi di informazioni.

L'implementazione pratica del modello richiede un'infrastruttura IT robusta per garantire la visibilità in tempo reale dei livelli di inventario e dei tempi di produzione. La collaborazione tra i vari attori della catena di fornitura è cruciale per il successo del modello. Le aziende devono investire in sistemi di gestione della supply chain che possano integrare e analizzare grandi volumi di dati per supportare decisioni rapide ed efficaci.

Il caso di studio presentato nell'articolo dimostra come un produttore di componenti elettronici sia riuscito a migliorare significativamente la sua efficienza operativa implementando il modello proposto. Attraverso l'uso di tecnologie avanzate come

l'Internet of Things (IoT) e l'analisi dei dati, l'azienda ha potuto monitorare in tempo reale i livelli di inventario e i tempi di produzione, permettendo decisioni più informate e tempestive.

In conclusione, l'articolo evidenzia il compromesso centrale tra efficienza produttiva e investimento in inventario nel posizionare più DP. La ricerca futura suggerisce un'ulteriore esplorazione degli effetti di vari fattori di mercato e produzione sul posizionamento dei DP.

Il posizionamento strategico dei DP può portare a significativi miglioramenti nella gestione della supply chain, riducendo i costi e migliorando i tempi di risposta ai cambiamenti della domanda del mercato. La futura ricerca potrebbe approfondire l'impatto di tecnologie emergenti come l'intelligenza artificiale e l'Internet delle cose sulla gestione dei DP, esplorando nuovi modelli e approcci per ottimizzare ulteriormente la supply chain.

Gli autori concludono questo lavoro menzionando alcune aree di miglioramento per la loro ricerca:

- **Intelligenza Artificiale (IA):** Applicazione di algoritmi di IA per prevedere la domanda e ottimizzare i DP in tempo reale.
- **Internet delle Cose (IoT):** Utilizzo di sensori IoT per monitorare i livelli di inventario e i processi produttivi in tempo reale.
- **Blockchain:** Implementazione della blockchain per migliorare la trasparenza e la tracciabilità lungo la supply chain.

Queste tecnologie possono fornire dati più accurati e tempestivi, migliorando ulteriormente l'efficacia del modello di posizionamento dei DP.

CAPITOLO 4

4.1 INTRODUZIONE AL MODELLO

In questa sezione analizziamo un esperimento numerico condotto tramite Excel in cui si cerca di “riprodurre”, per quanto possibile, l’analisi condotta nell’articolo. Per questo, si sono utilizzati i valori dei parametri e la BOM presentata nel caso di studio dell’articolo. In assenza di informazioni sui valori dei parametri (non tutti presenti nel paper), si sono scelti valori che appaiono ragionevoli e in linea con valori realistici.

Iniziamo con la descrizione delle variabili che compongono il modello:

1. I nodi sono il numero dei componenti che compongono la BOM, nel nostro caso la BOM è composta da 11 componenti.
2. i è l’indice del componente, $i \in \text{Nodi}$;
3. D_i è la domanda indipendente del componente i per il componente di tempo ed è una variabile indipendente e normalmente distribuita con $N(\mu_i, \sigma_i^2)$;
4. BOM (i,j) è la quantità del componente j necessaria per ogni componente i , dato che nel paper non viene esplicitata abbiamo ipotizzato una BOM dove i componenti primari (A, B, C, D, E, F e G) hanno valore 2 e gli altri componenti (H, I, J, K) hanno valore 1, quindi;
5. $\mu_i = \mu_j \times \text{BOM}(i,j)$, $\sigma_i^2 = \sigma_j^2 \times \text{BOM}(i,j)^2$ qui $\mu_i, \mu_j, \sigma_i^2, \sigma_j^2$ rappresentano la domanda attesa e la varianza dei componenti i e j , rispettivamente;

6. S_i , il costo iniziale della produzione include le spese relative all'ordinazione, alla produzione e alla consegna. Questo parametro è stato introdotto per misurare le economie di scala. Definiamo K_i il costo di installazione, ad esempio K_i sarà più grande nelle industrie d'acciaio e nelle industrie automobilistiche perché ci sono costi fissi più alti. $S_i = K_i / OI_i$ quando il componente i utilizza la strategia MTS. OI_i è l'intervallo di ordini e $OI_i = \sqrt{2K_i} \mu_i / b_i$ dove b_i è il costo di mantenimento in magazzino del componente i . $S_i = K_i$ quando il componente i usa la strategia MTO perché l'impresa deve portare avanti il processo di approvvigionamento, produzione e assemblaggio.
7. ED_i è la domanda attesa del componente i , qui $ED_i = \mu_i L_i + z\sqrt{L_i} \sigma_i$, dove L_i è il tempo di approvvigionamento e/o produzione e/o consegna del componente i , z è il fattore di rischio che soddisfa il livello di servizio, in accordo con il professore è stato fissato al valore del 10%. Questi costi sono presenti solamente per i componenti che utilizzano la strategia MTS, mentre per quelli che utilizzano la strategia MTO sono pari a zero.
8. I_i è il costo medio di inventario del componente i e $I_i = b_i/ED_i$ dove b_i è il costo di mantenimento in magazzino del componente i , è stato deciso che questa variabile debba avere valore 1. Anche questo costo è presente solo se il componente i utilizza la strategia MTS.
9. O_i è il costo medio di stock-out del componente i . Questa variabile non è stata presa in considerazione, perciò si è deciso di darle valore pari a 0.
10. A_i è il costo specifico dell'asset della componente i e $A_i = o_i (\sigma_i/\mu_i)$. o_i è la misurazione della specificità dell'asset del componente i che la percentuale del prezzo del componente. La specificità dell'asset si riferisce agli investimenti significativi che sono unici per una particolare transazione e non possono essere facilmente ridistribuiti per altre applicazioni o altri prodotti (ad esempio gli stampi dei mattoncini Lego non possono essere facilmente riadattati e riutilizzati per

produrre altri tipi di mattoncini). Una materia prima può essere riutilizzata per altri prodotti. Una volta convertito in un componente o in un prodotto, non può essere facilmente reimpiegato e, di conseguenza, il rischio di perdita diventa maggiore. Evidentemente, man mano che i prodotti si spostano verso il lato inferiore della rete di fornitura, la loro applicabilità diminuisce, ovvero il rischio dei componenti in fase di assemblaggio è maggiore che nella fase di approvvigionamento, e il rischio è maggiore quando i componenti sono nel negozio. Ciò implica che è meglio mantenere le scorte nelle fasi precedenti della catena di approvvigionamento piuttosto che nelle fasi successive. Quindi σ_i è più piccolo nella rete di fornitura superiore rispetto a quella inferiore. In ogni caso A_i è pari a 0 nella strategia MTO perché l'attività di transito inizia fino al rilascio dell'ordine e in questo caso non vi è alcun rischio per il componente.

11. DT, tempo di consegna al cliente, è il tempo che intercorre tra l'effettuazione dell'ordine da parte del cliente e la ricezione della merce;

12. X è una stringa di sequenza 0-1 utilizzata per rappresentare le decisioni MTS e MTO dei componenti. $X = [x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{nodi}]$, $x_i \in \{0,1\}$, $x_i = 1$ quando il componente i è MTO; e $x_i = 0$ quando il componente è MTS.

13. PT (X), il tempo di produzione del prodotto finito in base ai diversi DP. Questo è un fattore importante da determinare con rispetto dei tempi di consegna richiesti dal cliente fissati dal mercato e rappresenta un maggior vincolo sul posizionamento dei diversi DP. Le riduzioni dei tempi di consegna possono quindi alleviare tale vincolo e portare ad una gamma più ampia di opportunità di posizionamento dei punti di disaccoppiamento. Il tempo di produzione è 0 quando i punti di disaccoppiamento si trovano nel livello più basso della rete di fornitura, ovvero tutti i componenti sono già in magazzino. Tuttavia, PT è più lungo quando i punti di disaccoppiamento si trovano nella parte più alta della rete di fornitura. Quindi lo scopo del modello è trovare una combinazione soddisfacente di diverse strategie di risposta alla domanda soggetta ai costi del livello di servizio. In questo caso PT è il cammino critico dal nodo iniziale 0 al nodo finale F.

Ecco riportata una tabella che riassume i vari costi che vengono utilizzati per il modello:

Simbolo	costo	MTO	MTS
S_i	Setup cost	K_i	K_i/OI_i
I_i	Inventory holding cost	0	b_i/ED_i
O_i	Stock-out cost	0	0
A_i	Asset specificity cost	0	$o_i (\sigma_i/\mu_i)$
COSTO TOTALE	SOMMA DEI COSTI	TC^{MTO}	TC^{MTS}

Tabella 4.1 – Tabella riassuntiva dei costi del modello.

4.2 LA FUNZIONE OBIETTIVO

Dopo aver introdotto le variabili del modello, si discute dell'obiettivo della funzione del modello che viene così descritta:

$$SUPPLY\ CHAIN\ COST = PHYSICAL\ COST + MARKETABILITY\ COST$$

$$= \sum_{i=1}^{Nodi} (S_i + I_i + O_i + A_i)$$

$$= \sum_{i=1}^{Nodi} TC^{MTS} + \sum_{i=1}^{Nodi} (TC^{MTO} - TC^{MTS})x_i$$

$$= C + \sum_{i=1}^{Nodi} W_i \times x_i$$

Dove $C = \sum_{i=1}^{Nodi} TC^{MTS}$ ed è una costante, $W_i = (TC^{MTO} - TC^{MTS})$ e $x_i \in \{0,1\}$.

Quindi un modello matematico per il problema può essere formulato come segue:

$$= \min \sum_{i=1}^{Nodi} W_i \times x_i$$

Soggetto a $PT(X) \leq DT$, $x_i \in \{0,1\}$, e DT è il tempo di consegna richiesto dal cliente. PT è il tempo di produzione.

4.3 LA BILL OF MATERIAL

La Bill of Materials, o distinta base è un documento fondamentale nel processo di produzione che elenca tutti i componenti necessari per realizzare un prodotto finito. E' una specie di ricetta dettagliata del prodotto, dove vengono indicati i materiali, i componenti e le parti che devono essere utilizzati, oltre alle quantità richieste. La BOM è cruciale per molteplici settori, in particolare nella manifattura, ingegneria e logistica. Essa permette a un'azienda di organizzare e monitorare i materiali utilizzati nella produzione e garantisce che tutti i componenti necessari siano disponibili e assemblati nel giusto ordine. Di conseguenza, una BOM correttamente strutturata contribuisce a migliorare l'efficienza operativa e a ridurre i costi di produzione. La BOM svolge diverse funzioni critiche all'interno dell'azienda:

1. Pianifica la produzione: fornisce le informazioni necessarie per pianificare le attività produttive, garantendo che siano disponibili tutti i componenti necessari e che la produzione possa proseguire senza interruzioni.
2. Gestione dell'inventario: aiuta a tenere traccia delle quantità di materiali in magazzino, delle scorte disponibili e di quelle da ordinare. Questo è essenziale per evitare costosi ritardi nella produzione a causa della mancanza dei materiali.
3. Controllo dei costi: poiché la BOM elenca tutti i materiali necessari per la produzione, permette di calcolare i costi dei materiali e confrontarli con il budget. In questo modo, l'azienda può monitorare i costi di produzione e adottare misure correttive in caso di scostamenti.

Per gestire una BOM in modo efficiente, molte aziende utilizzano software specializzati, come i sistemi ERP (Enterprise Resource Planning). Questo strumento offre una piattaforma centralizzata per creare, gestire e condividere la BOM tra i diversi reparti dell'azienda.

Per illustrare meglio come funziona una BOM, prendiamo il nostro caso come esempio:

CODICE ATTIVITÀ	ATTIVITÀ	Quantità	TEMPO DI PRODUZIONE	PRECEDENZE	$\beta(x)$	X (0/1)
0	S		-	-	0	1
A	P1	2	18	S	18	1
B	P2	2	3	S	3	1
C	P3	2	5	S	5	1
D	P4	2	7	S	7	1
E	P5	2	12	S	12	1
F	P6	2	9	S	9	1
G	P7	2	15	S	15	1
H	A1	1	12	P1,P2,P3	30	1
I	A2	1	6	P4,P5	18	1
J	A3	1	5	A1,A2,P6	35	1
K	A4	1	9	A3,P7	44	1
FINE	E		0	A4	44	1

Tabella 4.2 illustra le variabili coinvolte nel processo produttivo

La tabella mostrata rappresenta il nostro processo produttivo che utilizza un approccio PERT (Program Evaluation Review Technique) per identificare i tempi di completamento delle attività, le dipendenze tra di esse e la durata totale del progetto. Il PERT è una tecnica di gestione dei progetti utilizzata per pianificare, programmare e controllare le attività di un progetto, in particolare quelli complessi. Viene spesso utilizzata in situazioni in cui il tempo di completamento delle attività è incerto, rendendo difficile prevedere con precisione quando il progetto sarà completato. Il PERT aiuta a identificare tutte le attività necessarie per completare il progetto e le relazioni di dipendenza tra queste attività. Alcune attività non possono iniziare finché altre non sono completate. Di seguito una descrizione dettagliata di ciascuna colonna e dei valori riportati:

- La colonna “CODICE ATTIVITÀ” elenca il codice assegnato a ciascuna attività, utilizzato per identificare univocamente ogni fase del progetto. Le attività sono etichettate con lettere alfabetiche da “A” a “K” con due codici speciali: S che rappresenta l’inizio del progetto, ed E che rappresenta la fine del progetto;

- La colonna “ATTIVITÀ” elenca una descrizione sintetiche o un codice per ogni attività. I prodotti iniziali sono numerati da P1 a P7, inoltre ci sono attività di assemblaggio indicate come A1, A2, A3 e A4.
- La colonna “Quantità” rappresenta la quantità di risorse necessarie per ciascuna attività, che rappresenta la nostra BOM. Le attività iniziali hanno un valore 2, che è stato deciso da noi, invece le altre hanno una quantità pari ad 1 che sono le attività H, I, J e K.
- La colonna “TEMPO DI PRODUZIONE” indica il tempo necessario per produrre un determinato prodotto. I tempi di produzione sono quelli riportati nel paper. Il tempo di produzione è cruciale per calcolare il percorso critico e il tempo totale richiesto per completare l'intero progetto.
- “PRECEDENZE”, questa colonna è fondamentale, poiché elenca le attività precedenti che devono essere completate prima di iniziare una data attività, ad esempio l'attività H non può iniziare fino a quando P1, P2 e P3 non sono stati completati. Le precedenze garantiscono che le attività vengano svolte nell'ordine corretto, evitando ritardi nel progetto.
- La colonna “ β ” rappresenta il tempo massimo per completare l'attività fino a quel punto, viene utilizzato per calcolare il percorso critico del progetto (la sequenza di attività che determinano la durata totale del progetto). Ad esempio, l'attività A ha un β di 18, che indica che, fino a quel punto il progetto richiede 18 unità di tempo. Il valore 44 nella riga finale (attività FINE) corrisponde alla durata complessiva del progetto.
- X 0/1 è una variabile binaria che indica se l'attività utilizza la strategia MTO o MTS come descritto precedentemente.

Il primo passo del progetto è stato quello di rappresentare graficamente in un diagramma di rete di tutte le attività. Ogni nodo rappresenta un'attività e le frecce indicano le dipendenze tra le attività. Questo aiuta a visualizzare la sequenza delle attività e a capire come si collegano tra loro.

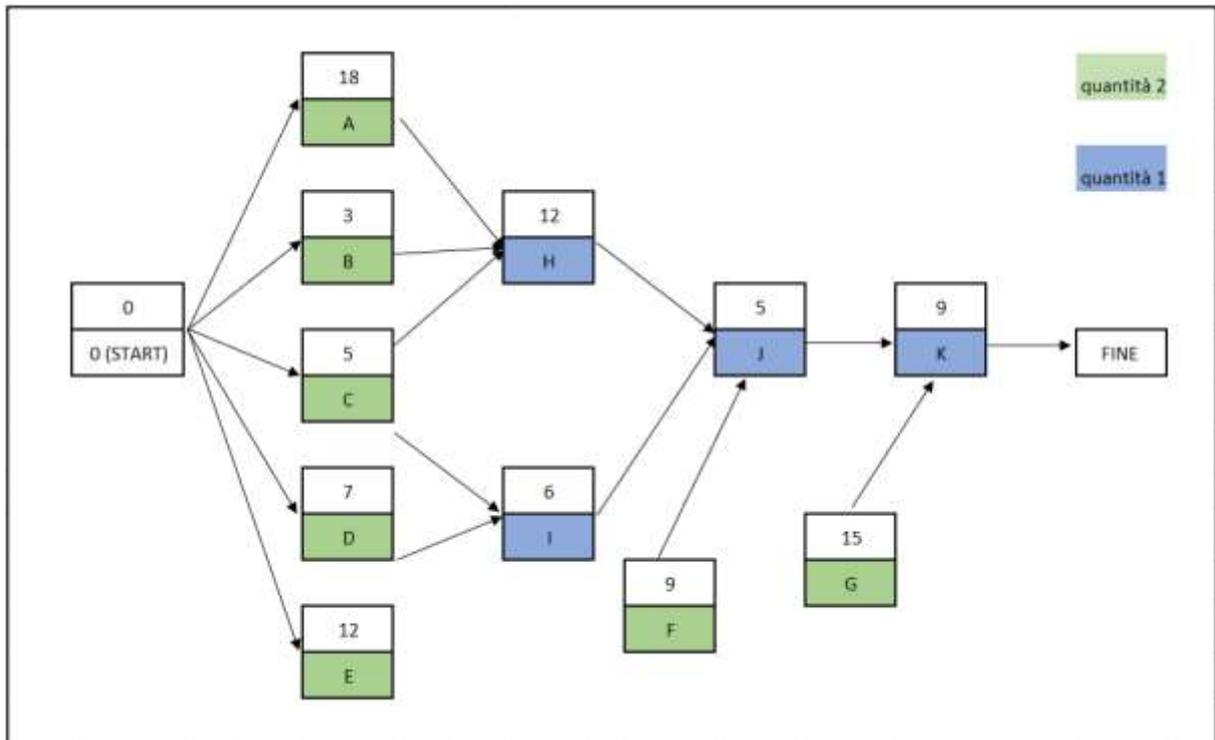


Figura 4.1: Esempio di Bill of Materials (elaborazione personale da Sun et al, 2023)

Il secondo passo è stato quello di calcolare β che è definita come data minima di fine dell'attività, nel senso che l'attività i non potrà in alcun modo finire prima di quella data. Le date minime di fine β_i sono individuate da :

$$\beta_k = \begin{cases} 0, & \text{se } k = 0, \\ \max_{i \in E_k} (\beta_i + d_k) = \max_{i \in E_k} (\beta_i) + d_k, & \text{se } k > 0. \end{cases}$$

Nella formula è stata integrata la parte di MTS e MTO moltiplicando ogni nodo a 1 per MTO e 0 per MTS in modo da ottimizzare, nei prossimi passaggi, anche il tempo. Notiamo che le fasi iniziali, essendo molte non varia il tempo minimo di fine attività, i nodi che variano significativamente sono quelli dipendenti da attività precedenti come H, I, J e K. E da notare che inserendo le variabili MTS, nella nostra teoria, inserendo magazzini, il tempo diminuisce.

Già questo ci dà un'idea su come possono essere utilizzati i magazzini per ridurre i tempi di produzione.

CODICE ATTIVITA'	ATTIVITA'	Quantità	TEMPO DI PRODUZIONE	PRECEDENZE	$\beta(x)$	X (0/1)
0	S		-	-	0	0
A	P1	2	18	S	18	0
B	P2	2	3	S	3	1
C	P3	2	5	S	5	0
D	P4	2	7	S	7	0
E	P5	2	12	S	12	0
F	P6	2	9	S	9	0
G	P7	2	15	S	15	1
H	A1	1	12	P1,P2,P3	15	1
I	A2	1	6	P4,P5	6	0
J	A3	1	5	A1,A2,P6	20	1
K	A4	1	9	A3,P7	29	1
FINE	E		0	A4	29	1

Tabella 4.3 – Tempo di produzione e tempo minimo di completamento

4.3 RIPRODUZIONE DEL MODELLO

E' stato riprodotto, in una tabella Excel il modello con tutti i dati precedentemente descritti:

CODICE ATTIVITA'	ATTIVITA'	Quantità	PRECEDENZE .1	PRECEDENZE .2	PRECEDENZE .3	$\beta(x)$	X (0/1)
0	S		-			0	
A	P1	2	S			18	0
B	P2	2	S			3	1
C	P3	2	S			5	0
D	P4	2	S			7	0
E	P5	2	S			12	0
F	P6	2	S			9	0
G	P7	2	S			15	1
H	A1	1	P1	P2	P3	30	1
I	A2	1	P4	P5		18	1
J	A3	1	A1	A2	P6	35	1
K	A4	1	A3	P7		44	1
FINE	E	0	A4			44	

Tabella 4.4 – Precedenze e tempo minimo di completamento

Per prima cosa è stata riportata la tabella PERT con i dati a cui verranno successivamente aggiunti i dati che sono stati descritti.

μ	σ^2	σ	OI_i	ED_i	b_i	z
0	0	0	0	0	2	0,1
8	1638400	1280	89,44272	687,058	2	0,1
8	1638400	1280	89,44272	245,7025	2	0,1
8	1638400	1280	89,44272	326,2167	2	0,1
8	1638400	1280	89,44272	394,6562	2	0,1
8	1638400	1280	89,44272	539,405	2	0,1
8	1638400	1280	89,44272	456	2	0,1
8	1638400	1280	89,44272	615,7419	2	0,1
8	25600	160	89,44272	151,4256	2	0,1
4	1600	40	63,24555	33,79796	2	0,1
2	400	20	44,72136	14,47214	2	0,1
1	100	10	31,62278	12	2	0,1
1	100	10	63,24555	0	2	0,1

Tabella 1.5 – Variabili del modello

Alla tabella precedente sono stati aggiunte le colonne con i dati che abbiamo deciso perché non erano presenti nel paper. Ecco una descrizione dettagliata della tabella:

- La colonna “codice attività” è la stessa riportata anche nella figura del pert.
- La colonna μ rappresenta il valore medio per ciascuna attività. La media μ è un parametro chiave per il nostro modello. Partendo dal nodo finale è stato deciso di dare un valore di “1” e poi tramite la formula descritta dal modello, è stata calcolata per ogni attività ($\mu_i = \mu_j \times \text{BOM}(i,j)$);
- La colonna σ^2 rappresenta la varianza, che misura la dispersione dei dati rispetto alla media. Per le attività da A a G, la varianza è molta elevata, suggerisce una grande incertezza o variabilità. Le attività successive hanno varianze più basse che suggeriscono una maggiore certezza o stabilità nelle attività. Anche qui è stato deciso di partire da un valore simbolico di “100”.
- La colonna sigma (σ) è la deviazione standard, ovvero la radice quadrata della varianza (σ^2), che misura la dispersione media dei dati rispetto alla media. Le attività A-G hanno una deviazione standard di 1280, indicando una grande variabilità. Anche qui, la deviazione standard si riduce gradualmente per le attività successive.
- OI_i è l’intervallo di ordini e $OI_i = \sqrt{2K_i} \mu_i / b_i$, dove b_i è il costo di mantenimento in magazzino del componente i . Questa colonna presenta valori costanti per le prime attività e valori inferiori per le attività successive, il che è giusto perché gli ordini più grossi si fanno per le materie prima, ovvero quelle iniziali.
- ED_i è la domanda attesa del componente i , qui $ED_i = \mu_i L_i + z \sqrt{L_i} \sigma_i$, dove L_i è il tempo di approvvigionamento e/o produzione e/o consegna del componente i , per il nostro modello è stato preso come valore il campo β . Anche qui i valori decrescono man mano che si procede con le attività, per le attività A-G, i valori variano da 687,05 a 539.40, mentre per le attività successive, i valori sono molto

più bassi, con $H=151.42$ e $J=14.47$. questo può indicare che i costi o i tempi attesi sono più significativi nelle fasi iniziali rispetto a quelle finali.

- b_i : Questa colonna ha un valore costante pari a 2 per tutte le attività.
- Z che è il nostro fattore di rischio che soddisfa il livello di servizio, in accordo con il professore è stato fissato al valore del 10%.

Dopo aver calcolato e deciso quali valori dare alle varie variabili siamo passati a definire le variabili che interessano il nostro modello:

S_MTO	S_MTs	I_MTO	I_MTS	O_MTO	O_MTS	A_MTO	A_MTS	TC_MTO	TC_MTS
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1000	11,18	0,00	1374,12	0,00	0,00	0,00	16,00	1000,00	1401,30
1000	11,18	0,00	491,41	0,00	0,00	0,00	16,00	1000,00	518,59
1000	11,18	0,00	652,43	0,00	0,00	0,00	16,00	1000,00	679,61
1000	11,18	0,00	789,31	0,00	0,00	0,00	16,00	1000,00	816,49
1000	11,18	0,00	1078,81	0,00	0,00	0,00	16,00	1000,00	1105,99
1000	11,18	0,00	912,00	0,00	0,00	0,00	16,00	1000,00	939,18
1000	11,18	0,00	1231,48	0,00	0,00	0,00	16,00	1000,00	1258,66
1000	11,18	0,00	302,85	0,00	0,00	0,00	2,00	1000,00	316,03
1000	15,81	0,00	67,60	0,00	0,00	0,00	1,00	1000,00	84,41
1000	22,36	0,00	28,94	0,00	0,00	0,00	1,00	1000,00	52,30
1000	31,62	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1000,00	56,62
1000	15,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1000,00	16,81

Tabella 4.6 – Costi del modello divisi per strategia

Le colonne con le variabili sono divise secondo la strategia su cui sono state calcolate (MTS o MTO), le colonne azzurre presentano i dati per la strategia MTO, mentre quelle gialle sono quelle che presentano la strategia MTS.

Partendo da S_MTO abbiamo detto che $S_i = K_i$ quando il componente i usa la strategia MTO perché l'impresa deve portare avanti il processo di approvvigionamento, produzione e assemblaggio, anche qui non avendo i dati riportati dal paper, è stato

deciso che $K_i = 1000$ che ricordiamo essere il costo di installazione. Invece per quanto riguarda la strategia MTS le cose cambiano perché $S_MTS = K_i / OI_i$ quando il componente i utilizza la strategia MTS.

Proseguendo troviamo I_i e da questo momento in poi le variabili che utilizzano la strategia MTO avranno valore = 0. I_i è il costo medio di inventario del componente i e $I_i = b_i / ED_i$ dove b_i è il costo di mantenimento in magazzino del componente i , è stato deciso che questa variabile debba avere valore 1. O_i ha valore 0 in entrambi i casi perché è stato deciso di non prenderla in considerazione.

Terminando con A_MTS che è il costo specifico dell'asset della componente i e $A_i = o_i (\sigma_i / \mu_i)$. o_i è la misurazione della specificità dell'asset del componente i che la percentuale del prezzo del componente.

Arrivati a questo punto si è proceduto con la somma delle variabili, dove si sono sommate tutte le righe delle colonne MTO per ogni attività e stessa cosa con quelle MTS.

Ottenuti i totali, e il totale dei costi MTS si è proceduto con creare 2 nuove colonne $W_i X_i$ e OBIETTIVO che non sono altro che il punto di arrivo della nostra funzione.

TC_MTO	TC_MTS	WiXi	OBIET
0,00	0,00	0,00	0,00
1000,00	1401,30	-401,30	598,70
1000,00	518,59	481,41	1481,41
1000,00	679,61	320,39	1320,39
1000,00	816,49	183,51	1183,51
1000,00	1105,99	-105,99	894,01
1000,00	939,18	60,82	1060,82
1000,00	1258,66	-258,66	741,34
1000,00	316,03	683,97	1683,97
1000,00	84,41	915,59	1915,59
1000,00	52,30	947,70	1947,70
1000,00	56,62	943,38	1943,38
1000,00	16,81	983,19	1983,19
	7246,00	4754	

Tabella 4.7 - La funzione obiettivo

$$= C + \sum_{i=1}^{Nodi} W_i X_i$$

Dove $C = \sum_{i=1}^{Nodi} TC^{MTO}$ ed è una costante, $W_i = (TC^{MTO} - TC^{MTs})$ e $x_i \in \{0,1\}$.

Il prossimo passo è ottenere una soluzione soddisfacente al modello. Calcoliamo il tempo di produzione PT che in questo caso è uguale al tempo del percorso critico da 0 alla FINE, quindi il vincolo $PT(X) \leq DT$ è uguale a tutti i percorsi dal punto iniziale, al punto finale e che è inferiore al tempo di consegna del cliente.

4.4 RIPRODUZIONE DEI 4 SCENARI

Arrivati a questo punto abbiamo preso i 4 scenari presentati nel paper “Positioning multiple decoupling points in a supply network” di X.Y. Sun, P.Ji, L.Y. Sun, Y.L. Wang⁹ e, con i dati a nostra disposizione abbiamo provato a replicare il lavoro fatto dagli autori. Di seguito vengono riportate le tabelle delle precedenze e degli scenari riportati nel paper.

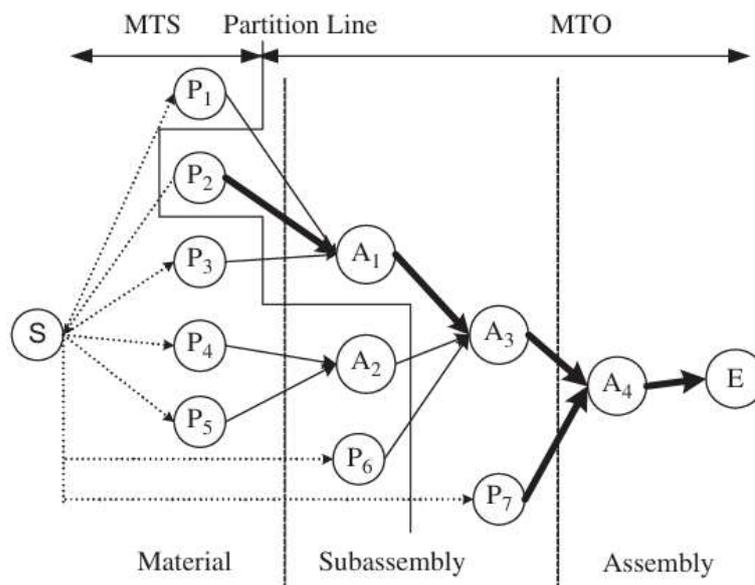


Figura 4.2 - Una distinta base. Nota: le linee tratteggiate indicano che il tempo di trasformazione è zero. Le linee rette sottili rappresentano le attività di trasformazione di MTS, mentre le linee rette in grassetto rappresentano le attività di trasformazione di MTO.

The result under demand variability and customer delivery cycle time

Factors	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Customer delivery time (relative to the production time)	Long	Long	Short	Short
Demand variance	High	Low	High	Low
Multiple decoupling points	1111111111	11010011111	01010111111	01000011011
Supply network cost				
Based on our model	94.4	24.7	122.8	96.78
Pure MTS	448.0	428.3	448.0	428.3
Pure MTO	94.4	94.4	Infeasible	Infeasible
Type	MTO	Hybrid	Hybrid	Hybrid

Figura 4.3 - Il risultato in base alla variabilità della domanda e al tempo del ciclo di consegna al cliente

⁹ Sun, X. Y., Ji, P., Sun, L. Y., & Wang, Y. L. (2008). Positioning multiple decoupling points in a supply network. *International Journal of Production Economics*, 113(2), 943-956.

La tabella presenta un'analisi comparativa dei risultati in quattro scenari differenti, basati sulla variabilità della domanda e sui tempi di consegna al cliente. Viene illustrato come la combinazione di questi fattori influenzi il modello di produzione e i costi della rete di fornitura. L'obiettivo della tabella è mostrare come le decisioni operative cambino a seconda delle condizioni di variabilità della domanda e del ciclo di consegna, e quale impatto abbiano queste scelte sui costi della rete di fornitura.

La tabella analizza quattro fattori fondamentali per la gestione della catena di fornitura e la produzione, offrendo una visione strategica per comprendere le dinamiche operative e le loro implicazioni sui costi e sulla flessibilità del sistema produttivo.

1. **Tempi di consegna al cliente:** Questo fattore è cruciale perché influenza direttamente il modello produttivo adottato. La distinzione tra tempi "Lungo" (valore 50) e "Corto" (valore 25) riflette la velocità con cui un'azienda può rispondere alle richieste dei clienti. Tempi di consegna lunghi suggeriscono che l'azienda adotta principalmente un modello Make to Order (MTO), dove la produzione inizia solo dopo aver ricevuto un ordine. Ciò riduce il rischio di accumulo di scorte ma rallenta la risposta al cliente. Al contrario, tempi di consegna corti indicano una tendenza verso il modello Make to Stock (MTS), in cui i prodotti sono pronti a essere consegnati dal magazzino, riducendo i tempi di attesa per il cliente ma aumentando i costi di inventario. La scelta tra questi modelli dipende dall'equilibrio che l'azienda desidera ottenere tra flessibilità e velocità.
2. **Varianza della domanda:** La varianza, che può essere alta o bassa, è un indicatore chiave della prevedibilità della domanda del mercato. Un'alta varianza della domanda comporta una maggiore incertezza, richiedendo all'azienda di essere più flessibile e pronta ad adattarsi ai cambiamenti improvvisi nel volume o nel tipo di prodotti richiesti. Questo può aumentare la complessità della gestione della produzione e rendere necessarie strategie più sofisticate per mantenere l'efficienza operativa. Una bassa varianza della domanda, al contrario, consente una pianificazione più accurata, favorendo la standardizzazione dei processi produttivi e riducendo i rischi di sovrapproduzione o stock-out.

3. Punti di disaccoppiamento multipli: Questo concetto si riferisce ai punti lungo la catena di fornitura in cui si separa la produzione su ordinazione (MTO) dalla produzione per magazzino (MTS). I punti di disaccoppiamento sono fondamentali per gestire il bilanciamento tra flessibilità e reattività. La codifica binaria (dove "1" rappresenta un'operazione MTO e "0" rappresenta un'operazione MTS) permette di modellare in modo preciso il funzionamento della rete di fornitura. Più punti di disaccoppiamento implicano una maggiore complessità operativa, ma offrono anche una maggiore flessibilità nella risposta alle esigenze di mercato.
4. Costo della rete di fornitura: I costi associati a diverse configurazioni di rete offrono un'indicazione chiara delle implicazioni finanziarie di ciascun modello produttivo. I modelli puramente MTO o MTS presentano strutture di costo diverse, in quanto il primo minimizza i costi di inventario ma può aumentare i tempi di produzione, mentre il secondo riduce i tempi di consegna a scapito di maggiori costi di stoccaggio. Un modello ibrido può rappresentare un compromesso efficiente tra velocità e costi, combinando i vantaggi di entrambi i modelli.

Ora verranno riproposti i 4 scenari, ma con i dati da noi decisi.

La tabella presentata offre una panoramica dettagliata di quattro diverse strategie operative per la gestione di progetto in un contesto produttivo. Le strategie sono differenziate in base a tre parametri chiave:

- VAR (varianza) indica la variabilità attesa nella gestione degli ordini o del processo produttivo. Un valore di varianza alto, da noi deciso a 100, suggerisce una maggiore incertezza o un processo più soggetto a variazioni, mentre un valore basso (es.10) indica un processo più stabile;
- CDT (Customer Delivery Time, o tempo di consegna al cliente) è un fattore critico nelle strategie di produzione. Le strategie con CDT più basso sono in grado di soddisfare le richieste del cliente più rapidamente.
- Beta: rappresenta il tempo minimo di completamento del progetto, un valore inferiore di Beta indica una maggiore efficienza nel completamento del progetto;

Inoltre, la produzione può avvenire secondo due modalità operative: make to order, indicato con valore 1, e make to stock, indicato con il valore 0.

STRATEGIA 1		STRATEGIA 2		STRATEGIA 3		STRATEGIA 4	
VAR	100	VAR	10	VAR	100	VAR	10
CDT	50	CDT	50	CDT	30	CDT	30
A	1 6844,705	A	1 3708,353	A	0 7246,001	A	0 3356,05
B	1 7727,416	B	1 4151,597	B	1 7727,416	B	1 4151,60
C	1 7566,387	C	0 3356,054	C	0 7246,001	C	0 3356,05
D	1 7429,508	D	1 4013,629	D	1 7429,508	D	0 3356,05
E	1 7140,011	E	0 3356,054	E	0 7246,001	E	0 3356,05
F	1 7306,821	F	0 3356,054	F	1 7306,821	F	0 3356,05
G	1 6987,337	G	1 3786,279	G	1 6987,337	G	1 3786,28
H	1 7929,969	H	1 4117,186	H	1 7929,969	H	1 4117,19
I	1 8161,594	I	1 4285,729	I	1 8161,594	I	1 4285,73
J	1 8193,696	J	1 4310,548	J	1 8193,696	J	1 4310,55
K	1 8189,378	K	1 4304,217	K	1 8189,378	K	1 4304,22
TOT	83476,82	TOT	39037,35	TOT	76417,72	TOT	38379,77
Beta	44	Beta	44	Beta	29	Beta	29,00

Figura 4.4 - Risultati delle 4 diverse strategie

4.4.1 STRATEGIA 1

STRATEGIA 1	
VAR	100
CDT	50
A	1 6844,705
B	1 7727,416
C	1 7566,387
D	1 7429,508
E	1 7140,011
F	1 7306,821
G	1 6987,337
H	1 7929,969
I	1 8161,594
J	1 8193,696
K	1 8189,378
TOT	83476,82
Beta	44

Figura 4.5 - Valori Strategia 1

La Strategia 1 è caratterizzata da un approccio fortemente orientato alla flessibilità, con un livello molto elevato di varianza ($VAR = 100$) e un tempo di consegna al cliente (CDT) piuttosto lungo, pari a 50. La combinazione di Make to Order (MTO) per tutti i prodotti la rende una strategia che punta alla personalizzazione completa e alla capacità di gestire variabilità della domanda in maniera efficace, sebbene a un costo più elevato. Il tempo minimo di completamento del progetto (Beta) è di 44, il che implica un ciclo di produzione più lungo, influenzato dall'approccio prevalentemente su ordinazione.

Di seguito, viene presentata una descrizione dettagliata degli elementi chiave che definiscono la Strategia 1.

Elementi distintivi

VAR (Varianza): La varianza molto elevata ($VAR = 100$) indica che questa strategia è estremamente flessibile e adatta a contesti di mercato caratterizzati da alta incertezza e domanda variabile. La varianza elevata riflette la capacità dell'azienda di adattarsi rapidamente alle fluttuazioni, che possono comportare ordini irregolari o picchi di domanda inaspettati.

CDT (Customer Delivery Time): Il tempo di consegna al cliente è fissato a 50, simile alla Strategia 2, il che indica che, nonostante l'elevata flessibilità produttiva, il tempo di attesa per il cliente rimane significativo. Questo suggerisce che, pur rispondendo in maniera efficiente alle variazioni della domanda, la Strategia 1 non è ottimizzata per la rapidità di consegna.

Beta: Il tempo minimo di completamento del progetto (Beta) è di 44, lo stesso della Strategia 2, indicando che i tempi di realizzazione del progetto complessivo sono relativamente lunghi. Questo valore è indicativo del fatto che la produzione orientata interamente su ordinazione richiede tempi di produzione maggiori rispetto a modelli più standardizzati.

Combinazione MTO (Make to Order): In questa strategia, tutti i prodotti sono realizzati su ordinazione (Make to Order). Questo implica che la produzione inizia solo dopo aver ricevuto un ordine dal cliente, garantendo un elevato grado di personalizzazione ma anche tempi di risposta più lunghi.

Analisi dettagliata

Produzione su ordinazione (MTO): La scelta di adottare il modello Make to Order (MTO) per tutti i prodotti rende la Strategia 1 particolarmente adatta a contesti in cui la domanda è imprevedibile o dove i clienti richiedono un alto grado di personalizzazione. La produzione viene attivata solo dopo che è stato ricevuto un ordine, il che minimizza i rischi di sovrapproduzione o di giacenze di magazzino inutilizzate. Tuttavia, ciò comporta tempi di produzione più lunghi, in quanto non vi è alcuna scorta preesistente da cui attingere.

Varianza elevata e flessibilità: La varianza $VAR = 100$ evidenzia che la strategia è progettata per operare in ambienti con alta incertezza e variazioni della domanda. Le aziende che adottano questa strategia devono essere in grado di rispondere in maniera efficace a repentini cambiamenti nel volume degli ordini o nelle specifiche richieste dai clienti. Sebbene questo approccio comporti un livello di rischio più elevato rispetto a strategie con varianza più bassa, garantisce un'elevata capacità di adattamento.

Tempi di consegna e costi: Nonostante la flessibilità, la Strategia 1 presenta un tempo di consegna al cliente (CDT) relativamente lungo (50), che riflette i tempi di attesa necessari per avviare e completare la produzione su ordinazione. Il costo totale associato a questa strategia è di 83.476,82, il più alto tra tutte le strategie considerate. Questo è dovuto in gran parte alla necessità di mantenere una struttura produttiva flessibile, capace di rispondere rapidamente e di adattarsi a una varietà di richieste, nonché ai maggiori costi operativi legati alla personalizzazione.

Efficienza e gestione della capacità produttiva: L'intero modello MTO riduce i costi di mantenimento dell'inventario, poiché non vengono prodotti articoli che potrebbero rimanere invenduti. Tuttavia, l'azienda deve mantenere una capacità produttiva altamente flessibile, che può comportare un aumento dei costi in termini di gestione della produzione, fornitura di materie prime e gestione delle risorse umane. L'approccio MTO implica che la capacità produttiva debba essere gestita in modo efficiente per evitare colli di bottiglia o ritardi eccessivi nella risposta alla domanda del mercato.

Vantaggi della Strategia 1

Elevata flessibilità: La varianza elevata e la produzione esclusivamente su ordinazione garantiscono un'elevata capacità di adattamento a fluttuazioni imprevedibili della domanda. L'azienda può personalizzare ogni singolo ordine in base alle esigenze del cliente, rispondendo in maniera tempestiva a richieste specifiche o a modifiche dell'ultimo minuto.

Minimizzazione del rischio di sovrapproduzione: Poiché la produzione inizia solo dopo aver ricevuto un ordine, la Strategia 1 riduce significativamente il rischio di accumulo di scorte invendute o obsolete. Questo rende il modello particolarmente utile in mercati volatili o dove la domanda è fortemente incerta.

Adattabilità a contesti dinamici: Questa strategia si adatta particolarmente bene a contesti di mercato dinamici, dove le esigenze dei clienti variano frequentemente e la capacità di rispondere in modo rapido e personalizzato costituisce un vantaggio competitivo.

Personalizzazione completa: La Strategia 1 consente un alto grado di personalizzazione, offrendo ai clienti prodotti realizzati su misura. Questo può aumentare il valore percepito dai clienti, consentendo all'azienda di soddisfare esigenze specifiche che altre strategie non possono affrontare con la stessa rapidità o precisione.

Limiti della Strategia 1

Tempi di consegna più lunghi: Nonostante la flessibilità, il tempo di consegna per il cliente (CDT = 50) è piuttosto lungo, il che potrebbe rappresentare uno svantaggio nei settori in cui la rapidità è un fattore critico. I clienti che richiedono prodotti personalizzati devono attendere che la produzione venga completata, il che riduce la capacità dell'azienda di competere con strategie più rapide.

Costi elevati: Il costo complessivo della Strategia 1 è il più alto tra le opzioni disponibili, con un totale di 83.476,82. Questo deriva principalmente dall'elevata varianza e dalla necessità di mantenere una capacità produttiva flessibile e adatta a rispondere a picchi di domanda. In aggiunta, la personalizzazione di ogni ordine può comportare maggiori costi operativi.

Gestione complessa della produzione: Poiché ogni ordine viene personalizzato, l'azienda deve essere in grado di gestire un processo produttivo complesso e spesso imprevedibile. La flessibilità richiesta per rispondere rapidamente a diverse richieste comporta una maggiore difficoltà nella pianificazione della produzione e nella gestione delle risorse.

Confronto con altre strategie

Rispetto alla Strategia 2, la Strategia 1 è più flessibile e adatta a gestire fluttuazioni della domanda. Tuttavia, presenta costi significativamente più elevati e tempi di consegna più lunghi. La Strategia 2 si focalizza maggiormente sull'efficienza dei costi e sulla stabilità della domanda, mentre la Strategia 1 è progettata per affrontare contesti di maggiore incertezza.

Rispetto alla Strategia 3, la Strategia 1 ha una varianza più elevata e, pertanto, è più adatta a mercati volatili. Tuttavia, anche i costi e i tempi di consegna sono superiori, il che potrebbe rendere la Strategia 3 più competitiva in contesti dove il bilancio tra flessibilità e costi è fondamentale.

Rispetto alla Strategia 4, la Strategia 1 è significativamente più flessibile, ma anche più costosa e lenta nei tempi di consegna. La Strategia 4 presenta una combinazione equilibrata di MTO e MTS, con costi inferiori e tempi di consegna più rapidi, ma meno adattabilità ai cambiamenti improvvisi della domanda rispetto alla Strategia 1.

Conclusioni

La Strategia 1 è ideale per aziende che operano in settori caratterizzati da una domanda imprevedibile e che richiedono elevata personalizzazione.

4.4.2 STRATEGIA 2

STRATEGIA 2	
VAR	10
CDT	50
A	1 3708,353
B	1 4151,597
C	0 3356,054
D	1 4013,629
E	0 3356,054
F	0 3356,054
G	1 3786,279
H	1 4117,186
I	1 4285,729
J	1 4310,548
K	1 4304,217
TOT	39037,35
Beta	44

Figura 4.6 - Valori strategia 2

La Strategia 2 rappresenta un approccio moderato che adotta una combinazione di modalità produttive Make to Order (MTO) e Make to Stock (MTS), caratterizzata da una varianza bassa (VAR = 10) e un tempo di consegna al cliente relativamente più lungo (CDT = 50). Questa strategia appare meno orientata alla gestione di elevata incertezza, preferendo stabilità e prevedibilità a scapito della rapidità nelle consegne. Il tempo minimo di completamento del progetto (Beta) è pari a 44, indicativo di un ciclo di produzione più lungo rispetto alle altre strategie. Di seguito una descrizione dettagliata delle caratteristiche chiave della Strategia 2.

Elementi distintivi

VAR (Varianza): La varianza bassa (VAR = 10) indica che questa strategia opera in un contesto di maggiore stabilità e prevedibilità della domanda. La bassa varianza comporta un minore rischio di fluttuazioni impreviste nei volumi di ordini e nei tempi di produzione, consentendo un processo produttivo più lineare e meno soggetto a cambiamenti repentini.

CDT (Customer Delivery Time): Il tempo di consegna al cliente è fissato a 50, che risulta essere il valore più alto tra le strategie considerate. Questo suggerisce che l'organizzazione si prende un tempo di risposta relativamente lungo per soddisfare gli ordini, concentrandosi su efficienza e riduzione dei costi piuttosto che sulla rapidità.

Beta: Il tempo minimo di completamento del progetto è di 44, che è lo stesso della Strategia 1, indicando che la Strategia 2 richiede un tempo di completamento maggiore rispetto alle altre strategie. Ciò riflette l'approccio conservativo, orientato alla stabilità e alla minimizzazione dei rischi legati alla domanda variabile.

Combinazione MTO e MTS: Nella Strategia 2, tutti i prodotti sono realizzati su ordinazione (MTO), con l'eccezione di tre articoli specifici gestiti in modalità Make to Stock (MTS). Questo riflette la volontà di mantenere un bilancio tra i costi di mantenimento dell'inventario e la capacità di rispondere rapidamente alla domanda. Tuttavia, la produzione è per lo più orientata verso il modello MTO, con un approccio che predilige la personalizzazione e l'adattamento alle esigenze specifiche del cliente.

Analisi dettagliata

Produzione su ordinazione (MTO): La maggior parte dei prodotti segue il modello Make to Order (MTO). Questo approccio implica che la produzione inizia solo dopo la ricezione dell'ordine da parte del cliente. L'MTO è particolarmente vantaggioso per articoli che sono personalizzati o per cui la domanda è meno prevedibile. Sebbene ciò riduca il rischio di sovrapproduzione, richiede tempi di produzione più lunghi, che si riflettono nel CDT di 50, un valore relativamente elevato.

Produzione su scorta (MTS): Gli articoli C, E, G sono gestiti tramite Make to Stock (MTS). Ciò indica che questi prodotti hanno una domanda più stabile e prevedibile, il che giustifica la loro produzione anticipata e la loro disponibilità in magazzino. L'adozione del modello MTS per questi prodotti permette di ridurre i tempi di consegna per gli articoli standardizzati, bilanciando l'approccio su ordinazione adottato per gli altri prodotti.

Varianza bassa e stabilità: La bassa varianza (VAR = 10) suggerisce che la Strategia 2 opera in un contesto caratterizzato da una domanda più prevedibile e stabile. Questo riduce la necessità di adattamenti repentini nella produzione e consente un approccio più

lineare e pianificato. Le aziende che adottano questa strategia possono beneficiare di una maggiore efficienza operativa, poiché non devono affrontare frequenti cambiamenti o sorprese nella domanda.

Efficienza nei costi e nella gestione delle scorte: L'adozione prevalente del modello MTO, unito alla produzione anticipata per alcuni articoli MTS, suggerisce un bilancio tra la riduzione dei costi di inventario e la capacità di rispondere rapidamente alla domanda per determinati prodotti. Sebbene la produzione su ordinazione possa comportare tempi di attesa più lunghi, la gestione ottimizzata delle scorte per i prodotti standard riduce i costi di mantenimento dell'inventario.

Costi: Il costo totale della strategia è di 39.037,35, il più basso tra le quattro strategie. Questo indica che la Strategia 2 è orientata alla minimizzazione dei costi, concentrandosi su una produzione più controllata e sull'evitare accumuli di scorte eccessive. I costi unitari variano tra 3.708,353 e 4.304,217, che sono significativamente inferiori rispetto alle altre strategie. Questo è un segnale dell'efficienza economica, ottenuta grazie a una gestione attenta della produzione e delle risorse.

Vantaggi della Strategia 2

Stabilità e prevedibilità: Grazie alla bassa varianza, la Strategia 2 offre un livello elevato di stabilità nella pianificazione della produzione. Questo riduce i rischi di interruzioni o ritardi imprevisti, permettendo all'azienda di pianificare e gestire le risorse in modo più efficiente.

Costi contenuti: La Strategia 2 è la meno costosa tra le quattro strategie, il che la rende particolarmente adatta per aziende che operano in settori dove la riduzione dei costi è una priorità. Il modello MTO permette di evitare costi elevati di inventario, mentre l'adozione limitata del MTS per prodotti con domanda più prevedibile bilancia la necessità di rispondere rapidamente ai clienti.

Bilanciamento tra personalizzazione e rapidità: L'approccio combinato di MTO e MTS consente all'azienda di offrire un certo grado di personalizzazione per la maggior parte dei prodotti, mantenendo al contempo una capacità di risposta rapida per gli articoli

standardizzati. Questo bilanciamento permette di soddisfare diverse esigenze del mercato, pur mantenendo sotto controllo i costi operativi.

Rischio ridotto di sovrapproduzione: La predominanza del modello MTO riduce significativamente il rischio di sovrapproduzione, un problema comune in contesti con domanda variabile. Poiché i prodotti vengono realizzati solo dopo aver ricevuto un ordine, l'azienda evita di accumulare stock che potrebbero non essere venduti, minimizzando i costi di mantenimento e il rischio di invenduto.

Limiti della Strategia 2

Tempi di consegna lunghi: Il Customer Delivery Time (CDT) fissato a 50 indica che i tempi di consegna per questa strategia sono più lunghi rispetto alle altre opzioni. Questo potrebbe rappresentare uno svantaggio in mercati dove la rapidità di consegna è un fattore critico di competitività. I clienti potrebbero essere meno soddisfatti se costretti ad attendere a lungo per la ricezione dei prodotti.

Minore flessibilità: Rispetto alle strategie con maggiore varianza, la Strategia 2 è meno adatta a gestire improvvise fluttuazioni della domanda. Sebbene offra stabilità, potrebbe risultare meno efficiente in mercati caratterizzati da domanda volatile o imprevedibile, dove la capacità di adattarsi rapidamente è fondamentale.

Efficienza temporale ridotta: Il Beta di 44 suggerisce che questa strategia richiede un tempo di completamento del progetto più lungo rispetto alle altre (eccetto la Strategia 1). Questo potrebbe rappresentare un limite in settori in cui la velocità di esecuzione è cruciale per rimanere competitivi.

Confronto con altre strategie

Rispetto alla Strategia 1, la Strategia 2 offre un costo significativamente inferiore e una maggiore stabilità grazie alla minore varianza. Tuttavia, entrambe le strategie condividono un Beta simile, indicando che richiedono tempi di completamento del progetto più lunghi rispetto alle altre opzioni.

Rispetto alla Strategia 3, la Strategia 2 è più stabile e meno costosa, ma offre minore flessibilità e tempi di consegna più lunghi. La Strategia 3 è più adatta a gestire contesti di domanda variabile, mentre la Strategia 2 è preferibile in ambienti più stabili.

Rispetto alla Strategia 4, la Strategia 2 è più orientata alla produzione su ordinazione e meno rapida nei tempi di consegna. La Strategia 4 offre maggiore efficienza temporale e un bilanciamento più flessibile tra MTO e MTS, ma a un costo più elevato.

Conclusioni

La Strategia 2 è una scelta solida per aziende che operano in contesti di mercato con domanda prevedibile e stabile, dove la minimizzazione dei costi è una priorità. Sebbene i tempi di consegna siano più lunghi e la flessibilità sia ridotta rispetto ad altre strategie, l'adozione prevalente del modello Make to Order (MTO) assicura una produzione efficiente e mirata.

4.4.3 STRATEGIA 3

STRATEGIA 3	
VAR	100
CDT	30
A	0 7246,001
B	1 7727,416
C	0 7246,001
D	1 7429,508
E	0 7246,001
F	1 7306,821
G	1 6987,337
H	1 7929,969
I	1 8161,594
J	1 8193,696
K	1 8189,378
TOT	76417,72
Beta	29

Figura 4.7 - Valori strategia 3

La Strategia 3 rappresenta un approccio bilanciato che combina modalità produttive Make to Order (MTO) e Make to Stock (MTS), simile alla Strategia 4, ma con una varianza più alta ($VAR = 100$). Questo implica una maggiore variabilità nella domanda o nei processi produttivi, che si riflette in una gestione più flessibile delle scorte e dei tempi di produzione. Il Customer Delivery Time (CDT) è fissato a 30, il che permette una rapida risposta alle esigenze del cliente. Il tempo minimo di completamento del progetto (Beta) è pari a 29, indicativo di un'elevata efficienza temporale. Di seguito un'analisi dettagliata della strategia.

Elementi distintivi

VAR (Varianza): La varianza alta ($VAR = 100$) indica una maggiore incertezza nella domanda o una maggiore complessità operativa. Questo significa che la strategia deve affrontare una variabilità significativa nei volumi degli ordini o nelle richieste dei clienti, rendendo necessaria una maggiore flessibilità nella gestione della produzione.

CDT (Customer Delivery Time): Il tempo di consegna al cliente è ridotto a 30, il che implica che l'organizzazione punta a soddisfare le richieste dei clienti in tempi rapidi. Questo è particolarmente vantaggioso in mercati competitivi o per progetti che richiedono una risposta rapida per mantenere la soddisfazione del cliente.

Beta: Il tempo minimo di completamento del progetto è di 29, che è inferiore rispetto alle strategie più lente come la Strategia 1 e 2 (che hanno un Beta di 44). Questo indica che la strategia è orientata a una maggiore efficienza temporale, consentendo di completare il progetto in tempi più rapidi grazie a una gestione ottimizzata delle operazioni.

Combinazione MTO e MTS: La Strategia 3 utilizza un approccio combinato, in cui alcuni articoli vengono prodotti su ordinazione (Make to Order, MTO), mentre altri vengono realizzati su scorta (Make to Stock, MTS). In particolare, i prodotti A, C, E, G sono gestiti con il modello MTS (cioè prodotti in anticipo e tenuti in magazzino), mentre i prodotti B, D, F, H, I, J, K seguono il modello MTO (prodotti solo dopo la ricezione dell'ordine).

Analisi dettagliata

Produzione su scorta (MTS): Gli articoli A, C, E, G sono gestiti tramite Make to Stock. Questa scelta indica che questi prodotti hanno una domanda più prevedibile o sono più standardizzati, permettendo all'azienda di produrli in anticipo e tenerli in inventario. La disponibilità di scorte riduce significativamente i tempi di consegna per questi elementi, poiché il cliente può riceverli immediatamente o con tempi di attesa molto brevi. Tuttavia, mantenere delle scorte implica dei costi di gestione dell'inventario, che devono essere bilanciati con la capacità di prevedere correttamente la domanda.

Produzione su ordinazione (MTO): Gli articoli B, D, F, H, I, J, K sono prodotti secondo il modello Make to Order. Questa scelta è appropriata per quei prodotti che sono più personalizzati o soggetti a una domanda meno prevedibile. La produzione su ordinazione riduce i rischi di sovrapproduzione e di mantenimento di inventari costosi, ma richiede tempi di produzione aggiuntivi, influenzando i tempi di consegna per questi specifici articoli.

Varianza alta e flessibilità: Il valore di $VAR = 100$ suggerisce una maggiore incertezza e volatilità nella domanda rispetto alla Strategia 4 (che ha una varianza di 10). Questa alta varianza implica che l'azienda deve essere preparata a gestire fluttuazioni imprevedibili nella domanda, il che rende particolarmente vantaggiosa la flessibilità offerta dal modello combinato MTO/MTS. Gli articoli con domanda più stabile sono prodotti in anticipo (MTS), mentre quelli con domanda più variabile vengono gestiti su ordinazione (MTO), riducendo i rischi di eccesso di produzione o di mancanza di disponibilità.

Efficienza temporale: Nonostante la maggiore variabilità nella domanda, la Strategia 3 riesce a mantenere un livello di efficienza temporale elevato, con un Beta di 29, lo stesso valore della Strategia 4. Questo significa che, nonostante la complessità dovuta alla varianza, la strategia è comunque in grado di completare il progetto in tempi brevi, probabilmente grazie a una gestione efficiente della produzione e delle scorte.

Costi: Il costo totale della Strategia 3 è pari a 76.417,72, il che la colloca in una fascia di costo più elevata rispetto alla Strategia 4, ma comunque inferiore alla Strategia 1. I costi unitari per gli articoli variano da 6.844,705 a 8.198,378, un range piuttosto elevato che riflette la complessità della produzione in un contesto di alta varianza. Sebbene i costi siano elevati, essi sono giustificati dalla necessità di mantenere scorte per alcuni prodotti e di rispondere rapidamente alla domanda per altri.

Vantaggi della Strategia 3

Risposta rapida alla domanda: Grazie alla presenza di articoli gestiti con il modello MTS, la Strategia 3 è in grado di rispondere rapidamente alle richieste dei clienti, riducendo i tempi di attesa per i prodotti più standardizzati. Questo è particolarmente importante in settori in cui la rapidità di risposta è un fattore chiave di competitività.

Flessibilità nella gestione della domanda: L'adozione di una combinazione tra MTO e MTS permette di gestire in modo flessibile sia la domanda stabile che quella variabile. I prodotti con domanda prevedibile possono essere realizzati in anticipo, mentre quelli più complessi o con domanda incerta vengono prodotti solo su ordinazione, riducendo i rischi di accumulo di inventario o di carenze di prodotti.

Tempi di completamento ridotti: Il Beta basso (29) indica che la strategia è in grado di completare il progetto in tempi molto rapidi, riducendo al minimo i ritardi e massimizzando l'efficienza operativa. Questo rende la Strategia 3 particolarmente adatta per progetti con scadenze stringenti o in cui la velocità è un fattore competitivo.

Adatta a contesti ad alta variabilità: La varianza alta (VAR = 100) suggerisce che la Strategia 3 è ideale per contesti in cui la domanda è incerta o soggetta a cambiamenti rapidi. La capacità di bilanciare tra MTO e MTS consente all'azienda di rispondere in modo efficace alle fluttuazioni della domanda senza compromettere i tempi di consegna.

Limiti della Strategia 3

Costi elevati: Rispetto alla Strategia 4, la Strategia 3 comporta costi significativamente più alti. Questo è in parte dovuto alla varianza elevata, che richiede un maggiore investimento in termini di gestione della produzione e delle scorte. Sebbene i costi siano giustificati dalla maggiore flessibilità e rapidità nella risposta, potrebbero rappresentare un ostacolo in contesti in cui la riduzione dei costi è una priorità.

Rischi di gestione delle scorte: Anche se la produzione su scorta (MTS) riduce i tempi di consegna, comporta il rischio di accumulo di inventario per prodotti che potrebbero non essere richiesti con la stessa frequenza prevista. Una previsione della domanda inaccurata potrebbe portare a eccessi di inventario, con conseguenti costi di mantenimento e potenziali perdite dovute a obsolescenza dei prodotti.

Tempi di consegna per MTO: Gli articoli gestiti con MTO richiedono ancora tempi di produzione aggiuntivi, il che può rallentare la consegna per questi specifici prodotti. Anche se il CDT è ridotto a 30, gli ordini che includono articoli MTO potrebbero subire ritardi rispetto agli ordini composti solo da prodotti MTS.

Confronto con altre strategii

Rispetto alla Strategia 1, la Strategia 3 offre una maggiore efficienza in termini di tempi di completamento e costi inferiori. La combinazione di MTO e MTS permette una maggiore flessibilità rispetto a una strategia puramente MTO, migliorando al contempo la gestione della domanda.

Rispetto alla Strategia 2, la Strategia 3 condivide l'approccio misto, ma con una varianza più elevata, che la rende più adatta a contesti di mercato caratterizzati da una maggiore incertezza. Tuttavia, i costi sono superiori rispetto alla Strategia 2, giustificati dalla necessità di rispondere a una domanda più volatile.

Rispetto alla Strategia 4, la Strategia 3 è meno efficiente in termini di costi, ma risulta più flessibile in contesti caratterizzati da maggiore incertezza e variabilità della domanda, grazie all'elevata varianza e alla capacità di adattarsi rapidamente alle fluttuazioni.

Conclusioni

La Strategia 3 si rivela una soluzione altamente flessibile e adatta a contesti in cui la domanda è caratterizzata da alta variabilità. La combinazione di Make to Order (MTO) e Make to Stock (MTS) consente all'azienda di bilanciare i tempi di consegna e i costi, ottimizzando la produzione in base alla prevedibilità della domanda. Nonostante i costi più elevati rispetto ad altre strategie, la Strategia 3 eccelle nella capacità di rispondere rapidamente e in modo efficace alle fluttuazioni della domanda, mantenendo allo stesso tempo tempi di completamento rapidi e riducendo al minimo i ritardi.

4.4.4 STRATEGIA 4

STRATEGIA 4		
VAR		10
CDT		30
A	0	3356,05
B	1	4151,60
C	0	3356,05
D	0	3356,05
E	0	3356,05
F	0	3356,05
G	1	3786,28
H	1	4117,19
I	1	4285,73
J	1	4310,55
K	1	4304,22
TOT		38379,77
Beta		29,00

Figura 4.8 - Valori strategia 4

La Strategia 4 è una delle più equilibrate nel confronto tra costi, tempi di consegna, e tempo minimo di completamento del progetto. Si distingue per l'adozione di un approccio misto tra Make to Order (MTO) e Make to Stock (MTS), con una varianza bassa e un tempo di consegna rapido. Di seguito una descrizione ampliata e approfondita della strategia.

Elementi distintivi

VAR (Varianza): La varianza è bassa ($VAR = 10$), il che indica un grado limitato di variabilità nella domanda o nelle operazioni produttive. Ciò implica che la domanda per molti dei prodotti è prevedibile, e la strategia è ottimizzata per sfruttare tale stabilità.

CDT (Customer Delivery Time): Il tempo di consegna al cliente è ridotto ($CDT = 30$), rendendo questa strategia molto efficace per progetti che richiedono una rapida soddisfazione delle esigenze dei clienti. Con un CDT inferiore, la strategia permette di rispondere prontamente alle richieste, riducendo i tempi di attesa.

Beta: Il tempo minimo di completamento del progetto è piuttosto ridotto ($Beta = 29$), suggerendo che la strategia è orientata a massimizzare l'efficienza del processo produttivo. Questo basso valore di Beta riflette un'accelerazione nella chiusura delle attività progettuali rispetto alle altre strategie (ad eccezione della Strategia 3, che ha lo stesso valore di Beta).

Make to Order (MTO) e Make to Stock (MTS): La produzione in questa strategia adotta un approccio combinato. Alcuni prodotti, come gli articoli A, C, E, e G, vengono prodotti tramite Make to Stock (MTS), cioè realizzati in anticipo e tenuti a magazzino. Altri prodotti (B, D, F, H, I, J, K) sono gestiti attraverso Make to Order (MTO), ossia fabbricati solo dopo la ricezione dell'ordine.

Analisi dettagliata

Produzione su scorta (MTS): I prodotti A, C, E, e G vengono prodotti in modalità Make to Stock. Questi articoli, probabilmente standardizzati o a domanda più prevedibile, vengono fabbricati anticipatamente e mantenuti in inventario. Ciò comporta una riduzione dei tempi di consegna per questi specifici articoli, in quanto il cliente può riceverli immediatamente o con tempi di attesa ridotti. La presenza di scorte, tuttavia,

comporta dei costi di mantenimento del magazzino, ma in contesti di bassa varianza ($VAR = 10$), come in questa strategia, tale costo è bilanciato dall'ottimizzazione della produzione e dalla sicurezza della domanda.

Produzione su ordinazione (MTO): Gli articoli B, D, F, H, I, J, K seguono il modello Make to Order. Questa scelta può essere giustificata dal fatto che tali prodotti potrebbero essere più personalizzati o soggetti a una domanda meno prevedibile. La produzione su ordinazione riduce i costi di gestione delle scorte e il rischio di sovrapproduzione, ma richiede tempi più lunghi per la consegna, in quanto l'intero processo produttivo inizia solo dopo la ricezione dell'ordine. Tuttavia, la gestione mista con elementi prodotti su scorta riduce l'impatto complessivo sui tempi di consegna.

Efficienza temporale: Uno degli aspetti più importanti della Strategia 4 è la sua capacità di bilanciare tempi di completamento rapidi e costi relativamente bassi. Con un CDT ridotto (30) e un Beta inferiore (29), questa strategia permette di completare il progetto in tempi significativamente inferiori rispetto a strategie che utilizzano esclusivamente MTO (come la Strategia 1 e 2). In contesti in cui è necessaria una risposta rapida alle richieste del mercato o dei clienti, la Strategia 4 emerge come una delle soluzioni più performanti.

Costi: Il costo totale della Strategia 4 ammonta a 38.379,77, un valore decisamente più basso rispetto alle strategie che utilizzano esclusivamente MTO (come la Strategia 1, che ha un costo di 83.476,82). Ciò è dovuto alla combinazione delle due modalità produttive, che permette di ottimizzare i costi riducendo le spese di produzione anticipata e limitando l'ammontare delle scorte solo ai prodotti con domanda più stabile e prevedibile. I costi unitari per gli articoli variano da 3.335,054 a 4.304,217, evidenziando la riduzione dei costi per gli articoli standardizzati prodotti tramite MTS rispetto a quelli realizzati su ordinazione.

Basso rischio di sovrapproduzione: Grazie alla bassa varianza ($VAR = 10$), il rischio di produrre quantità eccessive di articoli in modalità MTS è limitato. La produzione su scorta si adatta bene a prodotti con domanda stabile e alta prevedibilità, riducendo il rischio di avere un eccesso di inventario o di trovarsi con articoli obsoleti. D'altro canto, la

produzione su ordinazione per prodotti con domanda più variabile garantisce che i prodotti vengano fabbricati solo quando effettivamente richiesti, limitando gli sprechi.

Vantaggi della Strategia 4

Riduzione dei tempi di consegna: Grazie alla presenza di articoli prodotti su scorta, i clienti possono ottenere parte dei prodotti in tempi molto rapidi, riducendo i tempi di attesa e migliorando il livello di servizio. Ciò è particolarmente vantaggioso in mercati dove la velocità di risposta è cruciale per mantenere la competitività.

Ottimizzazione dei costi: Combinando MTS per i prodotti più prevedibili con MTO per quelli a domanda più variabile, la Strategia 4 riesce a mantenere i costi complessivi relativamente bassi, pur garantendo flessibilità e adattabilità alle variazioni della domanda.

Maggiore efficienza: Il Beta più basso (29) e il CDT ridotto (30) indicano che questa strategia può completare i progetti in tempi più rapidi rispetto ad altre strategie più lente, come la Strategia 1 e 2. Questo è un punto cruciale per progetti con scadenze ravvicinate o in cui la velocità di esecuzione è un fattore competitivo.

Gestione del rischio: Con una varianza bassa, la strategia è meno esposta alle incertezze del mercato. Questo garantisce una maggiore prevedibilità nelle operazioni, riducendo il rischio di sovrapproduzione o sotto-produzione e migliorando la gestione dell'inventario.

Limiti della Strategia 4

Mantenimento delle scorte: Sebbene la strategia MTS riduca i tempi di consegna per alcuni prodotti, comporta comunque costi di mantenimento delle scorte. In contesti dove la domanda subisce fluttuazioni significative, potrebbe esserci il rischio di avere scorte inutilizzate.

Possibili tempi di attesa per MTO: Anche se i prodotti in MTS sono immediatamente disponibili, quelli in MTO richiedono ancora tempi di produzione aggiuntivi, il che

potrebbe prolungare i tempi di consegna per determinati ordini. La gestione efficiente di questo aspetto richiede una previsione accurata della domanda.

Conclusioni

La Strategia 4 rappresenta un approccio bilanciato che combina i benefici di MTO e MTS, con particolare attenzione alla riduzione dei tempi di consegna e al contenimento dei costi. La presenza di una varianza ridotta ($VAR = 10$) e un CDT di 30 la rendono ideale per progetti che richiedono tempi di risposta rapidi e che operano in contesti dove la domanda è relativamente stabile e prevedibile. Allo stesso tempo, la capacità di gestire parte della produzione su ordinazione offre la flessibilità necessaria per affrontare la variabilità della domanda senza rischiare eccessi di inventario.

In sintesi, la Strategia 4 è adatta per aziende che cercano un equilibrio tra efficienza operativa, controllo dei costi e flessibilità nella gestione della domanda, con una particolare attenzione ai tempi di consegna e al rispetto delle scadenze.

CONCLUSIONE

I risultati della presente tesi confermano che il posizionamento strategico dei punti di disaccoppiamento rappresenta un elemento chiave per la gestione ottimale della supply chain. Attraverso l'analisi degli scenari sviluppati, è emerso che le **strategie ibride**, che combinano elementi di Make to Order (MTO) e Make to Stock (MTS), offrono la flessibilità necessaria per rispondere alle mutevoli condizioni del mercato. In particolare, le aziende che operano in contesti caratterizzati da alta variabilità della domanda e tempi di consegna stretti traggono maggiori vantaggi dall'adozione di una strategia ibrida, che permette di ridurre i costi di inventario e migliorare la tempestività delle consegne.

Il modello matematico sviluppato ha dimostrato come, attraverso l'uso di tecniche di ottimizzazione, sia possibile individuare il posizionamento ideale dei DP, bilanciando i costi di produzione e inventario con le esigenze di servizio al cliente. Questo approccio consente alle aziende di gestire in modo più efficiente le fluttuazioni della domanda, migliorando al contempo la capacità di risposta. Le simulazioni condotte hanno evidenziato che una strategia MTO pura può risultare inefficace in termini di costi e tempi di risposta in settori con una domanda altamente variabile, mentre una strategia MTS pura comporta rischi significativi di obsolescenza dell'inventario.

Uno degli aspetti più rilevanti emersi dall'analisi è l'importanza crescente delle tecnologie digitali nella gestione della supply chain. Strumenti come l'intelligenza artificiale, l'Internet delle Cose (IoT) e la blockchain hanno il potenziale per rivoluzionare il modo in cui vengono gestiti i DP, consentendo un monitoraggio in tempo reale delle condizioni di domanda e offerta e un'ottimizzazione dinamica dei processi produttivi e logistici. Queste tecnologie offrono nuove opportunità per ridurre ulteriormente i costi e migliorare la resilienza delle catene di approvvigionamento, soprattutto in un contesto globale sempre più imprevedibile.

Tuttavia, permangono alcune sfide. La variabilità della domanda e i vincoli legati ai tempi di produzione e di consegna richiedono modelli sempre più sofisticati e una maggiore integrazione tra i diversi attori della supply chain. La tesi evidenzia come la collaborazione tra fornitori, produttori e distributori sia essenziale per garantire un flusso continuo di informazioni e una gestione proattiva dei rischi. Senza un'infrastruttura

tecnologica adeguata e una comunicazione efficace, anche il migliore dei modelli rischia di non fornire risultati ottimali.

In conclusione, la presente ricerca ha fornito un contributo significativo alla comprensione delle dinamiche che regolano il posizionamento dei punti di disaccoppiamento nella supply chain. Le strategie ibride offrono la flessibilità necessaria per affrontare le sfide poste dalla variabilità della domanda e dai tempi di consegna, mentre le tecnologie digitali rappresentano una leva fondamentale per il futuro della gestione della supply chain. Le aziende che riusciranno a integrare questi elementi nel proprio modello operativo potranno beneficiare di un vantaggio competitivo significativo, migliorando l'efficienza operativa e riducendo i costi legati alla gestione dell'inventario e della produzione.

Le prospettive future di questa ricerca includono lo sviluppo di modelli sempre più integrati, capaci di utilizzare le tecnologie emergenti per ottimizzare in tempo reale la gestione della supply chain, nonché un'analisi più approfondita dei fattori di rischio legati alla cybersecurity e alla sostenibilità ambientale, temi che stanno acquisendo una crescente rilevanza nel panorama globale.

SITOGRAFIA

<https://www.drewry.co.uk/>

<https://www2.deloitte.com/>

<https://www.mhi.com/finance/library/annual>

<https://www.supplychain247.com/>

BIBLIOGRAFIA

- World Economic Forum Global Risks Perception Survey (2023-2024);
- Aktan, H. E., & Akyuz, G. (2017). Positioning the decoupling point along a supply chain: a case study. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 22(3), 309-339.
- Arena, M., Azzone, G., & Mapelli, F. (2018). What drives the evolution of Corporate Social Responsibility strategies? An institutional logics perspective. *Journal of Cleaner Production*, 171, 345-355.
- Cannas, V. G., Gosling, J., Pero, M., & Rossi, T. (2019). Engineering and production decoupling configurations: an empirical study in the machinery industry. *International Journal of Production Economics*, 216, 173-189.
- Cannas, V. G., Gosling, J., Pero, M., & Rossi, T. (2020). Determinants for order-fulfilment strategies in engineer-to-order companies: Insights from the machinery industry. *International Journal of Production Economics*, 228, 107743.
- Cannas, V. G., Gosling, J., Pero, M., & Rossi, T. (2021). A decade of engineering-to-order (2010–2020): Progress and emerging themes. *International Journal of Production Economics*, 241, 108274.
- Cannas, V. G., Pero, M., Rossi, T., & Gosling, J. (2018). Integrate customer order decoupling point and mass customisation concepts: a literature review. In *Customization 4.0: Proceedings of the 9th World Mass Customization & Personalization Conference (MCPC 2017)*, Aachen, Germany, November 20th-21st, 2017 (pp. 495-517). Springer International Publishing.
- Chowdhury, R. M., Arli, D., & Septianto, F. (2022). Consumers' responses to moral controversies of religiously positioned brands: the effects of religiosity on brand loyalty. *European Journal of Marketing*, 56(5), 1398-1433.

- Devasia, S., & Lee, A. (2016). Scalable low-cost unmanned-aerial-vehicle traffic network. *Journal of Air Transportation*, 24(3), 74-83.
- Filstad, C., Olsen, T. H., & Karp, T. (2021). Constructing managerial manoeuvring space in contradictory contexts. *European Management Journal*, 39(4), 467-475.
- Hagbjer, E., Kraus, K., Lind, J., & Sjögren, E. (2017). Role attribution in public sector accountability processes: Dynamic and situation-specific accountant and constituent roles. *Qualitative Research in Accounting & Management*, 14(4), 367-389.
- Hedenstierna, P., & Ng, A. H. (2011). Dynamic implications of customer order decoupling point positioning. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(8), 1032-1042.
- Khan, Z. (2010). DFA-Component Layout in Placement Processes-Effective, accurate component placement takes into account the best practices of design and assembly, both of them inextricably intertwined. Positioning CSPs and noise-sensitive devices are two of a host of considerations. *Printed Circuit Design & Fab*, 27(2), 30.
- Kumar, M., Garg, D., & Agarwal, A. (2019). Cause and effect analysis of inventory management in leagile supply chain. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 22(2), 67-100.
- Liu, W., Mo, Y., Yang, Y., & Ye, Z. (2015). Decision model of customer order decoupling point on multiple customer demands in logistics service supply chain. *Production Planning & Control*, 26(3), 178-202.
- Lu, J., Humphreys, P., McIvor, R., & Maguire, L. (2009, December). A Genetic Algorithm approach to reducing the Bullwhip Effect by investigating the efficient and responsive strategy in online supply chains. In *2009 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 1469-1473). IEEE.
- Mbhele, T. P. (2016). Decoupling paradigm of push-pull theory of oscillation in the FMCG industry. *South African Journal of Business Management*, 47(2), 53-66.
- Naylor, J. B., Naim, M. M., & Berry, D. (1999). Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. *International Journal of Production Economics*, 62(1-2), 107-118.
- Olhager, J. (2003). Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of Production Economics*, 85(3), 319-329.
- Petti, C. (2022). China's going global and the truths and myths of decoupling. *L'industria*, 43(1), 123-152.

- Ptak, C. A., & Smith, C. (2016). *Demand driven material requirements planning (DDMRP)*.
- Schoenwitz, M., Potter, A., Gosling, J., & Naim, M. (2017). Product, process and customer preference alignment in prefabricated house building. *International Journal of Production Economics*, 183, 79-90.
- Sinha, A., & Ubale, S. S. (2020). Demand driven approach to combat nervousness of auto supply chain in India. In *10th Annual International IEOM Conference*, IEOM (pp. 1449-1455).
- Sun, X. Y., Ji, P., Sun, L. Y., & Wang, Y. L. (2008). Positioning multiple decoupling points in a supply network. *International Journal of Production Economics*, 113(2), 943-956.
- Velasco Acosta, A. P., Mascle, C., & Baptiste, P. (2020). Applicability of Demand-Driven MRP in a complex manufacturing environment. *International Journal of Production Research*, 58(14), 4233-4245.
- Wang, F., Lin, J., & Liu, X. (2010). Three-dimensional model of customer order decoupling point position in mass customisation. *International Journal of Production Research*, 48(13), 3741-3757.
- Wikner, J., & Rudberg, M. (2005). Integrating production and engineering perspectives on the customer order decoupling point. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(7), 623-641.
- Wikner, J., & Rudberg, M. (2005). Introducing a customer order decoupling zone in logistics decision-making. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 8(3), 211-224.