

**POLITECNICO DI TORINO**

**Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale**



**Tesi di Laurea Magistrale**

**Simulazione e analisi del picking in un  
magazzino con MLS e flow rack integrati  
nella scaffalatura**

**Relatore**

**Prof. Carlo RAFELE**

**Correlatore**

**Dott. Andrea FERRARI**

**Candidata**

**Alessandra VERSO**

**Aprile 2024**

*Per mia nonna,  
faro di conoscenza e determinazione*



# Ringraziamenti

Ogni traguardo si trova alla fine di un percorso e per raggiungerlo è necessario prendere qualcosa dalle persone che ti aiutano ad imboccarlo e che ti tendono una mano durante il cammino. È per me fondamentale adesso ringraziare tutti quelli che non mi hanno persa di vista lungo la strada e che so che mi saranno vicini nelle avventure che verranno.

Vorrei ringraziare il Professore Carlo Rafele che spinge gli alunni ad un'approccio allo studio attento e consapevole, metodologia imprescindibile per le menti che si avvicinano alla conoscenza. Grazie per la disponibilità e il supporto che hanno permesso la redazione di questa tesi. Un doveroso ringraziamento va anche al Dottore Andrea Ferrari che, con il suo instancabile lavoro maieutico, mi ha aiutata a comprendere i miei errori e a individuare spazi per migliorare, insegnandomi che passione e impegno ripagano sempre.

Ringrazio di cuore Costanza, Emma e Alessandro, i miei compagni di viaggio in questa fase conclusiva del percorso. Con voi ho condiviso gioie e difficoltà e il fatto che oggi ci troviamo qui insieme mi riempie di orgoglio per ciò che abbiamo realizzato. Siete stati parte fondamentale di questo cammino.

Desidero esprimere la mia profonda gratitudine per mie amiche: Marta, Giorgia, Giulia, Emilia, Eleonora, Serena e Claudia. La vostra presenza, sia fisica che spirituale, è un sostegno costante e prezioso per me, che non do mai per scontato. Sentirvi così vicine e felici di festeggiare con me mi fa capire ancora meglio quanto sia fortunata. Sono grata di avere persone come voi su cui poter contare, ovunque mi trovi.

Grazie ad Alessandra ed Ettore per la presenza costante e per essere sempre coinvolti in ogni parte della mia vita. Sono sicura che sarà sempre così, con voi e con tutta la vostra famiglia.

Grazie ai miei zii, Cettina e Giuseppe, che sono pronti a supportarmi e festeggiarmi in ogni occasione da sempre, sono felice di condividere questo momento con voi. Il vostro affetto e la vostra presenza è per me fondamentale.

Grazie ai miei nonni, Anna e Angelo, per il supporto, l'attenzione e l'affetto costante, e Salvina e Lillo, per il ricordo indelebile di cura e dolcezza. Grazie a questi esempi di vita sono la persona che sono oggi.

Senza l'appoggio di Alessio sicuramente questo risultato non sarebbe arrivato con questa facilità, sempre pronto a supportarmi e ad alleggerirmi da qualsiasi pensiero. La tua presenza costante e sicura mi permette di essere sempre me stessa e non c'è cosa più importante e più preziosa. Un grazie importante va anche alla sua famiglia che mi ha accolta come se ci fossi sempre stata.

Grazie a mia sorella Alice per l'attenzione e la dolcezza, spero di essere per te un punto di riferimento sempre costante. Grazie a Michele perchè la fa stare

bene e ha cura di lei, questo rende un po' meno duro il sapere che sta crescendo.

Infine grazie ai miei genitori, Franco e Stefania. Tutto ciò che ho e che sono lo devo a voi.



# Indice

<b>Elenco delle tabelle</b>	VIII
<b>Elenco delle figure</b>	IX
<b>1 Introduzione</b>	1
1.1 Contesto di applicazione . . . . .	1
1.2 Supply chain overview . . . . .	3
1.3 Supply chain management . . . . .	6
1.4 Processi del SCM . . . . .	7
<b>2 Magazzini</b>	13
2.1 Overview su magazzini . . . . .	13
2.2 Magazzini automatici . . . . .	16
<b>3 Picking</b>	21
3.1 Picking: definizione e criticità . . . . .	21
<b>4 Metodo</b>	27
<b>5 Analisi della letteratura</b>	34
5.1 Catalogazione e analisi . . . . .	34
5.2 Picking in AS/RS in letteratura . . . . .	35

5.3	Research gap e principale contributo di questo studio . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Modello</b>	<b>41</b>
6.1	Sistema . . . . .	41
6.2	Modello concettuale . . . . .	43
6.3	Modello virtuale . . . . .	49
6.4	Validazione . . . . .	57
<b>7</b>	<b>Strategie di asservimento</b>	<b>64</b>
7.1	Strategia Random . . . . .	66
7.2	Strategia MinBox . . . . .	68
7.3	Strategia Zone . . . . .	69
7.4	Integrazione nel modello . . . . .	72
<b>8</b>	<b>Progettazione degli esperimenti</b>	<b>74</b>
8.1	Assunzioni sul modello . . . . .	75
8.2	Piano di simulazioni . . . . .	76
8.3	KPI . . . . .	78
8.4	Risultati . . . . .	80
8.4.1	Analisi per configurazioni . . . . .	80
8.4.2	Configurazione con 3 PS . . . . .	81
8.4.3	Configurazione con 4 PS . . . . .	84
8.4.4	Confronto tra le configurazioni . . . . .	88
<b>9</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>89</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>93</b>

# Elenco delle tabelle

5.1	Risultati analisi letteratura . . . . .	40
6.1	Dimensioni UdC . . . . .	42
6.2	Dimensioni picking station . . . . .	60
6.3	Tempi di discesa . . . . .	61
6.4	Tempi di picking . . . . .	62
6.5	Tempi di handling . . . . .	63
6.6	Parametri per calibrazione modello . . . . .	63
8.1	Input . . . . .	77

# Elenco delle figure

1.1	Esempio Supply Chain . . . . .	4
1.2	Attori e processi Supply Chain . . . . .	5
1.3	Processi del SCM (Lambert 2008) . . . . .	8
2.1	Esempio di layout . . . . .	15
2.2	Centro di distribuzione . . . . .	17
2.3	Mini load . . . . .	19
2.4	Vertical lift module . . . . .	20
3.1	Picking con metodo pickers-to-parts . . . . .	22
3.2	Picking manuale con tecnologia "pick-to-light" . . . . .	23
3.3	Picking con braccio robotico . . . . .	25
3.4	Stazione di picking ergonomica . . . . .	26
4.1	Flow chart step seguiti . . . . .	28
5.1	Categorizzazione in tipologia di magazzino . . . . .	35
6.1	Multi Level Shuttle . . . . .	43
6.2	Modello concettuale iniziale . . . . .	46
6.3	Modello concettuale con picking . . . . .	48
6.4	Agents . . . . .	49



6.5	Create order . . . . .	50
6.6	Wms . . . . .	51
6.7	Funzione di riempimento box . . . . .	52
6.8	Item availability . . . . .	53
6.9	Trigger in . . . . .	53
6.10	Picking Station class . . . . .	54
6.11	Flow Rack class . . . . .	55
6.12	Exit picking_completed . . . . .	55
6.13	box class . . . . .	56
6.14	Order class . . . . .	56
6.15	Vista frontale laboratorio . . . . .	58
6.16	Dettaglio picking station laboratorio . . . . .	59
7.1	Funzione strategia Random su Anylogic . . . . .	66
7.2	Funzione strategia MinBox su Anylogic . . . . .	68
7.3	Funzione comparatore strategia Zone su Anylogic . . . . .	70
7.4	Funzione strategia Zone su Anylogic . . . . .	72
8.1	Vista 2D magazzino . . . . .	75
8.2	Vista 3D picking station . . . . .	76
8.3	Risultati con 3 picking station . . . . .	81
8.4	Orders per hour 3PS . . . . .	83
8.5	Order execution time 3PS . . . . .	83
8.6	Order queue time 3PS . . . . .	84
8.7	Risultati con 4 picking station . . . . .	85
8.8	Orders per hour 4PS . . . . .	86
8.9	Order execution time 4PS . . . . .	87
8.10	Order queue time 4PS . . . . .	87

# Sommario

La necessità di un miglioramento continuo della Supply Chain richiede studi sempre aggiornati sull'ottimizzazione dei diversi nodi del processo logistico. In questo contesto, lo studio si propone di esaminare l'ottimizzazione del picking, un'attività fondamentale che impatta direttamente sull'efficienza complessiva della catena di approvvigionamento. Questo avviene creando un modello concettuale e virtuale per esplorare l'ottimizzazione del picking con flow rack integrati nella scaffalatura, particolarmente adatti per oggetti di piccole dimensioni contenuti in cassette. Per condurre l'analisi, è essenziale basarsi su dati concreti e misurazioni reali. A tal proposito il laboratorio Reslog, situato presso il Politecnico di Torino, fornisce il contesto ideale per la raccolta di dati empirici e la validazione del modello proposto. Utilizzando il software AnyLogic per la simulazione a eventi discreti, è possibile tradurre il modello concettuale in un ambiente virtuale interattivo e dinamico. Il processo di analisi è articolato in diverse fasi chiave. Inizialmente è stato necessario individuare un gap nella letteratura esistente, che ha evidenziato la necessità di un approfondimento sull'argomento del picking. Successivamente, è stato sviluppato un modello concettuale tramite UML, tradotto poi in un modello virtuale mediante il programma AnyLogic. Sono state poi esaminate tre strategie di ottimizzazione del picking, utilizzate nel processo di selezione delle cassette, e tre configurazioni diverse di picking station. Attraverso la definizione di un piano di simulazione dettagliato e l'analisi dei KPI, è stato possibile confrontare e

valutare le prestazioni di ciascuna strategia in termini di tempi di esecuzione, tempi in coda e altre metriche rilevanti. Gli scenari simulati sono stati configurati per riflettere un contesto operativo realistico, con simulazioni condotte per un periodo corrispondente a un turno lavorativo standard di 8 ore. Questo approccio consente di ottenere risultati significativi e applicabili, utili per informare le decisioni nel contesto di ottimizzazione della Supply Chain.



# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Contesto di applicazione

La logistica moderna sta vivendo una fase dinamica di continua evoluzione, spinta dall'adozione di nuove tecnologie, dalle intricate dinamiche del commercio globale e dalle mutevoli esigenze dei consumatori. Le imprese che dimostrano flessibilità e capacità di adattamento a tali cambiamenti, implementando soluzioni innovative, sono strategicamente posizionate per sfruttare nuove opportunità e affrontare con successo le sfide emergenti nel panorama logistico contemporaneo. In questo contesto, la ricerca e l'innovazione nell'ambito logistico diventano fondamentali per ottenere un valore crescente dalle operazioni necessarie allo sviluppo aziendale. "La logistica incontra costantemente nuove sfide, e adesso sta cambiando più velocemente che in qualsiasi momento del passato. Forse il cambiamento più ovvio è l'aumento dell'uso della tecnologia [...] ma il più grande impatto è arrivato con la comunicazione" (Waters 2003). Questo cambiamento è profondamente influenzato dalla globalizzazione, con un aumento del commercio internazionale che richiede una gestione efficiente delle catene di approvvigionamento su scala mondiale.

"Le possibilità di trasformazione digitale globale di un'organizzazione sono guidate dalle tecnologie di recente sviluppo, o almeno dalle nuove tecnologie della catena di approvvigionamento" (Pirrone et al. 2021) L'adozione di tecnologie all'avanguardia, quali l'Internet of Things (IoT), l'intelligenza artificiale (AI) e la blockchain, sta apportando una trasformazione radicale nella gestione delle operazioni logistiche. La digitalizzazione offre una maggiore visibilità e tracciabilità delle merci, ottimizzando le operazioni e contribuendo a migliorare l'efficienza complessiva.

Nel contesto della gestione degli inventari e della pianificazione della domanda, l'analisi dei dati e l'intelligenza artificiale stanno assumendo un ruolo sempre più cruciale. Le imprese stanno attivamente lavorando per ottimizzare le loro scorte, ridurre gli sprechi e potenziare la precisione nelle previsioni della domanda. Questo approccio mirato all'ottimizzazione, guidato dalla tecnologia, consente alle aziende di rispondere in modo più agile e preciso alle esigenze del mercato, migliorando complessivamente le loro prestazioni logistiche. L'aumento degli acquisti online ha creato una crescente pressione per migliorare i servizi di consegna, in particolare nell'ambito della cosiddetta Last Mile, la fase finale della catena di distribuzione. Qui i prodotti vengono consegnati direttamente al consumatore finale, rendendo questa fase critica, spesso costosa e complessa. Questa trasformazione è stata evidenziata da Moosavi et al. 2021, il quale ha sottolineato come "il cambiamento del ruolo del cliente, sia nel B2B che nel B2C, insieme all'introduzione della Last Mile Logistics e ai tempi sempre più stringenti per la consegna dei prodotti finiti, abbia modificato l'assetto della supply chain, adattandola alle esigenze della società". Le soluzioni di consegna rapida e i servizi di logistica urbana sono diventati sempre più cruciali per soddisfare le crescenti aspettative dei consumatori, specialmente nell'attuale contesto segnato dall'impatto della pandemia di COVID-19. Questa situazione ha enfatizzato l'importanza della flessibilità e della resilienza

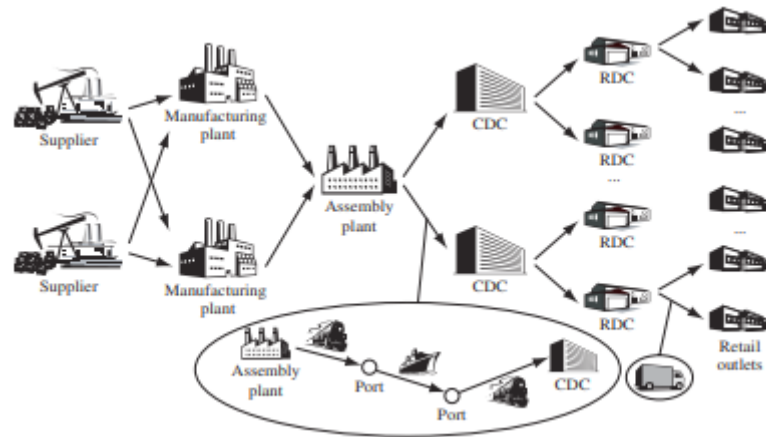
nelle catene di approvvigionamento, accelerando l'adozione di soluzioni digitali e portando a una revisione delle strategie logistiche. "È necessario che le industrie cerchino innovazioni nella gestione della supply chain per rimanere aggiornate e competitive nel mercato in cui operano" (Rodriguez et al. 2018). Per fare ciò, "le aziende devono incorporare le tecnologie esistenti nei loro processi per raggiungere la competitività e la sostenibilità lungo la catena di fornitura" (Rupasinghe et al. 2021).

In questo contesto si installa il seguente studio, che mira alla ricerca di una soluzione ottimizzata ed efficiente nella gestione del picking in magazzini automatici, da sempre centro nevralgico delle Supply Chain (SC) ma analizzato con un occhio alle tecnologie più utilizzate, come i sistemi Automatic Storage and Retrieval System (AS/RS). Per i precedenti motivi si ritiene necessario un'introduzione che esplori la supply chain con un focus sugli argomenti oggetto dello studio, quali magazzini automatici e picking.

## 1.2 Supply chain overview

La SC, conosciuta anche come catena di approvvigionamento o catena logistica, è una componente cruciale nel contesto del business e della gestione operativa. Essa rappresenta un sistema complesso e interconnesso, coinvolgendo un insieme di organizzazioni, attività, risorse, informazioni e tecnologie che collaborano sinergicamente, "direttamente o indirettamente, nel soddisfare una richiesta del cliente" (Chopra et al. 2013).

Una delle caratteristiche più rilevanti della SC è la gestione simultanea del movimento fisico dei materiali e del flusso delle informazioni. Questo processo inizia con l'acquisizione delle materie prime da parte dei fornitori e prosegue attraverso



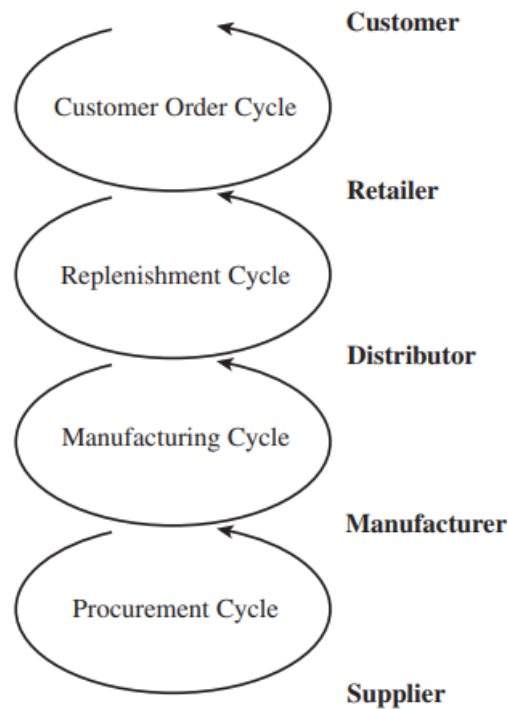
**Figura 1.1:** Esempio Supply Chain

la produzione, la distribuzione e infine la consegna al consumatore finale. Parallelamente, le informazioni relative alla domanda del cliente, agli ordini, agli stock e ad altre variabili sono continuamente scambiate tra i vari attori della SC per garantire un flusso ottimale delle merci e una risposta tempestiva alle esigenze del mercato.

Nelle configurazioni tradizionali, la SC coinvolge diversi attori chiave, illustrati in Figura 1.2:

- Clienti: rappresentano il punto di destinazione finale del prodotto o servizio;
- Fornitori: forniscono le materie prime e altri input necessari per la produzione;
- Distributori: facilitano il trasferimento dei prodotti dai produttori ai rivenditori o direttamente ai clienti;
- Produttorie: trasformano le materie prime in prodotti finiti;
- Fornitori di componenti o materiali grezzi: forniscono parti e materiali necessari per la produzione.





**Figura 1.2:** Attori e processi Supply Chain

La collaborazione efficace tra questi attori è cruciale per il successo dell'intera catena di approvvigionamento. "Una comunicazione chiara e trasparente, insieme a processi ben coordinati, consente di sincronizzare i flussi di lavoro, prevenire ritardi e ottimizzare le operazioni lungo tutta la catena" (Rodriguez et al. 2018).

La condivisione accurata delle informazioni può contribuire a mitigare l'effetto bullwhip, sfida comune in una catena di approvvigionamento. Come descritto da Lee 2006, questo fenomeno si verifica quando piccole variazioni nella domanda dei consumatori generano fluttuazioni amplificate lungo l'intera catena di approvvigionamento, causando eccessi di inventario, costi elevati e servizio clienti insufficiente. Quando gli attori coinvolti nella catena di approvvigionamento non dispongono di una visione chiara o di informazioni aggiornate, potrebbero reagire in modo

eccessivo o inefficiente ai cambiamenti della domanda.

Per migliorare l'efficienza complessiva della SC, è essenziale promuovere una maggiore trasparenza e scambio di dati in tempo reale tra tutti i partecipanti. L'adozione di tecnologie avanzate, come l'IoT, AI e la blockchain, può contribuire significativamente a ottimizzare le operazioni e migliorare la visibilità lungo l'intera catena di approvvigionamento. Inoltre, l'utilizzo di previsioni più accurate basate su modelli sofisticati, che considerino dati storici, trend di mercato e informazioni in tempo reale, insieme a strategie di riordino ottimizzato, può ridurre la dipendenza dagli ordini in lotti e orientarsi verso una produzione più flessibile basata sulla domanda effettiva.

Investire nell'implementazione delle tecnologie nella SC può consentire alle aziende di migliorare le prestazioni, ridurre i costi e rimanere competitive in un mercato sempre più dinamico e competitivo.

### **1.3 Supply chain management**

La SC è dinamica e coinvolge un flusso costante di informazioni, prodotti e fondi tra i diversi stadi" (Chopra et al. 2013), ed è per questo che è necessario il Supply Chain Management (SCM), cioè il coordinamento delle varie fasi che compongono la SC. La presenza di questo meccanismo consente di ottimizzare le prestazioni e l'efficienza dell'intero flusso di approvvigionamento. Gli obiettivi e le metriche di tutti gli attori devono essere allineati e la comunicazione e la collaborazione efficaci per garantire che tutte le parti lavorino insieme in modo sincronizzato.

La gestione efficace della SC è essenziale per il successo di qualsiasi azienda che coinvolga la produzione, la distribuzione o la fornitura di beni o servizi perchè

"l'obiettivo di ogni catena di approvvigionamento dovrebbe essere massimizzare il valore complessivo generato. [...] Un focus sull'incremento del surplus della catena di approvvigionamento spinge tutti i membri della catena di approvvigionamento a far crescere le dimensioni del totale complessivo."(Chopra et al. 2013). Implementando e ottimizzando l'intera SC, quindi, si può ottenere un considerevole miglioramento della redditività aziendale.

Un'efficace gestione della catena di approvvigionamento contribuisce a ridurre i costi operativi, migliorare la soddisfazione del cliente, ottimizzare l'efficienza e aumentare la competitività sul mercato. In particolare, in settori con basso costo del materiale, è cruciale monitorare i costi della logistica che arrivano a raggiungere o superare il valore del prodotto stesso, creando così una perdita. Strumento del SCM sono i Key Performance Indicator (KPI), fondamentali per valutare l'efficienza e l'efficacia delle operazioni di gestione della catena di approvvigionamento. Nel processo di identificazione degli stessi è necessario focalizzare l'attenzione su metriche misurabili e implementabili con processi di ottimizzazione.

La SC quindi si dimostra una componente critica per il successo delle aziende moderne. Una gestione efficiente e ben coordinata della supply chain può portare a una maggiore soddisfazione del cliente, costi ridotti e un vantaggio competitivo sul mercato

## 1.4 Processi del SCM

Una catena di approvvigionamento è composta da almeno 9 processi chiave, ognuno dei quali contribuisce al funzionamento armonico dell'intero sistema e che devono essere gestiti avendo una visione di insieme della SC, come descritto da Croxton et al. 2001:

- Gestione della relazione con il cliente
- Servizio clienti
- Gestione della domanda
- Evasione degli ordini
- Gestione della produzione
- Approvvigionamento
- Sviluppo di nuovi prodotti
- Commercializzazione
- Logistica inversa

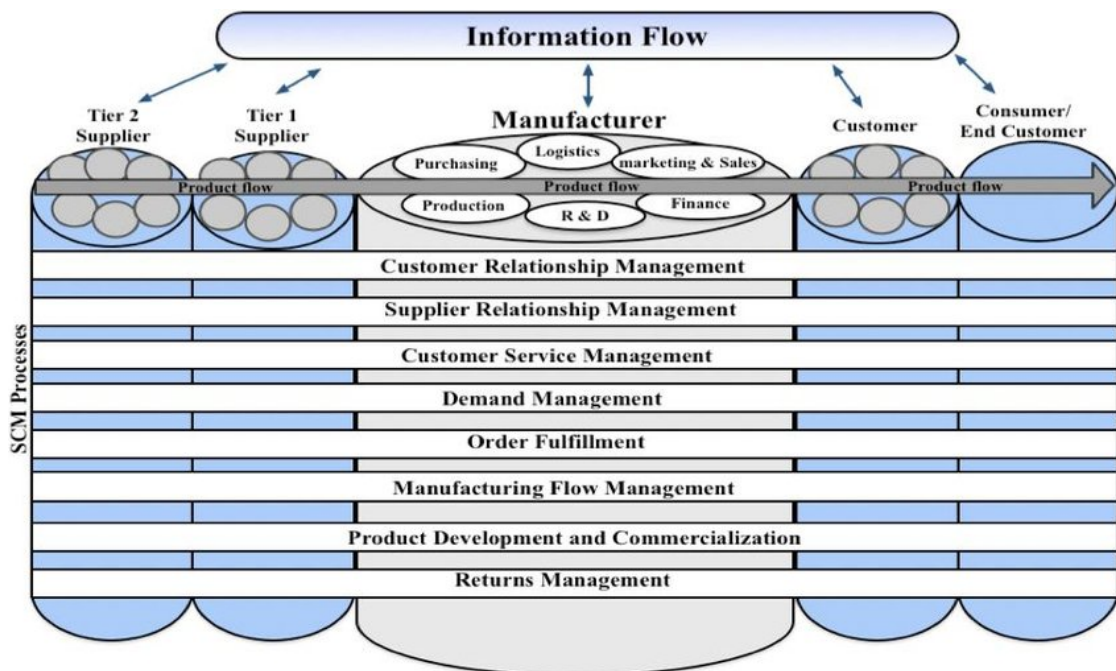


Figura 1.3: Processi del SCM (Lambert 2008)

Il processo di gestione della relazione con il cliente è definito Customer Relationship Management (CRM), ed "è un processo progettato per raccogliere dati relativi ai clienti, per comprendere le caratteristiche dei clienti e per applicare tali qualità in specifiche attività di marketing" (Swift 2001). Questo processo è cruciale perché i clienti rappresentano uno degli attivi più preziosi di un'azienda e soddisfarne le esigenze è fondamentale per il successo a lungo termine dell'impresa. L'obiettivo è creare un dialogo aperto e costruttivo con i clienti per capire le loro esigenze, rispondere alle domande e fornire supporto. Questo comprende l'elaborazione e la gestione delle richieste dei clienti, che possono riguardare informazioni sui prodotti, assistenza tecnica, assistenza post-vendita o problemi con gli ordini. Quando i clienti incontrano problemi o insoddisfazioni con i prodotti o i servizi offerti, è essenziale risolvere tali problematiche in modo rapido ed efficace. Ciò avviene attraverso l'identificazione delle cause del problema, la comunicazione con il cliente per comprendere le sue preoccupazioni e la ricerca di soluzioni appropriate per risolvere la situazione nel minor tempo possibile. Il processo di servizio clienti riguarda la fornitura di supporto e assistenza ai clienti durante tutto il ciclo di vita del prodotto o del servizio. Ciò può includere assistenza post-vendita, gestione dei reclami, assistenza tecnica e altro ancora.

Il processo di gestione della domanda implica la previsione e il controllo della domanda dei clienti per garantire che l'azienda mantenga i giusti livelli di stock per soddisfare le esigenze del mercato. Questo processo coinvolge la raccolta di dati sulla domanda passata e presente, nonché l'analisi dei trend di mercato per anticipare le future esigenze dei clienti. La previsione accurata della domanda è fondamentale nella catena di approvvigionamento e si concentra sulla stima delle quantità di un prodotto che saranno richieste in futuro. Una previsione precisa consente alle aziende di adattare la produzione e l'approvvigionamento in modo

mirato, rispondendo in modo flessibile alle variazioni della domanda di mercato. Attraverso un'analisi attenta dei dati storici, delle tendenze di mercato e di altri fattori influenti, le aziende cercano di anticipare con precisione la domanda futura dei clienti. Questa fase è essenziale per evitare eccessi di magazzino o carenze, ottimizzando così la gestione degli stock e migliorando l'efficienza complessiva della catena di approvvigionamento.

Il processo di esecuzione degli ordini inizia con la ricezione dell'ordine e si estende fino alla consegna del prodotto finale al cliente. Durante questo processo, diverse attività vengono svolte per garantire un flusso continuo e senza intoppi delle operazioni. Una delle prime fasi coinvolte è la preparazione degli ordini, dove vengono raccolti e verificati tutti i dettagli dell'ordine ricevuto. Questo comprende la verifica della disponibilità degli articoli richiesti nel magazzino e la pianificazione delle attività successive necessarie per soddisfare l'ordine. La gestione degli inventari gioca un ruolo cruciale in questa fase, poiché è necessario assicurarsi che ci siano sufficienti quantità di prodotti disponibili per evadere gli ordini in modo tempestivo. Ciò implica un monitoraggio costante degli stock disponibili e la pianificazione dei riordini o delle produzioni aggiuntive, se necessario, per evitare carenze o ritardi nella consegna.

Una volta che gli articoli sono stati individuati e prelevati dagli scaffali, si procede con il picking, che è il processo di selezione fisica degli articoli richiesti per ciascun ordine. Questa attività può essere eseguita manualmente da operatori umani o tramite sistemi automatizzati, a seconda della complessità dell'ordine e delle risorse disponibili. Successivamente, gli articoli vengono imballati, spediti e consegnati al cliente nel rispetto dei tempi e delle modalità concordate. Questo può implicare il coordinamento con fornitori di servizi di spedizione esterni o l'uso di flotte aziendali

per la consegna diretta ai clienti.

Il macroprocesso di gestione della produzione coinvolge la pianificazione, il controllo e l'esecuzione delle attività di produzione per soddisfare la domanda dei clienti. Questo processo include la programmazione della produzione, il controllo della qualità e la gestione degli impianti. Le materie prime vengono trasformate in prodotti finiti attraverso un processo di produzione che può variare a seconda del settore e del tipo di prodotto. È essenziale che la pianificazione della produzione sia sincronizzata con la domanda prevista al fine di evitare eccessi di inventario o carenze di prodotto. L'ottimizzazione dei processi operativi è importante per migliorare l'efficienza complessiva della produzione e garantire la massima produttività e qualità dei prodotti.

Fondamentale è la fase del procurement o approvvigionamento. Questa comprende l'acquisto delle materie prime, dei componenti o dei prodotti necessari per la produzione. La selezione dei fornitori, la negoziazione dei contratti e il monitoraggio della qualità sono componenti chiave di questa attività. "L'approvvigionamento efficiente può influenzare fundamentalmente lo scopo strategico dell'organizzazione, come l'ottimizzazione dei costi, la razionalizzazione dei processi e l'assicurazione della fornitura corretta al momento opportuno per mantenere il ritmo produttivo al livello ottimale." (Corbos et al. 2023).

Lo sviluppo di nuovi prodotti include la ricerca, lo sviluppo e il lancio di nuovi prodotti sul mercato. Include la generazione di idee, la progettazione, il testing e il lancio sul mercato dei nuovi prodotti. La commercializzazione invece si concentra sul posizionamento e sulla promozione dei prodotti sul mercato. Include lo sviluppo di strategie di marketing, la pubblicità, la distribuzione e la gestione dei canali di

vendita.

La logistica inversa, che sta vedendo un forte sviluppo negli ultimi anni, "si riferisce alla sequenza di attività necessarie per raccogliere il prodotto usato dai clienti allo scopo di riutilizzarlo, ripararlo, rimetterlo in produzione, riciclarlo o smaltirlo." (Agrawal et al. 2015). Questo processo gestisce il flusso inverso di materiali, prodotti e informazioni lungo la catena di approvvigionamento. La sua portata è ampia e comprende il ritorno di prodotti difettosi o non venduti, il riciclo dei materiali e la gestione dei rifiuti, nonché la riparazione e il riutilizzo dei prodotti. Nella logistica inversa è fondamentale considerare la sostenibilità ambientale e il risparmio di risorse, contribuendo inoltre alla riduzione degli sprechi e all'ottimizzazione delle operazioni aziendali.



# Capitolo 2

## Magazzini

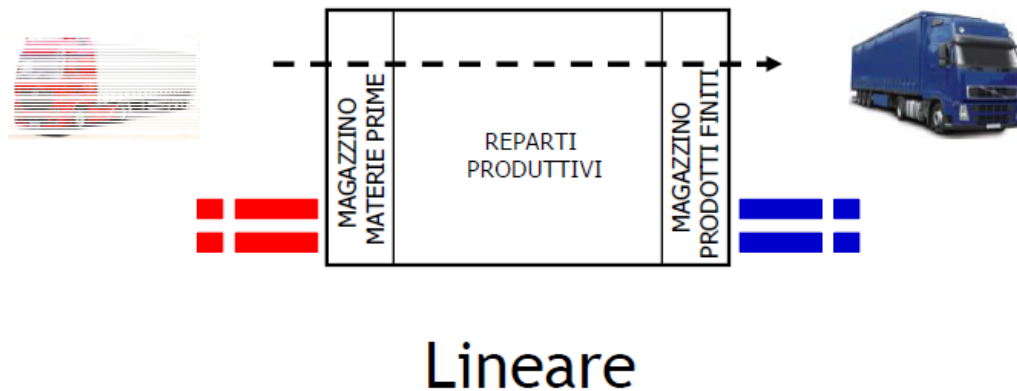
### 2.1 Overview su magazzini

"I magazzini sono fondamentali per la catena di approvvigionamento. [...] I magazzini esistono per consolidare le richieste, ridurre i costi di trasporto e i tempi di risposta, per realizzare economie di scala." (Akpunar et al. 2017) Un'efficace gestione di questo nodo della SC può contribuire significativamente a ridurre i costi operativi di un'azienda, ottimizzando la gestione dell'inventario, riducendo i tempi di attesa e migliorando l'efficienza complessiva dell'intero sistema.

L'approccio alla progettazione dei magazzini ha subito notevoli cambiamenti, e oggi si basa sull'implementazione di diverse regole di stoccaggio. Non esiste più una formula unica per la configurazione di un magazzino, poiché l'obiettivo principale è rendere il processo di evasione degli ordini il più efficiente e rapido possibile. La progettazione di un magazzino moderno tiene conto di vari fattori, tra cui la natura e la tipologia dei prodotti, le esigenze specifiche del cliente, la domanda di mercato, e l'utilizzo di tecnologie avanzate. Le regole di stoccaggio vengono adattate per ottimizzare lo spazio disponibile, migliorare la gestione delle

scorte e ridurre i tempi di prelievo. L'utilizzo di sistemi informatici automatizzati, come i Warehouse Management System (WMS) e gli Order Management System (OMS), consente di implementare strategie di stoccaggio dinamiche. Queste strategie possono includere l'assegnazione di posizioni di stoccaggio in base alla frequenza di prelievo, la rotazione delle merci per evitare obsolescenza, e l'adozione di criteri intelligenti per la collocazione degli articoli in base alle loro caratteristiche.

I magazzini sono responsabili della gestione dell'inventario. Questo comprende il ricevimento delle merci, il controllo di qualità, la registrazione delle quantità, l'organizzazione e la conservazione degli articoli in modo sicuro e efficiente, e il monitoraggio delle scorte per evitare sovrastoccaggio o sottostoccaggio. La scelta della posizione e la progettazione interna di un magazzino costituiscono elementi cruciali nella gestione efficiente delle operazioni logistiche. La struttura del magazzino è progettata con l'obiettivo di ridurre al minimo i tempi e i costi di trasporto, garantendo al contempo una massima efficienza operativa. La posizione geografica del magazzino è strategica e mira a ottimizzare la rete logistica complessiva. Deve essere scelta in modo da ridurre le distanze tra i fornitori, i centri produttivi e i clienti finali, contribuendo così a minimizzare i tempi di consegna e i costi di trasporto. L'ubicazione strategica consente una migliore copertura del mercato e una risposta più rapida alle esigenze dei clienti. Internamente, il layout del magazzino è progettato per massimizzare l'efficienza operativa. Questo include la disposizione ottimale dei raccoglitori, dei magazzinieri e dei veicoli all'interno dello spazio disponibile. L'obiettivo è ridurre al minimo i movimenti inutili, ottimizzando il percorso per il prelievo delle merci. Inoltre, il layout interno deve facilitare un facile accesso alle merci. Gli articoli ad alta rotazione devono essere posizionati in modo strategico per consentire prelievi rapidi, mentre gli articoli a rotazione più bassa possono essere collocati in aree dedicate. Un esempio in Figura 2.1.



**Figura 2.1:** Esempio di layout

La suddivisione generale dei magazzini può essere categorizzata in due macro aree:

**DEPOSITI DI FABBRICA:**

- Magazzino Materie Prime: Questa categoria comprende la raccolta di tutte le materie prime necessarie per il funzionamento dell'impianto produttivo.
- Magazzino Semilavorati: Questo magazzino svolge un ruolo interoperazionale, connettendo le diverse stazioni del sistema produttivo. A differenza del buffer, che agisce come ammortizzatore temporaneo per assorbire le variazioni di quantità tra due reparti, lo stoccaggio nel magazzino dei semilavorati può durare diverse settimane. Il magazzino dei semilavorati permette di immagazzinare il prodotto in una configurazione intermedia, consentendo di personalizzarlo in base alle esigenze del mercato senza ritardi significativi nella

messa in commercio. Questa pratica riduce gli sprechi, ottimizza i costi e consente una rapida personalizzazione del prodotto.

- **Magazzino Prodotti Finiti:** Questo magazzino riceve la produzione dello stabilimento ed è il primo anello dei depositi distributivi.

#### DEPOSITI DISTRIBUTIVI:

- **Depositi Centrali:** Questi depositi rappresentano il punto di origine per la distribuzione dei prodotti.
- **Depositi Periferici:** Sono strutture logistiche poste in posizioni strategiche per servire determinate aree geografiche.
- **Centri di Distribuzione (CE.DI):** Questi centri fungono da punti centralizzati per i flussi logistici, fornendo rifornimenti a tutti i punti vendita con consegne che coinvolgono più referenze di prodotti, un esempio in Figura 2.2.
- **Transit Point (Cross Docking):** Questi punti di transito sono progettati per consentire un passaggio veloce dei prodotti. Il prodotto trascorre un breve periodo di permanenza, e il processo di transito è così rapido che coinvolge principalmente lo smistamento immediato del flusso logistico.

## 2.2 Magazzini automatici

"Gli sviluppi tecnologici nella catena di fornitura globale hanno aumentato i requisiti della tecnologia di stoccaggio" (Eder 2020). La tecnologia attuale, inclusi sistemi automatizzati e robotica, può essere impiegata per migliorare ulteriormente l'efficienza operativa. Questo perchè processi di stoccaggio e prelievo automatizzati riducono i tempi di ciclo e minimizzano gli errori umani.



**Figura 2.2:** Centro di distribuzione

I magazzini automatici sono sistemi avanzati di stoccaggio e recupero progettati per automatizzare le operazioni di movimentazione e gestione dei materiali all'interno di un magazzino o di un centro di distribuzione. Questi sistemi utilizzano una combinazione di tecnologie hardware e software per migliorare l'efficienza, la precisione e la velocità delle operazioni logistiche. "In particolare, a causa recente aumento del e-commerce, i magazzini utilizzano maggiormente tecnologie avanzate." (Ekren 2020)

I sistemi AS/RS sono in grado di eseguire operazioni di prelievo e consegna con una rapidità e una precisione millimetrica, rendendoli particolarmente cruciali per le operazioni ad alto volume. Secondo Boysen e Stephan 2016, i componenti principali di un AS/RS includono scaffalature di stoccaggio, trasloelevatori, punti di ingresso/uscita (I/O) e conveyor. Nell'ambito pratico, spesso si trova un sistema AS/RS caratterizzato da un Handling Machine (HM) automatizzato che si muove sia orizzontalmente che verticalmente all'interno di un singolo corridoio.

I magazzini automatici possono essere suddivisi in diverse tipologie in base alla loro progettazione e le categorie principali sono:

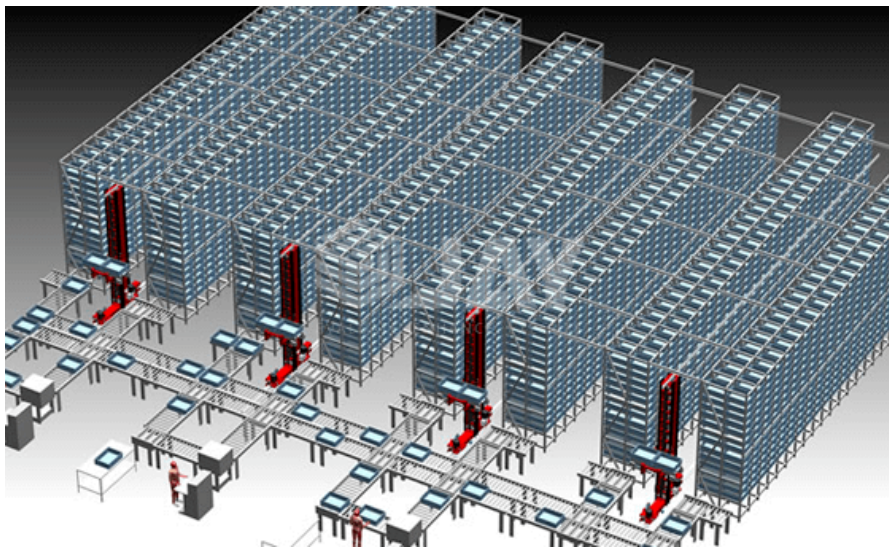
- **Horizontal Carousels:** Invece di scaffali verticali, i magazzini orizzontali utilizzano caroselli rotanti orizzontali per immagazzinare e recuperare i prodotti. I prodotti vengono posizionati su ripiani o cassette all'interno del carosello. Questi sistemi sono particolarmente adatti per il picking ad alta velocità e la gestione di piccoli articoli.
- **Vertical Lift Modules (VLM):** Questi sistemi utilizzano un carosello verticale con vassoi o cassette per immagazzinare i prodotti. Un sollevatore verticale automatizzato si sposta su e giù per recuperare i prodotti richiesti. I VLM sono noti per la loro capacità di ottimizzare lo spazio e aumentare l'efficienza, dettaglio in Figura 2.4.
- **Shuttle Systems:** Questi sistemi impiegano veicoli robotizzati o "shuttle" che si spostano orizzontalmente e verticalmente all'interno delle rastrelliere di stoccaggio. Questi veicoli recuperano e trasportano i prodotti ai punti di prelievo o deposito. I magazzini a shuttle sono altamente automatizzati e adatti per operazioni ad alto volume.
- **Magazzini Mini Load:** Questi sistemi sono progettati per lo stoccaggio e il recupero automatizzato di prodotti di piccole dimensioni. Sono ampiamente utilizzati nei settori farmaceutico, elettronico e della logistica di ricambi, in Figura 2.3.

Un'ulteriore classificazione può essere fatto in base alla profondità di stoccaggio:

- **Single-Deep AS/RS:** Questo tipo di magazzino automatico prevede una singola fila di scaffali o rastrelliere con una sola profondità di stoccaggio. I robot o gli

elevatori automatizzati accedono ai prodotti da un lato dei scaffali. Questi sistemi sono efficaci per le operazioni con una quantità limitata di prodotti e non richiedono molta altezza di stoccaggio.

- Double-Deep AS/RS: In questo caso, i prodotti vengono immagazzinati su due profondità, il che consente di aumentare la capacità di stoccaggio. Tuttavia, il prelievo può essere più complesso poiché richiede di spostare i prodotti posti avanti per accedere a quelli dietro.
- Multi-Deep AS/RS: Questi sistemi consentono lo stoccaggio di prodotti su profondità. Solitamente, vengono utilizzati robot o sistemi di trasportatori altamente specializzati per accedere ai prodotti in profondità.



**Figura 2.3:** Mini load

Sebbene l'implementazione iniziale di un magazzino automatico possa richiedere un investimento significativo, nel lungo termine possono portare a una riduzione dei costi operativi grazie all'eliminazione degli errori umani, alla riduzione degli sprechi e alla gestione efficiente delle scorte in quanto altamente adattabili alle esigenze specifiche.



**Figura 2.4:** Vertical lift module

Il software WMS è essenziale per il funzionamento dei magazzini automatici. "L'inventario viene gestito all'interno del sistema, tracciando la posizione del magazzino, la quantità, le dimensioni dei pezzi, ecc, quantità, dimensioni dei pezzi, ecc."(Hameed et al. 2020). Questo è possibile poiché i sistemi monitorano e gestiscono le scorte in tempo reale, tengono traccia dei dati sugli inventari, ottimizzano i flussi di lavoro e coordinano le operazioni di stoccaggio e recupero. I WMS consentono anche la pianificazione delle attività e la generazione di report analitici.



# Capitolo 3

## Picking

### 3.1 Picking: definizione e criticità

"L'order picking (OP) comporta il processo di recupero dei prodotti dai luoghi di stoccaggio definiti per soddisfare le richieste dei clienti; rappresenta circa il 55% delle operazioni di magazzino e l'OP è anche considerata l'operazione di magazzino a più alta intensità di lavoro." (Bertolini et al. 2019). Di conseguenza "la riduzione dei tempi di prelievo è stata la tradizionale prospettiva per l'ottimizzazione del magazzino" (Davoli et al. 2013). Il picking quindi è una delle attività chiave all'interno della gestione delle scorte e delle operazioni logistiche, particolarmente importante nei magazzini e nei centri di distribuzione.

Obiettivo del picking è quello di selezionare e raccogliere con precisione i prodotti richiesti in modo efficiente, in maniera da soddisfare gli ordini dei clienti nel minor tempo possibile. Può riguardare sia l'approvvigionamento dei prodotti destinati alla spedizione ai clienti finali che la preparazione delle merci per essere consegnate ai punti vendita o per essere stoccati. Inoltre, il picking può essere finalizzato anche allo stoccaggio dei prodotti, preparandoli per essere utilizzati in

ordini futuri. In questo modo, il picking svolge un ruolo cruciale nella gestione delle scorte e nella catena di approvvigionamento, contribuendo a mantenere un flusso regolare di prodotti sia verso i consumatori finali che verso altri destinatari, come i punti vendita o le aree di magazzinaggio per ordini successivi.

Il picking può essere classificato in due categorie in base al metodo di movimentazione dei prodotti. Il primo è chiamato "parts-to-picker", in cui il prodotto si muove verso la postazione di picking dalle postazioni di stoccaggio utilizzando soluzioni automatizzate, come sistemi AS/RS, VLM, caroselli verticali e orizzontali e altri. Il secondo è chiamato picker-to-parts, esempio in Figura 3.1, in cui il picker cammina lungo i corridoi per prelevare l'articolo desiderato dagli scaffali. Si tratta di attività manuali di picking che devono essere eseguite in sequenza dal picker, come l'impostazione (preparazione della lista di prelievo), il viaggio (spostamento verso la posizione di stoccaggio desiderata), la ricerca (identificazione dell'articolo) e il prelievo (prelievo dell'articolo giusto e della giusta quantità) (Gu et al. 2007).



**Figura 3.1:** Picking con metodo pickers-to-parts

Per quanto riguarda l'automazione nel picking-to-parts, le soluzioni più comuni includono soluzioni di picking "paperless", picking assistito con AGV/AMR e robot di picking e trasporto, che sono semi-automatizzati rispetto a quelli "parts-to-picker" (Vijayakumar et al. 2021).

Nel sistema di picking "picker-to-parts", si presta maggiore attenzione alle strategie di picking dell'assegnazione del magazzino e del batching degli ordini e all'integrazione di strategie di picking multiple. Nel sistema di prelievo "parts-to-picker", invece, l'attenzione è rivolta soprattutto alla cooperazione uomo-macchina [...], oltre che al coordinamento della stazione di prelievo (Li et al. 2022).



**Figura 3.2:** Picking manuale con tecnologia "pick-to-light"

Entrambe le tipologie di picking hanno diversi metodi per essere eseguiti, tra cui:

- Picking a prelievo singolo, dove è prelevato un prodotto alla volta per ogni ordine.

- Picking a prelievo multiplo, in cui vengono raccolti prodotti per più ordini contemporaneamente, riducendo il numero complessivo di passaggi.
- Picking batch, in questo caso gli ordini vengono raggruppati in lotti, e raccolti tutti i prodotti necessari per ciascun lotto.
- Picking a zone, nel caso in cui i magazzini sono divisi in diverse "zone". Assegnando specifiche zone in base alla divisione dei magazzini, si gestiscono tutti gli ordini nella zona corrispondente.

Il picking beneficia notevolmente delle tecnologie di automazione e dell'uso di dispositivi avanzati come lettori di codici a barre, dispositivi mobili, dispositivi indossabili e sistemi di guida per il personale. Questi strumenti aiutano a identificare e localizzare i prodotti con maggiore precisione e a migliorare l'efficienza operativa.

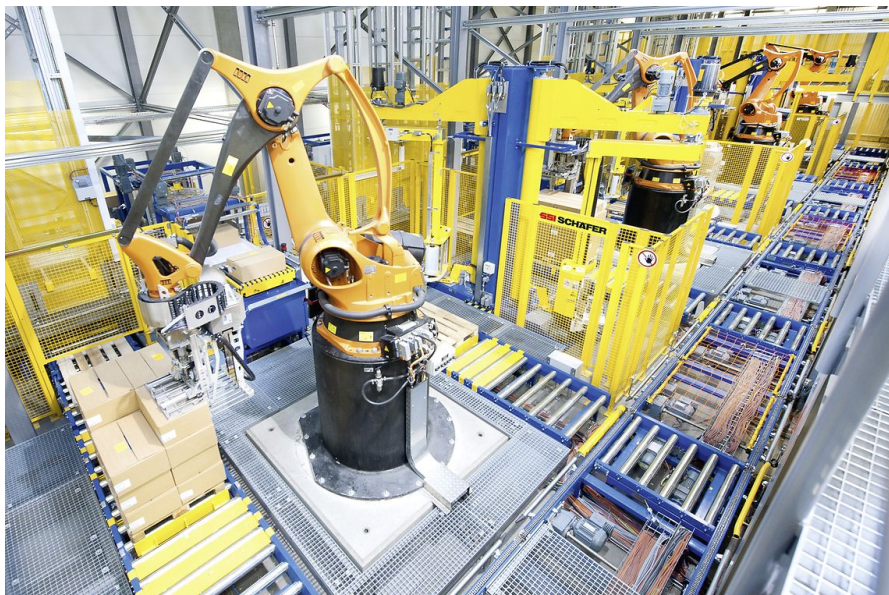
Per il picking efficace, è fondamentale tenere traccia delle scorte in tempo reale. I sistemi di gestione dell'inventario e i sistemi di codifica degli articoli sono essenziali per garantire che gli operatori selezionino gli articoli corretti. La precisione è cruciale nel processo di picking. Gli errori infatti possono portare a spedizioni errate o a ordini incompleti, con conseguenti costi aggiuntivi e insoddisfazione del cliente.

La pianificazione delle modalità del picking è caratterizzato da cinque aree decisionali principali, come descritto da De Koster et al. 2007:

- Layout Design: Determina la disposizione e la configurazione degli scaffali definendo il numero di blocchi e il numero, la larghezza e la lunghezza dei corridoi in ogni blocco.
- Assegnazione dello stoccaggio: Determina l'assegnazione dei prodotti alle aree di stoccaggio in base alle caratteristiche degli articoli.

- Zoning: L'area in cui l'addetto al commissionamento deve svolgere le sue mansioni di OP, quindi il magazzino può essere suddiviso in diverse zone.
- Batching: Combinazione degli ordini dei clienti in un unico giro di prelievo, per migliorare le prestazioni del sistema OP.
- Routing: Determina la sequenza in cui il commissionatore si muove all'interno del magazzino per prelevare il prodotto dagli scaffali.

Il processo di picking può essere completamente automatizzato, eliminando la necessità di interazione umana e impiegando robot o bracci meccanici, esempio in Figura 3.3. In questa configurazione, la figura del picker viene sostituita da soluzioni alternative. I robot utilizzano sofisticati sistemi di navigazione, quali sensori laser, telecamere o tecnologie di localizzazione indoor, per spostarsi autonomamente all'interno del magazzino. Questi strumenti consentono ai robot di evitare ostacoli e di seguire percorsi ottimali.



**Figura 3.3:** Picking con braccio robotico



In alternativa, il processo di picking può coinvolgere un operatore umano che completa le operazioni di prelievo. Tuttavia, è fondamentale trovare un bilanciamento appropriato tra l'automazione e la componente umana. L'automazione massiccia potrebbe eliminare la figura del lavoratore umano, ma è importante considerare fattori come la flessibilità, l'adattabilità e la capacità di gestire situazioni complesse che solo gli operatori umani possono offrire.

Inoltre è utile intraprendere politiche di job rotation, ottimizzazione delle soluzioni di picking e valutazioni ergonomiche, esempio in Figura 3.4, perchè ", soprattutto nei sistemi picker-to-parts, il processo di automazione fallirebbe se gli aspetti dei fattori umani (HF) degli addetti alla raccolta degli ordini non fossero valutati, come quelli fisici, mentali, percettivi e psicosociali" (Neumann et al. 2010).



**Figura 3.4:** Stazione di picking ergonomica

# Capitolo 4

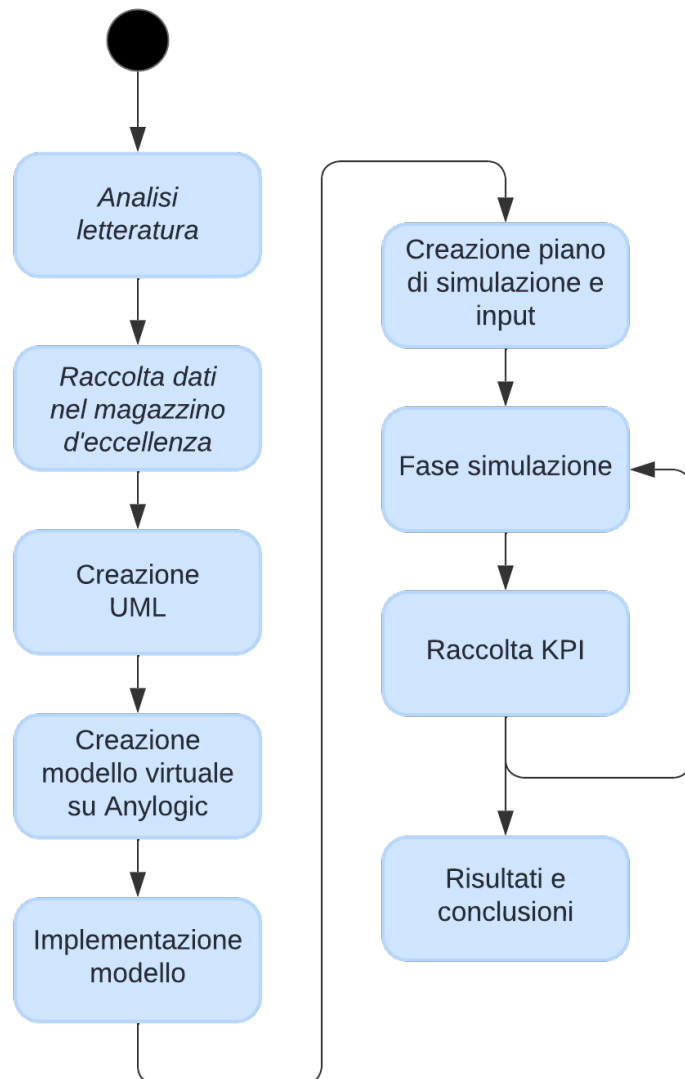
## Metodo

Lo sviluppo del progetto di tesi è stato preceduto da una serie di passaggi fondamentali finalizzati alla formulazione delle conclusioni definitive.

Inizialmente, è stata condotta un'ampia analisi della letteratura focalizzata sul tema del "picking" e dei "magazzini automatici". La ricerca è stata condotta utilizzando parole chiave specifiche, concentrandosi su articoli provenienti da riviste scientifiche e pubblicati nel periodo compreso tra il 2019 e il 2023.

Dopo aver applicato i filtri di ricerca, sono stati identificati 101 articoli rilevanti, i quali sono stati successivamente catalogati in base a titolo, autore, parole chiave, tipologia di picking, tipologia di magazzini e statistiche pertinenti. Durante questa fase, è stata individuata la presenza di un gap nella letteratura esistente, identificando così il contesto in cui la ricerca della tesi si sarebbe collocata. Da questi articoli, a seguito di un'ulteriore scrematura, si è arrivati a 32 articoli pertinenti.

La presente ricerca ha utilizzato come punto di partenza il modello descritto nella ricerca di Ferrari et al. 2023, la quale vede la sua validazione e dai dati prelevati dal magazzino di eccellenza RESLOG, situato presso il Politecnico di



**Figura 4.1:** Flow chart step seguiti

Torino. L'inclusione del processo di picking ha richiesto la creazione di un modello concettuale Unified Modeling Language (UML), linguaggio di modellazione visuale utilizzato principalmente nell'ingegneria del software per descrivere, progettare e documentare i sistemi software in maniera chiara e comprensibile. Questo processo ha permesso di definire chiaramente come il modello virtuale si sarebbe sviluppato



e quali sarebbero stati i suoi componenti.

Il diagramma utilizzato per rappresentare la struttura statica del sistema è stato quello a classi UML. Sono state indicate le classi, gli attributi, i metodi e le relazioni tra di esse.

Una classe è una rappresentazione astratta di un concetto o di un oggetto nel sistema. Le classi sono rappresentate da un rettangolo diviso in tre sezioni: il nome della classe, gli attributi e i metodi. Gli attributi sono le proprietà o le caratteristiche di una classe. Possono essere rappresentati nella sezione degli attributi della classe e sono generalmente accompagnati dal tipo di dato. I metodi sono le azioni o i comportamenti che una classe può eseguire. Sono rappresentati nella sezione dei metodi della classe e includono il nome del metodo, eventuali parametri di input e il tipo di ritorno.

Le relazioni tra le classi sono rappresentate da linee tra le classi nei diagrammi delle classi UML. Le relazioni comuni includono l'associazione, l'aggregazione, la composizione, l'ereditarietà e la dipendenza.

- L'associazione rappresenta una relazione tra due classi, indicando che gli oggetti di una classe sono collegati agli oggetti di un'altra classe.
- L'aggregazione indica una relazione "tutto-parte" tra una classe contenitore (solitamente chiamata "padre" o "contenitore") e una classe contenuta (solitamente chiamata "figlio" o "parte").
- La composizione è una forma più forte di aggregazione in cui gli oggetti delle classi contenute sono strettamente legati agli oggetti della classe contenitore.

- L'ereditarietà rappresenta una relazione "è-un" tra una classe genitore (super-classe) e una classe figlia (sottoclasse).
- La classe figlia eredita attributi e metodi dalla classe genitore. La dipendenza indica che una classe dipende da un'altra classe, ad esempio, quando una classe utilizza un'istanza di un'altra classe come parametro di un metodo.
- La molteplicità indica il numero di istanze di una classe coinvolte in una relazione. Può essere rappresentata da numeri o simboli come "\*" per indicare un numero variabile di istanze.

Per poter procedere nell'esplorazione del modello concettuale si è ritenuto utile utilizzare lo strumento della simulazione. Come descritto in Law 2013, per poter comprendere il funzionamento di un sistema, inteso come l'impianto o il processo di interesse [...] dobbiamo spesso fare una serie di ipotesi sul suo funzionamento. Queste ipotesi, che di solito assumono la forma di relazioni matematiche o logiche, costituiscono un modello che viene utilizzato per cercare di capire come si comporta il sistema corrispondente. Se le relazioni che compongono il modello sono sufficientemente semplici, può essere possibile utilizzare metodi matematici (come l'algebra, il calcolo o la teoria delle probabilità) per ottenere informazioni esatte sulle questioni di interesse; questa è chiamata soluzione analitica. Tuttavia, la maggior parte dei sistemi del mondo reale è troppo complessa per consentire la valutazione analitica di modelli realistici, e questi modelli devono essere studiati per mezzo della simulazione. Il modello che questo studio prende in riferimento è di certo complesso e, per i motivi citati precedentemente, è stata scelta la simulazione a eventi discreti. "La simulazione a eventi discreti riguarda la modellazione di un sistema che si evolve nel tempo da una rappresentazione in cui le variabili di stato cambiano istantaneamente in punti nel tempo." (Law 2013)

Gli eventi discreti sono gli istanti in cui avvengono cambiamenti significativi nel sistema che si sta simulando. Questi eventi possono includere arrivi, partenze, guasti, riparazioni e altri eventi rilevanti. Il sistema è caratterizzato dal suo "stato", che rappresenta le variabili e i parametri che definiscono la condizione del sistema in un dato momento. La simulazione a eventi discreti procede passo dopo passo, avanzando da un evento discreto al successivo. Il modello tiene traccia del tempo simulato e determina quando si verificheranno gli eventi successivi. Nella progettazione di una simulazione a eventi discreti, è necessario definire come vengono generati gli eventi, quando si verificano e come influenzano lo stato del sistema. Questo coinvolge la scrittura di codice per gestire gli eventi. Durante la simulazione, è possibile raccogliere dati sul comportamento del sistema, che possono essere utilizzati per analizzare le prestazioni e prendere decisioni informate. La simulazione a eventi discreti richiede una rigorosa validazione e verifica per garantire che il modello sia accurato e rappresenti fedelmente il sistema reale. Questo comporta la comparazione dei risultati della simulazione con dati reali, se disponibili.

Esistono numerosi strumenti software specializzati per la simulazione a eventi discreti, tra cui Simulink, AnyLogic, Arena, Witness, e molti altri, che semplificano la creazione di modelli di simulazione e l'analisi dei risultati. Per l'analisi del sistema preso in considerazione è stato scelto Anylogic. AnyLogic è una piattaforma versatile di simulazione multi-paradigma che offre un ambiente completo per la progettazione, la modellazione e l'ottimizzazione di sistemi complessi. Questo software trova ampio impiego in settori quali la logistica, la produzione, la sanità, la gestione del traffico, la supply chain, la finanza e altri, dove la simulazione è un elemento chiave per comprendere il comportamento dei sistemi e prendere decisioni basate su dati. AnyLogic è impiegato in diverse applicazioni, tra cui la progettazione di

catene di approvvigionamento, l'ottimizzazione di reti di trasporto, la simulazione di sistemi di produzione, la previsione della domanda, l'analisi del traffico e la simulazione di sistemi sanitari (*Anylogic web page* -). La scelta è ricaduta su questo programma in quanto offre la possibilità di sfruttare dei costrutti preimpostati ma consente anche di programmare in diversi linguaggi class-based per dettagliare il più possibile il caso simulato secondo le proprie preferenze. Ed è proprio in questa modalità scelta per questa ricerca, inserendo elementi di Java, SQL e Python.

Le simulazioni DES possono essere

- FHS (Finite Horizon Simulation): La simulazione a orizzonte finito è un approccio che coinvolge la modellizzazione e l'analisi di un sistema nel corso di un periodo di tempo specifico, limitato e predeterminato.
- SSS (Stedy State Simulation): La simulazione all'equilibrio è un tipo di approccio che si concentra sulla modellizzazione e l'analisi di sistemi quando raggiungono uno stato di equilibrio. In un sistema in equilibrio, le forze o i fattori che agiscono su di esso si compensano reciprocamente, portando a condizioni stazionarie. Questa situazione è spesso associata alla stabilità del sistema nel lungo termine.

La simulazione utilizzata per questo studio è del tipo FHS. Bisogna quindi specificare un periodo di tempo limitato durante il quale vengono analizzati gli eventi e le dinamiche del sistema. Prima di eseguire la simulazione, è necessario creare un modello del sistema che si intende studiare. Gli input del modello sono i dati e i parametri che influenzano il comportamento del sistema durante il periodo di simulazione. Una volta definito il modello e forniti gli input, la simulazione viene eseguita per il periodo di tempo specificato.

Per poter calibrare il modello virtuale, sono stati raccolti dati temporali e altre informazioni mediante misurazioni fisiche, al fine di creare un modello coerente con la realtà e adattato alle specifiche configurazioni di laboratorio.

Dopo aver testato la solidità della logica e della programmazione del modello sono stati scelti e poi settati degli scenari da simulare in base a tre logiche di ottimizzazione e tre diverse configurazioni di picking station. Effettuando 81 incroci con diverse simulazioni sulla base di un turno lavorativo di 8 ore, dalle 9:00 alle 17:00, è stato possibile selezionare la strategia di ottimizzazione migliore attraverso l'analisi dei risultati attraverso l'identificazione di KPI e tabelle, grafici e analisi quantitative e qualitative.

# Capitolo 5

## Analisi della letteratura

### 5.1 Catalogazione e analisi

Al fine di stabilire una solida base per l'indagine, è stata condotta un'approfondita revisione della letteratura per comprendere appieno lo stato dell'arte della ricerca e identificare possibili direzioni di sviluppo.

Per l'analisi degli articoli, è stato adottato un metodo di classificazione basato su parole chiave e sulle caratteristiche degli argomenti presi in considerazione, in modo da ottenere una panoramica completa e una categorizzazione strutturata.

La ricerca è stata avviata utilizzando parole chiave come "Picking," "Automated warehouse," "Automated storage and retrieval system," "Pick-to-light," "AS/RS," "good-to-picker," e "parts-to-picker," con una limitazione agli articoli pubblicati in lingua inglese nel periodo compreso tra il 2015 e il 2023. Questo processo ha portato alla rilevazione complessiva di 101 risultati pertinenti. Dopo un'ulteriore analisi di pertinenza, i risultati ritenuti aderenti alla ricerca sono 32 articoli, tra cui

15 strettamente correlati al picking, 15 su argomenti connessi e 2 analisi della letteratura, i cui valori più ricorrenti sono specificati nella tabella 5.1. Gli articoli sono stati categorizzati attraverso titolo, autori, anno di pubblicazione, appartenenza a journal o conferenza, 5 keywords identificative, settore di applicazione, metodologia, obiettivo della ricerca, warehouse system, unit load, storage assignment policy, presenza di layout design, order picking system, tipo di picking, presenza di picking station, tipologia di picking station, presenza di station design, utilizzo di order batching, utilizzo di zoning, metriche rilevanti quali picking time (s/UdC), order/day, order size, presenza di analisi ABC, presenza di routing e infine raccolta dei KPI relativi al picking e non relativi al picking.

## 5.2 Picking in AS/RS in letteratura

Conteggio di WAREHOUSE SYSTEM							
	AS/RS	AS/RS (carousel)	AS/RS (crane operated rack system)	C&SBS/R	MIAPP-AS/RS	multiple level warehouse	RMFS VLM
Boysen et al.				1			
Calzavara et al.							1
Chirici, L., Wang, K.-S.						1	
Dukic et al.							1
Faria and Reis	1						
Lenoble et al.		1					
Liu et al.					1		
Lu et al.							1
Ma et al.				1			
Nicolas et al.		1					
Pan et al.	1						
Saylam et al.	1						
Sgarbossa et al.							1
Wang et al.	1						
Yang et al.							1
<b>Totale complessivo</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1 2 3</b>

Figura 5.1: Categorizzazione in tipologia di magazzino

Come evidenziato nella Tabella 5.1, i temi più frequentemente trattati sono quelli degli automated warehouse e AS/RS, come illustrato anche dalla Figura 5.1. Nelle recenti ricerche focalizzate sul processo di prelievo nel contesto dei magazzini automatizzati, è emerso un diversificato insieme di sistemi, metodologie e obiettivi. Ad esempio, in Ma et al. 2022, gli autori hanno proposto un algoritmo di suddivisione degli ordini per un sistema crane & shuttle-based storage and retrieval system

(CBS/RS) al fine di bilanciare i compiti di prelievo, mirando a soddisfare sequenze specifiche richieste e minimizzare il tempo di prelievo delle linee d'ordine.

Nel lavoro di Liu et al. 2021, il processo di rifornimento è stato modellato come un problema di code, dove la macchina aisle-captive dell'AS/RS funge da server e le stazioni di prelievo che richiedono il rifornimento sono i clienti. La ricerca di Faria et al. 2015 ha l'obiettivo di sviluppare un modello che utilizza la Discret Event Simulation (DES), simulazione a eventi discreti, per valutare le prestazioni del prelievo degli ordini, tenendo conto di diverse politiche di assegnazione dello stoccaggio e metodi di routing.

D'altro canto, Yang et al. 2022 hanno sviluppato un modello di code per studiare un sistema compact multi-deep robotic mobile fulfilment system (RMFS). Le soluzioni analitiche approssimate per il throughput di sistema, l'utilizzo dei robot e la lunghezza della coda sono state verificate ed valutate tramite simulazioni.

Nello studio di Dukic et al. 2015, è presentato un modello di simulazione per il calcolo del throughput di un VLM con un operatore umano. Allo stesso modo, in Sgarbossa et al. 2019, vengono proposti modelli analitici per diverse configurazioni operative e varie politiche di assegnazione dello stoccaggio per migliorare le prestazioni complessive del sistema VLM a doppia baia. In Calzavara et al. 2019, viene condotta un'analisi economica comparativa tra il VLM a doppia baia e un magazzino con scaffalature manuali per cartoni.

In Wang et al. 2016, viene studiato matching problem per un AS/RS miniload con l'obiettivo di migliorare l'efficienza del picking. L'articolo discute su come ridurre la distanza di percorrenza tra i corridoi e le stazioni di prelievo, proponendo un



algoritmo euristico multi-stage. Boysen, Emde et al. 2022 hanno considerato la pianificazione di un AS/RS miniload che opera con comandi duali successivi. Ogni comando duale combina una richiesta di prelievo per una Unità di Carico (UdC) necessaria alla stazione di prelievo con una richiesta di stoccaggio di un contenitore che deve essere riposizionato nella sua posizione di stoccaggio dedicata nell'AS/RS dopo il prelievo.

Saylam et al. 2023 considera invece l'order picker routing problem in un ambiente di suddivisione in zone dinamico e sincronizzato, dove gli articoli corrispondenti a ciascun ordine del cliente vengono prelevati simultaneamente in più zone e le zone possono cambiare tra ordini diversi. L'obiettivo è minimizzare il tempo massimo di completamento delle attività di prelievo in ogni zona.

Nell'articolo di Nicolas et al. 2017 è stato sviluppato un modello di programmazione lineare per minimizzare il tempo totale di completamento di un magazzino a carosello, in cui gli ordini di prelievo sono raggruppati in batch. Il problema è stato testato e convalidato con dati reali. Più recentemente, Lenoble et al. 2021 hanno studiato due metodi di raggruppamento per il prelievo da più caroselli: il batching fisso, in cui tutti gli ordini appartenenti a un lotto vengono raccolti prima di iniziare il lotto successivo, e il rolling batching, in cui ogni volta che un ordine appartenente al lotto corrente viene completato, viene immediatamente sostituito da un nuovo ordine.

Il lavoro Pan et al. 2015 sviluppa un metodo euristico basato su un algoritmo genetico per risolvere il SAP di un sistema pick-and-pass con più picker, al fine di determinare lo spazio di stoccaggio appropriato per ciascun prodotto e bilanciare il carico di lavoro di ciascuna zona di picking in modo da migliorare le prestazioni

del sistema. Viene utilizzato un modello di simulazione basato su FlexSim. Stessa tipologia di algoritmo è utilizzato da Chirici et al. 2014 dove viene utilizzato il batching degli ordini, che ha un effetto importante sull'efficienza delle operazioni di magazzino per evitare sprechi di risorse in termini di processi e per controllare in anticipo la possibilità di costi imprevisti.

### **5.3 Research gap e principale contributo di questo studio**

Il panorama della ricerca sui processi di magazzino, focalizzato sul prelievo nelle strutture automatizzate, è un campo in continua evoluzione caratterizzato da una vasta gamma di studi, approcci e obiettivi. Tuttavia, emergono lacune significative quando si tratta di ottimizzare l'utilizzo dello spazio, soprattutto in contesti industriali dove la disponibilità di spazio rappresenta un vincolo critico per l'efficienza operativa. L'integrazione delle stazioni di prelievo direttamente nella scaffalatura del magazzino rappresenta un'opportunità innovativa e promettente per affrontare questa sfida.

La ricerca si propone di colmare questa lacuna attraverso il progetto di un sistema MLS che rivoluzioni il tradizionale approccio al prelievo, introducendo stazioni di picking integrate all'interno della struttura del magazzino stesso. Questo approccio non solo ottimizza lo spazio disponibile, ma promuove anche una maggiore efficienza nei processi di prelievo. Per implementare con successo questa innovazione, sono state sviluppate tre strategie distintive, ciascuna mirata a massimizzare l'efficacia e l'efficienza delle operazioni di prelievo in questo nuovo contesto. La significatività di questa ricerca risiede non solo nell'approccio rivoluzionario proposto, ma anche nell'uso di una metodologia DES per valutare e ottimizzare le prestazioni del

sistema proposto. Questo approccio fornisce una piattaforma affidabile e flessibile per testare diverse configurazioni e strategie operative, consentendo di ottenere risultati accurati e predittivi prima di implementare il sistema in un contesto reale. Inoltre, il modello concettuale di classe UML unificato sviluppato e la sua implementazione in un modello DES offrono una base solida per ulteriori progressi e sviluppi nel campo della gestione dei magazzini automatizzati. Questo lavoro non solo contribuisce alla ricerca accademica nel settore, ma potrebbe anche avere importanti implicazioni pratiche per le aziende che cercano di migliorare l'efficienza e la produttività dei loro magazzini.

Categoria	Valori ricorrenti
Anno di pubblicazione	2015-2017
5 keyword identificative	Order picking, routing method, storage assignment, AGV routing, conflict-free scheduling, parts-to-picker, picking system, MIAPP-AS/RS, warehouse management, warehousing, facility logistics, crane scheduling, analytical modelling, automated warehouse, operation costs, performance analysis, unit load as/rs, multi-deep, throughput performance analysis, Vertical lift module, small items order picking, cost model, optimization, e-commerce, matching problem, warehousing system
Settore di applicazione	Food, E-commerce, manufacturing
Metodologia	Analytical model, Linear Programming
Warehouse system	AS/RS, MIAPP-AS/RS, RMFS, AS/RS (crane operated rack system), VLM, multiple level warehouse
Unit load	Pallet, boxes
Storage assignment policy	random
Layout design	Y
Order picking system	Parts-to-picker
Picking type	Manual
Picking station	Y
Station type	Flow-level, on conveyor picking station, flow rack
Station design	Y
Order batching	N
Zoning	N
ABC analysis	N
Routing	Y
Non-picking KPI	service time, travel time (AS/R machine), number of AGV, operation time, RGV, quantity of full pallet, average order line cycle time, max velocity, max acceleration, ratio of empty location, through-put, saving, computational time, cycle time, crane travel time and distance
Picking KPI	Picking time, number of pick position, waiting time, size of picking task, order line picking time, picking station utilization, average waiting length of a picking station, number of customer orders, unitary picking time, average picking time, order processing time, picked items, mean completion time, working ratio, capacity of the picking device

**Tabella 5.1:** Risultati analisi letteratura

# Capitolo 6

## Modello

### 6.1 Sistema

Questo studio si concentra sull'analisi del Multi Level Shuttle (MLS), una particolare tipologia di AS/RS illustrata nella Figura 6.1, seguendo l'approccio di Ferrari et al. 2023.

Sotto il profilo progettuale, l'MLS è progettato per spostare contemporaneamente su tre assi piccole unità di carico, consentendo movimenti sia orizzontali che verticali. Il sistema può gestire due tipi diversi di UdC con quattro dimensioni variabili, descritte in Tabella 6.1, permettendo al sistema di gestirne simultaneamente due dello stesso tipo. È importante notare che il sistema MLS è aisle-captive, il quale non permette quindi allo Shuttle di cambiare corsia di lavoro. La struttura del rack presenta un doppio fronte con posizioni di stoccaggio a più profondità, consentendo il deposito simultaneo di due unità di carico grandi o quattro piccole.

L'MLS è equipaggiato con un sistema di trasporto a rulli I/O posizionato all'estremità del rack. Il sistema MLS AS/RS si basa su un'infrastruttura IT supportata

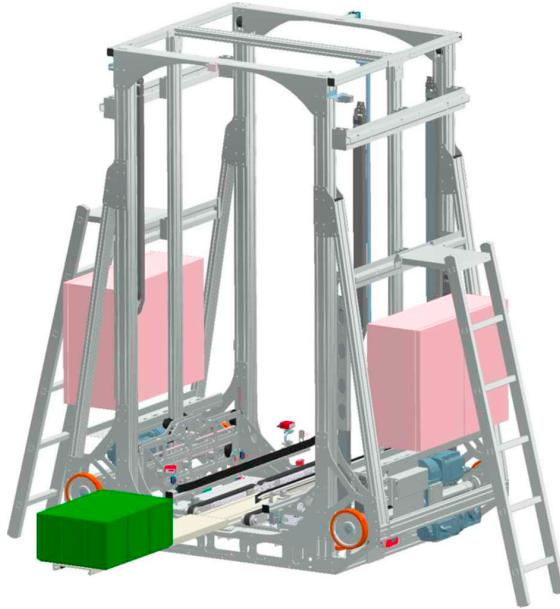
Tipo	Lunghezza [mm]	Larghezza [mm]	Altezza [mm]	Profondità
1	300	400	120	1
2	300	400	220	1
3	600	400	120	2
4	600	400	220	2

**Tabella 6.1:** Dimensioni UdC

da un sistema di WMS e un sistema di controllo del magazzino, Warehouse Management System (WCS) (Ferrari et al. 2023). Il WMS, un sistema informatizzato, svolge un ruolo chiave nella pianificazione, monitoraggio ed esecuzione di diverse attività commerciali legate al magazzino, come organizzazione e archiviazione di ordini, dettagli dei prodotti, ordini di acquisto e ubicazioni dell’inventario. D’altro canto, il WCS agisce come un’applicazione software responsabile del coordinamento in tempo reale delle operazioni all’interno del MLS, supervisionando in modo efficiente le attività di movimentazione dei materiali e traducendo gli ordini dal WMS in missioni di stoccaggio o recupero per l’MLS. In breve, il WCS funge da intermediario che collega il WMS alle apparecchiature auto-associate.

Il magazzino rappresentato nello presente lavoro è composto da 50 colonne, ciascuna con 10 livelli. Rispetto al sistema presentato da Ferrari et al. 2023, in questo studio è stata integrata diverse configurazioni di stazioni di prelievo all’interno della scaffalatura di stoccaggio: due stazioni poste in un lato del magazzino, tre stazioni poste in un solo lato e quattro stazioni, poste due da un lato e due dall’altro. Ogni stazione di picking è composta da 6 flow rack divisi su due livelli. Ciascun livello è composto da tre scaffali a gravità con una capacità massima di 3 unità di carico. Dal corridoio, il sistema MLS è in grado di scaricare direttamente una unità di carico sul flow rack, che scorre verso l’operatore per gravità. Quando l’operatore ha finito il prelievo, la box corrispondente viene rimossa dallo scaffale a scorrimento e altre box presenti a seguire diventano disponibili per il prelievo. Nelle picking

station gli ordini vengono completati uno alla volta, il che significa che può esserci una coda di box appartenenti allo stesso ordine.



**Figura 6.1:** Multi Level Shuttle

## 6.2 Modello concettuale

Per sviluppare un modello digitale del sistema descritto è stato creato un modello concettuale con linguaggio UML su cui basare il modello virtuale successivo.

In figura 6.2 si può individuare il modello da cui è partita l'analisi dove sono presenti 13 classi differenti con i loro attributi e una classe di associazione. Il modello descrive il funzionamento di un magazzino con al centro il WMS, , insieme al WCS. La codifica del modello funziona attraverso tre diversi colori. Blu per le classi fisiche, verde per quelle logiche e arancio per quelle informative. Per ulteriori approfondimenti è possibile fare riferimento a Ferrari et al. 2023.

Classi fisiche:

- Environment: Classe generica che ingloba l'ambiente del magazzino, nel modello virtuale sarà tradotta attraverso il main
- Aisle: Indica la corsia del magazzino, dove sono posizionate le Storage Location, il Multi Level Shuttle e i Conveyor. È un agente fisico all'interno del sistema.
- Multi Level Shuttle: Agente fisico responsabile di spostare le box all'interno dell'Aisle.
- Conveyor: Rappresenta i conveyor, gestendo l'entrata e l'uscita delle box dal magazzino.
- Storage Location: Indica le posizioni fisiche dove può essere effettuato lo stoccaggio delle box. Ogni Storage Location identifica univocamente un vano nel magazzino. Questa codifica è utilizzata dal WCS e dalle classi fisiche del modello.
- Box: Rappresenta l'unità di stoccaggio del magazzino, identificata da un codice univoco, una grandezza e una priorità.

Classi logiche:

- WMS: Il WMS è il centro logico del modello. Gestisce la posizione logica degli elementi tramite la WMS Location.
- WCS: Il WCS è il corrispettivo fisico di ciò che viene descritto dal WMS. Gestisce in modo operativo gli eventi che avvengono all'interno del magazzino e le logiche di prelievo, inclusi i movimenti del Multi Level Shuttle.



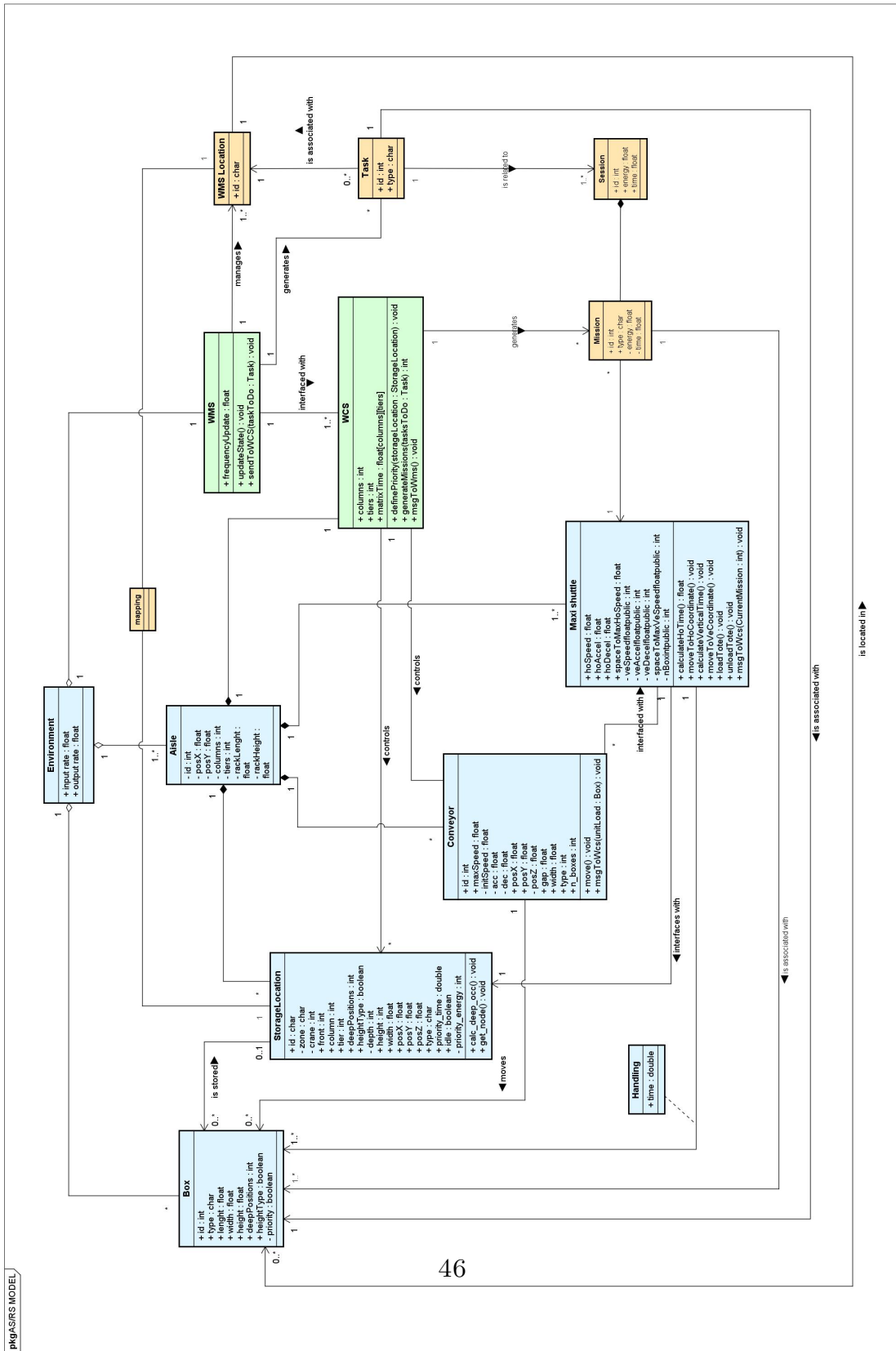
- WMS Location: Indica il vano logico in cui si trova l'oggetto a cui si riferisce. Può essere interno al magazzino (codice M000000) o esterno (codice T000000). La WMS Location è utilizzata per tutti i vani speciali come entrata, uscita e flow rack, consentendo al WMS di conoscere sempre la posizione logica dei box con la sua codifica.

Classi informative:

- Task: Le task rappresentano in modo logico i movimenti che devono essere effettuati dalla box e contengono l'ID della box, la provenienza e la destinazione del trasporto.
- Mission: La missione rappresenta un singolo movimento che deve essere effettuato dal Multi Level Shuttle per consentire lo spostamento della box.
- Session: La sessione è un insieme di missioni che si sommano per completare la task richiesta e trasportare la box dalla sua posizione attuale alla destinazione prescelta. Mission e Session possono coincidere nel caso di un singolo movimento per Task.

Infine sono presenti delle classi di associazione o utili a unificare le informazioni che aiutano nella comprensione del funzionamento del sistema, quali mapping, classe logica che associa più Storage Location a ogni WMS Location e Handling, classe di associazione che collega Box e Multi Level Shuttle, includendo il tempo di trasporto della box.

Figura 6.2: Modello concettuale iniziale



In figura 6.3 è presente il modello implementato con la stazione di picking. In questo modello UML sono state aggiunte 5 classi semplici e 3 classi di associazione per poter descrivere il flusso fisico e logico che è presente dietro al process di picking.

Classi fisiche:

- Flow Rack: è la classe fisica di cui si compone la Picking Station, dove vengono fisicamente gestite le box. Si caratterizza di un codice identificativo, uno status che indicato la sua disponibilità, una quantità
- Item: oggetto presente nelle box ordinato attraverso gli ordini dall'esterno del magazzino. Ha un suo codice identificativo.
- Picking station: qui vengono gestiti gli ordini provenienti dal WMS. Si caratterizza di un codice identificativo, uno status che indicato la sua disponibilità e due liste di ordini, in lavorazione e completati ed è composta da più flow rack.

Classi informative















- Order: L'ordine è caratterizzaziato da un codice identificativo e da 1 o più linee d'ordine.

Infine troviamo Contains, che specifica la presenza di items all'interno delle box; questa classe di associazione collega Box e Items attraverso una quantità contenuta. L'ordine è inoltre composto da più Item con una determinata quantità, descritta in Order lines, e da uno status, aggiornato dalla picking station che assume così sia connotazione fisica che informativa.



## 6.3 Modello virtuale

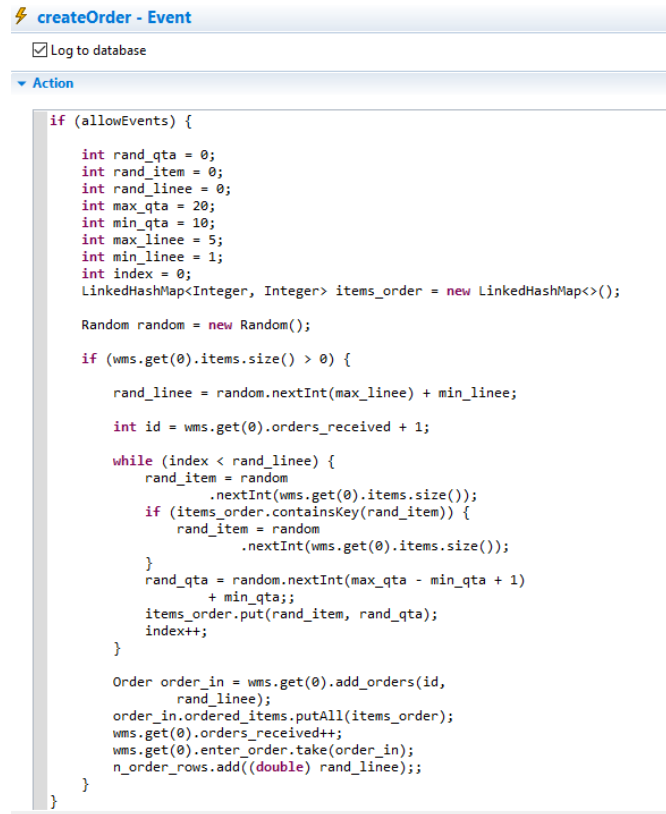
Dopo aver analizzato il sistema logico e ottenuto così le basi per poter progettare il modello concettuale, si è scelto di utilizzare una simulazione ad eventi discreti al fine di ottenere un modello aderente alla realtà, grazie alla quale è possibile esaminare i sistemi complessi in modo dettagliato ed eseguire esperimenti virtuali prima di apportare modifiche o prendere decisioni nel mondo reale. Questo metodo risulta particolarmente utile quando i sistemi sono troppo complessi o costosi per essere analizzati direttamente attraverso l'osservazione o l'analisi matematica. Il software utilizzato per la modellazione è stato AnyLogic, un software mirato per simulare strutture logistiche e supply chain delle più varie.

- >  Aisle
- >  Box
- >  Conveyor
- >  FlowRack
- >  Main
- >  MaxiShuttle
- >  Mission
- >  Order
- >  PickingStation
- >  Session
- >  StorageLocation
- >  Task
- >  Wcs
- >  **Wms**

**Figura 6.4:** Agents

Il modello si compone di una struttura a classi in Figura 6.4, dove ogni classe rappresenta un agente identificato nel modello concettuale. Per poter tenere il modello aperto alle modifiche, è stato utilizzato un database di supporto. In questo modo ogni caratteristica del modello è parametrizzata e scalabile in base alle esigenze di simulazione. Rispetto al modello di Ferrari et al. 2023, sono state

modificate le classi del Main, Aisle, Box e Wms. Sono state aggiunte le classi relative al picking, come FlowRack, Order e PickingStation.



```

createOrder - Event
 Log to database
Action
if (allowEvents) {
    int rand_qta = 0;
    int rand_item = 0;
    int rand_linee = 0;
    int max_qta = 20;
    int min_qta = 10;
    int max_linee = 5;
    int min_linee = 1;
    int index = 0;
    LinkedHashMap<Integer, Integer> items_order = new LinkedHashMap<>();

    Random random = new Random();

    if (wms.get(0).items.size() > 0) {
        rand_linee = random.nextInt(max_linee) + min_linee;

        int id = wms.get(0).orders_received + 1;

        while (index < rand_linee) {
            rand_item = random
                .nextInt(wms.get(0).items.size());
            if (items_order.containsKey(rand_item)) {
                rand_item = random
                    .nextInt(wms.get(0).items.size());
            }
            rand_qta = random.nextInt(max_qta - min_qta + 1)
                + min_qta;
            items_order.put(rand_item, rand_qta);
            index++;
        }

        Order order_in = wms.get(0).add_orders(id,
            rand_linee);
        order_in.ordered_items.putAll(items_order);
        wms.get(0).orders_received++;
        wms.get(0).enter_order.take(order_in);
        n_order_rows.add((double) rand_linee);
    }
}

```

Figura 6.5: Create order

Allo start della simulazione viene creato il Main dove vengono inizializzate Box, Aisle e Wms. In Aisle sono create tutte le classi fisiche, insieme al Wcs. Nell'agente PickingStation vengono creati i Flow rack, mentre Order, Task, Session e Mission sono create durante la simulazione. Gli item non sono rappresentati da un classe in quanto sono identificati solamente da un id di tipo intero.

Nel Main è stata inserita una funzione che genera la creazione degli ordini, create\_order, come illustrato in Figura 6.5. La funzione, scandita da un rate denominato

order\_rate, crea un ordine con un id progressivo e linee d'ordine. Ogni linea d'ordine contiene un item, generato casualmente tra tutti gli item in inventario. L'ordine così creato viene inviato al WMS, in Figura 6.6, cervello del modello, sia nel mondo concettuale che virtuale. Al WMS viene lasciata anche l'inizializzazione degli item, il fulfillment delle box, dettaglio in Figura 6.7, e l'aggiornamento della loro disponibilità in magazzino.

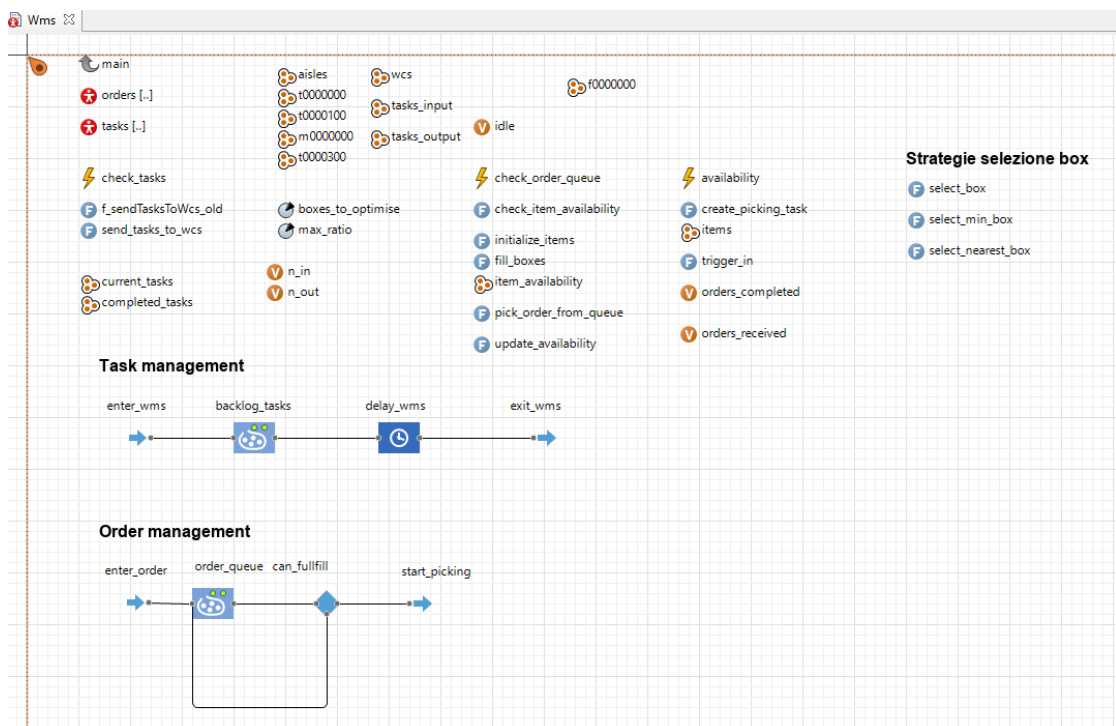


Figura 6.6: Wms

Dopo l'arrivo dell'ordine nel WMS, questo entra nel flow chart denominato 'Order management'. Lì, l'ordine viene inserito in coda nell'order\_queue per poi verificare la disponibilità in magazzino nel select output 'can\_fullfil'. Per far ciò viene richiamata la funzione 'check\_item\_availability', in Figura 6.8, che controlla nella collezione 'item\_availability' se tutti i prodotti dell'ordine sono presenti in

```
Function body

int max_box = 5;
int max_qta = 500;
int min_qta = 200;
Random random = new Random();

List<Box> box_available = new ArrayList<>();
List<Box> box_out = new ArrayList<>();

for (Box box : main_boxes) {
    if (m000000.contains(box)) {
        box_available.add(box);
    } else {
        box_out.add(box);
    }
}

// Inserisco gli items nelle box
while (main_boxes
    .findFirst(b -> b.item_in_qnt.size() == 0)!=null) {
    for (int i : items) {
        for (Box box : box_available) {
            if (box.item_in_qnt.size() == 0) {
                int box_in = random.nextInt(max_box) + 1;
                for (int index_box = 0; index_box < box_in; index_box++) {
                    int qta = random
                        .nextInt(max_qta - min_qta + 1)
                        + min_qta;
                    box.item_in_qnt.put(i, qta);
                }
            }
        }
    }
}
```

Figura 6.7: Funzione di riempimento box

magazzino nella quantità richiesta. La collezione viene aggiornata attraverso un evento ricorrente 'availability' che controlla tutte le box dentro il magazzino e aggiorna la quantità di items presenti in magazzino ogni secondo della simulazione. Nel caso in cui non sia presente disponibilità in magazzino, viene richiamata una box dall'esterno contenente l'item mancante, grazie alla funzione 'trigger\_in', in Figura 6.9.

Se il magazzino può soddisfare l'ordine viene creato un task di picking grazie alla funzione 'create\_picking\_task'. In questa funzione, le picking station presenti nel modello vengono ordinate in base agli ordini assegnati, da quella con meno ordini assegnati a quella con più ordini assegnati, in modo da evitare sovraccarichi. L'ordine viene assegnato alla prima picking station della lista, e, richiamando la funzione di selezione della box, una per ogni strategia descritta nel capitolo 7,



```

Function body
-----
Iterator iteratorItems = order.ordered_items.keySet()
    .iterator();
Iterator iteratorQnt = order.ordered_items.values()
    .iterator();
List<Integer> item_needed = null;

while (iteratorItems.hasNext()) {
    int item = (int) iteratorItems.next();
    int qnt = (int) iteratorQnt.next();

    if (item_availability.containsKey(item)) {
        int nAvailableItems = item_availability.get(item)
            .intValue();
        if (nAvailableItems < qnt) {
            trigger_in(item);
            return false;
        }
    }else{
        trigger_in(item);
        return false;
    }
}
return true;

```

Figura 6.8: Item availability

```

Function body
-----
int max_qta = 500;
int min_qta = 200;
Random random = new Random();
List<Box> box_out = new ArrayList<>(); // Inizializzo la
// lista box_out

for (Box box : main_boxes) {
    if (!m000000.contains(box)) {
        box_out.add(box);
    }
}

Box foundBox = null;

for (Box b : box_out) {
    if (b.item_in_qnt.containsKey(item_needed)) {
        foundBox = b;
        box_out.remove(foundBox);
    }
    break;
}

if (foundBox != null) {
    main aisles.get(0).input_conveyors.get(0).enter_conveyor
        .take(foundBox);
}

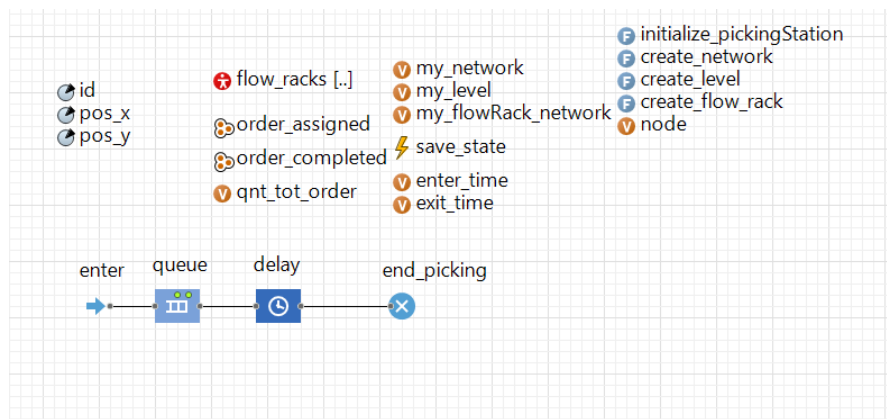
```

Figura 6.9: Trigger in

viene creata una lista di box adatte a completare l'ordine. Queste vengono poi assegnate ai flow rack della picking station scelta. L'ordine viene inviato alla picking station per la sua gestione logica, mentre per le box viene creato un task che farà

spostare il MLS fino al flow rack designato. Nell'agente MaxiShuttle, la box viene quindi inviata al flow chart all'interno dell'agente FlowRack per l'aggiornamento del contenuto e dell'avanzamento dell'ordine.

La gestione dell'ordine è effettuata nella classe PickingStation, in Figura 6.10. Qui, l'ordine entra e viene inserito nella collezione 'order\_assigned'. Successivamente, entra in coda e, non appena il delay è vuoto, viene gestito logicamente. Il delay rilascia l'ordine solo quando tutte le box hanno completato il picking sui flow rack.



**Figura 6.10:** Picking Station class

Le box arrivate nel flow rack, come mostrato in Figura 6.11, entrano nella coda con capacità massima di 3, determinata dal parametro 'n\_boxes'. Se il picker è libero, cioè il delay è vuoto, la box viene processata e viene aggiornata la quantità contenuta. Nel caso in cui la box venga svuotata completamente, viene reinserita una quantità casuale dell'item prelevato, come si può vedere nell'exit del flow rack, dettaglio in Figura 6.12. Ogni volta che una box entra in un flow rack, gli altri nella stessa picking station vengono bloccati per simulare il comportamento di un unico picker che procede con lo svuotamento di una box alla volta. Dopo che il picking è completato viene sbloccato uno dei flow rack con una box all'interno.

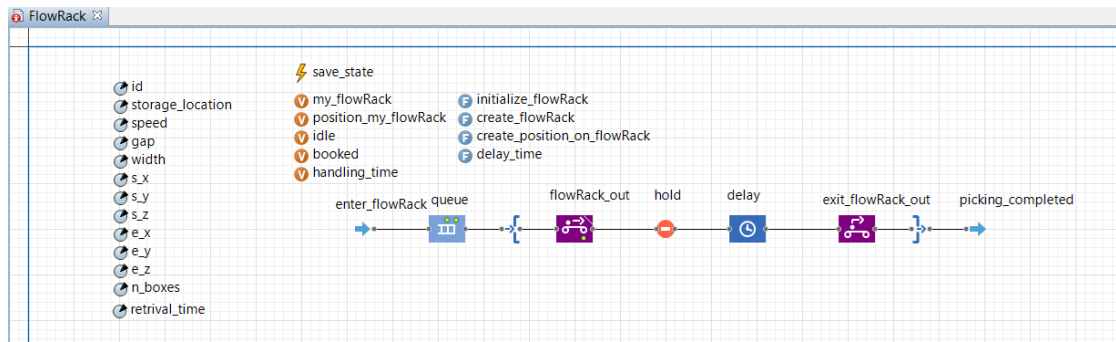


Figura 6.11: Flow Rack class

**⇒ picking\_completed - Exit**

Name:   Show name  Ignore

**Actions**

**On exit:**

```

agent.booked = false;
agent.picking_station = null;
agent.flow_rack = null;
booked = false;
agent.qnt_booked = 0;
Random random = new Random();
int max_qta = 200;
int min_qta = 10;
for (int i : agent.item_in_qnt.keySet()) {
    if (agent.item_in_qnt.get(i).intValue() == 0) {
        int qta = random.nextInt(max_qta - min_qta + 1) + min_qta;;
        agent.item_in_qnt.replace(i, 0, qta);
    }
}
aisle.input_conveyors.get(0).enter_conveyor.take(agent);
main.n_out++;
    
```

Figura 6.12: Exit picking\_completed

Nella classe Box, come illustrato in Figura 6.13, è presente la collezione 'item\_in\_qnt' nella quale, grazie a una LinkedList, sono presenti gli item contenuti nella box, con l'id come chiave e la quantità con cui sono presenti come valore. Vi è anche la variabile 'booked', nel caso in cui sia stata prenotata per un'operazione di picking, e le variabili 'picking\_station' e 'flow\_rack', nel caso in cui la box sia stata assegnata. Infine è stata prevista la creazione della classe Order, in Figura 6.14, per identificare gli ordini presenti con parametri id, numero di righe, una collezione di item ordinati e la loro quantità, gli item già inseriti nel picking, la picking station e lo status.

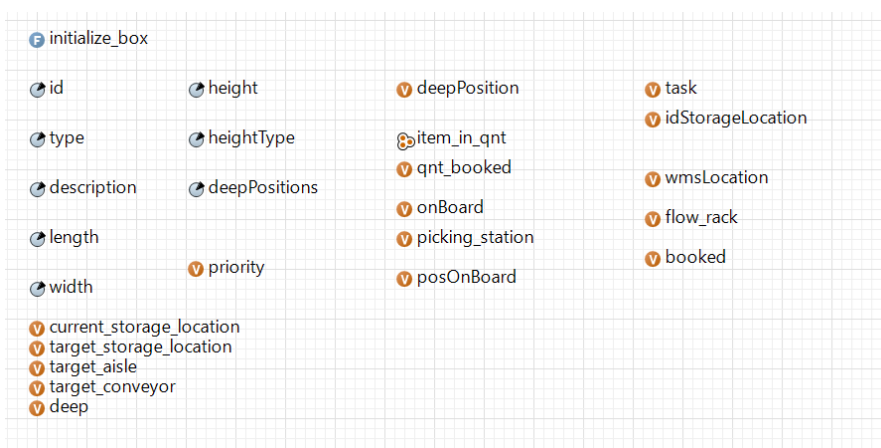


Figura 6.13: box class

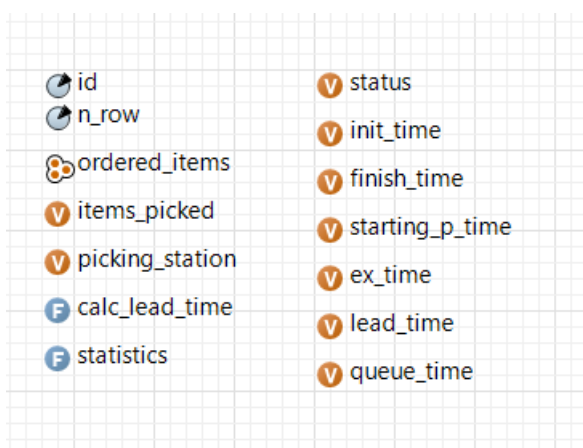


Figura 6.14: Order class

Al fine di ottenere le statistiche relative al picking, la classe Order contiene i parametri:

- 'init\_time': momento di creazione dell'ordine nel Main;
- 'finish\_time': momento in cui l'ordine viene completato;
- 'start\_p\_time': momento in cui l'ordine inizia ad essere processato dalla picking station;

- 'ex\_time': tempo di esecuzione dell'ordine, calcolato come 'finish\_time-start\_p\_time';
- 'lead\_time': tempo di completamento dell'ordine, calcolato come 'finish\_time-init\_time';
- 'queue\_time': tempo che l'ordine passa in coda, calcolato come differenza tra 'starting\_time' e 'init\_time'. Nel caso in cui l'ordine non venga processato il queue time è pari alla differenza tra il tempo di fine della simulazione e il momento di creazione dell'ordine.

## 6.4 Validazione

"Uno dei problemi più difficili che affronta un analista di simulazioni è quello di cercare di determinare se un modello di simulazione è una rappresentazione accurata del sistema effettivo in studio, ovvero se il modello è valido." (Law 2013). La validazione dei dati per una simulazione è infatti un elemento fondamentale per garantire la solidità e l'accuratezza dei risultati ottenuti. Essendo la simulazione uno strumento utilizzato per anticipare il comportamento di sistemi complessi, richiede che i dati impiegati siano affidabili e rispecchino fedelmente la realtà. È pertanto essenziale che il modello di simulazione sia alimentato con dati accurati e rappresentativi. Un modello di simulazione basato su dati validati è in grado di offrire previsioni più precise riguardo al comportamento del sistema in varie condizioni o scenari. Al contrario, l'utilizzo di dati non validati può portare a risultati distorti e decisioni errate, comportando rischi finanziari, operativi e di sicurezza rilevanti per le organizzazioni. La validazione dei dati agisce fornendo una solida base su cui basare le decisioni e che i risultati ottenuti sono affidabili e rappresentativi della realtà e soprattutto assicura che il modello sia in grado di fornire previsioni accurate e supportare decisioni informate.

Il processo di validazione del presente studio ha avuto la possibilità di essere effettuato in un ambiente reale, partendo dalla configurazione di un magazzino di eccellenza completamente automatizzato presente nel Logistics Lab, installato presso il Politecnico di Torino. Questa è "una struttura all'avanguardia dedicata allo sviluppo delle conoscenze e delle competenze logistiche. Dotato di tecnologie innovative, il laboratorio promuove il progresso delle pratiche e delle metodologie in ambito logistico.



**Figura 6.15:** Vista frontale laboratorio

Il Logistic Lab dispone di un sistema Multi-Level-Shuttle, una particolare configurazione di un sistema di stoccaggio e prelievo automatico (AS/RS), e di una flotta di due robot mobili autonomi (AMR) completamente integrati per una movimentazione efficiente dei materiali. Portali RFID assicurano la tracciabilità





**Figura 6.16:** Dettaglio picking station laboratorio

e la gestione dell'inventario, mentre un'area dedicata all'assemblaggio manuale e leggero e dotata di postazioni di lavoro ergonomiche semplifica le operazioni di montaggio da parte di operatori. L'infrastruttura informatica avanzata comprende un sistema di pianificazione delle risorse aziendali (ERP) e un sistema di gestione del magazzino (WMS). Queste tecnologie avanzate fanno del Logistics Lab un modello per le aziende che cercano di aumentare l'efficienza operativa, migliorare la gestione delle scorte e creare un ambiente di lavoro più sicuro. Inoltre, l'impegno del Laboratorio nella ricerca e nello sviluppo va oltre la semplice implementazione della tecnologia. Vengono infatti esplorate le tendenze emergenti e le migliori pratiche del settore, contribuendo al miglioramento continuo delle operazioni in ambito logistico. Ad esempio, l'implementazione di modelli di simulazione e lo sviluppo di applicazioni orientate al Digital Twin giocano un ruolo fondamentale

nello studio delle politiche di magazzino, dell'ottimizzazione del picking e della sostenibilità dei processi logistici. Il Logistics Lab ha anche il ruolo di ambiente didattico, utile per dimostrare agli studenti di ingegneria l'integrazione e l'uso di tecnologie avanzate nei processi logistici." (*Reslog web page -*)

Il modello sviluppato, come evidenziato anche nella descrizione del modello logico, rappresenta un avanzamento nella ricerca condotta dal gruppo di ricerca Reslog, facente parte del Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della produzione (DIGEP) del Politecnico di Torino. Il lavoro di ricerca ha quindi tratto vantaggio dalla disponibilità di una solida base di dati provenienti dal lavoro preesistente, anch'essi validati nello stesso laboratorio. Questi includono velocità dei conveyor, dimensioni dei vani di stoccaggio e tutti i parametri di movimentazione del MLS. In questo modo è stato possibile avere un punto di partenza affidabile sul quale basare il presente lavoro. Per validare le parti aggiuntive del presente lavoro è stata effettuata una raccolta di dati dal magazzino fisico per adattarli al modello virtuale. Sono stati misurati diversi parametri per calibrare il modello virtuale in modo da renderlo il più realistico possibile.

	Livello 0	Livello 1
h1	106,5	148,0
h0	96,5	142,0
l	150,0	129,0

**Tabella 6.2:** Dimensioni picking station

Il processo ha coinvolto una serie di misurazioni dettagliate, iniziando con la caratterizzazione fisica della picking station presente nel magazzino. Questa picking station è composta da 6 flow rack divisi in due livelli, con 3 rack per ogni livello. Le misurazioni includono la larghezza dei singoli flow rack e gli spazi tra di essi, al fine



di determinare l'ingombro totale in larghezza della picking station. Inoltre, data la differenza nelle pendenze tra i due livelli dei flow rack, sono state misurate anche le altezze iniziali e finali per calcolare l'inclinazione corretta dei rack. Il dettaglio è presente in Tabella 6.2.

Dopo aver ottenuto una panoramica sufficiente della struttura della picking station, si è proceduto con la misurazione dei tempi di discesa sui flow rack e della velocità di movimento dei rulli utilizzando le dimensioni dei flow rack stessi, come descritto in Tabella 6.3. Questo ha permesso di determinare un valore medio rappresentativo della velocità di movimento all'interno del sistema.

Prove	Tempo discesa[s]	
	Livello 0	Livello 1
1	2,39	2,22
2	2,54	2,25
3	2,20	2,84
4	1,84	2,66
5	1,96	2,60
6	2,19	2,59
7	2,71	2,31
8	2,02	2,61
9	2,23	2,34
10	1,92	2,39
Media	2,20	2,48

**Tabella 6.3:** Tempi di discesa

Inoltre, per poter determinare i tempi fissi di picking e handling del materiale, sono stati raccolti i tempi simulando in un caso il picking di 5 pezzi consecutivi, trovando poi il valore per singolo pezzo, nell'altro lo spostamento della UdC dal flow rack al conveyor su tutti i flow rack presenti. Ogni misurazione è stata registrata e analizzata per garantire la massima precisione possibile, dettaglio in Tabella

6.4 e Tabella 6.5. Nelle Tabelle sono indicati il numero di prove e tra parentesi la posizione orizzontale e verticale del flow rack scelto per la prova. Il flow rack centrale è indicato come 0, 1 il sinistro e 2 il destro. Il primo livello è lo 0 mentre quello superiore il numero 1. Dopo aver trovato i valori singoli sono state eseguite le medie su tutte le misurazioni.

Prove	Tempo picking[s] per 5 pezzi					
	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(1,0)	(1,1)	(1,2)
1	7,4	8,69	9,33	11,47	12,78	11,55
2	7,95	8,28	8,90	11,74	12,99	12,56
3	8,93	9,68	8,57	10,56	13,10	11,23
4	8,17	9,37	9,57	11,17	11,94	11,34
5	7,86	8,44	7,57	10,46	12,46	12,63
6	7,43	9,29	8,89	11,58	11,62	11,17
7	8,24	9,10	8,59	10,84	12,15	12,09
8	7,64	8,47	8,11	11,25	11,53	11,83
9	7,62	8,98	8,38	10,47	12,05	11,73
10	8,13	9,04	8,81	10,74	11,81	12,42
Media	7,94	8,98	8,66	11,00	12,21	11,88

**Tabella 6.4:** Tempi di picking

Utilizzando i dati raccolti e le misurazioni effettuate, si è passati alla calibrazione del modello virtuale, il sunto del lavoro è riportato in Tabella 6.6. Questo processo ha coinvolto l'inserimento dei parametri medi ricavati dalle misurazioni nel modello di simulazione. Le velocità sono state assegnate durante la creazione dei flow rack, con i dati inseriti tramite tabella statica nel database, come anche i tempi di picking, inseriti in una tabella statica e assegnati al delay di ogni flow rack, moltiplicando il valore temporale del picking per pezzo singolo per tutti i pezzi oggetto di picking contenuti nella UdC. Come si nota dalla Tabella 6.6, i tempi di picking sono diversi per ogni livello e posizione mentre per il tempo di spostamento della UdC si è scelto di utilizzare la media, essendo questo molto relativo ad un

Prove	Tempo spostamento UdC [s]					
	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(1,0)	(1,1)	(1,2)
1	6,39	5,94	6,86	7,14	6,19	7,20
2	7,37	5,63	7,55	6,78	5,80	6,78
3	6,88	5,96	6,25	7,17	5,8	7,84
4	6,48	5,23	6,65	5,41	5,42	7,36
5	6,04	4,60	5,84	5,47	4,39	6,47
6	6,16	4,96	5,86	5,59	5,27	6,71
7	5,32	5,11	6,11	6,16	4,84	6,35
8	4,95	5,17	6,28	5,96	4,86	6,49
9	5,46	4,11	5,76	6,06	5,13	6,41
10	4,33	4,38	5,67	5,32	5,24	6,55
Media	5,94	5,11	6,28	6,12	5,29	6,82

**Tabella 6.5:** Tempi di handling

singolo movimento della UdC.

Parametri	Valori	Unità di misura
Velocità flow rack	60.75	cm/s
Tempo picking	1.59 – (0,0)	s
	1.76 – (0,1)/(0,2)	
	2.21 – (1,0)	
	2.41 – (1,1)/(1,2)	
Tempo spostamento UdC	5.92	s

**Tabella 6.6:** Parametri per calibrazione modello

L'integrazione dei dati misurati e calibrati ha conferito al modello di simulazione un alto grado di realismo. Questo metodo ha costituito una base solida su cui basare le conclusioni, apportando un significativo contributo alla validità e all'affidabilità dei risultati della ricerca. Il vantaggio di ottenere direttamente le misurazioni dal Logistic Lab ha facilitato un flusso di lavoro diretto e ha reso i dati facilmente accessibili e analizzabili.

## Capitolo 7

# Strategie di asservimento

È stato impostato un piano di simulazione con diversi scenari, ciascuno corrispondente a una delle strategie identificate per la selezione delle UdC. Questa metodologia consente di confrontare le strategie e determinare quale ottimizzi al meglio il processo di picking. La selezione delle UdC è stata individuata come una fase cruciale per l'ottimizzazione poiché, nel picking con operatore umano, rappresenta uno dei punti in cui è possibile apportare miglioramenti. Questo è particolarmente rilevante considerando che non è possibile influenzare né la velocità del lavoratore né il tempo di spostamento delle scatole sui flow rack.

Le strategie per il picking delle UdC sono:

- Random
- MinBox
- Zone

La prima descrive una scelta casuale delle UdC selezionate per il picking, usata da baseline per comprendere se le ottimizzazioni hanno ragione d'essere. Le altre due strategie di ottimizzazione sono state elaborate per consentire di non appesantire

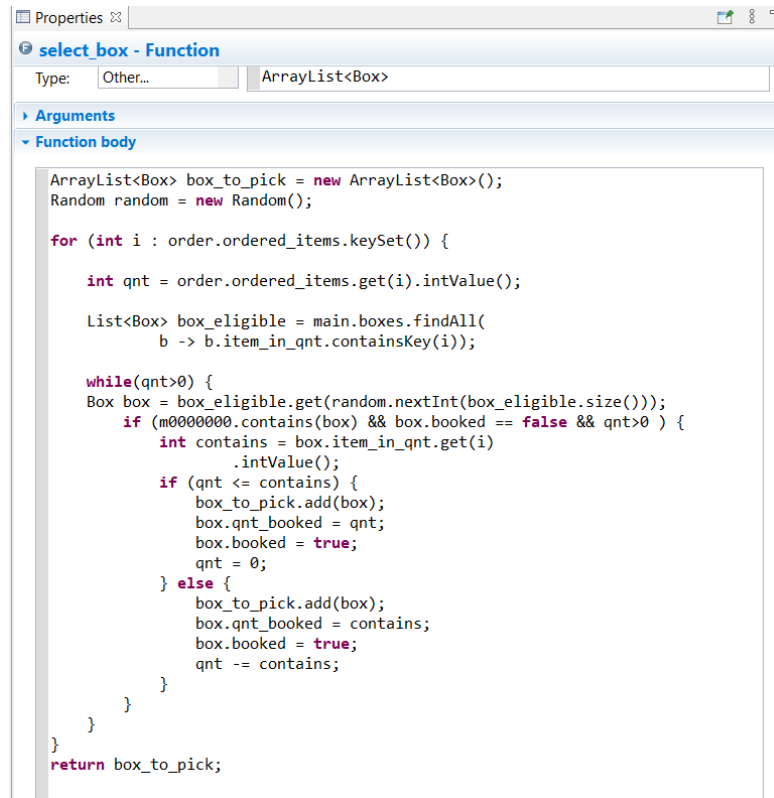
la macchina e le picking station, una grazie alla scelta del minor numero di UdC possibili mentre la seconda mantenendo la macchina il più vicino possibile alle picking station.

Il processo di picking ha inizio quando un ordine giunge al WMS. In questo momento, l'agente logico verifica la disponibilità dei prodotti all'interno del magazzino e, nel caso in cui non siano disponibili, inserisce l'ordine in attesa. Se invece i prodotti richiesti sono presenti in magazzino, il WMS assegna l'ordine a una stazione di picking disponibile. Successivamente, vengono selezionate le UdC adatte per completare l'ordine e queste vengono indirizzate ai flow rack liberi associati alla stazione di picking precedentemente designata. La selezione dei flow rack avviene in modo sequenziale, utilizzando un attributo booleano della classe flow rack che indica se sono prenotati o meno e non consentendo l'iterazione su quelli prenotati.

La letteratura sull'argomento risulta abbastanza scarna, consentendo spazio per lo sviluppo e la ricerca riguardo l'ottimizzazione attraverso diverse strategie considerando sia il contenuto delle UdC che la loro posizione. Per la descrizione degli algoritmi delle tre strategie viene utilizzata la seguente notazione:

<i>o</i>	Ordine	<i>p</i>	Prodotto
<i>OL</i>	Linee d'ordine	<i>ol</i>	Linea d'ordine
<i>ul</i>	Unità di carico	<i>UL</i>	Lista di unità di carico
<i>R</i>	Lista di ratio	<i>SL</i>	Lista di storage locations
<i>sl</i>	Storage location	<i>ps</i>	Picking station
<i>t</i>	Livello	<i>c</i>	Colonna
<i>MT</i>	Matrice del tempo di spostamento	<i>time</i>	Tempo di spostamento
<i>T</i>	Lista di tempi di spostamento	<i>qnt</i>	Quantità del prodotto

## 7.1 Strategia Random

The image shows a screenshot of the Anylogic IDE's Properties window for a function named 'select\_box'. The window title is 'select\_box - Function'. Below the title, there is a 'Type' field set to 'ArrayList<Box>'. Underneath, there are sections for 'Arguments' and 'Function body'. The 'Function body' section is expanded, showing the following code:

```
ArrayList<Box> box_to_pick = new ArrayList<Box>();
Random random = new Random();

for (int i : order.ordered_items.keySet()) {

    int qnt = order.ordered_items.get(i).intValue();

    List<Box> box_eligible = main_boxes.findAll(
        b -> b.item_in_qnt.containsKey(i));

    while(qnt>0) {
        Box box = box_eligible.get(random.nextInt(box_eligible.size()));
        if (m0000000.contains(box) && box.booked == false && qnt>0) {
            int contains = box.item_in_qnt.get(i)
                .intValue();
            if (qnt <= contains) {
                box_to_pick.add(box);
                box.qnt_booked = qnt;
                box.booked = true;
                qnt = 0;
            } else {
                box_to_pick.add(box);
                box.qnt_booked = contains;
                box.booked = true;
                qnt -= contains;
            }
        }
    }
}
return box_to_pick;
```

Figura 7.1: Funzione strategia Random su Anylogic

Le UdC, in fase di creazione del task di picking, vengono selezionate in maniera casuale. Viene creata una lista di UdC contenenti l'item dell'ordine, presenti in magazzino, per poi selezionare casualmente una UdC che può soddisfare la richiesta di prodotto dell'ordine, anche parzialmente. Si reitera poi sulle UdC contenenti il prodotto. Questo procedimento viene eseguito su le righe che compongono l'ordine fino al suo completamento, vedi Algoritmo 1. In Figura 7.1 è presente il codice Anylogic implementato.

---

**Algorithm 1** Strategia di picking Random

---

**Require:**  $OL_o$

**Ensure:**  $UL_{selected}$

```
1: for  $ol \in OL_o$  do
2:    $p \leftarrow p_{ol}$ 
3:    $UL_p \leftarrow \{ul \in UL_{stored} \mid p_{ul} = p\}$ 
4:   while  $qnt_{ol} \geq 0$  do
5:      $ul \leftarrow \text{Random}(UL_p)$ 
6:      $qnt_{ol} \leftarrow qnt_{ol} - qnt_{ul}$ 
7:      $UL_{set} \leftarrow UL_{set} \cup \{ul\}$ 
8:      $UL_p \leftarrow UL_p \setminus \{ul\}$ 
9:   end while
10: end for
```

---

## 7.2 Strategia MinBox

```

select_min_box - Function
}
ArrayList<Box> box_to_pick = new ArrayList<Box>();
for (int i : order.ordered_items.keySet()) {
    int qnt = order.ordered_items.get(i).intValue();
    List<Box> box_in = main_boxes
        .findAll(b -> b.item_in_qnt.containsKey(i));
    List<Box> box_eligible = new ArrayList<>();
    for (Box box : box_in) {
        if (m0000000.contains(box)) {
            box_eligible.add(box);
        }
    }
    box_eligible.sort(new BoxComparator(i, qnt));
    for (Box box : box_eligible) {
        if (m0000000.contains(box) && box.booked == false
            && qnt > 0) {
            int contains = box.item_in_qnt.get(i)
                .intValue();
            if (qnt <= contains) {
                box_to_pick.add(box);
                box.qnt_booked = qnt;
                box.booked = true;
                qnt = 0;
            } else {
                box_to_pick.add(box);
                box.qnt_booked = contains;
                box.booked = true;
                qnt -= contains;
            }
        }
    }
}
return box_to_pick;

```

**Figura 7.2:** Funzione strategia MinBox su Anylogic

Le UdC vengono selezionate scegliendo sempre il minimo numero possibile di UdC prelevate. Questo è possibile ordinando la lista di UdC che contengano l'item in maniera discendente in base al rapporto tra quantità contenuta nella UdC e la quantità richiesta dall'ordine, come nell'Algoritmo 2. Questo permette il soddisfacimento utilizzando solo una UdC, nel caso di rapporto maggiore o uguale a uno. Le UdC vengono poi selezionate sequenzialmente dalla lista ordinata. In



Figura 7.2 è presente il codice relativo alla scelta delle UdC da selezionare, questo viene utilizzato a seguito dell'ordinamento delle UdC con un comparatore.

---

**Algorithm 2** Strategia di picking MinBox

---

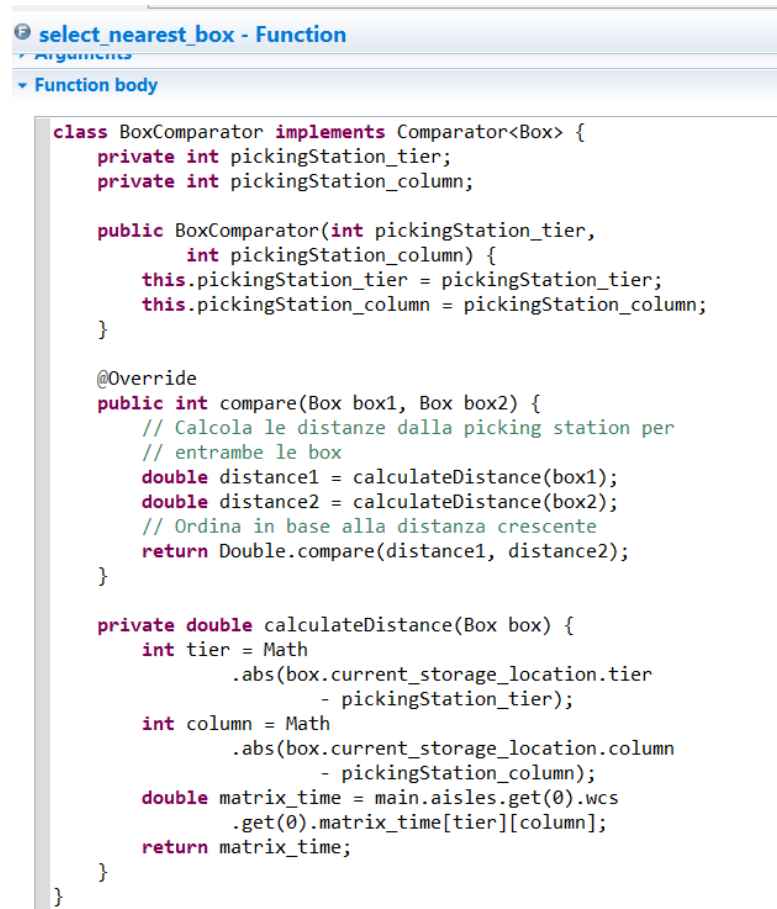
**Require:**  $OL_o$   
**Ensure:**  $UL_{selected}$

- 1: **for**  $ol \in OL_o$  **do**
- 2:      $p \leftarrow p_{ol}$
- 3:      $UL_p \leftarrow \{ul \in UL_{stored} \mid p_{ul} = p_{ol}\}$
- 4:      $R \leftarrow \emptyset$
- 5:     **for**  $ul \in UL_p$  **do**
- 6:          $ratio_{ul} \leftarrow qnt_{ul}/qnt_{ol}$
- 7:          $R \leftarrow R \cup \{ratio_{ul}\}$
- 8:     **end for**
- 9:      $UL_p \leftarrow \text{SortDesc}(UL_p \mid R)$
- 10:    **while**  $qnt_{ol} \geq 0$  **do**
- 11:        $ul \leftarrow UL_p[0]$
- 12:        $qnt_{ol} \leftarrow qnt_{ol} - qnt_{ul}$
- 13:        $UL_{set} \leftarrow UL_{set} \cup \{ul\}$
- 14:        $UL_p \leftarrow UL_p \setminus \{ul\}$
- 15:    **end while**
- 16: **end for**

---

### 7.3 Strategia Zone

Questa strategia punta a privilegiare la selezione delle UdC più vicine alla picking station. Per raggiungere tale obiettivo, si procede selezionando una lista di UdC contenenti l'articolo dell'ordine, presenti nel magazzino, e ordinandola attraverso l'utilizzo di una matrice degli spostamenti. Questa matrice bidimensionale viene inizializzata al momento dell'avvio della simulazione. Le colonne della matrice rappresentano gli spostamenti di livello del magazzino, mentre le righe indicano gli spostamenti in termini di colonne. Nell'incrocio si trova il valore temporale dello spostamento di x colonne e y livelli. Calcolando quindi la differenza tra la colonna e il livello della storage location della UdC rispetto al flow rack centrale



```
class BoxComparator implements Comparator<Box> {
    private int pickingStation_tier;
    private int pickingStation_column;

    public BoxComparator(int pickingStation_tier,
        int pickingStation_column) {
        this.pickingStation_tier = pickingStation_tier;
        this.pickingStation_column = pickingStation_column;
    }

    @Override
    public int compare(Box box1, Box box2) {
        // Calcola le distanze dalla picking station per
        // entrambe le box
        double distance1 = calculateDistance(box1);
        double distance2 = calculateDistance(box2);
        // Ordina in base alla distanza crescente
        return Double.compare(distance1, distance2);
    }

    private double calculateDistance(Box box) {
        int tier = Math
            .abs(box.current_storage_location.tier
                - pickingStation_tier);
        int column = Math
            .abs(box.current_storage_location.column
                - pickingStation_column);
        double matrix_time = main aisles.get(0).wcs
            .get(0).matrix_time[tier][column];
        return matrix_time;
    }
}
```

Figura 7.3: Funzione comparatore strategia Zone su Anylogic

inferiore della picking station selezionata, è possibile ordinare in modo ascendente le UdC in base a questo valore, come mostrato nell'algoritmo 3. Successivamente, le UdC vengono selezionate sequenzialmente dalla lista ordinata, seguendo l'ordine stabilito dalla matrice degli spostamenti. In Figura 7.3 è presente il codice Anylogic implementato per la parte di ordinamento delle UdC mentre in Figura 7.4 il codice relativo alla scelta delle UdC da selezionare.

---

**Algorithm 3** Strategia di picking Zone

---

**Require:**  $OL_o$

**Ensure:**  $UL_{selected}$

```

1: for  $ol \in OL_o$  do
2:    $p \leftarrow p_{ol}$ 
3:    $UL_p \leftarrow \{ul \in UL_{stored} \mid p_{ul} = p\}$ 
4:   for  $ul \in UL_p$  do
5:      $sl \leftarrow \{sl \in SL \mid ul \in UL_{sl}\}$ 
6:      $time \leftarrow MT[|t_{ps} - t_{sl}|][|c_{ps} - c_{sl}|]$ 
7:      $T \leftarrow T \cup \{time\}$ 
8:   end for
9:    $UL_p \leftarrow \text{SortAsc}(UL_p \mid T)$ 
10:  while  $qnt_{ol} \geq 0$  do
11:     $ul \leftarrow UL_p[0]$ 
12:     $qnt_{ol} \leftarrow qnt_{ol} - qnt_{ul}$ 
13:     $UL_{set} \leftarrow UL_{set} \cup \{ul\}$ 
14:     $UL_p \leftarrow UL_p \setminus \{ul\}$ 
15:  end while
16: end for

```

---

```

select_nearest_box - Function
ArrayList<Box> box_to_pick = new ArrayList<Box>();
for (int i : order.ordered_items.keySet()) {
    int qnt = order.ordered_items.get(i).intValue();
    List<Box> box_in = main.bboxes
        .findAll(b -> b.item_in_qnt.containsKey(i));
    List<Box> box_eligible = new ArrayList<>();

    for (Box box : box_in) {
        if (m0000000.contains(box)) {
            box_eligible.add(box);
        }
    }

    int pickingStation_tier = order.picking_station.flow_racks
        .get(1).storage_location.tier;
    int pickingStation_column = order.picking_station.flow_racks
        .get(1).storage_location.column;

    box_eligible.sort(new BoxComparator(pickingStation_tier,
        pickingStation_column));

    for (Box box : box_eligible) {
        if (m0000000.contains(box) && box.booked == false
            && qnt > 0) {
            int contains = box.item_in_qnt.get(i)
                .intValue();
            if (qnt <= contains) {
                box_to_pick.add(box);
                box.qnt_booked = qnt;
                box.booked = true;
                qnt = 0;
            } else {
                box_to_pick.add(box);
                box.qnt_booked = contains;
                box.booked = true;
                qnt -= contains;
            }
        }
    }
}
return box_to_pick;

```

Figura 7.4: Funzione strategia Zone su Anylogic

## 7.4 Integrazione nel modello

Nel contesto del modello, le strategie identificate, ovvero Random, MinBox e Zone, sono state integrate attraverso l'implementazione di tre diverse funzioni. Queste funzioni consentono al modello di adattare il proprio comportamento in base alla strategia selezionata. Per selezionare una specifica strategia, è stato introdotto un parametro denominato 'strategy', presente nel Main. Questo parametro può assumere valori interi compresi tra 1 e 3, dove il valore 1 rappresenta la strategia

Random, il valore 2 rappresenta la strategia MinBox e il valore 3 rappresenta la strategia Zone. La parametrizzazione offre un alto grado di flessibilità e adattabilità al modello, consentendo di personalizzare il comportamento del modello in base alle loro esigenze specifiche. La separazione delle strategie in funzioni distinte e l'utilizzo di un parametro dedicato per selezionarle semplificano notevolmente il processo di confronto tra diverse combinazioni di strategie. Questo approccio facilita anche la manutenzione e l'estensione del modello nel tempo, poiché le strategie possono essere aggiornate o modificate senza dover rivedere l'intera struttura del programma. Questa soluzione aumenta la versatilità della simulazione, consentendo di esplorare una gamma più ampia di scenari e di ottenere una migliore comprensione dei risultati ottenuti attraverso simulazioni e analisi.

## Capitolo 8

# Progettazione degli esperimenti

Secondo Law 2013, per comprendere il funzionamento di un sistema complesso, è spesso necessario fare ipotesi sul suo funzionamento, creando un modello che rappresenti tali relazioni. Se le relazioni sono sufficientemente semplici, è possibile utilizzare metodi matematici per ottenere informazioni esatte, ma la maggior parte dei sistemi reali è troppo complessa per permettere una valutazione analitica, richiedendo quindi l'utilizzo della simulazione. La simulazione a eventi discreti si concentra sulla modellazione di un sistema nel tempo, in cui le variabili di stato cambiano istantaneamente in punti discreti nel tempo. Gli eventi discreti rappresentano cambiamenti significativi nel sistema, come arrivi, partenze, guasti, e altro ancora. Il sistema è definito dal suo "stato", rappresentante le variabili che definiscono la condizione del sistema in un dato momento. La simulazione procede passo dopo passo, avanzando da un evento discreto al successivo, tenendo traccia del tempo simulato e determinando quando si verificheranno gli eventi successivi.

Nel contesto di questo studio, è stata scelta la simulazione a eventi discreti per il modello preso in considerazione, poiché offre la flessibilità di rappresentare dinamiche complesse nel tempo. AnyLogic è stato selezionato come strumento software per la simulazione, offrendo la possibilità di sfruttare costrutti preimpostati e la programmazione in diversi linguaggi. La simulazione DES utilizzata è di tipo FHS, in cui si analizzano eventi e dinamiche del sistema durante un periodo di tempo limitato. Prima di eseguire la simulazione, è necessario creare un modello del sistema con input appropriati. La simulazione viene quindi eseguita per il periodo di tempo specificato, in particolare simulando un turno di lavoro dalle 9:00 alle 17:00, consentendo l'analisi del comportamento del sistema in condizioni controllate.

## 8.1 Assunzioni sul modello

All'avvio della simulazione, vengono generati casualmente 200 prodotti, ciascuno identificato da un codice sequenziale univoco. La politica di stoccaggio è casuale, quindi le posizioni delle cassette variano ad ogni simulazione, con configurazioni diverse e capacità fissate. Le UdC vengono riposizionate dal MLS secondo la strategia nearest-neighbour, il replenishment delle UdC è istantaneo. Gli ordini

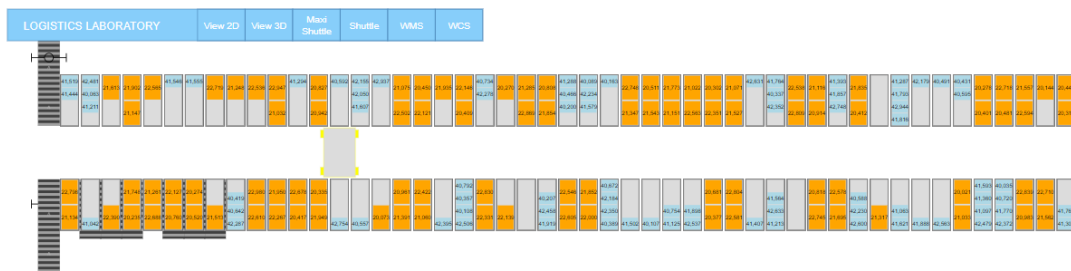
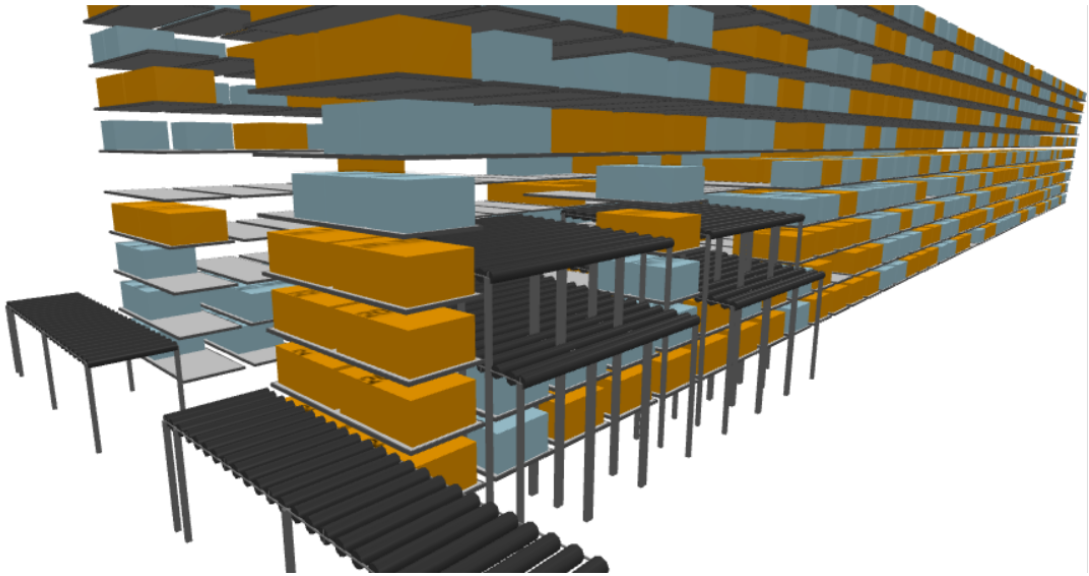


Figura 8.1: Vista 2D magazzino

vengono creati con un tasso orario casuale, assegnando un identificativo sequenziale



**Figura 8.2:** Vista 3D picking station

e un numero di righe d'ordine compreso tra 1 e 5. Per ogni riga d'ordine è associato un articolo, prelevato dall'inventario iniziale, con una quantità variabile da 10 a 100. La domanda è uniforme tra i prodotti.

La creazione degli ordini segue una distribuzione di Poisson con parametro lambda pari a 1 diviso per il tasso d'ordine. Alla conclusione del processo di picking, ciascuna cassetta utilizzata viene reinserita nel magazzino. Nel caso in cui la cassetta contenga ancora una quantità residua dell'articolo, viene reimessa con il contenuto rimanente. In caso contrario, viene riempita con una quantità variabile da 10 a 200 dello stesso articolo che conteneva.

## 8.2 Piano di simulazioni

Al fine di utilizzare il modello, è stato elaborato un piano di esperimenti che include parametri in ingresso. Durante le simulazioni, sono stati monitorati quattro



parametri chiave: la capacità iniziale di stoccaggio utilizzata, il tasso di ordini, la strategia di picking e il numero di picking station presenti. Il primo parametro indica la percentuale di occupazione iniziale del rack durante la simulazione ed è stato fatto variare tra 50%, una configurazione con presenza di UdC ma che lascia la macchina libera, 65%, che consente alla macchina di riposizionare le UdC liberamente mentre l'ultimo parametro, 80% di riempimento, mette in difficoltà la macchina con il riposizionamento delle UdC ma permette di avere più disponibilità di prodotto. Il secondo rappresenta la media degli ordini che possono essere elaborati in un'ora lavorativa ed è stato scelto in modo variare gli utilizzi del MLS, partendo dal 60% fino a saturazione. Il terzo corrisponde alla codifica della strategia di picking, può assumere valori interi compresi tra 1 e 3: 1 per la strategia Random, 2 per la strategia MinBox e 3 per la strategia Zone. Il quarto parametro rappresenta il numero di picking station utilizzate, partendo dalla configurazione del laboratorio reale fino a raddoppiarla. I parametri in input sono indicati in Tabella 8.1. Le simulazioni sono state condotte variando un parametro alla volta, generando così un totale di 81 combinazioni. Ciascuna combinazione è stata simulata per un periodo corrispondente a un turno di 8 ore, dalle 9:00 AM alle 5:00 PM, al fine di riflettere un contesto operativo realistico.

Parameter	Type	Min	Max	Step
start capacity	Range	0.5	0.8	0.15
order rate	Range	30	50	10
strategy	Range	1	3	1
picking station	Range	2	4	1

**Tabella 8.1:** Input

## **8.3 KPI**

Diversi indicatori chiave di performance sono stati attentamente monitorati durante l'analisi del sistema. Questi sono stati scelti per monitorare tutti i processi relativi al picking e consentire una comparazione tra i parametri scelti. "Una metrica dovrebbe essere verificabile, cioè dovrebbe essere basata su un insieme concordato di dati e su un processo ben compreso e ben documentato per convertire questi dati nella misura" (Melnyk et al. 2004). Questo è il principio che ha guidato la scelta dei KPI selezionati, i quali risultano essere misurabili attraverso numeri precisi e che coprono tutta la durata della simulazione, consentendo una mappatura del processo completa e precisa. Sono stati selezionati misurazioni relative a ogni processo mappato quali picking, sia dal lato della PS che del picker, processo di ordine, utilizzo del magazzino, utilizzo del MLS, e processi di input e output.

L'utilizzazione della stazione di picking (PSU) riveste un ruolo cruciale, in quanto misura il rapporto tra il tempo in cui la stazione di picking ha un ordine assegnato e il suo tempo totale disponibile. Questo KPI offre un'analisi approfondita dell'efficienza operativa, fornendo una visione dettagliata su quanto il tempo della stazione di picking sia effettivamente utilizzato nel processo complessivo.

Il Tempo di esecuzione dell'ordine (OET) è un indicatore critico che quantifica il tempo trascorso dall'inizio di un ordine al suo completamento effettivo. Rappresenta il tempo in cui le UdC prelevate per soddisfare l'ordine stanziano sui flow rack.

Il Tempo di elaborazione dell'ordine (OLT) si misura il tempo totale medio richiesto per completare un singolo ordine. Questo indicatore offre una visione completa della capacità del sistema nel soddisfare le richieste dei clienti, integrando efficacemente tutte le fasi coinvolte nel processo di elaborazione degli ordini, in quanto

viene calcolato partendo dalla creazione dell'ordine fino ad arrivare alla sua evasione.

Il Tempo di coda dell'ordine (OQT) valuta quanto tempo gli ordini rimangono in attesa nella coda prima di essere elaborati. Viene calcolato come differenza tra OLT e OET se l'ordine viene eseguito mentre come differenza tra il momento di fine della simulazione e la creazione dell'ordine nel caso in cui non venga eseguito.

Gli Ordini per ora (OPH) e le Linee di ordine per ora (OLPH) completano il quadro, misurando rispettivamente il numero complessivo di ordini elaborati e il numero delle linee di ordine in un periodo di un'ora. Questi KPI forniscono una prospettiva sulle prestazioni a livello temporale, offrendo un'analisi dettagliata della capacità del sistema di gestire un carico di lavoro più elevato mantenendo elevati standard di efficienza.

Inoltre sono state registrate le informazioni su:

- capacità iniziale
- utilizzo del MLS
- tempi per sessione, missione e i rispettivi valori di consumo energetico
- throughput in entrata ed in uscita
- tempo ciclo
- utilizzo del picker

## 8.4 Risultati e discussione

### 8.4.1 Analisi per configurazioni

Durante il confronto delle stazioni di picking, sono stati valutati i KPI relativi all'utilizzo del MLS e delle stazioni di picking. Il tasso di ordine è stato regolato in intervalli di 15, 20 e 25 ordini all'ora poiché, dopo diversi tentativi, si è constatato che questo era il tasso di ordine gestibile dal MLS, con un utilizzo minimo del 70% per il tasso di ordine più basso, aumentando gradualmente fino a raggiungere l'utilizzo massimo con 25 ordini all'ora. Dopo aver stabilito l'input degli ordini variando le configurazioni delle stazioni di picking, si è osservato che con 2 stazioni di picking, gli ordini rimanevano in coda per periodi prolungati, saturando la disponibilità delle stazioni di picking; le uniche prestazioni accettabili sono state raggiunte con tassi di ordine bassi. Per questo motivo la configurazione non è stata analizzata ulteriormente. Per 3 stazioni di picking, gli ordini sono stati elaborati, ma con una perdita di efficienza significativa a tassi di ordine più alti su tutte le capacità; tuttavia, l'utilizzo delle stazioni di picking sembra essere più equilibrato, variando da un minimo del 30% fino alla saturazione. Con 4 stazioni di picking, le prestazioni sono migliorate (17,05 OPH rispetto a 15,60 OPH con 3 stazioni di picking), ma le stazioni di picking hanno raggiunto un utilizzo massimo del 69%.

Per analizzare le performance su una stessa configurazione sono stati adoperati KPI come l'utilizzo del MLS, PSU, OET, OQT e OPH. L'analisi si è concentrata inoltre sul confronto degli stessi parametri in input, clusterizzando i risultati per le 3 diverse strategie: Random, indicata nelle Tabelle 8.3 e 8.7 come 1, MinBox, indicata come 2 e Zone, indicata come 3.

### 8.4.2 Configurazione con 3 PS

La preferenza per la configurazione con 3 stazioni di prelievo è giustificata dall'utilizzo più bilanciato delle PS. Questa scelta mira a investigare il comportamento del sistema in condizioni di utilizzo massimo, sia per le stazioni di prelievo che per il MLS. Confrontando le strategie Random e MinBox emerge che, a basse

Strategy/KPI	start_capacity	ms_ut	throughput_in	throughput_out	strategy	ps_ut	flow_rack_ut	order_rate	order_execution_time_avg	order_queue_time	order_completed/hour	avg_order_lines
1	0.50	0.70	43	43	1	0.47	0.13	15	219.04	12.85	14.55	2.76
	0.65	0.76	46	46	1	0.40	0.15	15	207.68	15.95	15.01	2.65
	0.80	0.71	42	42	1	0.56	0.12	15	236.94	85.77	12.67	2.96
	0.50	0.88	56	59	1	0.72	0.18	20	240.57	167.13	16.50	2.90
	0.65	0.84	49	52	1	0.75	0.16	20	217.20	122.58	17.99	2.75
	0.80	0.85	49	51	1	0.74	0.18	20	202.00	120.25	17.00	2.50
	0.50	0.96	65	69	1	0.91	0.21	25	267.90	73.99	20.00	3.13
	0.65	0.91	34	44	1	0.97	0.16	25	225.06	549.95	11.00	2.74
0.80	0.92	42	65	1	0.95	0.20	25	236.22	1305.81	10.00	2.81	
2	0.50	0.70	48	48	2	0.31	0.14	15	224.08	3.19	16.50	2.88
	0.65	0.63	48	49	2	0.26	0.15	15	235.27	3.04	15.33	2.98
	0.80	0.67	42	44	2	0.62	0.11	15	240.28	43.64	13.69	3.12
	0.50	0.86	52	55	2	0.59	0.16	20	214.46	60.25	19.50	2.65
	0.65	0.80	51	51	2	0.65	0.15	20	257.72	26.98	18.50	3.44
	0.80	0.82	52	56	2	0.62	0.17	20	206.67	25.61	19.67	2.63
	0.50	0.99	50	60	2	0.90	0.21	25	236.42	184.58	17.50	3.14
	0.65	0.98	43	56	2	0.91	0.20	25	275.19	492.11	12.67	3.18
0.80	0.96	39	46	2	0.95	0.23	25	260.57	940.61	13.26	3.00	
3	0.50	0.72	45	45	3	0.39	0.14	15	221.78	28.24	14.33	2.80
	0.65	0.65	32	33	3	0.38	0.10	15	211.02	3.90	13.33	2.70
	0.80	0.75	41	42	3	0.36	0.13	15	215.21	54.80	14.33	2.65
	0.50	0.84	53	53	3	0.57	0.19	20	235.18	108.82	17.33	3.00
	0.65	0.89	56	58	3	0.69	0.19	20	222.91	84.03	19.00	2.88
	0.80	0.85	58	59	3	0.93	0.18	20	221.31	161.21	16.33	2.95
	0.50	0.98	40	47	3	0.95	0.21	25	243.85	852.81	12.00	3.15
	0.65	0.89	57	60	3	0.94	0.19	25	235.18	108.82	19.00	3.00
0.80	0.96	32	47	3	0.95	0.24	25	257.28	330.03	14.33	3.11	

Figura 8.3: Risultati con 3 picking station

capacità, le due soluzioni hanno dato risultati abbastanza simili, 17,02 ordini/ora per la soluzione Random mentre 17,83 ordini/ora per la MinBox. Per capacità intermedie, la strategia MinBox garantisce un maggior numero di ordini all'ora grazie all'utilizzo più basso del MLS (0,84 vs 0,8) e con OQT minori, con una media 15.50 ordini di rispetto ai 14.67 ordini della Random. A capacità elevate e con elevati tassi di ordine, la strategia casuale mostra un'inefficienza marcata con un minor numero di linee d'ordine completate, mentre MinBox riesce a completare gli ordini con un tempo di coda inferiore, seppure soffrendo i parametri estremi in input. Nel confronto tra le strategie Random e Zone, i tempi di attesa in

coda sono molto simili in media, leggermente superiori nella Random. Tuttavia, la strategia Zone, ottimizzando la posizione delle UdC anziché la loro quantità, ha un throughput maggiore sia in ingresso che in uscita. Nonostante ciò, grazie agli spostamenti minori del MLS, gli ordini completati in uscita sono 15.56 ordini contro i 14.97 ordini della Random. Per capacità medie e elevate, la strategia Zone si comporta meglio, mostrando un valore di output superiore per gli ordini grazie a tempi di attesa in coda inferiori. Infine, nel confronto tra le strategie MinBox e Zone, a basse capacità, la strategia MinBox ottiene le migliori prestazioni, producendo in media 16.29 ordini/ora rispetto ai 15.56 della strategia Zone. Le utilizzazioni delle macchine sono molto simili tra le due strategie. MinBox funziona molto bene con tassi di ordine medi, riuscendo a completare tutti gli ordini in ingresso. Per capacità medie, le due strategie si comportano in maniera molto simile riguardo agli ordini completati per ora, mentre i tempi sono migliori per la strategia MinBox. Per capacità elevate, le prestazioni sono molto simili sia per i tempi che per l'output (15,54 ordini/ora per MinBox mentre 15 ordini/ora per Zone), con una coda leggermente inferiore per la strategia Zone. Confrontando i tassi di ordine, per valori bassi, la strategia MinBox è migliore in termini di tempo di attesa in coda degli ordini, mentre entrambe le strategie risultano efficienti nel completare gli ordini in ingresso. Per tassi di ordine medi la strategia MinBox dà il suo massimo con tempi in coda bassi e OPH maggiori rispetto a Zone. Per tassi di ordine elevati, la strategia Zone ottiene migliori prestazioni con 15.11 ordini completati per ora rispetto ai 14.47 della MinBox, a causa di un'inefficienza in coda per alte capacità della MinBox.



Figura 8.4: Orders per hour 3PS

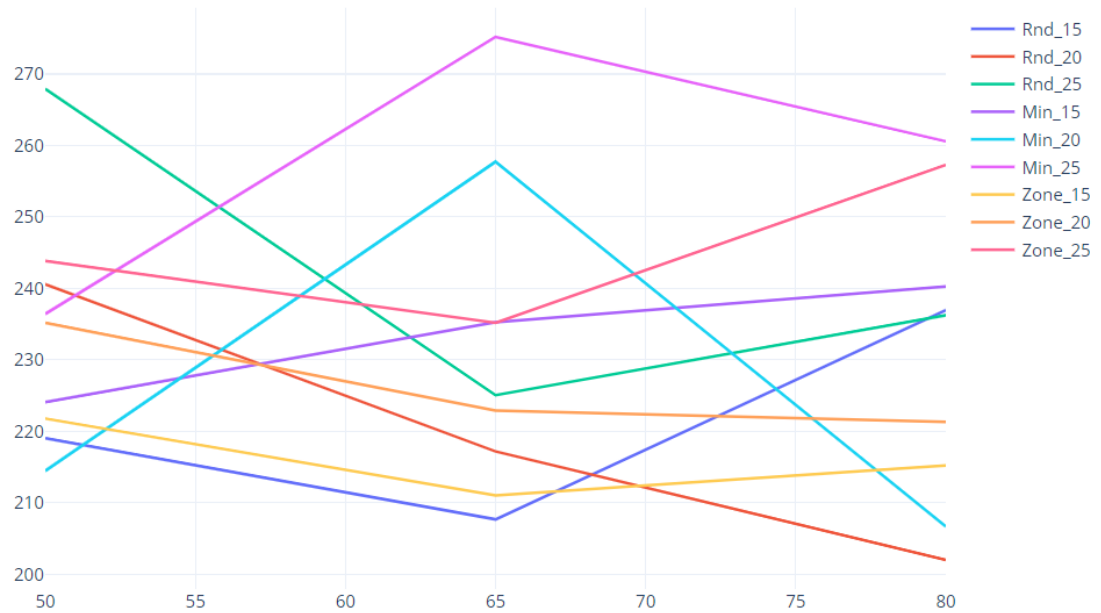


Figura 8.5: Order execution time 3PS

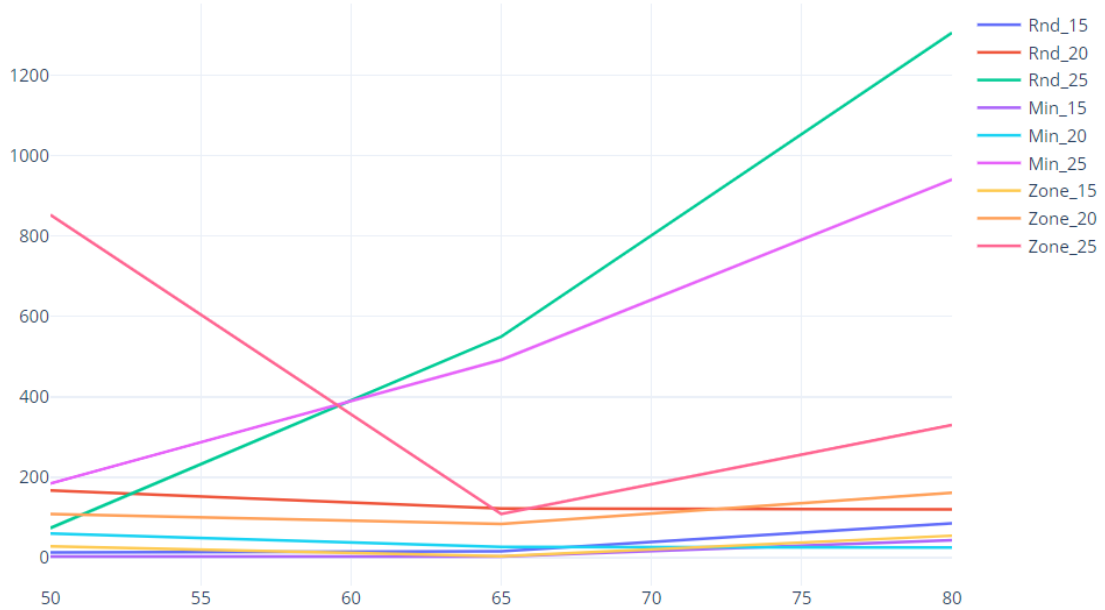


Figura 8.6: Order queue time 3PS

### 8.4.3 Configurazione con 4 PS

Dopo aver analizzato la configurazione con 3 PS si nota però una forte inefficienza con tasso d'ordine pari a 25. Considerato che il focus del presente studio è l'implementazione delle strategie di picking, è stata selezionata la configurazione con 4 stazioni di picking per privilegiare la disponibilità delle stazioni per l'accettazione e il completamento degli ordini. Questo approccio mira ad esaminare il comportamento del sistema in base a diverse strategie senza essere ostacolato dal raggiungimento della saturazione delle stazioni di picking e dalle inefficienze risultanti dall'utilizzo massimo, evidenziando così il MLS come il collo di bottiglia del sistema.

Confrontando le strategie Random e MinBox emerge che, a basse capacità, la soluzione MinBox riduce il tempo di attesa in coda aumentando il numero di ordini per ora. Per capacità intermedie, la strategia MinBox garantisce un maggior numero di



Strategy/KPI	start_capacity	ms_ut	throughput_in	throughput_out	strategy	ps_ut	flow_rack_ut	order_rate	order_execution_time_avg	oder_queue_time	order_completed/hour	avg_order_lines
1	0.50	0.71	43	43	1	0.24	0.10	15	210.94	63.16	13.75	3.06
	0.65	0.69	39	39	1	0.23	0.09	15	238.61	41.62	12.50	3.09
	0.80	0.62	39	39	1	0.26	0.13	15	235.10	25.07	14.23	2.80
	0.50	0.86	51	51	1	0.26	0.12	20	210.32	1.70	17.88	2.88
	0.65	0.88	50	51	1	0.30	0.12	20	246.43	5.48	17.63	2.87
	0.80	0.95	50	55	1	0.33	0.13	20	267.53	3.63	17.50	3.11
	0.50	0.94	61	63	1	0.39	0.15	25	244.57	60.71	21.65	3.07
	0.65	0.94	68	71	1	0.62	0.08	25	213.56	52.30	21.72	3.08
0.80	0.99	54	58	1	0.69	0.13	25	282.76	1759.13	10.92	2.97	
2	0.50	0.75	45	45	2	0.22	0.10	15	217.39	1.15	14.63	3.06
	0.65	0.61	38	38	2	0.19	0.09	15	213.77	5.66	13.75	2.92
	0.80	0.61	35	35	2	0.21	0.08	15	228.02	8.67	15.05	2.85
	0.50	0.95	52	60	2	0.36	0.14	20	262.59	6.68	19.39	3.06
	0.65	0.84	49	51	2	0.30	0.12	20	243.34	3.36	17.75	2.92
	0.80	0.82	41	50	2	0.31	0.11	20	242.77	4.67	18.25	2.68
	0.50	0.93	61	65	2	0.47	0.13	25	212.98	52.83	21.36	3.10
	0.65	0.91	70	73	2	0.48	0.16	25	253.17	25.32	23.32	3.06
0.80	0.98	54	60	2	0.63	0.14	25	269.53	1697.85	13.42	3.29	
3	0.50	0.69	41	41	3	0.19	0.09	15	194.79	0.65	15.02	2.88
	0.65	0.60	45	47	3	0.27	0.11	15	231.94	8.44	14.25	2.91
	0.80	0.69	50	55	3	0.32	0.12	15	254.53	25.39	14.00	3.10
	0.50	0.85	52	52	3	0.25	0.12	20	218.50	1.38	16.75	3.12
	0.65	0.89	57	60	3	0.39	0.14	20	260.28	79.12	18.25	2.98
	0.80	0.96	52	55	3	0.32	0.12	20	259.48	12.25	17.25	3.11
	0.50	0.97	36	43	3	0.64	0.08	25	265.10	109.65	22.93	2.78
	0.65	0.98	69	76	3	0.62	0.18	25	268.30	86.18	22.75	3.29
0.80	0.98	56	59	3	0.63	0.16	25	274.18	1071.90	14.50	3.34	

Figura 8.7: Risultati con 4 picking station

ordini all'ora grazie all'utilizzo più basso delle stazioni di picking, con una media di 18,52 ordini/ora rispetto ai 16,65 ordini/ora della Random. A capacità elevate e con elevati tassi di ordine, la strategia Random mostra un'inefficienza marcata con un minor numero di linee d'ordine completate, mentre MinBox riesce a completare gli ordini con un utilizzo inferiore del MLS (0,9 rispetto a 0,97 in media con tassi di ordine di 20 e 25). Nel confronto tra le strategie Random e Zone, i tempi di attesa in coda sono molto simili in media, leggermente superiori nella Random. Tuttavia, la strategia Zone, ottimizzando la posizione delle scatole piuttosto che la quantità, ha un throughput maggiore sia in entrata che in uscita. Tuttavia, a causa dei minori movimenti del MLS, gli ordini completati in uscita sono 17,02 rispetto ai 16,21 della Random. Per capacità medie e alte, la strategia Zone si comporta meglio, esibendo valori di output superiori per gli ordini grazie a tempi di attesa in coda inferiori. Infine, nel confronto tra le strategie MinBox e Zone, a basse capacità, la strategia MinBox ottiene prestazioni leggermente migliori per OPH, producendo in media 17,43 ordini/ora rispetto ai 17,3 della strategia Zone. Gli utilizzi del

MLS sono molto simili tra le due strategie. MinBox funziona bene con tassi di ordine medi, riuscendo a completare tutti gli ordini in ingresso. Per capacità medie, entrambe le strategie si comportano in modo simile in termini di ordini completati per ora, mentre MinBox mostra tempi migliori. Per capacità elevate, le prestazioni sono molto simili sia per il tempo che per l'output. Confrontando i tassi di ordine, per valori bassi, la strategia MinBox è migliore in termini di tempo di attesa in coda degli ordini, mentre entrambe le strategie sono efficienti nel completare gli ordini in ingresso. Per tassi di ordine medi, la strategia Zone mantiene un utilizzo medio delle macchine con output molto simili: 18,46 ordini/ora per MinBox e 17,42 ordini/ora per Zone. Per tassi di ordine elevati, la strategia Zone funziona meglio con 20,06 ordini/ora rispetto ai 19,37 della MinBox, a causa dell'inefficienza della MinBox per alte capacità. Tuttavia, è importante notare che con un maggior numero di linee d'ordine elaborate, la strategia Zone riesce a mantenere un output simile alle altre strategie, perdendo ordini solo in misura minore.

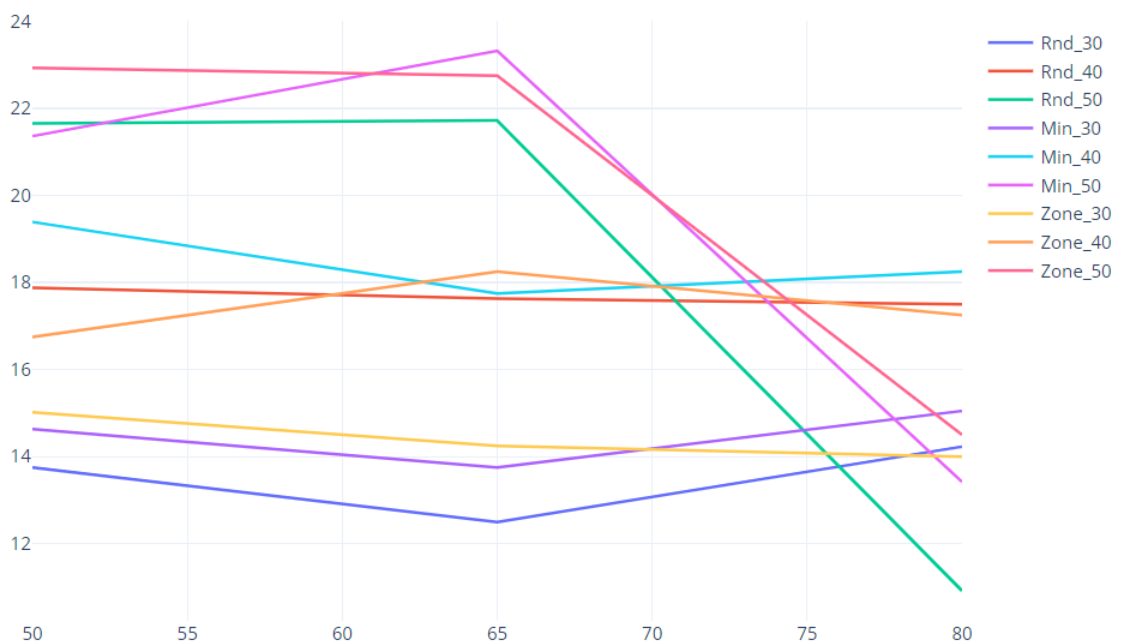


Figura 8.8: Orders per hour 4PS

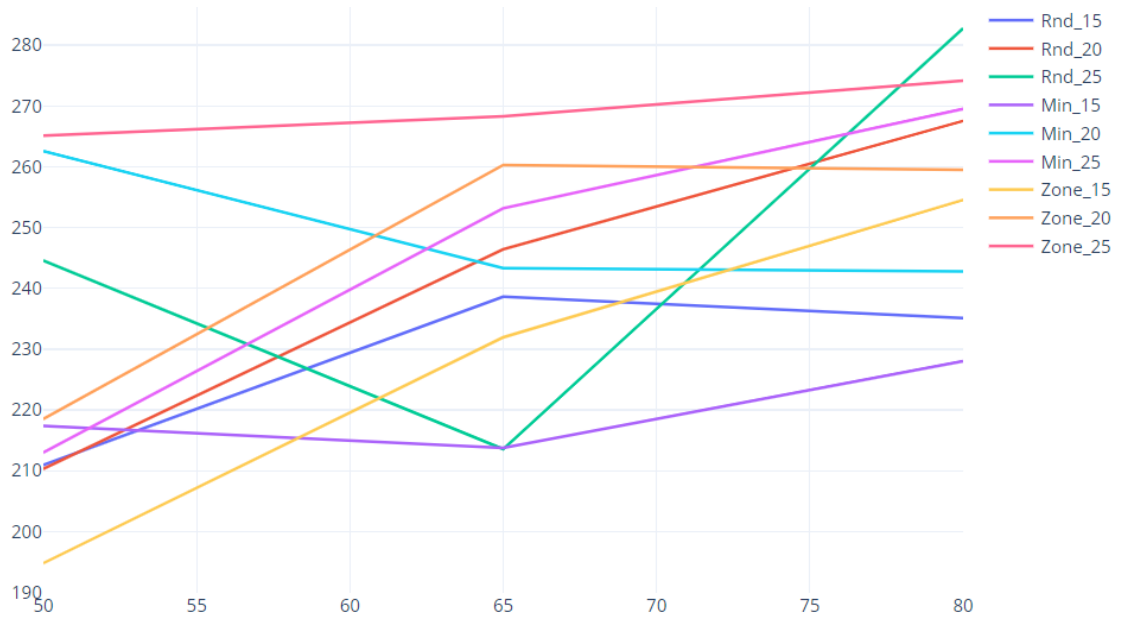


Figura 8.9: Order execution time 4PS

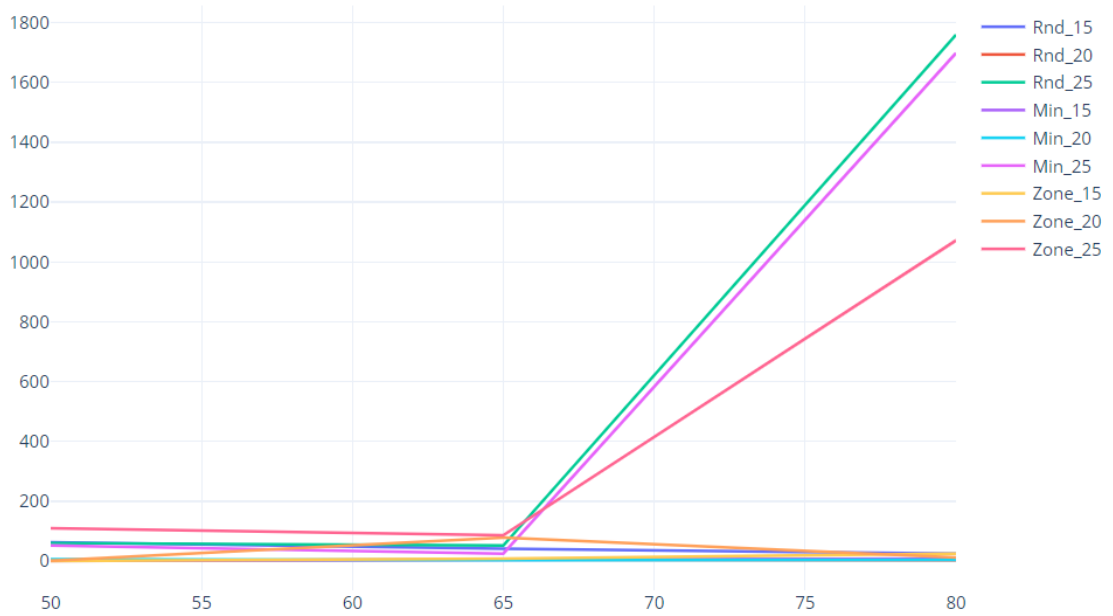


Figura 8.10: Order queue time 4PS

#### 8.4.4 Confronto tra le configurazioni

Le due configurazioni presentano un andamento simile per le strategie analizzate, ad esclusione dell'andamento con 25 come order rate che vede nella configurazione 3PS una forte inefficienza. In generale i tempi in coda sono maggiori nella prima configurazione, a causa dell'utilizzo maggiore delle picking station presenti. I tempi di esecuzioni invece sono simili e correlati al numero di linee d'ordine orarie, facendo comprendere come le differenze a livello di ordini completati all'ora sono determinati dal tempo in coda piuttosto che dal tempo impegnato per il picking e la movimentazione delle UdC. Per questo è cruciale comprendere che per capire effettivamente il funzionamento di una strategia di ottimizzazione piuttosto che di un'altra è importante mantenere libere le picking station per ottenere risultati analizzabili. È interessante però capire come il sistema si comporta in stato di stress e quanto le strategie riescano ad ottimizzare complessivamente il sistema, come notiamo nella configurazione 3PS.

Per il confronto tra Random e MinBox in entrambe le configurazioni la MinBox risulta più efficiente, soprattutto ad alte capacità e con alti tassi d'ordine. Nella configurazione 3PS questa differenza è meno marcata. Osservando invece i paragoni tra Random e Zone le due configurazioni mostrano risultati simili, portando a preferire la strategia Zone. Tra MinBox e Zone invece per la configurazione 3PS la differenza è meno marcata, anche a causa dell'inefficienza a order rate 25 che non permette alla strategia Zone di dare il massimo. Nella configurazione 4PS infatti si nota come la strategia Zone sia superiore per alte capacità e alti order rate.

## Capitolo 9

# Conclusioni

Questo studio fornisce un'analisi dettagliata e completa di un sistema MLS con stazioni di prelievo integrate direttamente all'interno degli scaffali del magazzino. Il processo di sviluppo del sistema è stato guidato da una metodologia che ha avuto inizio con la creazione di un diagramma delle classi UML. Questo diagramma ha costituito la base strutturale fondamentale per l'approccio adottato nello studio. Successivamente, il modello è stato trasformato in una simulazione dinamica e interattiva mediante l'implementazione della metodologia di simulazione DES utilizzando il software AnyLogic.

Tre diverse strategie sono state sviluppate per la selezione delle box al fine di soddisfare gli ordini dei clienti e indirizzarli in modo efficiente alle stazioni di prelievo. Le strategie adottate e integrate nel sistema sono le seguenti: Random, MinBox e Zone. La strategia Random si basa sulla selezione casuale delle UdC destinate al prelievo, fungendo da benchmark per valutare l'efficacia delle ottimizzazioni introdotte. Le altre due strategie di ottimizzazione, MinBox e Zone, sono state concepite per ottimizzare le operazioni senza appesantire la macchina e le stazioni di prelievo. La strategia MinBox mira a ridurre il numero complessivo di UdC

prelevate, privilegiando la scelta del minor numero possibile. Dall'altra parte, la strategia Zone cerca di mantenere la macchina il più vicino possibile alle picking station, contribuendo a ottimizzare il percorso di prelievo.

Un piano di simulazione dettagliato è stato eseguito per confrontare queste strategie in vari scenari operativi, al fine di valutare le loro prestazioni. I risultati ottenuti indicano che entrambe le strategie di ottimizzazione migliorano le prestazioni complessive rispetto alla strategia Random. In particolare, la strategia MinBox si è dimostrata eccellente in tutte le capacità, soprattutto in scenari con un medio o basso tasso di ordini. Al contrario, la strategia Zone ha mostrato maggiore efficienza in scenari con un alto tasso di ordini. Queste conclusioni sono state valide sia per la configurazione con 3 stazioni di prelievo che per quella con 4 stazioni, dimostrando la robustezza delle strategie proposte.

Le prestazioni superiori della strategia MinBox possono essere attribuite al fatto che il MLS è più rapido nei movimenti orizzontali rispetto a quelli verticali e di prelievo. Pertanto, è più vantaggioso prelevare meno box, anche se più distanti, anziché spostarle e riposizionarle, anche se sono collacare vicino alle stazioni di prelievo. Tuttavia, in condizioni di stress del sistema, quando è prossimo al limite della capacità iniziale e del tasso di ordine, la strategia Zone risulta più performante, suggerendo un'adattabilità delle strategie in base alle condizioni operative. In conclusione, per capacità e tassi di ordine bilanciati, la scelta ottimale è la strategia MinBox. Tuttavia, in presenza di elevati tassi di ordine, risulta più vantaggioso prelevare più scatole vicino alle stazioni di prelievo, privilegiando la strategia Zone.

Le implicazioni teoriche di questo studio sottolineano l'importanza della progettazione e del funzionamento dei sistemi MLS integrati con stazioni di prelievo.

Utilizzando i diagrammi delle classi UML e la metodologia DES, la ricerca evidenzia l'importanza della modellazione strutturata e della simulazione nell'analisi e nell'ottimizzazione dei complessi sistemi logistici. L'analisi delle diverse strategie per il servizio delle stazioni di prelievo fornisce preziose intuizioni nella selezione di approcci ottimali su misura per specifici contesti operativi. Nel contesto pratico, lo studio offre raccomandazioni concrete per la progettazione e l'implementazione di nuovi sistemi MLS, utili per supportare il processo decisionale in ambito logistico. Grazie a tali indicazioni, è possibile massimizzare l'efficienza e la prontezza del sistema logistico rispetto alla domanda dinamica, adattandolo alle esigenze e alle sfide dell'ambiente operativo. Ciò può portare a una gestione più efficiente delle risorse e a una maggiore soddisfazione del cliente, contribuendo così al successo complessivo dell'azienda.

Questo studio, pur offrendo una panoramica dettagliata delle strategie di prelievo implementate, non ha tenuto conto di alcuni fattori critici che potrebbero influenzare le prestazioni complessive del sistema. La mancata considerazione delle diverse classi di prodotto e dei diversi tassi di domanda potrebbe limitare la capacità dello studio di cogliere appieno le dinamiche della domanda e dell'assortimento. Inoltre, l'assenza di esplorazione delle variazioni nella configurazione del sistema, come il numero di colonne e livelli dello scaffale, e delle abilità degli operatori di prelievo potrebbe ridurre la generalizzabilità dei risultati ottenuti. Affrontare queste limitazioni potrebbe dimostrarsi importante per garantire una comprensione completa e accurata delle strategie di prelievo proposte e per fornire raccomandazioni pratiche valide per i contesti logistici reali. Pertanto, le future ricerche dovrebbero concentrarsi sull'inclusione di classi di prodotto e variazioni nei tassi di domanda, nonché sull'esplorazione degli effetti di modifiche nella configurazione del sistema e nelle competenze degli operatori. Ciò consentirebbe di

ottenere una visione più approfondita e completa delle dinamiche operative del sistema di prelievo e di sviluppare strategie più efficaci e adattabili alle esigenze specifiche dei magazzini automatizzati.



# Bibliografia

- Agrawal, Saurabh, Rajesh Singh e Qasim Murtaza (2015). «A literature review and perspectives in reverse logistics». In: *Resources, Conservation and Recycling* (cit. a p. 12).
- Akpunar, Anil, Banu Yetkin Ekren e Tone Lerher (2017). «Energy efficient design of autonomous vehicle based storage and retrieval system». In: *Journal of Applied Engineering Science* (cit. a p. 13).
- Bertolini, Massimo, Giovanni Esposito, Davide Mezzogori e Mattia Neroni (2019). «Optimizing Retrieving Performance of an Automated Warehouse for Unconventional Stock Keeping Units». In: *Procedia Manufacturing* (cit. a p. 21).
- Boysen, Nils, Simon Emde e Konrad Stephan (2022). «Crane scheduling for end-of-aisle picking: Complexity and efficient solutions based on the vehicle routing problem». In: *EURO Journal on Transportation and Logistics* (cit. a p. 37).
- Boysen, Nils e Konrad Stephan (2016). «A survey on single crane scheduling in automated storage/retrieval systems». In: *European Journal of Operational Research*, pp. 691–704 (cit. a p. 17).
- Calzavara, Martina, Fabio Sgarbossa e Alessandro Persona (apr. 2019). «Vertical Lift Modules for small items order picking: an economic evaluation». In: *International Journal of Production Economics* (cit. a p. 36).
- Chirici, Lapo e Ke-Sheng Wang (set. 2014). «Tackling the storage problem through genetic algorithms». In: *Adv. Manuf.* (cit. a p. 38).

- Chopra, S. e P. Meindl (2013). *Supply Chain Management Strategy, Planning and Operation*. 5 pp. (cit. alle pp. 3, 6, 7).
- Corbos, Razvan-Andrei, Ovidiu-Iulian Bunea e Daniel-Constantin Jiroveanu (2023). «The Effects of Strategic Procurement 4.0 Performance on Organizational Competitiveness in the Circular Economy». In: (cit. a p. 11).
- Croxton, Keely, Sebastian Garcia-Dastugue, Douglas Lambert e Dale Rogers (2001). «The Supply Chain Management Processes». In: *International Journal of Logistics Management, The* (cit. a p. 7).
- Davoli e Govoni (2013). «SAFETY STORAGE ASSIGNMENT IN AS/RS». In: (cit. a p. 21).
- De Koster, René, Tho Le Duc e Kees Jan Roodbergen (2007). «Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review». In: *European Journal of Operational Research* (cit. a p. 24).
- Dukic, Goran, Tihomir Opetuk e Tone Lerher (dic. 2015). «A throughput model for a dual-tray Vertical Lift Module with a human order-picker». In: *International Journal of Production Economics* (cit. a p. 36).
- Eder, Michael (2020). «An approach for a performance calculation of shuttle-based storage and retrieval systems with multiple-deep storage». In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (cit. a p. 16).
- Ekren, Banu Y. (2020). «A simulation-based experimental design for SBS/RS warehouse design by considering energy related performance metrics». In: *Simulation Modelling Practice and Theory* (cit. a p. 17).
- Faria, Francisco e Vasco Reis (2015). «An Original Simulation Model to Improve the Order Picking Performance: Case Study of an Automated Warehouse». In: (cit. a p. 36).
- Ferrari, Andrea, Antonio Carlin, Carlo Rafele e Giovanni Zenezini (2023). «A method for developing and validating simulation models for automated storage

- and retrieval system digital twins». In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (cit. alle pp. 27, 41–43, 49).
- Gu, Jinxiang, Marc Goetschalckx e Leon F. McGinnis (2007). «Research on warehouse operation: A comprehensive review». In: *European Journal of Operational Research* (cit. a p. 22).
- Hameed, Hanan M., Abdulmuttalib Turkey Rashid e Khairia A. Al Amry (2020). «Automatic Storage and Retrieval System using a Single Mobile Robot». In: *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)* (cit. a p. 20).
- Reslog web page* (-) (cit. a p. 60).
- Anylogic web page* (-) (cit. a p. 32).
- Lambert, Douglas M (2008). *Supply chain management: processes, partnerships, performance*. Supply Chain Management Inst (cit. a p. 8).
- Law, Averill M. (2013). *Simulation modeling and analysis*. McGraw-Hill series in industrial engineering and management science. Dubuque: McGraw-Hill Education (cit. alle pp. 30, 57, 74).
- Lee, Chun Chen (2006). «Two-warehouse inventory model with deterioration under FIFO dispatching policy». In: *European Journal of Operational Research* (cit. a p. 5).
- Lenoble, Nicolas, Ramzi Hammami e Yannick Frein (11 giu. 2021). «Fixed and rolling batching for order picking from multiple carousels». In: *Production Planning & Control* (cit. a p. 37).
- Li, Yi, Ruining Zhang e Dandan Jiang (7 dic. 2022). «Order-Picking Efficiency in E-Commerce Warehouses: A Literature Review». In: *JTAER* (cit. a p. 23).
- Liu, Jingming, Haitao Liao e John A. White (giu. 2021). «Stochastic analysis of an automated storage and retrieval system with multiple in-the-aisle pick positions». In: *Naval Research Logistics* (cit. a p. 36).

- Ma, Wenkai, Dong Yang, Yingying Wu e Yaohua Wu (25 feb. 2022). «Order dividing optimisation in crane & shuttle-based storage and retrieval system». In: *Journal of Control and Decision* (cit. a p. 35).
- Melnyk, Steven, Douglas Stewart e Morgan Swink (2004). «Metrics and Performance Measurement in Operations Management: Dealing With the Metrics Maze». In: *Journal of Operations Management* (cit. a p. 78).
- Moosavi, Javid, Leila M. Naeni, Amir M. Fathollahi-Fard e Ugo Fiore (27 feb. 2021). «Blockchain in supply chain management: a review, bibliometric, and network analysis». In: *Environ Sci Pollut Res.* (Visitato il 21/08/2023) (cit. a p. 2).
- Neumann, W. e Jan Dul (2010). «Human factors: Spanning the gap between OM & HRM». In: *Erasmus Research Institute of Management (ERIM), ERIM is the joint research institute of the Rotterdam School of Management, Erasmus University and the Erasmus School of Economics (ESE) at Erasmus Uni, Research Paper* (cit. a p. 26).
- Nicolas, Lenoble, Frein Yannick e Hammami Ramzi (lug. 2017). «Optimization of order batching in a picking system with Carousels». In: *IFAC-PapersOnLine* (cit. a p. 37).
- Pan, Jason Chao-Hsien, Po-Hsun Shih, Ming-Hung Wu e Jyh-Horng Lin (mar. 2015). «A storage assignment heuristic method based on genetic algorithm for a pick-and-pass warehousing system». In: *Computers & Industrial Engineering* (cit. a p. 37).
- Pirrone, Lorenzo e Dennis Julian Meyer (2021). «Development of a Procurement-4.0-PMS using the Balanced Scorecard». In: (cit. a p. 2).
- Rodriguez, Lineth e Catherine Da Cunha (2018). «Impacts of big data analytics and absorptive capacity on sustainable supply chain innovation: a conceptual framework». In: (cit. alle pp. 3, 5).

- Rupasinghe, Hasitha Dinithi e Chaminda Wijethilake (2021). «The impact of leanness on supply chain sustainability: examining the role of sustainability control systems». In: *CG* (cit. a p. 3).
- Saylam, Serhat, Melih Çelik e Haldun Süral (3 apr. 2023). «The min–max order picking problem in synchronised dynamic zone-picking systems». In: *International Journal of Production Research* (cit. a p. 37).
- Sgarbossa, Fabio, Martina Calzavara e Alessandro Persona (8 lug. 2019). «Throughput models for a dual-bay VLM order picking system under different configurations». In: *IMDS* (cit. a p. 36).
- Swift, R.S. (2001). *Accelerating Customer Relationships: Using CRM and Relationship Technologies* (cit. a p. 9).
- Vijayakumar, Vivek e Fabio Sgarbossa (2021). «A literature review on the level of automation in picker-to-parts order picking system: research opportunities». In: *IFAC-PapersOnLine* (cit. a p. 23).
- Wang, Wenrui, Yaohua Wu e Yingying Wu (mag. 2016). «A multi-stage heuristic algorithm for matching problem in the modified miniload automated storage and retrieval system of e-commerce». In: *Chin. J. Mech. Eng.* (cit. a p. 36).
- Waters, D. (2003). *Logistics An Introduction to Supply Chain Management* (cit. a p. 1).
- Yang, Peng, Guang Jin e Guofang Duan (3 ago. 2022). «Modelling and analysis for multi-deep compact robotic mobile fulfilment system». In: *International Journal of Production Research* (cit. a p. 36).