



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.a. 2022/2023

Sessione di Laurea Dicembre 2023

**Validazione di un nuovo indicatore di
performance di magazzino tramite
strumenti di simulazione**

Relatori:

ZENEZINI GIOVANNI
GRIMALDI SABRINA

Candidato:

SARA FERSINI

Indice

Abstract	7
1.Introduzione	7
1.1 Logistica	9
2. Magazzini	12
2.1 Processo	17
2.2 Attrezzature	18
3. KPI: Indicatori di performance	21
3.1 KPI nel settore logistico	22
4. Modelli di simulazione	25
4.2 Simulazione ad eventi discreti	26
4.3 Metodologia: fasi della costruzione di un modello	27
4.4 Anylogic: tool di simulazione	27
5. Implementazione del modello di simulazione	29
5.1 Modello di magazzino	29
5.2 Configurazioni	34
5.2.1 Configurazione: Warehouse	34
5.3 Assunzioni del modello	35
5.4 Parametri	35
5.5 Scenari	38
5.5.5 Dati degli scenari	44
6. Risultati	54
7. Analisi e valutazione fattibilità dell'indicatore OLE	67
8. Conclusioni e sviluppi futuri	69
Bibliografia	70
Sitografia	72
Appendice	74

Indice delle figure

Figura 1 - Flussi in un sistema logistico	9
Figura 2 - Dimensione del mercato logistico globale	10
Figura 3 - Numero di magazzini in tutto il mondo	12
Figura 4 - Layout lineare.....	13
Figura 5 - Layout a U	13
Figura 6 - Layout a L	13
Figura 7 - Layout a V.....	14
Figura 8 - Layout Fishbone	14
Figura 9.....	17
Figura 10 – Flowchart_Trucks	32
Figura 11_Flowchart_da Ingresso a Storage	33
Figura 12 – Flowchart_da Storage a Uscita	33
Figura 13 - Pianta Warehouse	34
Figura 14 – Confronto OLE degli stessi scenari ma con criteri di posizionamento e prelievo diversi	55
Figura 15 – Grafico dei valori di Disponibilità, Performance e Qualità per le combinazioni di prelievo front of storage	56
Figura 16 – Andamento Storage A.1	56
Figura 17 – Andamento Storage A.2	57
Figura 18 - Andamento Storage A.3	57
Figura 19 - Andamento Storage A.4	57
Figura 20 - Andamento Storage A.5	57
Figura 21 - Andamento Storage A.6	57
Figura 22 - Andamento Storage A.7	57
Figura 23 - Andamento Storage A.8	58

Indice delle Tabelle

Tabella 1 – Blocchi utilizzati per realizzare il modello	32
Tabella 2 - Input e Parametri	37
Tabella 3 – Parametri, input e tipi di domanda	38
Tabella 4 – Parametri, input e tipi di fornitura	39
Tabella 6 - Scenari	41
Tabella 9 – Dati degli scenari con fornitura in data variabile.....	44
Tabella 10 – Datidegli scenari con fornitura in data fissa	44
Tabella 11 – Dati Comb 5_ variazione domanda	45
Tabella 12 – Dati Comb17_ variazione domanda	45
Tabella 13 – Dati Comb5_ variazione fornitura	46
Tabella 14 – Dati Comb17_ variaizione fornitura	46
Tabella 15 – Dati Comb5_ variazione fornitura	47
Tabella 16 – Dati Comb17_ variazione fornitura	47
Tabella 17 – Dati Comb5_ variaizione tempo di misura.....	48
Tabella 18 – Dati Comb17_ variazione tempo di misura.....	48
Tabella 19 –Dati Comb5_ variazione della probabilità di prodotto danneggiato	49
Tabella 20 – Dati Comb17_ variazione della probabilità di prodotto danneggiato	49
Tabella 21 – Dati Comb5_ variazione capacità di stoccaggio	50
Tabella 22 – Dati Comb7_ variazione capacità di stoccaggio	50
Tabella 23 – Dati Com7_ variaizione domanda	51
Tabella 24 – Dati Comb7_ variazione fornitura	51
Tabella 25 – Dati Com7_ variazione fornitura	52
Tabella 26 – Dati Comb7_ variazione tempi di misura.....	52
Tabella 27 – Dati Com7_ variaizione della probabilità del prodotto danneggiato	53
Tabella 28 – Dati Comb7_ variazione della capacità di stoccaggio	53
Tabella 29 – Output scenari con fornitura in data variabile. Posizionamento e prelievo front of storage	54
Tabella 30 – Output scenari con fornitura in data fissa. Posizionamento e prelievo front of storage	54
Tabella 31 - Output scenari con fornitura in data variabile. Posizionamento e prelievo back of storage	55
Tabella 32 - Output scenari con fornitura in data fissa. Posizionamento e prelievo back of storage	55
Tabella 33 - Risultati Comb 5_ variazione domanda	58
Tabella 34 - Risultati Comb17_ variazione domanda.....	59
Tabella 35	59
Tabella 36	59

Tabella 37	60
Tabella 38	60
Tabella 39	61
Tabella 40	61
Tabella 41	62
Tabella 42	62
Tabella 43	63
Tabella 44	63
Tabella 45	64
Tabella 46	64
Tabella 47	65
Tabella 48	65
Tabella 49	66
Tabella 50	66

Abstract

Negli ultimi anni si assiste sempre più ad un maggiore consumo di beni e servizi e questo inevitabilmente si riflette in una crescente complessità del settore della logistica. Pertanto, la valutazione delle performance delle attività logistiche, in particolare quelle riguardanti il magazzino, diventa sempre più elaborata e risultano più evidenti le lacune in termini di strumenti e metodi per determinare le inefficienze e quindi valutare le azioni correttive necessarie.

La tesi segue un lavoro di ricerca che ha portato allo sviluppo di un nuovo indicatore aggregato di magazzino chiamato OLE (Overall Logistics Effectiveness). Il valore aggiunto è l'implementazione di un modello di simulazione ben strutturato che permette di testare e convalidare l'affidabilità dell'utilizzo del nuovo indicatore OLE per la valutazione del livello di efficacia complessiva di un magazzino. Infatti, attraverso il tool di simulazione Anylogic, si confrontano diversi scenari per osservare il comportamento dell'indicatore e delle sue componenti.

1.Introduzione

Negli ultimi anni si assiste sempre più ad un fenomeno di espansione dei servizi logistici. L'aumento della domanda di beni, accompagnato da uno sviluppo della produzione di massa, ha reso i prodotti più accessibili creando una cultura del consumo basata sul costante desiderio di nuovi beni. Dunque, la produzione su larga scala e il consumismo hanno degli impatti anche sul settore logistico. Questo scenario comporta una maggiore competizione tra le aziende logistiche che hanno il duplice interesse di soddisfare il cliente, ma mantenere o migliorare la propria profittabilità contenendo i costi. Infatti, gestire efficientemente tutti gli aspetti che riguardano le consegne della merce, ad esempio la puntualità, l'integrità, la disponibilità e le tempestività, si traduce in investimenti di ricerca e applicazione di nuovi sistemi e metodi.

Un supporto fondamentale è dunque rappresentato dai KPI che, individuando le inefficienze e gli sprechi, suggeriscono gli ambiti di miglioramento. Esistono però pochi indicatori di performance disponibili per valutare le prestazioni delle operazioni logistiche, differentemente da quanto accade per i processi produttivi. I professionisti e ricercatori stanno cercando di colmare questa mancanza sviluppando via via degli indicatori per ampliare il portfolio di KPI da poter applicare nel settore logistico. Spesso queste attività di ricerca e sviluppo vengono condotte sulla base degli indicatori già esistenti per settori affini e vengono poi generate delle varianti per il settore d'interesse. Questa tesi segue un lavoro di ricerca condotto da alcuni docenti del Dipartimento di Ingegneria Gestionale del Politecnico di Torino che attraverso varie analisi ha sviluppato un nuovo KPI per le risorse logistiche.

Pertanto, lo scopo della tesi è quello di verificare l'adeguatezza di un nuovo indicatore chiamato OLE (Overall Logistics Effectiveness).

Il valore aggiunto che si vuole apportare consiste nella costruzione di un modello di simulazione, il quale permette di condurre analisi e verifiche sulle performance di un sistema considerando numerosi possibili scenari. Il metodo scelto per costruire il modello è quello definito ad eventi discreti che si concentra sui processi in un sistema a un livello medio di astrazione.

La metodologia seguita per sviluppare la tesi si compone quindi di una fase iniziale in cui si è svolto un approfondimento della letteratura per fissare i principi generali del settore di riferimento. I temi di logistica e magazzini e le relative misure di prestazione sono stati esplorati con un livello di dettaglio via via sempre maggiore. Successivamente alla consolidazione delle conoscenze di base, è stato necessario studiare le funzionalità dello strumento di lavoro Anylogic, scelto per la modellazione di simulazione. Inoltre, per raggiungere l'obiettivo prefissato, si è rivelata di fondamentale importanza l'attività preliminare di stabilire gli step necessari per una modellazione efficiente. Infatti, si sono definiti i flussi con gli adeguati parametri e input al fine di ottenere gli output necessari alla validazione dell'OLE. Anche l'analisi di casi studio di modelli di simulazione presenti sul portale di Anylogic o descritti in articoli in letteratura è un ottimo spunto per determinare gli aspetti da dettagliare meglio durante la modellazione al fine di avere dei buoni risultati. Segue quindi la costruzione del modello e l'estrapolazione dei dati.

La parte finale è dedicata all'analisi dei risultati ottenuti e le conseguenti considerazioni sull'OLE come strumento che aiuta nella valutazione delle performance complessiva di magazzino.

1.1 Logistica

Il settore logistico è complesso e pieno di sfaccettature che sono in continua evoluzione. Per questo la definizione di logistica è mutata spesso nel corso degli anni e la più recente è quella indicata dal Council of Logistics Management e relativa alla logistica integrata: “La logistica è quella parte di supply chain che programma, gestisce e controlla in maniera efficiente ed efficace il flusso di beni e servizi e delle relative informazioni dal punto di origine al punto del consumo con l’obiettivo di soddisfare le ricerche del cliente”. Dunque, il concetto di logistica è legato al concetto di “sistema”. Il sistema logistico nell’impresa, chiamato anche “Industrial Supply Chain” indica l’insieme delle risorse, infrastrutture e attrezzature che consentono di realizzare tutti i flussi di beni e informazioni. La logistica, quindi coinvolge non solo le attività di trasporto delle merci, ma anche quelle di movimentazione, stoccaggio e gestione delle merci. Il trasporto è il processo con cui i beni vengono spostati all’interno del sistema e viene eseguito impiegando diverse modalità e mezzi, ciascuno dei quali comporta costi e impatti diversi sull’intero sistema logistico. Invece, la movimentazione riguarda gli spostamenti all’interno della stessa filiera che avvengono per rendere disponibili i materiali nella giusta quantità nel momento e nel luogo in cui sono richiesti. Per quanto concerne le attività di stoccaggio delle merci e di gestione delle giacenze, l’interesse principale della logistica è ridurre i costi operativi pur mantenendo un buon livello di servizio. Per il raggiungimento di questo obiettivo, la logistica si occupa di ottimizzare il lavoro degli operatori, sfruttare efficientemente gli spazi di stoccaggio e i mezzi di movimentazione, garantire l’integrità delle merci.

L’insieme di tutte le attività logistiche regolano il flusso di beni tra diversi luoghi fisici.



Figura 1 - Flussi in un sistema logistico

In funzione del processo considerato esistono diverse tipologie di logistica:

- Logistica in entrata: si riferisce alla fase propedeutica in cui si definiscono risorse, tempi e costi a partire dagli input ricevuti. Quindi si occupa della gestione del magazzino, curando i rapporti con i fornitori e verificando le scorte di materie prime e pezzi.

- Logistica interna: riguarda le operazioni di smistamento delle risorse, materiali e umane, e le relative informazioni, con il fine di avere una organizzazione efficiente ed efficace di tutti gli input di processo all'interno dei reparti rispettivi.
- Logistica distributiva o logistica dei trasporti: si occupa della gestione della rete di distribuzione delle merci, tenendo conto degli accordi intercorsi fra l'azienda e il cliente. Punta al raggiungimento di un alto livello di servizio, ovvero al rispetto dei tempi di consegna, delle quantità e dell'integrità delle merci.
- Logistica di ritorno: concerne il recupero dei resi e il trasporto dalla destinazione finale a un punto di ricollocamento o un centro di smistamento.

Tutti i sistemi logistici seguono le stesse fasi principali che consistono innanzitutto nell'individuazione delle esigenze del mercato in termini di qualità del servizio atteso e nella conseguente progettazione e organizzazione delle caratteristiche della catena dei flussi. Successivamente si passa alla fase di sviluppo e implementazione dei processi con la pianificazione di risorse, attrezzature e approvvigionamenti, in modo da garantire sempre la disponibilità. Lo step successivo riguarda la vendita, quindi tutti gli aspetti delle procedure di distribuzione, stoccaggio e imballaggio. Le ultime fasi, che in realtà non sono propriamente sequenziali alle altre ma sono integrate in ognuna, si riferiscono alla definizione di supporto e al controllo per il mantenimento del valore creato attraverso eventuali correzioni.

La dimensione del settore logistico è quindi molto ampia. Si riportano i dati a livello globale dal 2018 al 2022, con una previsione fino al 2028.

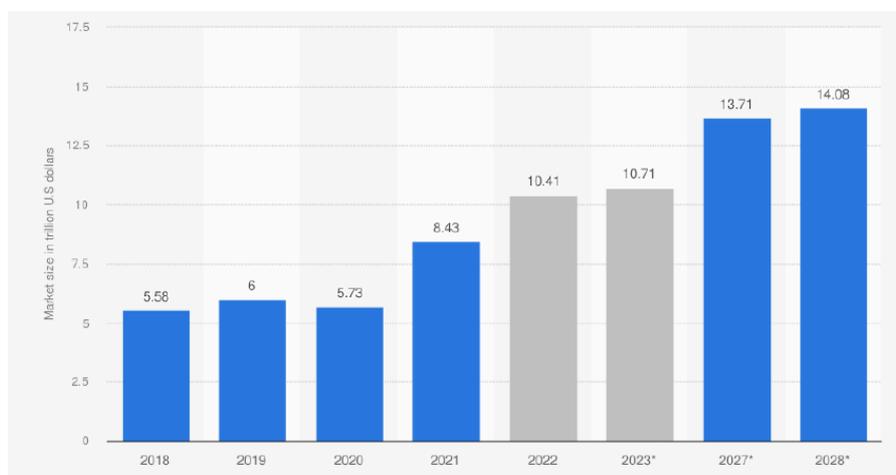


Figura 2 - Dimensione del mercato logistico globale

L'integrazione delle operazioni logistiche con le tecnologie digitali ha permesso di definire un ulteriore concetto definito come logistica 4.0, il quale promuove un miglioramento dei processi di approvvigionamento. Infatti, i trend tecnologici del settore logistico per i prossimi anni riguardano la sostenibilità, che ormai assume un ruolo sempre più centrale in qualsiasi ambito, e l'automazione che si dimostra altamente efficace in diverse circostanze, con la gestione logistica che si configura come un contesto particolarmente favorevole per la sua implementazione. Ad oggi, voi tutti i processi in questo settore sono già beneficiati da un notevole grado di automazione e si stanno orientando verso una completa robotizzazione. Quindi un ruolo fondamentale ormai è anche svolto dai sistemi informativi che sono integrati in ogni tipo di attività logistica a supporto del coordinamento, monitoraggio e pianificazione dei complessi processi che si svolgono in questo settore. Esistono numerosi tool che gestiscono l'enorme quantità di dati che si accumulano in un magazzino. Le informazioni sono rese sempre disponibili e veicolano verso l'individuazione delle principali criticità all'interno dell'intero processo.

Un altro nuovo tema di logistica che si sta sviluppando è quello che, similmente a Lean Manufacturing, indica un approccio all'organizzazione operativa della rete logistica che mira a ridurre tempi e costi di ciclo attraverso l'eliminazione o riduzione delle attività che non apportano nessun valore. Per individuarle, innanzitutto l'intero processo deve essere scomposto, con particolare attenzione alla fase di picking a cui corrispondono più fasi che possono essere ottimizzate. Successivamente le attività che vengono riconosciute come fonte di spreco devono essere riprogettate anche con l'ausilio di investimenti in nuove tecnologie.

Per ogni categoria di spreco, la logistica lean propone delle strategie di soluzione al problema quali:

- tempi di attesa e colli di bottiglia: organizzare le attività, realizzare manutenzione preventiva, evitare disequilibri di carico di lavoro tra gli operatori;
- movimentazioni inutili: introduzione dell'automazione dei sistemi di movimentazione e cicli combinati; supporto di software di magazzino;
- eccesso di stock: si deve agire sui fattori controllabili;
- errori che generano resi e ripetizione di processi: analizzare le cause e supporto software specifici.

2. Magazzini

Il magazzino è l'elemento chiave per coordinare i flussi della supply chain perché ricopre il fondamentale ruolo di stoccaggio delle merci. In passato, la presenza di magazzini con notevoli quantità di materiali rappresentavano principalmente un costo che riduceva la liquidità aziendale. Inoltre, era elevato il rischio di obsolescenza e pressante la richiesta da parte dei clienti di un servizio migliore. Questo ha sviluppato la competizione tra le aziende e ha stimolato la ricerca per ottimizzare la gestione dei magazzini, che non sono più considerati solo prettamente per la funzione di movimentazione delle merci ma hanno anche il ruolo di gestire e fornire servizi a valore aggiunto. In funzione dello scopo del magazzino e delle scelte strategiche di logistica, è possibile posizionare l'impianto ad ogni livello della supply chain: a monte per lo stoccaggio delle materie prime, interno al processo produttivo per i prodotti intermedi e a valle per i prodotti finiti.

Il numero di magazzini presenti nel mondo è dunque elevato:

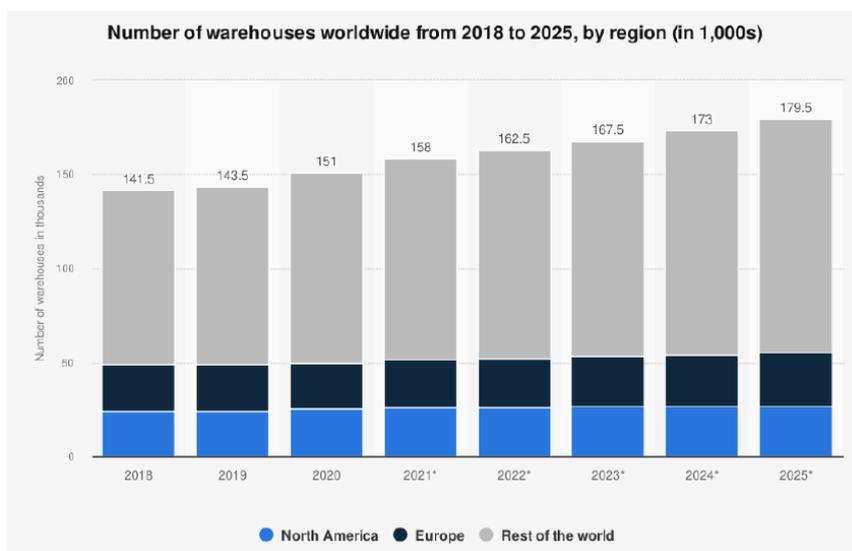


Figura 3 - Numero di magazzini in tutto il mondo

La progettazione di un magazzino è un tema molto trattato, per cui nel tempo alcuni autori hanno definito una serie di raccomandazioni da seguire. Ad esempio, Rouwenhorst et al. evidenzia che gli aspetti principali da considerare sono le risorse e il processo. Baker e Canessa suddividono la progettazione in due fasi: nella prima vengono definiti la disposizione delle aree, la gestione delle informazioni e delle risorse, la tipologia di attrezzature; nella seconda, si considerano requisiti e dati del sistema, come le informazioni sulle unità di carico, le procedure operative, le quantità e le caratteristiche dettagliate di risorse del personale e delle attrezzature. Inoltre, un altro aspetto di progettazione dei magazzini che si è consolidato nel tempo, concerne tutti i requisiti degli standard ecologici esplicitati nelle varie normative di riferimento.

Indipendentemente da quale criterio di progettazione venga preferito, si individuano degli elementi costanti che caratterizzano un magazzino, ovvero il layout, le aree, il processo, le risorse e le attrezzature. Il layout del magazzino e anche la suddivisione delle aree sono strettamente correlati alla serie di attività che si individuano nel processo. La struttura, le risorse e le attrezzature consentono di regolare le differenze tra i flussi in entrata delle merci e quelli in uscita. Le merci vengono ricevute dai centri di produzione o da fornitori e devono essere inviate a nuovi centri di produzione oppure al cliente finale.

Il layout riguarda la distribuzione dello spazio che ottimizza superficie e volume del magazzino, tenendo conto delle vie di accesso e di uscita dei mezzi di fornitura e di consegna. Si possono adottare diverse soluzioni:

- LAYOUT RETTILINEO: ricevimento e spedizioni avvengono su lai opposti



Figura 4 - Layout lineare

- LAYOUT a U: ricevimento e spedizioni avvengono sulla stessa facciata

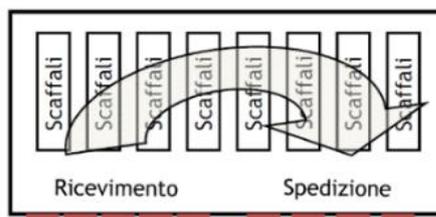


Figura 5 - Layout a U

- LAYOUT a L: occupa più spazio, ma rispetto al layout a U ha il vantaggio di avere maggiore sicurezza perché area di ricezione e area di spedizione distanziate.

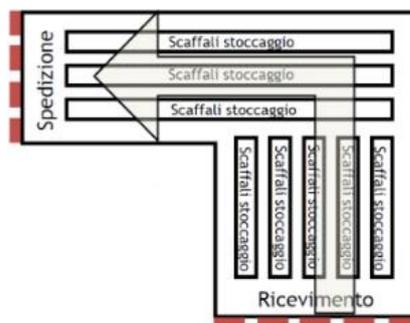


Figura 6 - Layout a L

- LAYOUT a V

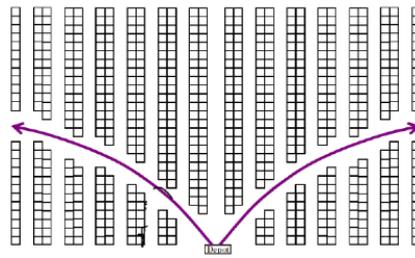


Figura 7 - Layout a V

- LAYOUT FISHBONE: riduzione delle distanze percorse e dei tempi di viaggio, possibilità di raggiungere le locazioni di magazzino con percorsi quasi rettilinei.

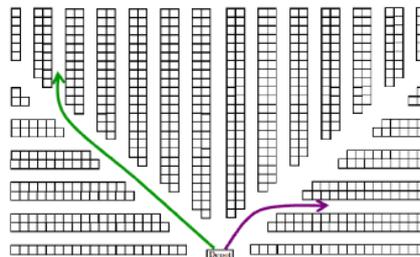


Figura 8 - Layout Fishbone

Tipicamente le aree che si individuano in un magazzino sono delimitate da segnaletiche orizzontali, a pavimento, e verticali, a parete e soffitto. Si distinguono in:

- Area di scarico e area di carico, a volte possono coincidere: area vaste in cui avvengono le manovre dei mezzi per posizionarsi adeguatamente per lo scarico o il carico delle scorte.
- Aree di ricezione e controllo: è essenziale considerare le proprietà fisiche dei materiali in entrata, la frequenza degli arrivi e i tempi necessari per controlli eventuali e la durata della sosta prima dello spostamento in altre aree. Questo per assicurare un flusso sicuro e fluido del materiale durante la sua ricezione e successivo controllo. È anche importante prevedere una zona per il ricevimento della documentazione ed è consigliabile riservarne una per la sosta temporanea dei conducenti dei veicoli.
- Aree di movimentazione e quelle di stoccaggio: la codifica preventiva di ciascuna posizione è cruciale per semplificare la ricerca e il movimento dei materiali. Diversi sistemi di mappatura convergono verso l'obiettivo comune di assegnare una singola codifica a ogni posizione. L'impiego di un sistema informativo risulta imprescindibile per gestire in modo ottimale le informazioni gestionali legate a ciascuna posizione.

- Area per imballaggio e consolidamento: impatta molto sul livello di servizio che si vuole fornire al cliente. Il dimensionamento deve essere definito in base ai tempi di allestimento degli ordini, dovuti a loro volta dalla tipologia di imballaggi da adottare.
- Area di spedizione: solitamente riprendono le stesse caratteristiche dell'area di ricezione.

Sono anche da stabilire delle zone dedicate alla gestione delle risorse umane (uffici, servizi) e anche delle zone di ricarica delle attrezzature. Ad ogni modo, tutte le aree devono essere collegate tra loro e con percorsi accessibili e semplici sia in entrata che in uscita delle scorte. Questo non solo per garantire un processo migliore, ma anche perché si devono applicare diverse norme antinfortunistiche e antincendio, a tutela delle risorse umane. Non può essere definita una soluzione ideale sulla superficie e volumi dei magazzini poiché le variabili che intervengono nella sua definizione sono molteplici.

Riguardo le risorse che si possono identificare in un magazzino sono di diverse tipologie: manodopera, spazio e attrezzature.

Il dimensionamento delle risorse di manodopera dipende dalla capacità e numero delle aree presenti nel magazzino.

La risorsa definita come spazio si riconduce alle scaffalature, ovvero alle strutture adibite al deposito delle unità di carico.

Tra le risorse di magazzino, si collocano le scorte che sono classificabili in:

-scorte di sicurezza: proteggono il magazzino da eventi difficilmente prevedibili come variazioni nella domanda tempi di approvvigionamento e produzione. Rappresenta il livello al di sotto del quale vengono attivati gli ordini di acquisto. Questa quantità può essere determinata utilizzando metodologie analitiche basati su standard e tempi di consegna oppure considerando le vendite del stabilendo una relazione tra il consumo e il livello di scorta.

-scorte strategiche: sono presenti nei settori con prezzi instabili

-scorte speculative che rappresentano un investimento in attesa di aumento dei prezzi

-scorte particolari che precedono spesso il lancio di nuovi prodotti o campagne promozionali.

Le inefficienze più diffuse nella gestione del magazzino sono relative ad una errata pianificazione delle risorse, sia statiche che dinamiche. Le scorte eccessive o insufficienti, gli spostamenti inutili del personale e delle attrezzature, gli errori in fase di ricezione, stoccaggio e prelievo e anche le scorrette movimentazioni che danneggiano le merci, sono tutti possibili sprechi che si incontrano in un

magazzino. Trattandosi di un processo, tutti le cause di inefficienza sono dipendenti tra loro e dunque diventa difficile individuarle. Per questo motivo è necessario ricorrere ai KPI.

L'automazione del magazzino è una soluzione che consente di sostituire attività ripetitive e manuali con sistemi automatizzati. Il risultato che si ottiene è una gestione più efficace di tutte le operazioni di stoccaggio e movimentazione e anche una minimizzazione dei rischi che compromettono la sicurezza sul lavoro. L'implementazione dei processi di automazione comporta costi significativi per l'implementazione ma riduce successivamente i costi e i tempi di gestione del magazzino. Per questo più sono elevati i volumi che si devono gestire, più è vantaggioso l'utilizzo di macchine automatiche e software. Dal punto di vista concettuale, la tecnologia opera per ottimizzare la sequenza di operazioni in vari modi, minimizzando errori, ottimizzando gli spazi utilizzati, e facilitando la rapida diffusione di un crescente flusso di informazioni relativa al processo. I magazzini possono essere parzialmente completamente automatizzati poiché tutte le aree possono godere di tecnologie che saranno di tipo diverso in funzione delle specificità dell'attività che si svolge all'interno. Nell'area di ricezione, ad esempio, è essenziale monitorare prontamente l'arrivo e la partenza dei materiali per mantenere una visione precisa della disponibilità e prevedere sia situazioni di rotture di stock sia di costi overstock. La tecnologia svolge un ruolo chiave in questo contesto perché interviene non solo raccogliendo i dati, ma anche analizzandoli approfonditamente e calcolare determinare i tempi e le quantità ottimali di riordino considerando tutte le variabili che possono influenzare il flusso. Invece per il posizionamento e il prelievo si può ricorrere all'uso di codice a barre per accelerare le attività e ridurre gli errori e i tempi. Un altro esempio può essere quello relativo all'area di preparazione ordini dove si svolge la fase più onerosa di tutte le operazioni di magazzino perché implica la gestione consapevole di un'enorme quantità di informazioni su vari aspetti e sicuramente l'automazione e un ottimo supporto per mantenere sotto controllo diversi elementi quali le informazioni riguardo i clienti, la specificità e le destinazioni degli ordini.

2.1 Processo

Un processo è ben definito se sono specificate tutte le attività svolte, le informazioni scambiate nel processo, i tempi e le quantità

I processi all'interno del magazzino a volte sono complessi, ma in generale le attività che si svolgono sono raggruppabili in quattro funzioni principali: ricezione, put-way, storage, order picking e spedizione.

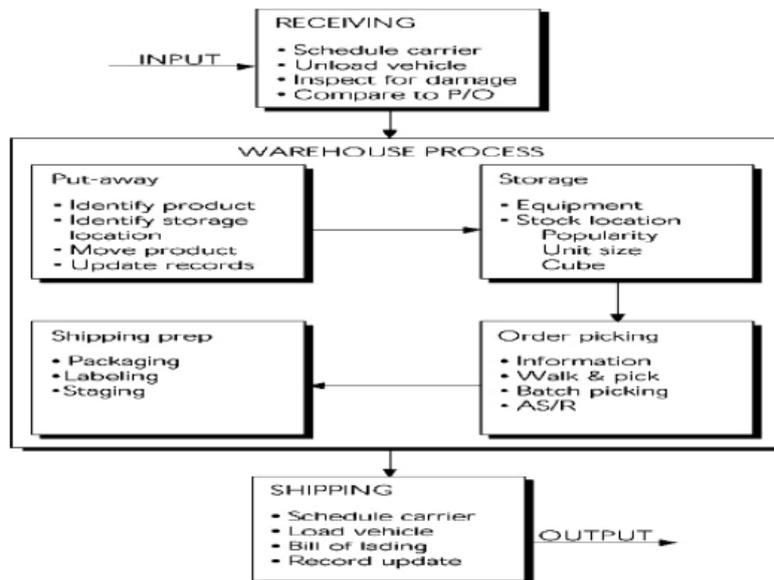


Figura 9

- Ricezione: programmazione ed esecuzione di scarico alla “banchina” assegnata. Durante lo scarico e l'accettazione delle merci è fondamentale seguire approfonditi controlli per riconoscere ciascun materiale in arrivo e valutarne la qualità. Parallelamente al processo di scarico fisico e il collocamento di materiali nella zona di ricevimento è necessario gestire gli aspetti amministrativi relativi ai materiali di ingresso.
- Put-way: verifico la posizione della merce
- Storage: movimentazione e posizionamento della merce dall'area di scarico al posto destinato. Ci sono diverse modalità di posizionamento, ad esempio casuale, per funzione, per codice o per classe di rotazione. La soluzione idonea dipende dal magazzino considerato.
- Order picking: attività ad alta manodopera che consiste nel prelievo e preparazione degli ordini. Esistono diverse modalità di prelievo dei materiali e variano in base alle caratteristiche fisiche degli stessi. I più diffusi sono:
 - per unità di carico
 - per singolo cliente

- per gruppo di clienti
- per singolo ordine: prelevare i prodotti uno alla volta può essere conveniente quando le voci da prelevare sono poche ma quantità considerevole per voce.
- per corsia di prelievo: è praticabile comunemente quando si raggruppano prodotti simili nella stessa zona corsia risparmiando tempo nel prelievo rispetto ad altre metodologie. Tuttavia, è essenziale suddividere successivamente in base al destinatario finale.
- per destinazione
- Spedizione: programmare e assegnare i mezzi per deposito degli ordini, imballaggio e carico sul mezzo di trasporto.

Il numero di cicli identifica la differenza tra un magazzino e un centro di distribuzione, nel quale le operazioni consistono solo nella ricezione e nella spedizione. Inoltre, ogni funzione identifica un'area.

La determinazione del processo è direttamente collegata alla gestione delle scorte, un'attività che implica la ricerca dell'equilibrio ottimo tra la domanda del mercato e la limitazione dei costi legati agli inventari. I modelli utilizzati si distinguono in base alle caratteristiche del prodotto e dal tipo di domanda a cui rispondono.

2.2 Attrezzature

In ogni magazzino sono presenti attrezzature statiche e mobili attraverso cui si realizzano le operazioni di posizionamento e movimentazione dei materiali. Questi strumenti si possono anche classificare secondo la modalità di funzionamento, ovvero manuali e automatici, oppure per la loro funzione. In ogni caso, la caratteristica valida per ogni tipo di attrezzatura è l'idoneità rispetto ai prodotti da posizionare o movimentare e alle norme di sicurezza previste da varie leggi.

Le attrezzature utilizzabili non sono poche e variano in base all'area considerata. In particolare, lo scarico e il carico dei materiali possono avvenire con piani mobili o con mezzi come la gru a ponte per le merci di grandi dimensioni e/o peso elevato. Un'alternativa sono i sistemi automatici che richiedono l'intervento più limitato dell'operatore e consentono di diminuire i tempi di scarico e carico.

In tutte le aree interne di gestione dei materiali si utilizzano attrezzature mobili, quali transpallet o carrelli elevatori per il trasporto. I primi lavorano a livello del suolo e possono essere manuali o

elettrici, ma hanno un'abilità di sollevamento limitata. I carrelli elevatori, invece, sono lo strumento più flessibile e permettono gli spostamenti in modo più rapido. Possono essere frontali, retrattili o trilaterali. I carrelli elevatori possono essere utilizzati anche per il deposito o il prelievo da attrezzature fisse. Per questa attività però sono comuni anche altri sistemi quali trasloelevatori o impilatori.

Le attrezzature in genere collocate nell'area dedicata all'allestimento degli ordini e si possono distinguere in:

- Convogliatori a nastro: dispositivi che seguono percorsi predefiniti, spesso gestiti da un sistema che regola la velocità di spostamento. Sono impiegati nel caso colli non pallettizzati in modo da facilitarne lo scarico, il prelievo o la spedizione.

- Convogliatori a rulli: dispositivi impiegati in percorsi fissi sia separati che integrati alle strutture di posizionamento. Sono essenziali nei magazzini dinamici in cui è possibile aggiungere rulli frenanti per regolare la velocità di scorrimento in entrata e uscita a seconda del peso del pallet.

Le attrezzature statiche comprendono anche scaffalature e unità di carico.

Esistono diverse tipologie di scaffalature che vengono adottate in base alle esigenze e si distinguono a seconda del grado di accessibilità e della disposizione nel magazzino. Il sistema di scaffalatura è statico se per raggiunger le scorte sullo scaffale deve esserci l'ausilio di un carrello elevatore. Invece, se il sistema è dotato di binari inclinati che consentono ai pallet di scivolare sui rulli verso la zona di prelievo, allora la scaffalatura si dice dinamica. Il dimensionamento delle scaffalature è complesso e richiede di rispettare diverse norme di sicurezza. La scelta delle scaffalature dipende anche dalle caratteristiche dei prodotti che devono essere conservati, ad esempio prodotti voluminosi, irregolari, a valore elevato e quindi anche dal tasso di rotazione. Spesso l'efficienza delle scaffalature viene trascurata nelle valutazioni delle performance.

Le scaffalature sono di tipo drive-in se l'accesso è consentito solo da un lato o di tipo drive-through se è possibile accedere da entrambi i lati. Di conseguenza, è consigliabile la prima soluzione se si usa il metodo LIFO (Last In First Out) quindi l'ultimo pallet sarà sempre quello che verrà prelevato per primo, mentre la seconda soluzione privilegia il metodo First In First Out (FIFO). Entrambi i tipi di scaffalature si possono utilizzare nei casi in cui il magazzino ha un basso-medio indice di rotazione e lo stoccaggio è intensivo ad accumulo.

Nelle scaffalature di tipo tradizionale, le corsie di lavoro permettono un accesso diretto alle scorte e sono idonee per qualsiasi unità di carico indipendentemente dal peso, dimensioni o forma. In altezza

possono essere regolabili in base alle esigenze e sul lato lungo di solito permettono di inserire due o tre pallet. Si suddividono ulteriormente in fisse, se sono previsti dei corridoi di passaggio tra i singoli scaffali, e compattabili se gli scaffali scorrono su dei binari paralleli alle loro testate. Questa seconda soluzione si utilizza in caso di magazzini con spazi limitati e con basso indice di rotazione.

Esistono anche delle scaffalature apposite, dette cantilever, per il posizionamento di prodotti che hanno lunghezze non indifferenti, ad esempio tubi, profilati, pannelli. Sono strutture a sbalzo dove il posizionamento e il prelievo vengono effettuati con facilità perché non sono presenti montanti frontali.

Per quanto riguarda il tema delle unità di carico invece, solitamente sono di solito collocate su una struttura quadrata o rettangolare chiamata pallet. La pallettizzazione, cioè il processo di caricamento della merce su un pallet, serve ad agevolare le operazioni di movimentazione, a contare le scorte e a garantire la stabilità durante il trasporto. Il pallet esercita anche una funzione isolante e protettiva, evitando contatti con eventuali superfici, ad esempio bagnate o unte o comunque dannose per la merce stessa. La solidità del pallet si raggiunge attraverso la filmatura che implica l'avvolgimento della merce con un materiale plastico. La stabilità è più efficace quando la merce ha lo stesso imballaggio definendo così il pallet come omogeneo, altrimenti con imballaggi diversi si parla di pallet eterogeneo. Tutti i pallet seguono delle norme internazionali per le dimensioni, anche delle singole componenti. Possono essere in legno, plastica o metallo e ogni materiale ha il suo scopo. Quelli tradizionali in legno truciolato sono economici ma si usurano facilmente, mentre quelli in metallo offrono maggiore resistenza e durata a un costo più elevato. I pallet in plastica sono duraturi e resistenti ma con limitazioni nella capacità di carico, quindi adatti principalmente a carichi medio-bassi. In passato le dimensioni e le forme dei pallet erano determinate dalle necessità individuali degli utenti, ma oggi molti pallet aderiscono agli standard stabiliti. Ad esempio, lo standard 800x1200 mm è il pallet europeo (EPAL) attualmente utilizzato. Presentano codifiche e marchi che indicano la loro origine, e normative specifiche richiedono la fumigazione dei pallet prima del trasporto transoceanico per prevenire la diffusione di organismi nocivi veicolati attraverso di essi.

3. KPI: Indicatori di performance

Diventa sempre più complesso affrontare grandi quantità di informazioni e gli indicatori svolgono un ruolo chiave nel selezionare e comprendere l'ingente flusso di dati nelle organizzazioni. Sono, infatti, strumenti quantitativi che raccontano la realtà evolutiva di un fenomeno o di un processo. Dunque, si costruiscono per rappresentare l'andamento dei sistemi e risolvere i problemi associati, ma non esistono delle regole generali per progettargli. Possono, però, essere seguite delle linee guida per ottenerli, ovvero definire lo scopo, il fenomeno o il processo da rappresentare e anche il ruolo che deve avere l'indicatore (ad esempio di riferimento o di monitoring). Non si utilizza in genere un solo indicatore, ma numero di indicatori che non è definibile a priori.

Diverse sono le proprietà auspiccate per gli indicatori ovvero quelle di semplicità, di facilità di raccolta e gestione o elaborazione, di rapidità di aggiornamento, di economicità, di sensibilità alle variazioni delle grandezze di interesse.

La classificazione degli indicatori può anche dipendere dal modo in cui vengono ricavati, cioè se ottenuti direttamente dalle osservazioni empiriche di un sistema si dicono Indicatori Basic, altrimenti si dicono Indicatori Derived se ottenuti dalla combinazione di altri indicatori basic o derived.

Inoltre, occorre prestare attenzione ad utilizzarli in maniera adeguata, perché ne esistono tanti e sono di varia natura, ad esempio finanziari, operativi, strategici, tecnologici.

Gli indicatori e le misure sono due elementi collegati, e in particolare le proprietà delle misure sono più stringenti di quelle degli indicatori: tutte le misure sono indicatori, ma non tutti gli indicatori sono misure.

Se un indicatore è selezionato in modo strategico per riflettere il successo nel raggiungere gli obiettivi prefissati di una organizzazione o azienda allora viene denominato come KPI (Key Performance Indicator). Per la definizione dei KPI si possono seguire i criteri SMART che si riferiscono a:

- specificità: deve essere chiaro ciò che si vuole misurare
- misurabile: per lo più in modo diretto
- realizzabile: a partire da una situazione iniziale
- realistico: si deve poter ottenere il livello di cambiamento desiderato
- tempestivo: sensibile con il passare del tempo

Hanno principalmente le funzioni di controllo, comunicazione e miglioramento e devono essere misurabili, quantificabili, specifici, temporanei e misurabili.

Il processo di misurazione è essenziale per avere continui miglioramenti in un sistema. In generale, una misura di performance di qualsiasi tipo di processo è ottenuta seguendo i criteri di:

- Efficacia: adeguatezza del risultato alle richieste (ad esempio, modalità o tempi di consegna);
- Efficienza: capacità di sfruttamento delle risorse a disposizione;
- Economicità: capacità di risparmio nell'impiego di risorse

La misura delle performance è seguita dalla valutazione che può essere svolta con diversi metodi, tra cui benchmarking, i modelli analitici e i modelli di simulazione.

Per una corretta interpretazione delle misure, è inoltre fondamentale tenere conto della direzione dell'evoluzione dei KPI. In tal senso, gli indicatori si dicono positivi o negativi quando un aumento o diminuzione del loro valore o tendenza suggerisce un andamento verso la situazione desiderata.

3.1 KPI nel settore logistico

Per migliorare il sistema magazzino e quindi più in generale quello logistico, si punta ad avere costi bassi ma elevate efficienze di servizio. In questo modo è possibile prevalere sui competitor ed essere la prima scelta del cliente. Affinché si possa ottenere questo risultato il miglior approccio da seguire è quello di misurare le prestazioni del magazzino attraverso i KPI per analizzare le inefficienze e gli sprechi. In generale, attraverso i KPI gli ambiti che possono essere controllati in modo dettagliato sono tutti quelli che intervengono nel contesto di riferimento. Ad esempio, per un magazzino si possono sicuramente utilizzare gli indicatori per le risorse, ma anche per le attività correlate, o anche controlli sui risultati generati dal processo.

Per la misura delle prestazioni logistiche tradizionali oltre ai parametri di efficacia, efficienza ed economicità, se ne possono considerare altri quali hard e soft. Il primo che considera misure quantitative come tempo di ciclo, costi e tassi di riempimento e il secondo che tratta invece le misure qualitative come la fedeltà del cliente.

Gli indicatori individuali si concentrano su aspetti specifici della performance del magazzino, mentre gli indicatori aggregati offrono un panorama completo dell'efficienza complessiva.

In letteratura, la disponibilità di metriche per studiare le performance dei servizi logistici è piuttosto scarsa. Per i magazzini sono reperibili diverse revisioni e interviste che propongono vari indicatori di performance. Ad esempio, un articolo redatto da un dipartimento dell'università argentina, riporta il caso di controllo della gestione delle scorte di un magazzino che viene risolto attraverso l'uso degli indicatori chiave di prestazione. Il problema del magazzino era relativo alle scorte in eccesso che

comportavano l'immagazzinamento di scorte in luoghi inadatti, generandone deterioramenti. Attraverso una raccolta sistematica di dati sono stati sviluppati degli indicatori di controllo per facilitare la visualizzazione e l'interpretazione dell'evoluzione del processo ed eseguire le varie azioni correttive.

Un altro esempio è quello di una ricerca su cinque magazzini di materiale da costruzione, condotta dal Dipartimento di Ingegneria Industriale di una università indonesiana, che ha portato alla determinazione del KPI più importante per ogni attività che viene svolta in un magazzino. Per la ricezione il KPI fondamentale è la produttività (ricezione per ora-uomo), per lo putway è rilevante il tempo di ciclo (di putway), per lo stoccaggio è l'utilizzo (%di occupazione), il KPI per il prelievo ordini è il suo tempo di ciclo e per la spedizione è la produttività (ordine preparato per spedizione per ora uomo).

In generale, si possono classificare i seguenti indicatori:

KPI di produttività

- Produttività del lavoro
- Potenzialità di movimentazione (Throughput)
- Produttività della spedizione
- Utilizzo dei trasporti
- Utilizzo del magazzino
- Produttività del Picking
- Utilizzo dello spazio di inventory
- Utilizzo dello spazio outbound
- Produttività della ricezione: numero di truck scaricati per ora di lavoro
- Turnover
- Selettività: quantità di unità di carico che possono essere prelevate senza effettuare spostamenti di altre unità di carico
- Ricettività: massime unità di carico stoccabili in magazzino

KPI di tempo

- Tempo di ricezione
- Tempo di picking (raccolta dell'ordine)
- Order lead time
- Delivery lead time

- Tempo di coda
- Tempo put away
- Tempo di spedizione
- Tempo di stoccaggio
- Tempo di fermo dell'attrezzatura

KPI di qualità

- Consegna in tempo
- Soddisfazione del cliente
- Tasso di evasione degli ordini
- Accuratezza dell'inventario
- Tasso di esaurimento scorte
- Accuratezza picking
- Accuratezza dell'immagazzinamento
- Accuratezza della consegna
- Accuratezza spedizione
- Perfezione ordini
- Tasso di scarto
- Ordini spediti in tempo
- Tasso di danni al carico

KPI di costo

- Costo dell'inventario
- Costo di elaborazione dell'ordine
- Costo del lavoro
- Costo di distribuzione
- Costi come percentuale delle vendite
- Costo di mantenimento

A questa sintesi di indicatori utilizzati per le risorse logistiche può esserne aggiunto l'OLE che è un nuovo KPI di Efficienza Logistica Globale. È un indicatore di performance aggregato per le operazioni di magazzino, formulato per colmare il gap in letteratura. Permette di individuare gli sprechi di efficienza e le aree di miglioramento.

4. Modelli di simulazione

Blanchard e Fabrycky [1990] definiscono un sistema come “un insieme di componenti interconnessi che lavorano insieme verso un obiettivo comune”.

La branca di ingegneria che studia i sistemi invece fornisce una definizione più approfondita:

“Un sistema è un insieme di persone, prodotti e processi che forniscono la capacità di soddisfare i bisogni stabiliti. Un sistema completo comprende le strutture, le attrezzature (hardware e software), i materiali, i servizi, i dati, il personale qualificato e le tecniche necessarie per raggiungere, fornire e sostenere l'efficacia del sistema”. Air Force Systems Command [1991]

La classificazione dei sistemi avviene in base all'aspetto considerato:

- Sistema fisico (es aeroporto), sistema concettuale (es sistema di equazioni)
- Statico se rappresenta un particolare momento o stato, Dinamico se si descrive un'evoluzione nel tempo.
- Continuo o Discreto a seconda del tipo di cambiamento dei valori delle variabili di stato

Per valutare le prestazioni dei sistemi si può ricorrere alla misurazione che può avvenire in maniera diretta o attraverso confronti con prototipi o benchmarking. Un altro metodo può essere l'uso dei modelli che possono essere analitici, simulativi o ibridi.

Si ricorre ai modelli nei casi in cui si vogliono valutare le prestazioni del sistema rappresentato e non è conveniente effettuare analisi direttamente nella realtà. I modelli concreti sono rappresentati dai modellini di oggetti in scala che vengono poi inseriti nel contesto di riferimento per effettuare le simulazioni, invece i modelli astratti si ottengono per mezzo di tool.

Il concetto di simulazione indica la riproduzione del comportamento di un sistema, il quale viene precedentemente modellato attraverso gli strumenti opportuni. Si tratta di uno strumento flessibile perché può essere applicata in vari ambiti e dunque permette l'analisi della maggior parte dei sistemi esistenti. Man mano che evolve la tecnologia ci si aspetta l'utilizzo della simulazione in sempre più settori.

La modellazione è molto utilizzata per stimare le misure di prestazione perché è un ambiente privo di rischi in cui si possono testare scenari possibili a qualsiasi livello di dettaglio risparmiando tempo e denaro. Quindi si possono valutare le prestazioni di un sistema sottoposto a modifiche e osservare anche il suo comportamento nel tempo, individuando problemi e soluzioni o punti chiave di miglioramento.

Rispetto a benchmarking e modelli analitici, la simulazione genera risultati che dipendono sostanzialmente dal livello di dettaglio dell'implementazione e sono meno esposti a generalizzazioni. Sono molto più accurati e consentono di ottenere delle soluzioni a problemi non risolvibili con i metodi analitici. Inoltre, la visualizzazione aiuta a comprendere più facilmente i risultati, concetti, idee.

Anche se limitati, la simulazione ha degli svantaggi che sono principalmente legati al sistema che si vuole rappresentare, nel senso che quanto più questo è complesso tanto più l'implementazione richiede maggiori conoscenze e tempi. Si allungano anche i tempi per eseguire la simulazione. Inoltre, spesso per ottenere dei dati più realistici si deve ripetere più volte la stessa simulazione. È importante sottolineare che il modello di simulazione risponde alla domanda what if, cioè studia cosa succede in una determinata configurazione o scenario possibile. Si possono anche eseguire esperimenti di ottimizzazione per trovare la soluzione ottima al problema e quindi dare una risposta alla domanda what best.

Gli elementi rilevanti di un modello di simulazione sono:

- Variabili di stato: insieme di variabili che descrivono un sistema
- Eventi: momento nel tempo in cui si verifica un cambiamento nel sistema. Gli eventi esogeni sono esterni al sistema, mentre quelli endogeni sono interni.
- Entità e attributi: elementi definiti che possono essere caratterizzati da valori
- Risorse: elemento che fornisce un servizio alle entità
- Attività e ritardi: operazioni con durate note a priori e relativi scostamenti

4.2 Simulazione ad eventi discreti

Il modello di simulazione di un sistema permette quindi la raccolta di osservazioni in funzione del tempo, distinguendo due tipi di modelli: ad eventi continui e ad eventi discreti.

Dato un sistema descritto per tutti i punti nel tempo, la simulazione si dice continua se le osservazioni vengono raccolte continuamente in tutti i momenti. Mentre la simulazione è ad eventi discreti richiede che le osservazioni vengano raccolte quando si verifica un evento.

La modellazione ad eventi discreti trova applicazione soprattutto dove il sistema può essere considerato a un livello medio di astrazione come nei settori manifatturiero, logistico e sanitario. Inoltre, la maggior parte dei processi che avvengono in tali settori può essere descritta come una sequenza di eventi separati.

4.3 Metodologia: fasi della costruzione di un modello

Una metodologia rappresenta la sequenza di passaggi generali da seguire per ottenere la risoluzione di un problema. Per costruire modelli di simulazione, può variare a seconda della complessità del sistema che si vuole riprodurre, ma in ogni caso le fasi principali consistono in:

1. Analisi del sistema reale: identificare gli obiettivi dello studio determinare le componenti necessaria per le misure di prestazioni rilevanti.
2. Costruzione di un modello concettuale e virtuale: definire le caratteristiche generali che deve avere il modello, con i relativi flussi, parametri, input e output.
4. Validazione del modello: durante la fase di progettazione cruciale assicurarsi che il modello fornisca risultati attendibili rispetto al comportamento previsto nel sistema reale.
5. Esperimenti di simulazione: eseguire esperimenti con input specifici e raccogliere i dati.
5. Analisi dei risultati: valutazione dei risultati in relazione agli obiettivi definiti inizialmente.

4.4 Anylogic: tool di simulazione

Anylogic è uno strumento di simulazione che si diffonde agli inizi degli anni 2000 e che ad oggi è leader nelle applicazioni aziendali, raggiungendo la Versione 8.8.4.

Sviluppa i modelli attraverso vari linguaggi di modellazione visiva come diagrammi di flusso dei processi e grafici di azioni, ma anche con linguaggi di programmazione. Il codice è scritto in Java quindi orientato agli oggetti, per cui è possibile incorporare algoritmi di ottimizzazione nella simulazione.

Dispone di diverse librerie standard e specifiche per ogni settore e che devono essere costruite una sola volta ma poi possono essere utilizzate per tutti i metodi. Offre la possibilità di una modellazione parametrica, quindi è possibile simulare differenti scenari.

Questo software può essere utilizzato per ottimizzare processi e sistemi complessi di numerosi e diversi settori poiché supporta tre metodi di simulation modeling che possono essere combinati per superare i limiti derivanti da ciascun metodo:

- Dinamica del sistema
- Modellazione di eventi discreti
- Modellazione basata su agenti

Ciascuno di questi presuppone un diverso livello di astrazione che è molto elevata nel caso del primo metodo, medio-bassa per quello ad eventi discreti e bassa per l'ultimo metodo.

Tutte le interfacce si presentano con delle schede di Progetti e Palette sulla parte sinistra e una Scheda in Proprietà sulla parte destra dell'interfaccia. La vista Progetti fornisce i modelli aperti nell'area di lavoro, i quali sono organizzati internamente in maniera gerarchica. Si ottiene quindi una struttura ad albero che va dal livello superiore del Main a tutti gli altri livelli contenenti agenti e relativi elementi. In tutti i modelli, il Main è il livello generale senza alcuna rappresentazione fisica, in cui si collocano tutti gli elementi della modellazione

Le palette sono un elenco di elementi del modello raggruppati per categorie. La vista delle proprietà è essenziale per modificare le caratteristiche degli elementi selezionati nel modello.

Molto utile è il controllo immediato e automatico che Anylogic supporta sulle sintassi di elementi e codifica, limitando il rischio di errore.

5. Implementazione del modello di simulazione

Per la realizzazione del modello utile per lo sviluppo della tesi in oggetto, è stato utilizzato il tool di simulazione Anylogic con la modellazione ad eventi discreti. Inizialmente la costruzione del modello è avvenuta con la versione PLE - Personal Learning Edition - e successivamente con la versione University, in modo da superare le limitazioni derivanti dalla prima.

Prima dell'uso del software, l'aspetto fondamentale per costruire un modello di magazzino è definire flussi, input e output. Infatti, in ingresso e in uscita sono definiti i flussi fisici del magazzino in un certo intervallo di tempo.

Ai fini di questa tesi, l'output d'interesse è l'indicatore OLE declinato nelle tre componenti Disponibilità, Performance e Qualità. Tenendo conto delle definizioni matematiche di ognuno di questi sotto-indicatori, ne consegue che le uscite del modello principalmente utili da considerare sono il livello massimo di giacenze nel magazzino nel periodo T, il numero di spedizioni nel periodo T e il numero di unità di carico in T che non risultano conformi per la spedizione. Per ottenerli, sono necessari gli input e i parametri:

- Risorse umane
- Attrezzature
- Velocità di movimentazione delle risorse (umane e attrezzature)
- Intervalli temporali delle attività
- Capacità delle aree
- Unità di carico in ingresso (fornitura) : quantità e tempi
- Unità di carico richieste (ordini): quantità e tempi
- Dati sulle probabilità di danneggiamento delle merci in magazzino

Altri output ottenibili avendo questi input possono essere: fattore di utilizzo delle risorse, fattore di utilizzo delle aree, Service Level, Tempo di ciclo, Livello di giacenze nel tempo, Numero di ordini scartati.

5.1 Modello di magazzino

Inizialmente è stata condotta una ricerca nella letteratura dei modelli simulazione ad eventi discreti del magazzino e sulla base sulla base di un modello presente nella libreria Anylogic Examples_Supply Chains and Logistics_WHOLESAL WAREHOUSE_Discrete Event, si è implementato il modello utile allo sviluppo della tesi. Il modello originale è stato modificato approfondito, modificato ed ampliato in funzione delle analisi che si vogliono condurre per raggiungere l'obiettivo della tesi.

La libreria di riferimento è denominata Process Modeling Library che si compone di diversi elementi di Agent Type, Space Markup e Blocchi. Di questi se ne sono utilizzati molti, combinandoli opportunamente tra loro. Per quanto riguarda gli Space Markup sono stati utilizzati principalmente Path, Point Node e Rectangular Node, mentre gli agent Type utilizzati sono stati denominati come:

- MAIN
- Pallet
- Truck
- Unloader
- AddettoControllo
- AddettoOrdini
- AddettoTrasporto
- Loader
- Forklift
- TruckSpedizione

I primi tre sono usati nel flowchart come agent, mentre gli altri come Resource Unit.

Invece, i blocchi disposti nel modello sono in un numero molto maggiore e sono riportati nella seguente tabella:

BLOCCO	ICONA	FUNZIONE	N	NOME
SOURCE		Genera agenti	2	ArrivoOrdini ArrivoTruck
SINK		Elimina gli agenti	3	ordiniScartati palletSpediti SinkTruck
DELAY		Ritarda gli agenti in base al tempo specificato	6	ProcessTruckGate1 ProcessTruckGate2 controlProcess ProcessCaricoGate1 ProcessCaricoGate2
QUEUE		Memorizza gli agenti nell'ordine specificato	7	AttesaAreaControllo AttesaAreaPlacement Coda1AreaRicezione AttesaAreaSpedizione Coda2AreaRicezione CodaOrdini waitForLoadingQueue
SPLIT		Per ogni agente in arrivo crea una copia	2	scaricoPallets1 scaricoPallets2

COMBINE		Attende due agenti e produce da essi un nuovo agente	1	combinaOrdini_e_Pallet
MOVE TO		Sposta l'agente dalla posizione corrente ad una nuova	14	moveToAreaControllo moveToAreaSpedizioni moveToAttesaAreaControllo moveToComplicationZone moveToEntrataRicezione moveToEntrataTruck moveToAreaPosizionamento moveToTheCity moveToTruckSetup1 moveToTruckSetup2 moveToUscitaTruck1 moveToUscitaTruck2 moveToZonaCarico1 moveToZonaCarico2
RESOURCE POOL		Fornisce unità di risorse che vengono sequestrate e rilasciate dagli agenti	7	AddettoControllo AddettoOrdini AddettoTrasporto Forklift Loader TruckSpedizione Unloader
SELECTOUTPUT		Instrada gli agenti ad una delle porte di output a seconda della condizione	4	selezionaGateCarico selezionaGateScarico selezioneOrdini selezionaConformi
SEIZE		Cattura il numero di unità della risorsa specificata richiesta dall'agente	9	seizeAddettoControllo seizeAddettoOrdini seizeAddettoTrasporto seizeLoader1 seizeLoader2 seizeTransferer seizeTruckSpedizione1 seizeTruckSpedizione2 seizeUnloader
RELEASE		Rilascia le unità di risorse precedentemente sequestrate dall'agente	8	releaseAddettoTrasport releaseAddettoTrasporto releaseAddettoControllo releaseControlPerson releaseLoader2 releaseLoader1 releaseTruckSpedizione releaseUnloader
ENTER		Inserisce agenti creati in altri punti del diagramma di flusso	1	scegliPalletDaStorage
EXIT		Per l'instradamento personalizzato degli agenti tra diverse parti del modello	1	FlowchartFornituraEnd
RESOURCE ATTACH		Collega un agente con un set di risorse	2	attachTruckSpedizione1 attachTruckSpedizione2

RESTRICTED AREA START		Limita il numero di agenti in una parte del diagramma di flusso tra i blocchi di inizio e fine area corrispondenti	10	AreaCaricoStart AreaControlloStart AreaPosizionamentoStart AreaPrepOrdiniStart AreaRicezioneStart AreaScaricoTruckStart AreaSpedizioneStart ZonaScaricoGate1Start ZonaCaricoGate2Start AreaAttesaControlloStart
RESTRICTED AREA END		Termina un'area iniziata con il blocco RestrictedAreaStart	10	AreaAttesaControlloEnd AreaCaricoEnd AreaControlloEnd AreaPosizionamentoEnd AreaPrepOrdiniEnd AreaRicezioneEnd AreaScaricoTruckEnd AreaSpedizioneEnd ZonaScaricoGate1End ZonaCaricoGate2End
TIME MEASURE START		Ricorda l'ora in cui passa un agente	1	cicloStart
TIME MEASURE END		Misura il tempo trascorso dall'agente tra i due blocchi "marker".	1	cicloEnd
RACK SYSTEM		Modella una zona di stoccaggio contenente una serie di scaffalature	1	rackSystem
RACK STORE		Posiziona un agente in una cella del RackSystem	1	putPallet
RACK PICK		Preleva un agente da una cella del (RackSystem e lo sposta nel nodo di rete specificato	1	pickPallet

Tabella 1 – Blocchi utilizzati per realizzare il modello

Il processo, che inizia con l'arrivo della unità di carico e termina con l'uscita delle stesse, è unico ma può essere suddiviso in tre sotto-processi:

1.Flowchart_TRUCKS: il nodo source individua l'arrivo dei truck contenenti le unità di carico e il nodo sink l'uscita dei Truck dal processo.

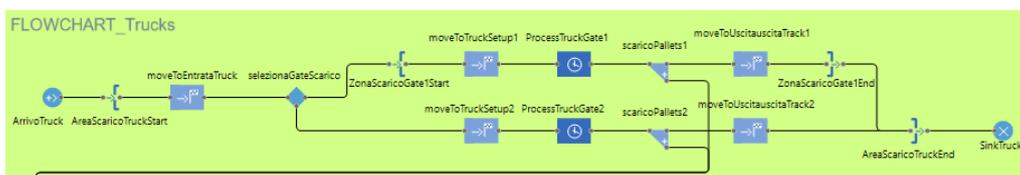


Figura 10 – Flowchart_Trucks

2.Flowchart_DA INGRESSO A STORAGE: una volta scaricati i pallet questi si ritrovano nell'area di ricezione da cui parte questo flusso, il quale poi si conclude in modo fittizio con il posizionamento delle unità di carico sulle scaffalature nell'area Storage

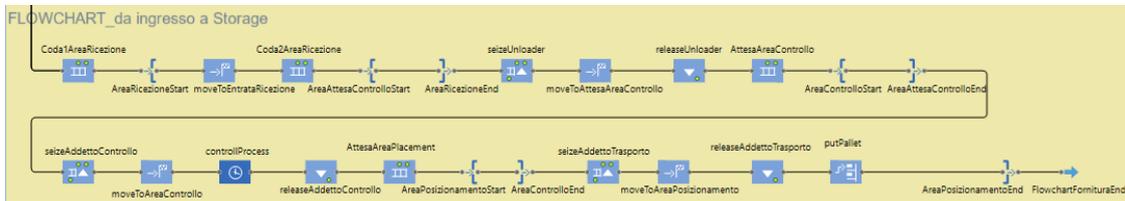


Figura 11_Flowchart_da Ingresso a Storage

3.Flowchart_DA STORAGE A USCITA: il punto di partenza di questo flusso è il prelievo delle unità di carico dalle scaffalature nell'area storage. Questa operazione però si avvia con il trigger generato da un altro nodo sorgente che è relativo all'arrivo degli ordini dei clienti. Si conclude quindi con il carico delle merci sui Truck adibiti alla spedizione.

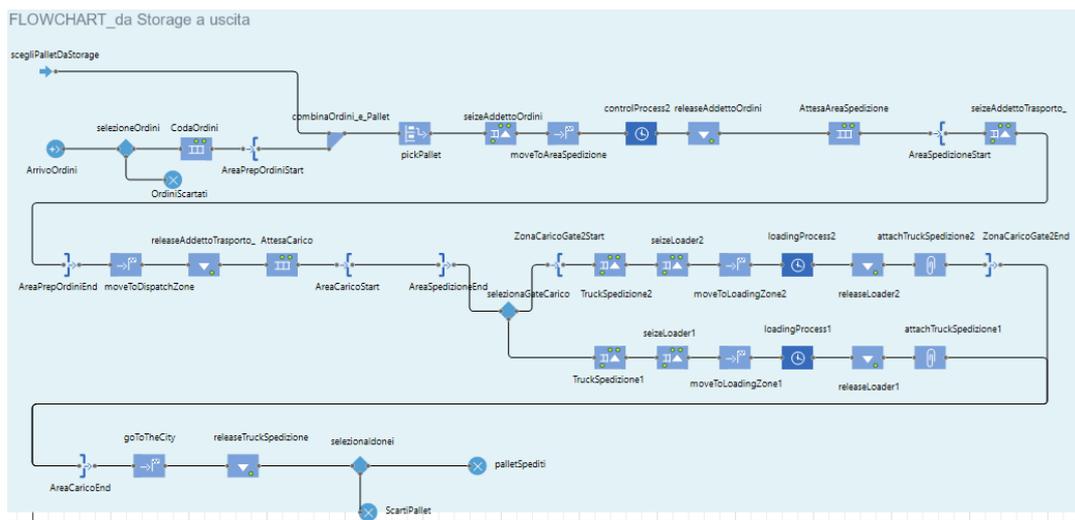


Figura 12 – Flowchart_da Storage a Uscita

5.2 Configurazioni

Come riportato nel Capitolo 2, vari sono i fattori che definiscono gli aspetti principali di un magazzino, come la suddivisione delle superfici e dei volumi o le risorse impiegate. Per la trattazione di questa tesi, non viene costruito un magazzino complesso, ma si propone una configurazione piuttosto standard per agevolare la modellazione e permettere di mantenere il focus sull'obiettivo della tesi.

5.2.1 Configurazione: Warehouse

Warehouse1 è una configurazione semplice di un magazzino con layout a U e suddiviso in sette aree denominate:

- ◆ Area di Scarico
- ◆ Area di Ricezione
- ◆ Area Controllo
- ◆ Area Posizionamento
- ◆ Storage
- ◆ Area Preparazione Ordini
- ◆ Area Spedizione

L'area totale è di circa 90 x 30 metri di cui circa 770 m² di Storage.

Le unità di carico movimentate in magazzino sono definite da pallet. Da questo ne deriva la destinazione d'uso delle scaffalature che sono di tipo portapallet. La capacità di stoccaggio è pari a 340 vani, i quali si considerano a singola profondità, cioè un pallet per ogni locazione. Le scaffalature sono in totale otto e si differenziano per il numero di vani e livelli:

-4 scaffalature a 2 livelli con 30 vani per ognuno

-4 scaffalature a 1 livelli con 25 vani per ognuno

Sono tutte accessibili da un solo lato e sono disposte creando corsie a senso unico.

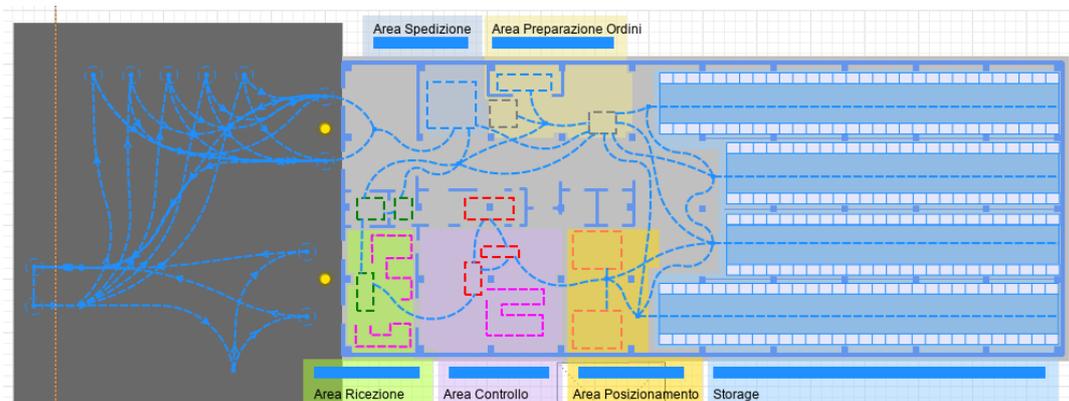


Figura 13 - Pianta Warehouse

5.3 Assunzioni del modello

Le ipotesi fatte sono valide per tutte le configurazioni e scenari considerati.

- Il periodo T di analisi è pari al tempo di simulazione. A $t=0$ lo stock è nullo.
- L'unità di tempo del modello è in minuti.
- Il tempo minimo di permanenza in magazzino è dato dalla somma dei tempi minimi di tutte le operazioni di movimentazione.
- Gli input inseriti hanno validità dal tempo $t=0$
- Si considera che le risorse siano sempre sufficienti a garantire il flusso ovvero che non siano mai inattive.
- Ogni risorsa gestisce una unità di carico per volta.
- La capacità di ricevimento ordini dipende solo dalla configurazione di magazzino
- Tutta la capacità delle risorse umane e delle attrezzature è disponibile: non ci sono assenze del personale e non ci sono guasti.
- Tutta la capacità delle aree è utilizzabile: non ci sono aree momentaneamente inagibili per varie cause (manutenzione, controlli).
- Si considerano solo le risorse statiche (vano). Le risorse dinamiche non sono considerate quindi si ipotizzano infinite.
- Una sola tipologia di prodotto movimentato.

5.4 Parametri

In Anylogic, come in ogni tool di simulazione, è possibile definire dei parametri per specificare le caratteristiche di un oggetto statico. I parametri possono essere modificati prima di ogni simulazione, ma non variano durante l'esecuzione. Nel modello in esame si sono definiti diversi parametri per rappresentare la capacità delle aree, i tempi delle attività di movimentazione, il numero di risorse, la velocità delle risorse.

NOME	VALORE	UDM	TIPO
AreaRicezioneCapacità	20	unità	int
AreaControlloCapacità	20	unità	int
AreaPrepOrdiniCapacità	10	unità	int
AreaSpedizioniCapacità	20	unità	int
AreaPosizionamentoCapacità	20	unità	int

TempoMINScarico	2	min	double
TempoMAXScarico	5	min	double
TempoMINCarico	3	min	double
TempoMAXCarico	8	min	double
NumeroUnloaders	500	unità	int
NumeroAddettiControllo	500	unità	int
NumeroAddettiTrasporto	500	unità	int
NumeroAddettiOrdini	500	unità	int
NumeroLoaders	500	unità	int
NumeroForklift	500	unità	int
NumeroTruckSpedizione	500	unità	int
Unloader	5	km/h	int
AddettoControllo	10	m/s	int
AddettoTrasporto	5	km/h	int
AddettoOrdini	10	m/s	int
Loader	10	m/s	int
Forklift	10	km/h	int
TruckSpedizione	20	km/h	int
Truck	40	km/h	int

Questi ultimi riguardanti le risorse non sono d'interesse per questa analisi e per questo sono stati inseriti solo al fine di far funzionare correttamente il modello di simulazione. Infatti, i valori associati ai parametri che indicano il numero di risorse sono impostati ad un valore molto alto per permettere di concentrare le valutazioni degli indicatori solo sulle risorse statiche del sistema. Tutti i parametri sono di tipo int o double. I parametri sono correlati agli input del modello che vengono di volta in volta inseriti per ottenere e valutare diversi scenari.

Inoltre, è opportuno considerare che il processo del magazzino modellato può essere suddiviso in due sotto-flussi: il primo che ha come nodo sorgente l'arrivo dei truck e ha una fine fittizia successivamente al posizionamento dell'unità di carico sulla scaffalatura; il secondo riguarda tutto ciò che accade dal prelievo dell'unità di carico dalla scaffalatura fino alla sua consegna. Però, l'operazione di prelievo è coordinata ad un altro nodo sorgente relativo all'arrivo degli ordini. Ogni sorgente avvia il flusso attraverso più parametri che riguardano quantità e tempi, di seguito indicati

con “Numero”, “TempodiArrivo”, “Contenuto”. Quindi, per ottenere diversi scenari sulle variazioni delle quantità di unità carico che entrano ed escono dal magazzino, si variano i valori dei parametri del modello nelle sorgenti del processo che determinano l’arrivo e l’uscita dei pallet, ovvero i dati di input nel nodo sorgente “ArrivoTruck” e i dati di input nel nodo sorgente “ArrivoOrdini”. I parametri dei Truck riportano alla pianificazione delle giacenze in magazzino e la gestione delle scorte, mentre quelli degli ordini sono correlati alla domanda dei clienti e quindi al numero di spedizioni. Tutti questi aspetti influenzano il livello massimo di inventario. Per cui variando i valori dei parametri, ci si aspetta una variazione delle giacenze e di conseguenza diversi output di performance e disponibilità. La tabella associa i parametri e gli input discussi:

SOURCE	ArrivoTruck	
PARAMETRI	NumeroTruck	x
	TempodiArrivo	intervallo fisso (no soglia)
		intervallo variabile (no soglia)
		con soglia e intervallo fisso
		con soglia e intervallo variabile
	Contenuto	y
variabile		
SOURCE	ArrivoOrdini	
PARAMETRI	NumeroOrdini	n
		variabile
	TempodiArrivo	intervallo fisso
		intervallo variabile

Tabella 2 - Input e Parametri

Dove:

- x: numero di Truck
- y: numero di pallet contenuti per ogni Truck
- n: numero di unità di carico richieste nell’ordine
- soglia: numero di unità di carico
- “intervallo”: indica la definizione di un valore minimo e uno valore massimo
- “variabile”: quantità o intervallo che varia in funzione del tempo

5.5 Scenari

In un processo gli elementi interagiscono tra loro in modo diverso anche in funzione delle diverse combinazioni dei parametri. Per valutare il comportamento dell'OLE e di tutti i suoi indicatori correlati attraverso uno strumento di simulazione occorre determinare diversi scenari di simulazione e osservare cosa accade in ognuno. Per ottenerli, si quindi possono variare i valori dei parametri associati ai blocchi del processo modellato ma anche scegliere diversi criteri di simulazione.

Gli scenari di analisi definiti sono:

- Scenari di domanda
- Scenari di fornitura delle scorte
- Scenari di ricettività
- Scenari di conformità
- Scenari di misura

Riguardo la domanda dei clienti si sono valutati i comuni casi di richieste costanti e variabili nel tempo con picchi di domanda o incrementi e diminuzioni che possono in genere derivare da diversi fattori, ad esempio dalla stagionalità.

Le corrispondenze tra combinazione dei parametri del nodo sorgente "ArrivoOrdini" e la tipologia di domanda sono:

	Numero	TempodiArrivo	TIPO DI DOMANDA
Ordini	n	if	Costante
	n	iv	Variabile
	variabile	if	Variabile
	variabile	iv	Variabile

Tabella 3 – Parametri, input e tipi di domanda

Dove:

- n: numero di unità di carico richieste nell'ordine
- if: intervallo di interarrivo dell'ordine fisso in T
- iv: intervallo di interarrivo dell'ordine varia in T

Per variare la frequenza degli arrivi di ordini e quindi sulla frequenza delle spedizioni si può agire alternativamente sul parametro del tempo di interarrivo definito da un range di valori o sul numero di ordini che arrivano in un determinato intervallo. In questo caso, per avere una modellazione più agevole, si variano solo i valori del numero di ordini considerando variazioni sia dell'opzione del valore puntuale che quelle di un intervallo.

Per quanto riguarda l'arrivo delle scorte in magazzino, si è tenuto quindi conto di quattro tipi di fornitura che si applicano a seconda della natura del prodotto e della sua frequenza di vendita:

- Data variabile/Quantità fissa: metodo del punto (soglia) di rifornimento
- Data variabile/Quantità variabile: rifornimento frequente.
- Data fissa/Quantità fissa
- Data fissa/Quantità variabile

La tabella evidenzia le corrispondenze tra combinazioni dei parametri e metodi di fornitura.

	Numero	TempodiArrivo	Contenuto	METODO DI FORNITURA
Truck	x	iv	y	1. Data variabile/Quantità fissa
	x	siv	y	
	x	sif	y	
	x	iv	variabile	2. Data variabile/Quantità variabile
	x	siv	variabile	
	x	sif	variabile	
	x	if	y	3. Data fissa/Quantità fissa
	x	if	variabile	4. Data fissa/Quantità variabile

Tabella 4 – Parametri, input e tipi di fornitura

Dove:

-x: numero di Truck

-iv: intervallo di interarrivo del truck varia in T

-if: intervallo di interarrivo del truck fisso in T

-siv: soglia di riordino che determina la data variabile di fornitura; intervallo di interarrivo del truck varia in T

-sif: soglia di riordino che determina la data variabile di fornitura; intervallo di interarrivo del truck fisso in T

- y: numero di pallet contenuti per ogni Truck

Per variare la quantità di scorta da far giungere al magazzino, si può agire alternativamente sul parametro del tempo di arrivo o sul parametro che indica il contenuto. Per il tempo di arrivo in ogni caso si considera un range di tempo di arrivo dei Truck che può essere definito ad intervalli di tempo fisso o variabile. Le date variabili si ottengono considerando una soglia di riordino. La variabilità della data si rafforza anche considerando un tempo di interarrivo maggiore ogni qualvolta si raggiunge il punto di controllo.

Il parametro Contenuto indica il numero delle unità di carico per ogni Truck. Può essere un valore fisso oppure variabile in T a causa, ad esempio, di una gestione delle scorte per stagionalità.

Per semplicità di modellazione più agevole, si considera sempre un valore puntuale e pari a 1 come numero di Track per intervallo di tempo.

Considerando contemporaneamente i parametri di entrambe le sorgenti del processo, si possono ottenere numerosi scenari.

1	Truck	x	iv	y
	Ordini	n	if	
2	Truck	x	iv	y
	Ordini	n	iv	
3	Truck	x	iv	y
	Ordini	variabile	if	
4	Truck	x	iv	y
	Ordini	variabile	iv	
ScenarioA1	Truck	x	siv	y
	Ordini	n	if	
6	Truck	x	siv	y
	Ordini	n	iv	
ScenarioA2	Truck	x	siv	y
	Ordini	variabile	if	
8	Truck	x	siv	y
	Ordini	variabile	iv	
9	Truck	x	sif	y
	Ordini	n	if	
10	Truck	x	sif	y
	Ordini	n	iv	
11	Truck	x	sif	y
	Ordini	variabile	if	
12	Truck	x	sif	y
	Ordini	variabile	iv	
13	Truck	x	iv	variabile
	Ordini	n	if	
14	Truck	x	iv	variabile
	Ordini	n	iv	
15	Truck	x	iv	variabile
	Ordini	variabile	if	
16	Truck	x	iv	variabile
	Ordini	variabile	iv	
ScenarioA3	Truck	x	siv	variabile
	Ordini	n	if	
18	Truck	x	siv	variabile
	Ordini	n	iv	
ScenarioA4	Truck	x	siv	variabile

	Ordini	variabile	if	
20	Truck	x	siv	variabile
	Ordini	variabile	iv	
ScenarioA5	Truck	x	if	y
	Ordini	n	if	
22	Truck	x	if	y
	Ordini	n	iv	
ScenarioA6	Truck	x	if	y
	Ordini	variabile	if	
24	Truck	x	if	y
	Ordini	variabile	iv	
ScenarioA7	Truck	x	if	variabile
	Ordini	n	if	
26	Truck	x	if	variabile
	Ordini	n	iv	
ScenarioA8	Truck	x	if	variabile
	Ordini	variabile	if	
28	Truck	x	if	variabile
	Ordini	variabile	iv	
29	Truck	x	sif	variabile
	Ordini	n	if	
30	Truck	x	sif	variabile
	Ordini	n	iv	
31	Truck	x	sif	variabile
	Ordini	variabile	if	
32	Truck	x	sif	variabile
	Ordini	variabile	iv	

Per lo sviluppo delle analisi oggetto di questa tesi, se ne sono scelti alcuni secondo i criteri di semplicità di modellazione, come per gli scenari A1, A3, A5, e di verosimiglianza con il mondo reale, come per la A2, A4, A6, A7, A8.

Tipologie di fornitura e tipologie di domanda possono essere associate e si ottiene:

Nome	Definizione
ScenarioA1	Data variabile/Quantità fissa, Domanda costante nel tempo
ScenarioA2	Data variabile/Quantità fissa, Domanda variabile nel tempo
ScenarioA3	Data variabile/Quantità variabile, Domanda costante nel tempo
ScenarioA4	Data variabile/Quantità variabile, Domanda variabile nel tempo
ScenarioA5	Data fissa/Quantità fissa, Domanda costante nel tempo
ScenarioA6	Data fissa/Quantità fissa, Domanda variabile nel tempo
ScenarioA7	Data fissa/Quantità variabile, Domanda costante nel tempo
ScenarioA8	Data fissa/Quantità variabile, Domanda variabile nel tempo

Tabella 5 - Scenari

		Scenario A1	Scenario A2	Scenario A3	Scenario A4	Scenario A5	Scenario A6	Scenario A7	Scenario A8
Truck	Numero	x	x	x	x	x	x	x	x
	Arrivo					if	if	if	if
		siv	siv	siv	siv				
Contenuto	y	y	variabile	variabile	y	y	variabile	variabile	
Ordini	Numero	n	variabile	n	variabile	n	variabile	n	variabile
	Arrivo	if							

Nello scenario A1, A3, A5, A7 si considera una domanda puntuale, invece negli scenari A2, A4, A6, A8 si considera una domanda variabile nel tempo, ovvero il numero di unità di carico richieste dal cliente è diversamente distribuita nel tempo.

La fornitura è determinata sulla base di una data variabile per i primi quattro scenari, mentre è ottenuta seguendo una data fissa in T negli altri scenari.

Negli scenari A1, A2, A5, A6, il truck contiene sempre lo stesso numero di unità di carico, è invece variabile in T negli altri.

In tutti gli scenari, si assume che truck e ordini arrivino in un range di tempo definito da un valore minimo e massimo. Questo per tenere conto sia dei rischi correlati al trasporto che producono ritardi e quindi potrebbero alterare la puntualità delle consegne al magazzino che della domanda del cliente, che anche se stabile, può subire delle oscillazioni. A monte però si assume una schedulazione abbastanza corretta che dunque può variare solo in un intervallo di valori.

Da questi scenari ipotizzati si possono fare anche delle valutazioni sulla capacità dell'area storage, ma per trattare più esplicitamente la ricettività del magazzino si possono costruire altri scenari considerando delle variazioni delle capacità delle scaffalature. Ad esempio:

- Capacità di stoccaggio 880 udc:
 - 4 scaffalature a 4 livelli con 30 vani per ognuno
 - 4 scaffalature a 4 livelli con 25 vani per ognuno
- Capacità di stoccaggio 220 udc:
 - 2 scaffalature a 4 livelli con 30 vani per ognuno
 - 2 scaffalature a 4 livelli con 25 vani per ognuno

Ulteriori scenari che possono essere individuati riguardano la conformità delle merci. Per semplicità di modellazione, i danneggiamenti delle unità di carico dovuti alla movimentazione ed eventuali resi o prodotti non consegnati, sono individuati nel flowchart in un unico blocco selectOutput inserito successivamente al punto in cui avviene controllo qualità e quindi in prossimità dell'area spedizione. Di default, in tutti gli scenari si considera una distribuzione binomiale e la sua funzione associata in Anylogic costruita come *binomial (double p, int n)*, dove double e int sono il tipo primitivo di Java, p la probabilità che si verifichi l'evento e nil numero di prove. Per considerare il tema legato all'integrità del prodotto e di conseguenza all'indicatore di qualità, sono valutati però anche casi in cui la percentuale di errori o prodotti danneggiati è maggiore di quella ipotizzata nella maggior parte degli scenari.

Infine, sono ottenibili scenari in cui l'attenzione si sposta sulle modalità di misurazione, le quali potrebbero influenzare i valori di output. Essi, infatti, dipendono anche dalla durata della simulazione, per cui costruisce quindi scenari in cui si varia il tempo di analisi. Gli output variano anche rispetto al modo con cui viene effettuata la misurazione, ovvero in modo continuativo o con delle interruzioni lungo il periodo T.

Dunque, preso come benchmark uno scenario precedentemente analizzato, si declinano dei nuovi possibili scenari.

5.5.5 Dati degli scenari

Le tabelle riportano i dati di input degli scenari scelti per la simulazione:

ScenarioA1:

udm	INPUT	Comb5	Comb7	Comb17	Comb19
		ScenarioA1	ScenarioA2	ScenarioA3	ScenarioA4
giorni	T	365	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30	30
udc	soglia	180	180	180	180
	*	3*	3*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	7--12	7--12
udc per ordine		1	variabile	1	variabile
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340	340

Tabella 6 – Dati degli scenari con fornitura in data variabile

udm	INPUT	Comb21	Comb23	Comb25	Comb27
		ScenarioA5	ScenarioA6	ScenarioA7	ScenarioA8
giorni	T	365	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	50	20	50	50
min	TruckInterarrivoMAX	70	30	70	70
udc	soglia	no	no	no	no
	*	no	no	no	no
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	7--12	12--16
udc per ordine		1	variabile	1	variabile
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340	340

Tabella 7 – Datidegli scenari con fornitura in data fissa

I dati di input che variano sono solo quelli che caratterizzano la combinazione, gli altri restano gli stessi per permettere anche un confronto tra scenari di riferimento.

Alcuni valori sono stati scelti prendendo spunto dal modello di Anylogic.

Inoltre, prese le combinazioni Comb5, Comb7, Comb17 si variano alcuni valori di input per declinare i nuovi scenari.

In riferimento alle Comb5 e Comb17:

- per ottenere una domanda più alta, si modifica l'impostazione di un agente per arrivo. Si variano invece solo i parametri di interarrivo dell'ordine per avere una domanda più bassa.

Riferimento - Comb5		DOMANDA COSTANTE in T	
		ALTA	BASSA
udm	INPUT	ScenarioA9	ScenarioA10
giorni	T	365	365
Truck	Numero	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30
udc	soglia	180	180
	*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8
udc per ordine		4	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	7
min	OrdineInterarrivoMAX	5	10
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340

Tabella 8 – Dati Comb 5_ variazione domanda

Riferimento - Comb17		DOMANDA COSTANTE in T			
		ALTA	ALTA	ALTA	BASSA
udm	INPUT	ScenarioA29	ScenarioA30	ScenarioA31	ScenarioA32
giorni	T	365	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30	30
udc	soglia	180	180	180	180
	*	3*	3*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	7--12	7--12	7--12	7--12
udc per ordine		4	6	20	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3	6
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5	9
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340	340

Tabella 9 – Dati Comb17_ variazione domanda

- i parametri di interarrivo dei Truck con un valore maggiore rispetto a quelli dello scenario A1 consentono di ottenere una frequenza di fornitura più bassa. Inoltre, si possono anche variare i valori delle soglie di controllo.

Riferimento - Comb5		SCORTE			
		FREQUENZA BASSA	FREQUENZA BASSA	FREQUENZA BASSA	FREQUENZA BASSA
udm	INPUT	ScenarioA1	ScenarioA12	ScenarioA13	ScenarioA14
giorni	T	365	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	50	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	70	30	30	30
udc	soglia	180	220	180	220
	*	3*	3*	5*	5*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	8	8
udc per ordine		1	1	1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340	340

Tabella 10 – Dati Comb5_variazione fornitura

Riferimento - Comb17		SCORTE			
		FREQUENZA BASSA	FREQUENZA BASSA	FREQUENZA BASSA	FREQUENZA BASSA
udm	INPUT	ScenarioA33	ScenarioA34	ScenarioA35	ScenarioA36
giorni	T	365	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	50	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	70	30	30	30
udc	soglia	180	220	180	220
	*	3*	3*	5*	5*
udc per Truck	palletsPerTruck	7--12	7--12	7--12	7--12
udc per ordine		1	1	1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340	340

Tabella 11 – Dati Comb17_variazione fornitura

- Per ottenere scenari con frequenza più alta si modificano al ribasso i valori soglia. È anche possibile mantenere lo stesso valore del punto di riordino ma diminuire il moltiplicatore degli intervalli di interarrivo della fornitura.

Riferimento - Comb5		SCORTE		
		FREQUENZA ALTA	FREQUENZA ALTA	FREQUENZA ALTA
udm	INPUT	ScenarioA15	ScenarioA16	ScenarioA17
giorni	T	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30
udc	soglia	100	180	100
	*	3*	2*	2*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	8
udc per ordine		1	1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340

Tabella 12 – Dati Comb5_variazione fornitura

Riferimento - Comb17		SCORTE	
		FREQUENZA ALTA	FREQUENZA ALTA
udm	INPUT	ScenarioA37	ScenarioA38
giorni	T	365	365
Truck	Numero	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30
udc	soglia	100	80
	*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	7--12	7--12
udc per ordine		1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340

Tabella 13 – Dati Comb17_variazione fornitura

- Nello scenario M1, il tempo di simulazione, e quindi di analisi, si considera maggiore rispetto allo scenario di riferimento. Invece negli scenari M2 e M3 si impostano dei valori di T minori.

Riferimento - Comb5		MISURA		
udm	INPUT	ScenarioM1	ScenarioM2	ScenarioM3
giorni	T	730	100	30
Truck	Numero	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30
udc	soglia	180	180	180
	*	3*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	8
udc per ordine		1	1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340

Tabella 14 – Dati Comb5_variaione tempo di misura

Riferimento - Comb17		MISURAZIONE			
udm	INPUT	ScenarioM8	ScenarioM9	ScenarioM10	ScenarioM11
giorni	T	730	30	10	7
Truck	Numero	1	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30	30
udc	soglia	180	180	180	180
	*	3*	3*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	7--12	7--12	7--12	7--12
udc per ordine		1	1	1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340	340

Tabella 15 – Dati Comb17_variazione tempo di misura

- Si considerano diverse percentuali di errori e difettosità durante il processo.

Riferimento - Comb5		CONFORMITA'		
udm	INPUT	ScenarioC1	ScenarioC2	ScenarioC3
giorni	T	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30
udc	soglia	180	180	180
	*	3*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	8
udc per ordine		1	1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5
%	conformi	binomial (0.04,100)	binomial (0.06,100)	binomial (0.03,100)
udc	SC	340	340	340

Tabella 16 – Dati Comb5_variazione della probabilità di prodotto danneggiato

Riferimento - Comb17		CONFORMITA'		
udm	INPUT	ScenarioC7	ScenarioC8	ScenarioC9
giorni	T	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30
udc	soglia	180	180	180
	*	3*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	7--12	7--12	7--12
udc per ordine		1	1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5
%	conformi	binomial (0.04,100)	binomial (0.06,100)	binomial (0.01,100)
udc	SC	340	340	340

Tabella 17 – Dati Comb17_variazione della probabilità di prodotto danneggiato

- Per ottenere una ricettività maggiore e minore si modificano i livelli delle scaffalature ottenendo rispettivamente uno scenario in cui la capacità di stoccaggio del magazzino è di 880 vani e uno in cui è di 220 vani.

Riferimento - Comb5		RICETTIVITA'	
udm	INPUT	ScenarioR1	ScenarioR2
giorni	T	365	365
Truck	Numero	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30
udc	soglia	180	180
	*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8
udc per ordine		1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	880	220

Tabella 18 – Dati Comb5_variazione capacità di stoccaggio

Riferimento - Comb17		RICETTIVITA'	
udm	INPUT	ScenarioR5	ScenarioR6
giorni	T	365	365
Truck	Numero	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30
udc	soglia	180	180
	*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	7--12	12--16
udc per ordine		1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	880	880

Tabella 19 – Dati Comb7_variazione capacità di stoccaggio

In riferimento alla Comb7:

- Per ottenere una domanda più alta, si inseriscono dei valori maggiori o minori di quelli presenti nella TAB0. Si considera anche il caso in cui i valori sono alti e simili per circa quattro mesi e poi assumono valori più bassi.

Riferimento - Comb7		DOMANDA VARIABILE in T		
		ALTA	BASSA	STAGIONALE
udm	INPUT	ScenarioA18	ScenarioA19	ScenarioA20
giorni	T	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30
udc	soglia	180	180	180
	*	3*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	8
udc per ordine		TAB1	TAB2	TAB3
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340

Tabella 20 – Dati Com7_variaizione domanda

- I parametri di interarrivo dei Truck con un valore maggiore rispetto a quelli dello scenario A1 consentono di ottenere una frequenza di fornitura più bassa. Inoltre, si possono anche variare i valori delle soglie di controllo.

Riferimento - Comb7		SCORTE			
		FREQUENZA BASSA	FREQUENZA BASSA	FREQUENZA BASSA	FREQUENZA BASSA
udm	INPUT	ScenarioA21	ScenarioA22	ScenarioA23	ScenarioA24
giorni	T	365	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30	30
udc	soglia	220	180	220	100
	*	3*	5*	5*	5*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	8	8
udc per ordine		1	1	1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340	340

Tabella 21 – Dati Comb7_variazione fornitura

- Per ottenere scenari con frequenza più alta si modificano al ribasso i valori soglia. È anche possibile mantenere lo stesso valore del punto di riordino ma diminuire il moltiplicatore degli intervalli di interarrivo della fornitura.

Riferimento - Comb7		SCORTE			
		FREQUENZA ALTA	FREQUENZA ALTA	FREQUENZA ALTA	FREQUENZA ALTA
udm	INPUT	ScenarioA25	ScenarioA26	ScenarioA27	ScenarioA28
giorni	T	365	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30	30
udc	soglia	180	100	100	80
	*	2*	2*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	8	8
udc per ordine		1	1	1	1
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340	340

Tabella 22 – Dati Com7_variazione fornitura

- Nello scenario M1, il tempo di simulazione, e quindi di analisi, si considera maggiore rispetto allo scenario di riferimento. Invece negli scenari M2 e M3 si impostano dei valori di T minori.

Riferimento - Comb7		MISURA			
udm	INPUT	ScenarioM4	ScenarioM5	ScenarioM6	ScenarioM7
giorni	T	730	100	30	10
Truck	Numero	1	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30	30
udc	soglia	180	180	180	180
	*	3*	3*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	8	8
udc per ordine		variabile (TAB)	variabile (TAB)	variabile (TAB)	variabile (TAB)
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	340	340	340	340

Tabella 23 – Dati Comb7_variazione tempi di misura

- Si considerano che durante il processo ci siano diverse percentuali di errori e difettosità.

Riferimento - Comb7		CONFORMITA'		
udm	INPUT	ScenarioC4	ScenarioC5	ScenarioC6
giorni	T	365	365	365
Truck	Numero	1	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30	30
udc	soglia	180	180	180
	*	3*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8	8
udc per ordine		variabile (TAB)	variabile (TAB)	variabile (TAB)
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5	5
%	conformi	binomial (0.04,100)	binomial (0.06,100)	binomial (0.01,100)
udc	SC	340	340	340

Tabella 24 – Dati Com7_variazione della probabilità del prodotto danneggiato

- Per ottenere una ricettività maggiore e minore si incrementano e diminuiscono i livelli delle scaffalature ottenendo rispettivamente uno scenario in cui la capacità di stoccaggio del magazzino è di 880 vani e uno in cui è di 220 vani.

Riferimento - Comb7		RICETTIVITA'	
udm	INPUT	ScenarioR3	ScenarioR4
giorni	T	365	365
Truck	Numero	1	1
min	TruckInterarrivoMIN	20	20
min	TruckInterarrivoMAX	30	30
udc	soglia	180	180
	*	3*	3*
udc per Truck	palletsPerTruck	8	8
udc per ordine		variabile (TAB)	variabile (TAB)
min	OrdineInterarrivoMIN	3	3
min	OrdineInterarrivoMAX	5	5
%	conformi	binomial (0.02,100)	binomial (0.02,100)
udc	SC	880	220

Tabella 25 – Dati Comb7_variazione della capacità di stoccaggio

6. Risultati

Si riportano nelle seguenti tabelle i valori numerici risultanti per la simulazione di ogni scenario. Tra tutti gli output ottenibili, si tengono solo quelli necessari al calcolo degli indicatori Disponibilità, Performance e Qualità. L'OLE è calcolato come prodotto dei tre indicatori oppure come $o_q(t)/SC$.

I dati delle tabelle 28 e 29 sono ottenuti impostando che la modalità di posizionamento delle unità di carico sulle scaffalature e il loro prelievo avvenga secondo il criterio di priorità di scelta del vano più vicino, mentre le tabelle 30 e 31 indicano i risultati nel caso in cui il posizionamento e il prelievo delle unità di carico venga effettuato scegliendo prima il vano più lontano.

	Comb5	Comb7	Comb17	Comb19
OUTPUT	ScenarioA1	ScenarioA2	ScenarioA3	ScenarioA4
Service Level	0,751	0,326	0,754	0,326
Totale Udc in ingresso	98880	99128	99365	99219
Numero di Ordini	131341	303877	131425	303560
Numero di ordini scartati	32473	204750	32069	204342
Livello MAX di scorte in Storage	195	195	204	204
Giacenze a fine T	184	180	179	195
Numero scarti Udc	12817	13017	13178	13154
OUTPUT TOTALE	98656	98916	99149	98992
VALUABLE OUTPUT	85838	85898	85970	85838
A - Disponibilità	0,57353	0,57353	0,60000	0,60000
P - Performance	0,03369	0,03378	0,03236	0,03231
Q - Qualità	0,87007	0,86839	0,86708	0,86712
OLE=A*P*Q	0,01681	0,01682	0,01684	0,01681
oq(t)	5,71600	5,72000	5,72479	5,71600
OLE=oq(t)/SC	0,01681	0,01682	0,01684	0,01681

Tabella 26 – Output scenari con fornitura in data variabile. Posizionamento e prelievo front of storage

	Comb21	Comb23	Comb25	Comb27
OUTPUT	ScenarioA5	ScenarioA6	ScenarioA7	ScenarioA8
Service Level	0,533	0,232	0,635	0,274
Totale Udc in ingresso	70136	70048	83399	83261
Numero di Ordini	131487	302223	131414	304177
Numero di ordini scartati	61352	232176	48026	220917
Livello MAX di scorte in Storage	8	8	11	12
Giacenze a fine T	5	2	0	0
Numero scarti Udc	9256	9242	11037	11149
OUTPUT TOTALE	70132	70040	83384	83253
VALUABLE OUTPUT	60875	60797	72346	72103
A - Disponibilità	0,02353	0,02353	0,03235	0,03529
P - Performance	0,58377	0,58300	0,50478	0,46199
Q - Qualità	0,86801	0,86803	0,86762	0,86607
OLE=A*P*Q	0,01192	0,01191	0,01417	0,01412
oq(t)	4,05370	4,04851	4,81756	4,80138
OLE=oq(t)/SC	0,01192	0,01191	0,01417	0,01412

Tabella 27 – Output scenari con fornitura in data fissa. Posizionamento e prelievo front of storage

	Comb5	Comb7	Comb17	Comb19
OUTPUT	ScenarioA1	ScenarioA2	ScenarioA3	ScenarioA4
Service Level	0,755	0,326	0,754	0,325
Totale Udc in ingresso	99432	99256	99225	98950
Numero di Ordini	131347	303572	131305	303408
Numero di ordini scartati	31929	204331	32081	204489
Livello MAX di scorte in Storage	195	195	203	203
Giacenze a fine T	188	174	180	178
Numero scarti Udc	13112	13203	13162	12959
OUTPUT TOTALE	99210	99038	99012	98740
VALUABLE OUTPUT	86097	85834	85849	85780
A - Disponibilità	0,57353	0,57353	0,59706	0,59706
P - Performance	0,03388	0,03382	0,03248	0,03239
Q - Qualità	0,86783	0,86668	0,86706	0,86875
OLE=A*P*Q	0,01686	0,01681	0,01681	0,01680
oq(t)	5,73325	5,71573	5,71673	5,71214
OLE=oq(t)/SC	0,01686	0,01681	0,01681	0,01680

Tabella 28 - Output scenari con fornitura in data variabile. Posizionamento e prelievo back of storage

	Comb21	Comb23	Comb25	Comb27
OUTPUT	ScenarioA5	ScenarioA6	ScenarioA7	ScenarioA8
Service Level	0,533	0,231	0,634	0,275
Totale Udc in ingresso	70096	79136	83278	83941
Numero di Ordini	131456	303936	131417	303192
Numero di ordini scartati	61367	233804	48150	219711
Livello MAX di scorte in Storage	8	8	10	12
Giacenze a fine T	6	2	1	0
Numero scarti Udc	9295	9269	10954	11008
OUTPUT TOTALE	70087	70128	83264	83474
VALUABLE OUTPUT	69791	60858	72309	72465
A - Disponibilità	0,023529	0,023529	0,029412	0,035294
P - Performance	0,583392	0,583733	0,554460	0,463215
Q - Qualità	0,995777	0,867813	0,868431	0,868115
OLE=A*P*Q	0,013669	0,011919	0,014162	0,014193
oq(t)	4,647422	4,052568	4,815097	4,825485
OLE=oq(t)/SC	0,013669	0,011919	0,014162	0,014193

Tabella 29 - Output scenari con fornitura in data fissa. Posizionamento e prelievo back of storage

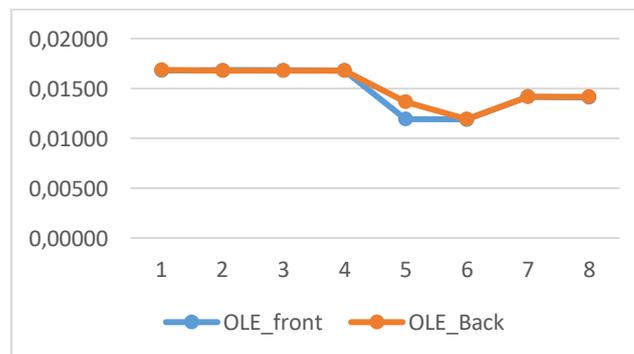


Figura 14 – Confronto OLE degli stessi scenari ma con criteri di posizionamento e prelievo diversi

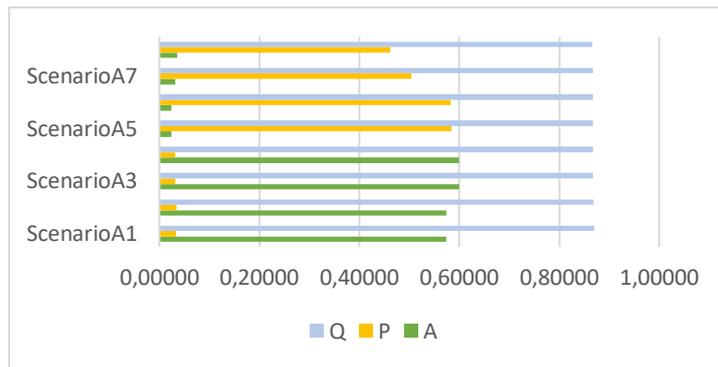


Figura 15 – Grafico dei valori di Disponibilità, Performance e Qualità per le combinazioni di prelievo front of storage

Le combinazioni scelte come riferimento determinano degli scenari che possono essere confrontati tra loro. Negli scenari con domanda costante, l'indicatore Q risulta essere assestato attorno al valore 0,86, invece il valore di P è simile dipende dalla tipologia di fornitura. Indipendentemente dalla quantità, quando la data prevista per l'arrivo dei prodotti in magazzino è variabile l'indicatore P è minore rispetto a quando la data di consegna è fissa. La differenza tra i due casi è sostanziale, perché nel primo P ha un valore attorno a 0,033 e invece nel secondo caso P si innalza. In particolare, se la quantità di unità di carico che arriva a magazzino è fissa, P risulta con un valore maggiore di quasi 0,09 rispetto al caso in cui è variabile.

Anche l'indicatore disponibilità cambia in base alla tipologia di forniture, similmente a P.

Si nota come il livello massimo di inventario dipende dalla scelta di gestione dei flussi in entrata. Se si sceglie di aver una data di rifornimento fissa, l'indicatore Disponibilità è inferiore ai casi di fornitura con data variabile. L'output totale è simile in tutti i casi tranne che per la tipologia di fornitura con data fissa e quantità fissa, dove ha un valore inferiore e di conseguenza anche il numero di unità di carico danneggiate è inferiore rispetto agli altri scenari.

Negli scenari con data variabile di fornitura L'OLE si discosta di poco indipendentemente dalla quantità di riordino fissa o variabile e non è nemmeno influenzata dal fatto che la domanda sia costante o variabile. Nel caso degli scenari con data fissa, invece, la scelta di variabilità o stabilità della quantità di riordino incide sull'indicatore OLE.

I grafici seguenti indicano l'andamento delle giacenze nell'area Storage in 1400 minuti, intorno al giorno 100, per gli scenari in cui è stata adottata la regola di priorità di posizionamento e prelievo del vano più vicino.

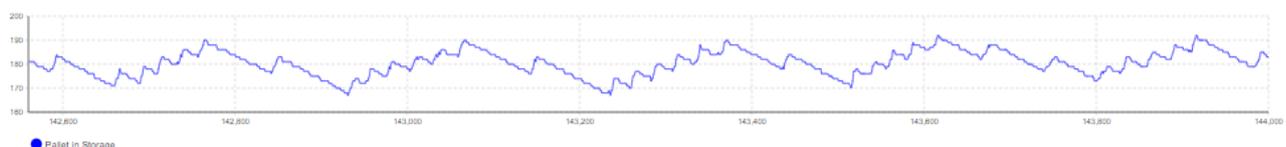


Figura 16 – Andamento Storage A.1



Figura 17 – Andamento Storage A.2

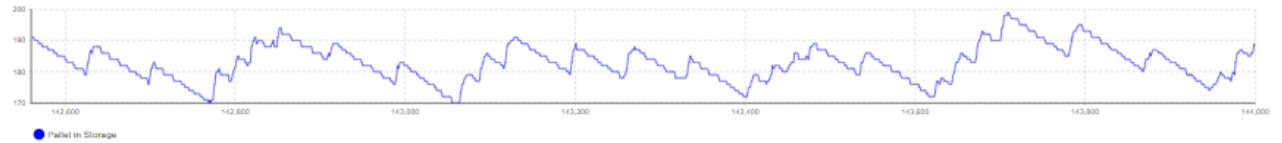


Figura 18 - Andamento Storage A.3



Figura 19 - Andamento Storage A.4



Figura 20 - Andamento Storage A.5

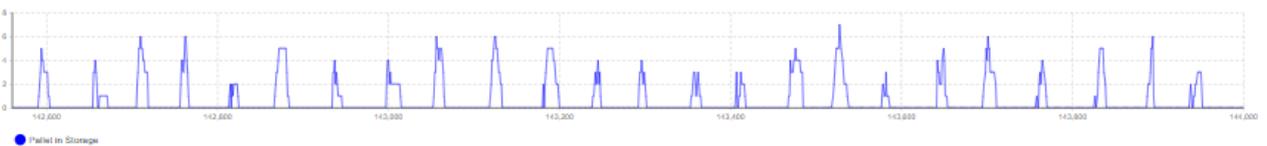


Figura 21 - Andamento Storage A.6

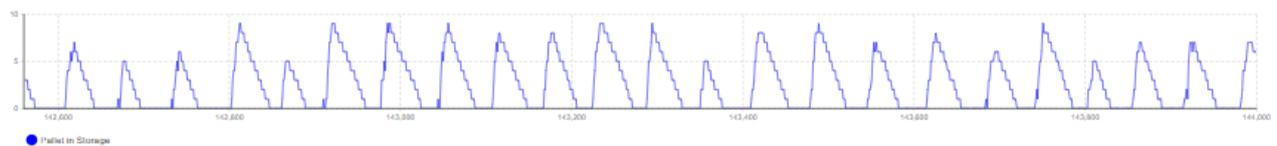


Figura 22 - Andamento Storage A.7

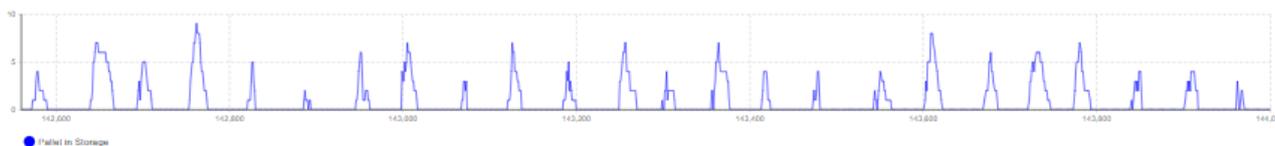


Figura 23 - Andamento Storage A.8

Tutte i risultati riportati in seguito sono definiti secondo la regola di priorità di scelta del vano più vicino.

Riferimento - Comb5	DOMANDA COSTANTE in T	
	ScenarioA9	ScenarioA10
OUTPUT		
Service Level	0,189	1
Totale Udc in ingresso	99408	62032
Numero di Ordini	525507	61845
Numero di ordini scartati	426108	2
Livello MAX di scorte in Storage	195	197
Giacenze a fine T	176	188
Numero scarti Udc	13223	8233
OUTPUT TOTALE	99191	61840
VALUABLE OUTPUT	85967	53606
A - Disponibilità	0,57353	0,57941
P - Performance	0,03387	0,02090
Q - Qualità	0,86668	0,86685
OLE=A*P*Q	0,01684	0,01050
oq(t)	5,72459	3,56965
OLE=oq(t)/SC	0,01684	0,01050

Tabella 30 - Risultati Comb 5_ variazione domanda

Riferimento - Comb17	DOMANDA COSTANTE in T			
	ScenarioA29	ScenarioA30	ScenarioA31	ScenarioA32
OUTPUT				
Service Level	0,189	0,126	0,038	1
Totale Udc in ingresso	99398	99415	99495	70257
Numero di Ordini	525195	788531	2626799	70074
Numero di ordini scartati	425798	689127	2527305	3
Livello MAX di scorte in Storage	204	204	204	219
Giacenze a fine T	188	178	181	185
Numero scarti Udc	13095	13011	13224	9366
OUTPUT TOTALE	99178	99195	99282	70069
VALUABLE OUTPUT	86082	86183	86057	60702
A - Disponibilità	0,60000	0,60000	0,60000	0,64412
P - Performance	0,03237	0,03238	0,03241	0,02131
Q - Qualità	0,868	0,869	0,867	0,866
OLE=A*P*Q	0,01686	0,016879	0,016855	0,011889
oq(t)	5,73225	5,73897	5,73058	4,04218
OLE=oq(t)/SC	0,01686	0,01688	0,01685	0,01189

Tabella 31 - Risultati Comb17_variazione domanda

Per la stessa tipologia di rifornimento, il valore di Performance cambia se sono richieste meno unità di carico rispetto allo scenarioA1. Di conseguenza anche il valore dell'OLE subisce una mutazione. Nel caso di valore di domanda più alto rispetto allo scenario A1, i valori degli indicatori non risentono di significativi cambiamenti. Probabilmente questo è dovuto al fatto che la quantità di ingressi è sempre la stessa, cioè la politica di riordino scelta non è sufficiente a garantire l'evasione di ordini troppo numerosi.

Riferimento - Comb7	DOMANDA VARIABILE in T		
	ScenarioA18	ScenarioA19	ScenarioA20
OUTPUT			
Service Level	0,271	0,542	0,909
Totale Udc in ingresso	98928	99400	99408
Numero di Ordini	364175	182998	109126
Numero di ordini scartati	265256	83599	9739
Livello MAX di scorte in Storage	195	195	195
Giacenze a fine T	180	180	180
Numero scarti Udc	13013	13127	13035
OUTPUT TOTALE	98708	99187	99186
VALUABLE OUTPUT	85694	86059	86150
A - Disponibilità	0,57353	0,57353	0,57353
P - Performance	0,03371	0,03387	0,03387
Q - Qualità	0,86816	0,86764	0,86857
OLE=A*P*Q	0,01678	0,01686	0,01687
oq(t)	5,70641	5,73072	5,73678
OLE=oq(t)/SC	0,01678	0,01686	0,01687

Tabella 32

La variabilità non incide sui valori di disponibilità e performance. Nel caso di domanda alta probabilmente perché la quantità di ingressi è sempre la stessa e non sufficiente a soddisfare troppe richieste.

Riferimento - Comb5	SCORTE			
	ScenarioA11	ScenarioA12	ScenarioA13	ScenarioA14
OUTPUT				
Service Level	0,232	0,752	0,751	0,751
Totale Udc in ingresso	70048	96976	98864	98864
Numero di Ordini	302223	131338	131431	131339
Numero di ordini scartati	232178	32371	32576	32494
Livello MAX di scorte in Storage	8	234	194	234
Giacenze a fine T	2	218	169	217
Numero scarti Udc	9242	13052	13137	13116
OUTPUT TOTALE	70040	96726	98655	98615
VALUABLE OUTPUT	53607	85673	85517	85498
A - Disponibilità	0,02353	0,68824	0,57059	0,68824
P - Performance	0,58300	0,02753	0,03386	0,02806
Q - Qualità	0,76538	0,88573	0,86683	0,86699
OLE=A*P*Q	0,01050	0,01678	0,01675	0,01675
oq(t)	3,56972	5,70501	5,69463	5,69336
OLE=oq(t)/SC	0,01050	0,01678	0,01675	0,01675

Tabella 33

Riferimento - Comb7	SCORTE			
OUTPUT	ScenarioA21	ScenarioA22	ScenarioA23	ScenarioA24
Service Level	0,325	0,327	0,326	0,325
Totale Udc in ingresso	99296	99168	99192	99128
Numero di Ordini	304422	302982	303516	304437
Numero di ordini scartati	205141	203823	204340	205324
Livello MAX di scorte in Storage	234	195	234	114
Giacenze a fine T	216	169	207	107
Numero scarti Udc	13161	13166	13151	13070
OUTPUT TOTALE	99040	98959	98945	98980
VALUABLE OUTPUT	85878	85792	85793	85909
A - Disponibilità	0,68824	0,57353	0,68824	0,33529
P - Performance	0,02818	0,03379	0,02816	0,05782
Q - Qualità	0,86710	0,86694	0,86708	0,86794
OLE=A*P*Q	0,01682	0,01680	0,01680	0,01683
oq(t)	5,71866	5,71294	5,71300	5,72073
OLE=oq(t)/SC	0,01682	0,01680	0,01680	0,01683

Tabella 34

Riferimento - Comb17	SCORTE			
OUTPUT	ScenarioA33	ScenarioA34	ScenarioA35	ScenarioA36
Service Level	0,635	0,754	0,755	
Totale Udc in ingresso	83399	99443	99435	99517
Numero di Ordini	131414	131472	131416	131392
Numero di ordini scartati	48026	32060	31982	31902
Livello MAX di scorte in Storage	11	244	204	244
Giacenze a fine T	0	223	176	225
Numero scarti Udc	11037	13196	13124	13177
OUTPUT TOTALE	83384	99181	99226	99260
VALUABLE OUTPUT	72346	85984	86101	86082
A - Disponibilità	0,03235	0,71765	0,60000	0,71765
P - Performance	0,50478	0,02707	0,03239	0,02709
Q - Qualità	0,86762	0,86694	0,86773	0,86724
OLE=A*P*Q	0,014169	0,016840	0,016863	0,016860
oq(t)	4,81756	5,72572	5,73351	5,73225
OLE=oq(t)/SC	0,01417	0,01684	0,01686	0,01686

Tabella 35

In questi scenari di bassa frequenza di rifornimento, si nota come l'aumento del punto di controllo e anche l'aumento dello stesso associato ad un maggiore moltiplicatore porti a variazioni degli indicatori di Disponibilità e Performance negli scenari A12 e A14 rispetto a quello di riferimento A1.

Questo accade sia nel caso di domanda puntuale che variabile. Si nota come in tutti i casi, il punto di controllo è fortemente impattante per determinare i tempi di fornitura rispetto al solo moltiplicatore che se modificato senza cambiamenti della soglia non apporta nessun cambiamento.

Riferimento - Comb5	SCORTE		
	OUTPUT	ScenarioA15	ScenarioA16
Service Level	0,75	751	0,75
Totale Udc in ingresso	98768	98824	98768
Numero di Ordini	131456	131372	131456
Numero di ordini scartati	32703	32553	32703
Livello MAX di scorte in Storage	115	195	115
Giacenze a fine T	103	187	103
Numero scarti Udc	13008	13086	13008
OUTPUT TOTALE	98625	98605	98625
VALUABLE OUTPUT	85616	85518	85616
A - Disponibilità	0,33824	0,57353	0,33824
P - Performance	0,05711	0,03367	0,05711
Q - Qualità	0,86810	0,86728	0,86810
OLE=A*P*Q	0,01677	0,01675	0,01677
oq(t)	5,70122	5,69469	5,70122
OLE=oq(t)/SC	0,01677	0,01675	0,01677

Tabella 36

Riferimento - Comb7	SCORTE			
	OUTPUT	ScenarioA25	ScenarioA26	ScenarioA27
Service Level	0,327	0,326	0,326	0,327
Totale Udc in ingresso	99264	99224	99232	99064
Numero di Ordini	302878	303529	304059	302934
Numero di ordini scartati	203616	204314	204828	203934
Livello MAX di scorte in Storage	194	115	115	94
Giacenze a fine T	182	97	97	78
Numero scarti Udc	13109	13103	13203	13224
OUTPUT TOTALE	99060	99067	99103	98948
VALUABLE OUTPUT	85940	85983	85899	85723
A - Disponibilità	0,57059	0,33824	0,33824	0,27647
P - Performance	0,03400	0,05736	0,05739	0,07010
Q - Qualità	0,86756	0,86793	0,86676	0,86634
OLE=A*P*Q	0,01683	0,01684	0,01682	0,01679
oq(t)	5,72279	5,72566	5,72006	5,70834
OLE=oq(t)/SC	0,01683	0,01684	0,01682	0,01679

Tabella 37

Riferimento - Comb17	SCORTE	
	ScenarioA37	ScenarioA38
OUTPUT		
Service Level	0,754	0,755
Totale Udc in ingresso	99331	99299
Numero di Ordini	131475	131360
Numero di ordini scartati	32156	32073
Livello MAX di scorte in Storage	124	104
Giacenze a fine T	97	90
Numero scarti Udc	13224	13150
OUTPUT TOTALE	99191	99177
VALUABLE OUTPUT	85966	86026
A - Disponibilità	0,36471	0,30588
P - Performance	0,05327	0,06350
Q - Qualità	0,86667	0,86740
OLE=A*P*Q	0,016837	0,016849
oq(t)	5,72452	5,72852
OLE=oq(t)/SC	0,01684	0,01685

Tabella 38

Rispetto allo scenario di riferimento si nota che, anche in caso di alta frequenza di fornitura delle unità di carico, si assiste ad un cambiamento dei valori di disponibilità e performance, mentre l'OLE resta quasi uguale. Anche in questo caso, variare il moltiplicatore degli interarrivi non apporta alcuna modifica.

Riferimento - Comb5	RICETTIVITA'	
	ScenarioR1	ScenarioR2
OUTPUT		
Service Level	0,751	0,75
Totale Udc in ingresso	98896	98840
Numero di Ordini	131418	131434
Numero di ordini scartati	32526	32603
Livello MAX di scorte in Storage	185	195
Giacenze a fine T	179	176
Numero scarti Udc	13107	13098
OUTPUT TOTALE	98685	98624
VALUABLE OUTPUT	85577	85525
A - Disponibilità	0,21023	0,88636
P - Performance	0,03552	0,03368
Q - Qualità	0,86717	0,86718
OLE=A*P*Q	0,00648	0,02589
oq(t)	5,69862	5,69516
OLE=oq(t)/SC	0,00648	0,02589

Tabella 39

Riferimento - Comb7	RICETTIVITA'	
OUTPUT	ScenarioR3	ScenarioR4
Service Level	0,326	0,325
Totale Udc in ingresso	99200	98824
Numero di Ordini	303984	303417
Numero di ordini scartati	204793	204594
Livello MAX di scorte in Storage	195	194
Giacenze a fine T	180	190
Numero scarti Udc	12985	12994
OUTPUT TOTALE	98980	98602
VALUABLE OUTPUT	85994	85607
A - Disponibilità	0,22159	0,88182
P - Performance	0,03380	0,03385
Q - Qualità	0,86880	0,86821
OLE=A*P*Q	0,00651	0,02591
oq(t)	5,72639	5,70062
OLE=oq(t)/SC	0,00651	0,02591

Tabella 40

Riferimento - Comb17	RICETTIVITA'	
OUTPUT	ScenarioR5	ScenarioR6
Service Level	0,754	0,753
Totale Udc in ingresso	99252	99204
Numero di Ordini	131384	131461
Numero di ordini scartati	32138	32266
Livello MAX di scorte in Storage	203	323
Giacenze a fine T	181	193
Numero scarti Udc	13025	13146
OUTPUT TOTALE	99039	98979
VALUABLE OUTPUT	86013	85832
A - Disponibilità	0,23068	0,36705
P - Performance	0,03249	0,02041
Q - Qualità	0,86848	0,86717
OLE=A*P*Q	0,006509	0,006495
oq(t)	5,72765	5,71560
OLE=oq(t)/SC	0,00651	0,00650

Tabella 41

Sia nel caso di domanda in quantità fissa che domanda in quantità variabile, i risultati delle simulazioni in cui si varia la capacità di stoccaggio del magazzino aumentando o riducendo il numero di livelli della scaffalatura sono simili. L'indicatore che varia significativamente rispetto allo scenario di riferimento è quello di disponibilità che si riduce se SC aumenta e, viceversa, restituisce un valore maggiore quando la capacità di stoccaggio è ridotta. Gli indicatori Performance e Qualità restano simili, ma l'OLE è molto diverso da quello che si ottiene negli scenari con gli stessi input ma con capacità di stoccaggio di 340 vani.

Riferimento - Comb5	MISURA		
OUTPUT	ScenarioM1	ScenarioM2	ScenarioM3
Service Level	0,751	0,751	0,751
Totale Udc in ingresso	197576	27232	8328
Numero di Ordini	262665	35982	10801
Numero di ordini scartati	65100	8755	2482
Livello MAX di scorte in Storage	195	194	194
Giacenze a fine T	188	183	174
Numero scarti Udc	25888	3554	1091
OUTPUT TOTALE	197355	27017	8114
VALUABLE OUTPUT	171466	23462	7022
A - Disponibilità	0,57353	0,57059	0,57059
P - Performance	0,03370	0,03385	0,03389
Q - Qualità	0,86882	0,86842	0,86542
OLE=A*P*Q	0,01679	0,01677	0,01673
oq(t)	5,70901	5,70257	5,68912
OLE=oq(t)/SC	0,01679	0,01677	0,01673

Tabella 42

Riferimento - Comb7	MISURA			
OUTPUT	ScenarioM4	ScenarioM5	ScenarioM6	ScenarioM7
Service Level	0,326	0,325	0,322	0,322
Totale Udc in ingresso	198048	27280	8328	2904
Numero di Ordini	607232	83380	25150	8346
Numero di ordini scartati	409185	56101	16829	5443
Livello MAX di scorte in Storage	195	194	194	193
Giacenze a fine T	184	187	182	182
Numero scarti Udc	26253	3579	1098	372
OUTPUT TOTALE	197832	27061	8109	2690
VALUABLE OUTPUT	171578	23481	7010	2317
A - Disponibilità	0,57353	0,57059	0,57059	0,56765
P - Performance	0,03378	0,03390	0,03386	0,03388
Q - Qualità	0,86729	0,86771	0,86447	0,86134
OLE=A*P*Q	0,01680	0,01679	0,01670	0,01656
oq(t)	5,71274	5,70719	5,67940	5,63160
OLE=oq(t)/SC	0,01680	0,01679	0,01670	0,01656

Tabella 43

Riferimento - Comb17	MISURA			
OUTPUT	ScenarioM8	ScenarioM9	ScenarioM10	ScenarioM11
Service Level	0,755	0,751	0,752	0,75
Totale Udc in ingresso	198578	8356	2931	2114
Numero di Ordini	262812	10832	3599	2525
Numero di ordini scartati	64238	2491	681	418
Livello MAX di scorte in Storage	204	204	200	198
Giacenze a fine T	183	173	180	187
Numero scarti Udc	26399	1069	370	254
OUTPUT TOTALE	196363	8140	2706	1894

VALUABLE OUTPUT	171963	7070	2335	1639
A - Disponibilità	0,60000	0,60000	0,58824	0,58235
P - Performance	0,03205	0,03233	0,03289	0,03321
Q - Qualità	7,43827	0,86855	7,31351	7,45669
OLE=A*P*Q	0,016840	0,016847	0,016692	0,016738
oq(t)	5,72556	5,72801	5,67535	5,69097
OLE=oq(t)/SC	0,01684	0,01685	0,01669	0,01674

Tabella 44

Negli scenari M pur variano gli intervalli T di simulazione si osserva che i risultati restano gli stessi.

Riferimento - Comb5	CONFORMITA'		
	ScenarioC1	ScenarioC2	ScenarioC3
OUTPUT			
Service Level	0,751	0,75	0,75
Totale Udc in ingresso	98936	98840	98816
Numero di Ordini	131417	131425	131438
Numero di ordini scartati	32500	32589	32631
Livello MAX di scorte in Storage	194	195	195
Giacenze a fine T	185	184	169
Numero scarti Udc	1680	199	4653
OUTPUT TOTALE	98711	98624	98607
VALUABLE OUTPUT	97030	98424	93953
A - Disponibilità	0,57059	0,57353	0,57353
P - Performance	0,03388	0,03368	0,03367
Q - Qualità	0,98297	0,99797	0,95280
OLE=A*P*Q	0,01900	0,01928	0,01840
oq(t)	6,46128	6,55411	6,25638
OLE=oq(t)/SC	0,01900	0,01928	0,01840

Tabella 45

Riferimento - Comb7	CONFORMITA'		
	ScenarioC4	ScenarioC5	ScenarioC6
OUTPUT			
Service Level	0,325	0,326	0,325
Totale Udc in ingresso	99216	99296	99280
Numero di Ordini	304412	304152	304423
Numero di ordini scartati	205205	204152	205148
Livello MAX di scorte in Storage	195	195	195
Giacenze a fine T	173	183	176

Numero scarti Udc	1661	186	35996
OUTPUT TOTALE	99003	99073	99072
VALUABLE OUTPUT	97341	98886	63075
A - Disponibilità	0,57353	0,57353	0,57353
P - Performance	0,03381	0,03383	0,03383
Q - Qualità	0,98321	0,99811	0,63666
OLE=A*P*Q	0,01906	0,01937	0,01235
oq(t)	6,48199	6,58487	4,20020
OLE=oq(t)/SC	0,01906	0,01937	0,01235

Tabella 46

Riferimento - Comb17	CONFORMITA'		
OUTPUT	ScenarioC7	ScenarioC8	ScenarioC9
Service Level	0,754	0,755	0,755
Totale Udc in ingresso	99360	99436	99450
Numero di Ordini	131409	131414	131446
Numero di ordini scartati	32050	31979	32012
Livello MAX di scorte in Storage	203	205	204
Giacenze a fine T	180	180	182
Numero scarti Udc	1745	193	36331
OUTPUT TOTALE	98148	99224	99226
VALUABLE OUTPUT	97402	99030	62894
A - Disponibilità	0,59706	0,60294	0,60000
P - Performance	0,032196	0,032231	0,032390
Q - Qualità	0,992399	0,998045	0,633846
OLE=A*P*Q	0,019077	0,019395	0,012318
oq(t)	6,486054	6,594463	4,188147
OLE=oq(t)/SC	0,019077	0,019395	0,012318

Tabella 47

In tutti i casi il risultato che varia è quello relativo all'Indicatore qualità che influenza anche i valori dell'OLE. Negli scenari C1, C2 e C3 il Service Level ha un valore di 0,75 quindi molto maggiore degli scenari C5, C6, C7 dove è di 0,32. Infatti, a un livello di servizio alto corrisponde una minore percentuale ordini arretrati.

7. Analisi e valutazione fattibilità dell'indicatore OLE

L'indicatore Disponibilità identifica gli sprechi dello spazio di archiviazione ed è dato dal rapporto tra il massimo output teorico gestibile in un intervallo T in un magazzino con capacità pari a $I_{max}(T)$ e il massimo output che può essere gestito in T in un magazzino di capacità pari a SC. $I_{max}(t)$ indica le scorte massime che sono presenti in un magazzino nel tempo T ed è quindi ottenuto alla fine del periodo T. Sc è data dal numero di vani di stoccaggio totali che ci sono in un magazzino.

È pertanto un indicatore che dipende da come vengono distribuite le scorte in magazzino e anche dalla ricettività dello stesso. Quest'ultima relazione si dimostra negli scenari R1, R2, R3, R4 dove il parametro Disponibilità varia coerentemente con il variare della capacità di stoccaggio. Nello scenario R1, a parità di tutti i parametri, se si aumentano i vani dell'area Storage da 340 a 880, il valore di Disponibilità diminuisce del 63,35% rispetto alla situazione dello scenario A1. Lo stesso accade nello scenario R2 dove, se si diminuiscono i vani da 340 a 220, si ottiene il valore dell'indicatore pari a 0,8863, quindi molto più alto rispetto al valore dello scenario di riferimento A1 in cui la Disponibilità è uguale a 0,5735. Avviene la stessa variazione anche negli scenari R3 e R4, dove il riferimento è lo scenario A2. Tutti i valori ottenuti indicano quanto il magazzino si discosta dalla completa saturazione e si nota che nel caso di R1 e R3 i magazzini sono eccessivamente sottodimensionati. In generale, in tutti gli scenari, si nota che il livello massimo del magazzino resta sempre molto vicino a quello dello scenario iniziale. Pertanto, dato che la tipologia dei metodi di fornitura e la domanda dei clienti restano dello stesso tipo e non si modificano i valori di input, si può confermare che la variazione dell'indicatore disponibilità è avvenuta a causa di una diversa ricettività. Di conseguenza, l'OLE risente di queste variazioni e restituisce valori diversi in ogni situazione che rappresenta lo spreco di spazio che avviene nel magazzino. Nello scenario A1 di origine l'OLE è di 0,01681, mentre nello scenario con capacità di stoccaggio maggiore diminuisce a 0,00648 e in quello con capacità di stoccaggio inferiore aumenta a 0,02589.

L'indicatore di Performance è dato dal rapporto tra l'output totale del magazzino nel tempo T e il massimo output teorico che può essere gestito in T in un magazzino che ha una capacità di stoccaggio pari a $I_{max}(T)$ vani. È necessario tenere conto del tempo di permanenza minimo delle unità di carico nel magazzino per ottenere il massimo output teorico.

Dagli scenari esaminati si osserva come la pianificazione dei flussi di input e output abbia un'influenza sull'OLE. Negli scenari A21 e A23, che ha una frequenza di riordino minore rispetto allo scenario A2, il valore di Performance diminuisce ma l'OLE non cambia valore perché è bilanciato da un aumento dell'indicatore Disponibilità.

L'indicatore qualità si esprime con il rapporto tra output conforme, cioè non danneggiato, e output totale. Con una probabilità di 0,02 individuare unità di carico non integre su 100 campioni, l'indicatore qualità in tutti gli scenari, da A1 a A8, è sempre lo stesso e si aggira intorno a 0,86. Se si pone p ad un valore superiore si ottengono minori scarti e quindi si innalza l'indicatore qualità. Viceversa, con un p di 0,01, si intercettano più prodotti non idonei alla consegna e valori dell'indicatore di qualità è più basso. A parità di input rispetto agli scenari benchmark, si evince che con il valore di qualità che si discosta dal riferimento in maniera positiva al 13%, si ottiene una piccola variazione dell'OLE. Invece, se l'indicatore Qualità si discosta per una percentuale negativa del 26%, l'OLE ne risente e diminuisce anch'esso. Si conferma quindi che l'OLE identifica le inefficienze in termini di qualità.

L'OLE può anche essere ottenuto come rapporto tra la quantità consegnata al netto di varie perdite e il massimo che potenzialmente si sarebbe potuto consegnare con un magazzino con capacità di stoccaggio SC. Si riscontra in tutti gli scenari la validità di questa formulazione perché il risultato è lo stesso di quello dell'OLE ottenuto come prodotto dei tre indicatori Disponibilità, Performance e Qualità.

8. Conclusioni e sviluppi futuri

L'obiettivo costante che il management di magazzino vuole raggiungere è l'efficienza. Per riuscirci non è importante solo disporre di ottimi metodi e mezzi di approvvigionamento, ma è necessario compiere delle scelte integrate tra loro per ridurre o eliminare gli sprechi. In questa direzione, gli indicatori chiave di prestazione sono il supporto primario per capire quali sono le aree di intervento. In linea generale per valutarne le performance relative, i modelli più diffusi di simulazione sul tema dei magazzini affrontano separatamente gli aspetti caratterizzanti le aree o le attività di stoccaggio. Con lo sviluppo del modello oggetto di questa tesi, invece, si propone una valutazione complessiva di tutto il processo, coerentemente con quanto esprime l'OLE.

L'indicatore OLE ha la potenzialità di offrire una valutazione complessiva dell'efficienza delle risorse logistiche e il modello di simulazione ha permesso di confermare tutte le teorie che sono alla base della formulazione dell'indicatore. Inoltre, avvalersi dell'OLE permette di avere una valutazione sintetica ma complessiva per valutare le performance del magazzino.

Analisi future sull'OLE potrebbero essere condotte considerando anche le altre risorse del magazzino in modo da convalidarne l'efficacia.

Bibliografia

Logistics. Morana, Joëlle, author. 2018

Perspectives on logistics vs. SCM: a survey of SCM professionals. Larson, Paul D. ; Poist, Richard F. ; Halldórsson, Árni. Journal of business logistics, 2007, Vol.28 (1), p.1-24

Le basi della logistica: il magazzino, i trasporti, la distribuzione e il sistema informativo / Balestri Gianfranco 2009

Manuale di logistica: magazzino, antinfortunistica, informatica, aspetti legali, assicurazione / a cura di Gianfranco Vignati c2010

Logistica e tecnologia RFID. Rizzi, Antonio; Montanari, Roberto; Bertolini, Massimo; Bottani, Eleonora; Volpi, Andrea, 2011

Determining key performance indicators for warehouse performance measurement – a case study in construction materials warehouse. Kusriani, Elisa ; Novendri, Fadrizal ; Helia, Vembri Noor; Purnomo, M.R.A. ; Ma'mun, S. ; Tamura, H. MATEC Web of Conferences, 2018, Vol.154, p.1058

KPI and Logistics Dashboard Design Using Neutrosophic Statistics. Garcia, Jorge Fernando Goyes ; Hurtado, Leonardo Humberto Carrion ; Naranjo, Mario Andres Leon ; Chuga, Jenny Fernanda Enriquez. Neutrosophic sets and systems, 2021, Vol.44, p.188-198

Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review

Magazzini automatici: analisi dei principali indici di performance con riferimento alla norma ISO 22400 = Automated Warehouses Systems: analysis of the principal key performance indicators based on the ISO 22400 norm

Revisione degli indicatori di misurazione della produttività del magazzino: benchmark basato su rapporti

Simulation modeling and arena- Rossetti, Manuel D. (Manuel David), 1962- author. 2016

KPI and Logistics Dashboard Design Using Neutrosophic Statistics. Garcia, Jorge Fernando Goyes ;

Hurtado, Leonardo Humberto Carrion ; Naranjo, Mario Andres Leon ; Chuga, Jenny Fernanda Enriquez. Neutrosophic sets and systems, 2021, Vol.44, p.188-198

Franceschini Fiorenzo, Maurizio Galetto, Domenico Maisano, «Indicatori e misure di performance per la gestione dei processi», EdiText, giugno 2007.

Sitografia

<https://www.mecalux.it/blog/tipi-scaffalature-magazzino>

<https://it.wikipedia.org/wiki/AnyLogic>

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

<https://www.mecalux.it/blog/lean-logistics>

<https://it.wikipedia.org/wiki/AnyLogic>

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

<https://www.diag.uniroma1.it/~roma/didattica/SSS09-10/parteH.pdf>

<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic>

<https://wdx.eu/offer/automation/automated-truck-loading-and-unloading-system/>

<https://www.logisticaefficiente.it/le/supply-chain/management/trend-tecnologici-nel-settore-logistico-per-il-2024-cosa-ci-aspetta>

<https://www.logisticaefficiente.it/le/magazzino/progettazione-e-miglioramento/tasso-di-backorders-ottimizza-la-gestione-dell-inventario-per-migliorare-la-soddisfazione-del-cliente.html>

<https://www.logisticaefficiente.it/le/magazzino/automazione/logistica-4-0-le-criticita-risolve-dall-automazione.html>

<https://www.logisticaefficiente.it/netlog/magazzino/progettazione-e-miglioramento/automazione-magazzino-parte-primaria.html?highlight=WyJhdXRvbWF6aW9uZSIsIidhdXRvbWF6aW9uZSIsIm1hZ2F6emlubyciXQ%3D%3D>

<https://www.logisticaefficiente.it/netlog/magazzino/automazione/l-automazione-del-magazzino-parte-seconda.html>

<https://www.stef.it/cos-e-logistica-e-perche-e-importante>

<https://www.insidemarketing.it/glossario/definizione/logistica/>

<https://www.dsi.unive.it/~balsamo/disp.pdf/Cap1.pdf>

<https://www.logisticaefficiente.it/le/scorte/pallet-tipologie-e-diversi-utilizzi.html>

<https://my.liuc.it/MatSup/2008/Y71015/Misura%20delle%20Prestazioni.pdf>

<https://www.diag.uniroma1.it/~roma/didattica/SSS09-10/parteH.pdf>

Appendice

```
return (OUTPUT_TOTALE/ORDINI);
Spedizioni= palletSpediti.count();
Scarti = ordiniScartati.count();
ORDINI = ArrivoOrdini.count ();
uniform( orderInterarrivalTimeMin, orderInterarrivalTimeMax )
uniform_discr (3, 5)
OUTPUT_TOTALE=selezionaConformi.count ();
StatOutput.add(OUTPUT_TOTALE, time ());
OUTPUT_CONFORME=selezionaConformi.countT ();
PalletScartati=ScartiPallet.count ();
palletsInStorage.size(<180?uniform(supplyTruckInterarrivalTimeMin,supplyTruckInterarrivalTimeM
ax):3*uniform( supplyTruckInterarrivalTimeMin, supplyTruckInterarrivalTimeMax )
uniform (supplyTruckInterarrivalTimeMin, supplyTruckInterarrivalTimeMax )
choosePalletFromStorage.take( getRandomPallet() );
uniform_discr (palletsInTruckMIN, palletInTruckMAX)
TotalePalletArrivati++;
OutputMag++;
agent.storage = palletRack; palletsInStorage.add(agent); if (palletsInStorage.size () > LivelloMAX)
LivelloMAX++;
return time ();
return (LivelloMAX / StorageCapacità );
Pallet pallet = palletsInStorage.get( uniform_discr( 0, palletsInStorage.size() - 1 ) );
palletsInStorage.remove( pallet ); return pallet;
return (OUTPUT_CONFORME/OUTPUT_TOTALE);
return (Disponibilità()*Performance()*Quality());
```