

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in INGEGNERIA GESTIONALE

Tesi di Laurea Magistrale

Simulazione reale di processi di e-fulfillment di un magazzino
automatizzato in ambiente di laboratorio.



Relatore:

Prof. Giulio Mangano

Candidata:

Francesca Peschechera

Correlatore:

Prof. Giovanni Zenezini

Ph.D. Andrea Ferrari

Anno Accademico 2020/2021

INDICE

INTRODUZIONE	5
CAPITOLO I	7
LA LOGISTICA E L' E-COMMERCE	7
1. La logistica	7
1.1 La logistica nell'industria 4.0.....	9
1.1.1 Il servizio logistico come leva competitiva.....	9
1.1.2 Logistica 4.0.....	10
1.2 Dalla logistica al supply chain management	11
1.2.1 La filosofia del SCM.....	12
1.2.2 Supply chain management e innovazione	12
1.2.3 Supply chain e e-commerce	13
2. E-commerce.....	14
2.1 Il servizio clienti.....	15
2.2 Individuazione dei kpi tipici del canale.....	17
CAPITOLO II IL MAGAZZINO	19
1. Definizione magazzino.....	19
1.2 Ruolo del magazzino.....	20
1.3 Tipologie di magazzino	21
2. I magazzini automatici.....	22
2.1 Funzionamento del magazzino automatico.....	22
2.1.1 Differenze tra i magazzini tradizionali e automatici	23
2.1.2 Caratteristiche dei magazzini automatici.....	23
2.2 Tipologie di magazzino automatico.....	25
2.2 Le operazioni dei magazzini automatici	26
3. Automated Storage and Retrieval Systems AS/RS.....	26
3.2 Componenti degli AS/RS.....	27
3.3 Tipologie AS/RS.....	29
CAPITOLO III IL MAGAZZINO INCAS	32
1. Warehouse Management System (WMS).....	32
2. Descrizione del magazzino "INCAS"	33
2.1 Informazioni generali	33
2.2 I vani del magazzino	34
2.3 Sinottico.....	34

2.3.1 Terra.....	35
2.3.2 Funzionamento del Sinottico	35
2.3.3 Mappa traslo	37
2.4 Struttura Easystor.....	37
2.4.1 Creazione nuovo ordine.....	38
2.4.2 Conclusione dell'ordine	40
3. Analisi Maxi shuttle.....	40
3.1 Il maxi-shuttle	40
3.2 Implementazione esperimento.....	41
3.3 Rilevazioni spostamento verticale.....	42
5.3.1 Analisi della variazione dei tempi raccolti nei due scenari	44
5.3.2 Analisi della velocità	45
5.4 Rilevazioni spostamento orizzontale.....	46
5.4.1 Analisi della variazione dei tempi raccolti nei due scenari	49
5.4.2. Analisi della velocità	49
3. I KPI dei magazzini.....	50
CAPITOLO IV ANALISI SPERIMENTALE DEI KPI	64
1.Set up iniziale.....	66
2. Processo Put-away	68
2.1 Robot mobili autonomi: MIR100.....	68
2.1.1 Funzionamento dei Mir100.....	69
2.2 Implementazione della simulazione.....	72
2.3 Analisi e problemi rilevati	74
3. Processo di Picking.....	75
3.1 Order picking time e Picking productivity.....	76
3.2 Analisi preliminare della composizione degli ordini.....	77
3.3 Implementazione della simulazione.....	78
3.4 Analisi dei risultati ottenuti	80
4.1 Implementazione della simulazione.....	81
4.2 Analisi dei risultati ottenuti	83
4.1 Implementazione dell'esperimento	84
4.2 Analisi e problemi rilevati	86
CAPITOLO V ANALISI E FUTURI SVILUPPI	87
1. Analisi critica AMR	87
1.1 Sviluppi futuri.....	88

2. Analisi dei processi di picking e kitting.....	89
CONCLUSIONI.....	94
BIBLIOGRAFIA	98
SITOGRAFIA.....	99

INTRODUZIONE

Chiave dell'economia moderna, soluzione innovativa, insieme delle attività strategiche volte al raggiungimento del vantaggio competitivo universale e risorsa operativa della pianificazione e ottimizzazione aziendale, è la logistica.

Dunque, essa non è solo un mezzo per ridurre i costi e migliorare il servizio offerto al cliente in termini di rapidità, qualità, personalizzazione e flessibilità di risposta alle mutevoli esigenze dei consumatori, ma è anche un'arma strategica di fondamentale importanza per gestire più efficientemente la produzione di beni e servizi e per acquisire nuovi mercati.

In un contesto fortemente influenzato dall'industrializzazione e dalla digitalizzazione, i sistemi logistici, con le infrastrutture, i processi e le strategie che di questi sistemi costituiscono le nervature, contribuiscono in misura rilevante al progresso tecnologico e innovativo, diventando la chiave per aumentare la competitività in un mercato sempre più complesso.

Le imprese più innovative, dedicano importanti progetti e ingenti investimenti alla creazione di servizi logistici che siano sempre più puntuali, flessibili, appaganti e sostenibili, coniugando le necessità espresse dai consumatori con le prospettive abilitate dalle nuove tecnologie e generando sinergie per l'efficientamento dei processi aziendali interni.

Nella logistica il concetto di "miglioramento continuo" richiede una puntuale e approfondita analisi per la riprogettazione dei flussi logistici interni ed esterni all'azienda.

La variazione dei volumi coinvolti nelle gestioni logistiche, le anagrafiche mutevoli dei prodotti e la numerosità degli articoli, comportano la necessità di effettuare modifiche dei processi logistici e di conseguenza, molto spesso, anche del layout e delle attività svolte dal magazzino.

Il magazzino è una struttura logistica composta da attrezzature di stoccaggio e movimentazione che, insieme alle risorse umane e gestionali, consente di regolare i flussi materiali e informativi in entrata e in uscita. Esso rappresenta il cuore di un'azienda industriale e l'elemento cruciale dell'ottimizzazione dei processi produttivi e delle vendite.

La presente trattazione descrive, nei primi due capitoli, il ruolo della logistica e come essa abbia integrato le sue funzioni con l'avvento della globalizzazione e dell'e-commerce. Ne conseguono importanti ripercussioni sulla struttura e sulla gestione del magazzino, ricercando una configurazione sempre più innovativa e adatta alle esigenze del mercato. Pertanto, la trattazione si focalizza sui

vantaggi dei magazzini automatici e come essi rappresentino la via più efficace, seppure dispendiosa, per ottimizzare i processi aziendali.

Terminata la breve dissertazione riguardo il contesto culturale e la descrizione delle attrezzature più all'avanguardia, nel terzo capitolo, si introduce il reale obiettivo del progetto di tesi: simulare realmente le prestazioni di un magazzino automatico e- fulfillment in ambiente di laboratorio.

Il dipartimento DIGEP del Politecnico di Torino, data la promozione a dipartimento di eccellenza, riceve la possibilità di testare un magazzino automatizzato, realizzato dall'azienda INCAS, e due robot mobili automatizzati realizzati dall'azienda Mobile Industrial Robots (MIR); realizzando, all'interno di un laboratorio, un vero e proprio centro logistico.

L'obiettivo del progetto risiede nell'analisi delle prestazioni del centro logistico, non ancora validate, comprenderne le criticità e, individuare il settore opportuno all'integrazione di tale magazzino.

Il successo della gestione del magazzino dipende in gran parte dalla misurazione e dalla stima delle prestazioni complessive del magazzino, le quali richiedono una previsione accurata degli indicatori chiave di prestazione. D'altronde, i KPI rappresentano l'unica via attendibile capace di garantire il conseguimento dell'obiettivo.

Nel quarto capitolo sono descritti e simulati realmente i processi fondamentali dell'attività di magazzino. Gli esperimenti condotti nel laboratorio del Politecnico di Torino, sono volti a valutare e analizzare singolarmente le prestazioni chiave del magazzino caratterizzanti i processi.

Conseguentemente, negli ultimi capitoli, la trattazione discute i futuri sviluppi suggeriti dall'analisi di tali misure di performance, al fine di migliorare l'efficienza del centro logistico, e soprattutto individuare il settore operativo di pertinenza.

CAPITOLO I

LA LOGISTICA E L' E-COMMERCE

1. La logistica

La logistica è la disciplina che tratta in maniera organica e sistematica la gestione integrata dell'intero ciclo operativo dell'azienda industriale o del terziario. Coordina le sue principali funzioni di gestione dei materiali quali approvvigionamento delle materie prime e dei componenti, di gestione della produzione quali programmazione, fabbricazione, assemblaggio e controllo, di gestione della distribuzione fisica dei prodotti finiti, ovvero la movimentazione, stoccaggio, trasporto, imballaggio, ricezione e spedizione, di gestione dell'assistenza post-vendita ai clienti, con l'obiettivo fondamentale di garantire un elevato livello di servizio ai clienti, fornendo prodotti di qualità, con rapidi tempi di risposta e a costi contenuti.

Risulta essenziale, per l'ottenimento di questo obiettivo, l'integrazione dei flussi fisici e dei flussi informativi relativi a tutte le attività operative dell'azienda. Chiaramente solo un'adeguata sincronizzazione spaziale e temporale di tali flussi logistici, fisici e informativi, permette di raggiungere i requisiti di efficacia ed efficienza desiderati.

La definizione della disciplina della "Logistica" non è per nulla semplice, essa ha indotto nel tempo la creazione di varie scuole di pensiero tra le quali sembra prevalere una interpretazione di qualche secolo fa: nell'ambito logistico rientra l'ordine, nello specifico l'ordine dei processi aziendali, e come in seguito vedremo, dei nodi che compongono la Supply Chain nella sua interezza.

L'Associazione Italiana di Logistica (AILOG), definisce la logistica come "l'insieme delle attività organizzative, gestionali, e strategiche, che governano nell'azienda i flussi di materiali e delle relative informazioni, dalle origini presso i fornitori, fino alla consegna dei prodotti finiti ai clienti e al servizio post-vendita", rimarcando pertanto quanto essa funga da connettore tra i vari soggetti che compongono la filiera produttiva, quanto "ordini" il processo di produzione, garantendo la massima efficienza durante il tragitto che ogni prodotto compie dalla fabbrica al consumatore.

La logistica è un concetto in continua espansione, non può essere ridotta a questa apparente semplice definizione in quanto racchiude in sé un innovativo e sconfinato universo. Poiché immersa in un

ambiente in costante mutamento, continua ad evolversi assorbendo l'evoluzione delle ideologie manageriali, trainata dai soggetti che lega, che a loro volta cambiano nel modo di relazionarsi, e dunque nel modo di vedere ciò che li relaziona.

La definizione di logistica include una serie di attività quali customer service, previsione della domanda, gestione della comunicazione, gestione scorte, material handling, processo dell'ordine, localizzazione di fabbriche e depositi, approvvigionamenti, imballaggio, gestione dei ritorni, trasporti, magazzinaggio e stoccaggio.

Queste attività, insieme agli input e output, formano il quadro delle componenti del Logistics Management, ovvero la gestione della logistica che può comprendere tutte o solo alcune delle attività suddette a seconda che sia più o meno integrata.

L'integrazione delle diverse aree della logistica è necessaria per due ordini di motivi:

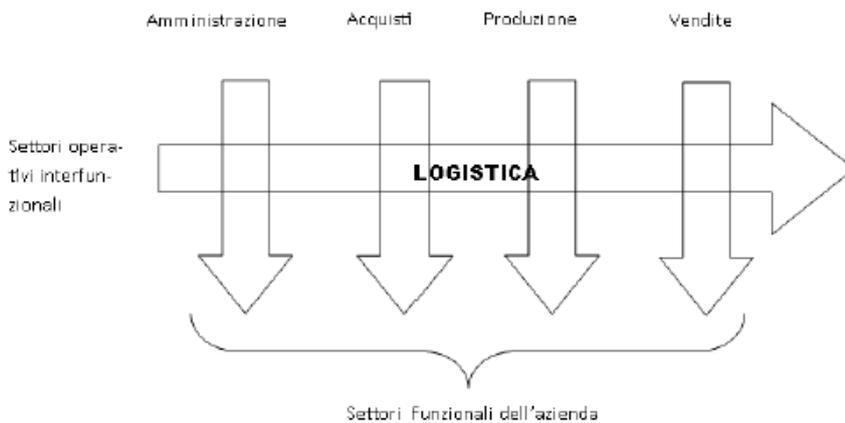
- le scelte effettuate in una certa area di attività logistica impattano su tutte le altre aree (trade-offs);
- il potenziale di efficienza insito nella logistica come totalità delle attività che la compongono è estremamente elevato.

Il fondamento del concetto di logistica integrata è rappresentato dalla minimizzazione del costo totale delle attività logistiche viste nel loro complesso.

La logistica integrata è gestita come un "sistema": ogni componente del sistema ha un proprio compito da svolgere, ma esso ha senso solo per quanto contribuisce al raggiungimento dell'obiettivo finale. Le relazioni funzionali tra singoli componenti devono essere coordinate e bilanciate in relazione a questo obiettivo finale.

La logistica integrata è la gestione coordinata, secondo una visione sistemica, delle attività logistiche delle diverse aziende coinvolte nella gestione dei flussi dei materiali e informativi, al fine di massimizzare la redditività complessiva dato un obiettivo di livello di servizio da garantire. Pertanto, l'obiettivo finale della logistica risiede nella soddisfazione delle esigenze dei clienti minimizzando il minore costo totale.

La logistica, che provvede a questa gestione operativa integrata, è una funzione trasversale che attraversa i tradizionali settori dell'azienda, raggruppando in sé responsabilità precedentemente distribuite in questi diversi settori



La logistica - Figura 1

1.1 La logistica nell'industria 4.0

Sfruttando le nuove tecnologie (produzione additiva, robotica avanzata, intelligenza artificiale, veicoli autonomi, blockchain, droni, Internet of Things, ecc.), molte aziende stanno sviluppando sistemi cyber-fisici che possono cambiare il panorama della concorrenza. Nel mezzo di questo entusiasmante sviluppo, la tradizionale funzione della logistica si evolve nella logistica intelligente o Logistica 4.0 per la creazione di valori economici, ambientali e sociali.

Pertanto, vi è un'opportunità d'oro per la comunità di ricerca sulla gestione delle operazioni (OM) per comprendere le implicazioni di questa nuova rivoluzione, identificare nuove domande di ricerca ed esaminare le condizioni in cui queste tecnologie emergenti possono creare condizioni economiche, ambientali e/o valore sociale.

1.1.1 Il servizio logistico come leva competitiva

Nonostante la logistica sia una funzione importante che fornisce il prodotto giusto al cliente giusto al momento giusto, molti manager tendono a considerare la logistica come un costo da gestire e spesso trascurano quanto essa sia responsabile della creazione o del fallimento di un'azienda.

Il servizio logistico è un'arma che consente alle aziende di competere su velocità, affidabilità e costi. L'avvento delle nuove tecnologie può influenzare le funzioni logistica in diversi modi fondamentali:

1. **Faster Speed:** servizi di consegna condotti da droni o robot di consegna.

Per accelerare il servizio di consegna, aziende leader come Amazon e Alibaba hanno sperimentato da anni l'uso di droni per la consegna di piccoli pacchi; in egual modo, Domino sta testando i robot per la consegna della pizza.

2. **Maggiore affidabilità:** sistemi di stoccaggio e prelievo mediante robot.

Per automatizzare le operazioni di stoccaggio e recupero presso i centri logistici di Amazon, è stato progettato nel 2012 il sistema robotico Kiva. Il sistema migliora la produttività registrando e tracciando gli articoli all'interno del centro di evasione ordini e portando i prodotti direttamente ai dipendenti per il prelievo, l'imballaggio e la spedizione.

3. **Costi operativi inferiori:** monitoraggio dell'inventario e sistemi di rifornimento con sensori intelligenti. Questa tecnologia permette la riduzione dei costi e il miglioramento della qualità delle informazioni in tempo reali sull'inventario, le quali nei negozi fisici sono spesso imprecise e costose da ottenere

4. **Miglioramento dell'efficienza:** spedizione di container abilitata dalla blockchain.

Le operazioni di trasporto marittimo coinvolgono molte organizzazioni (esportatori, società di autotrasporti, doganieri, spedizionieri, importatori ecc) e richiedono l'approvazione di molte pratiche burocratiche, le quali sono generalmente eseguite manualmente, apportando notevoli ritardi.

Per migliorare l'efficienza di questo processo arcaico si è dimostrato che, sviluppando una piattaforma blockchain per automatizzare il processo, in modo che i documenti possano essere digitalizzati e i container tracciati, tutte le informazioni e le documentazioni sarebbero verificate e riconciliate a tutte le parti coinvolte senza errori di duplicazione e, più importante, senza ritardi.

1.1.2 Logistica 4.0

In questo dinamico mondo le aziende sono solite affrontare varie sfide legate alla sostenibilità nelle operazioni logistiche globali e le tecnologie digitali emergenti possono fornire una soluzione a tali.

La logistica intelligente o Logistica 4.0 si è evoluta intorno al 2011 con l'obiettivo di soddisfare le mutevoli esigenze dei clienti e fornire soluzioni logistiche sostenibili.

Le tre caratteristiche principali della Logistica 4.0 sono l'integrazione verticale (integrazione di diversi sistemi informatici a vari livelli all'interno di uno stabilimento); integrazione orizzontale (collaborazione interaziendale) e integrazione ingegneristica end-to-end (collegamento incrociato di parti interessate, prodotti e macchine). La logistica 4.0 prevede la pianificazione e il controllo basati

sul sistema della movimentazione fisica delle merci e del flusso di informazioni ad essa associato dalla sorgente alla destinazione finale.

Essa utilizza principalmente tecnologie come Internet of Things (IoT), Cyber-Physical Systems (CPS), big data analytics e cloud computing. Sulla base di queste tecnologie sono gestiti vari sistemi avanzati, come sistemi di gestione del magazzino e di trasporto intelligente, sicurezza delle informazioni ed elaborazione autonoma degli ordini tramite la blockchain e contratti smart.

La Logistica 4.0 mira ad eliminare l'imprecisione e migliorare ulteriormente la velocità del processo basato su informazioni in tempo reale in cui è necessario il coinvolgimento umano per interagire con le macchine e controllare i processi.

I vantaggi includono la garanzia di consegne e forniture tempestive, la capacità di determinare agilità, flessibilità e reattività delle imprese nella supply chain e la capacità di applicare analisi predittive. Queste capacità possono ridurre significativamente i tempi di consegna e i costi nella supply chain. Pertanto, può avere un impatto sul processo decisionale inverso a livello strategico, operativo e tattico.

Le strategie nella logistica includono diverse decisioni come strategie di adeguamento della capacità, di investimento finanziario, di miglioramento del livello di servizio al cliente, di miglioramento delle prestazioni di consegna e riduzione del tempo del ciclo di trattamento di un reso.

Le decisioni tattiche nella logistica inversa includono decisioni relative alla riduzione dei costi di smaltimento e gestione dei costi di garanzia, efficacia della programmazione della produzione, miglioramento delle prestazioni di spedizione, accuratezza del sistema di previsione, riduzione del tempo di ciclo dei vari processi e stima del costo delle merci restituite.

1.2 Dalla logistica al supply chain management

L'enorme impatto che la funzione logistica ha all'interno della realtà aziendale pone le basi nel Supply Chain Management, concetto implementato all'interno dell'organizzazione di alcuni settori.

1.2.1 La filosofia del SCM

Per Supply Chain Management (SCM), intendiamo l'integrazione e la coordinazione dei processi della catena produttiva, finalizzate alla massimizzazione del valore redistribuito tra gli stakeholders. Il mutamento nell'approccio che separa la logistica tradizionale dal Supply Chain Management è prettamente di livello: mentre nel primo caso la funzione logistica dell'impresa si limita all'interazione con le funzioni logistiche delle altre aziende, nel secondo la rete di imprese è considerata ricomprendendo tutte le funzioni aziendali. La differenza tra le due tipologie di gestione è pertanto di tipo manageriale, e rende il SCM più adatto al raffronto con problematiche complesse e trasversali. Come introdotto da Mentzer, il Supply Chain Management si posiziona a metà strada tra una filosofia di management e un set di processi volti all'integrazione dei nodi della Supply Chain: la strategica e sistematica integrazione delle funzioni aziendali (orientata a una performance ottimale di lungo termine, la stessa che ricomprenderà tutti i soggetti inclusi nella Supply Chain). Una seconda interpretazione è data da Svensson, che invece perviene a una visione orientata alla filosofia manageriale, definendo il SCM come un business volto alla gestione del doppio flusso di risorse (e informazioni), che intercorre tra gli attori della filiera produttiva, ad ogni livello (dallo strategico all'operativo), comprendendo persino il consumatore finale. Illustreremo attraverso lo schema che segue il percorso delle risorse (e delle informazioni) lungo il processo logistico nell'accezione posta da Svensson, in modo da illustrare le modalità in cui la logistica garantisce al coesione dell'intera Supply Chain.

1.2.2 Supply chain management e innovazione

Dunque, vi è una linea sottile a demarcare il confine tra logistica tradizionale e Supply Chain Management: una linea rappresentata dalla sensibilità al processo innovativo. Se infatti la logistica tradizionale viene influenzata solamente dall'innovazione funzionale, il SCM viene sottoposto anche ad evoluzioni di catena, che potrebbero incidere sui Business Model dei singoli soggetti della Supply Chain, o sui professionisti logistici a cui si affidano, stravolgendo la gestione dell'intera filiera produttiva.

L'innovazione nel SCM riguarda pertanto processi esterni alle imprese e/o alla filiera, i quali effetti

spingono l'intera Supply Chain a nuovi orientamenti, indirizzandola verso il massimo potenziale e verso il culmine del vantaggio competitivo.

Nello specifico la catena di distribuzione si compone di nove attività, secondo un ben preciso ordine: marketing, rapporti con i fornitori, approvvigionamenti, gestione e stoccaggio delle scorte delle materie prime, produzione, gestione e stoccaggio dei prodotti finiti, gestione degli ordini di acquisto, gestione delle consegne, logistica di restituzione dei resi (o reverse logistics).

Lo scopo primario del Supply Chain Management è controllare le prestazioni e migliorare l'efficienza per ottimizzare il livello di servizio reso al cliente finale, razionalizzando i costi operativi e il capitale impegnato. Diventa, quindi, uno dei driver fondamentali su cui possono puntare le compagnie per aumentare la loro competitività e la soddisfazione del cliente: oggi il Supply Chain Management è parte integrante del successo di un'azienda.

La gestione efficiente della supply chain consente alle aziende di ridurre il time to marke, diminuire i prezzi dei prodotti e assicurare una differenziazione rispetto ai competitor. Tutto questo anche grazie all'avvento di internet e alla diffusione dell'utilizzo dell'ICT che migliorano il servizio al cliente, aumentano la velocità di comunicazione, riducono i costi di processo e assicurano una maggiore flessibilità aziendale. In particolare, internet ha reso strategico il Supply Chain Management, rendendo più facili e immediate la coordinazione, l'integrazione e la comunicazione tra i membri operano lungo la catena di distribuzione.

Tutto questo si traduce in una più precisa previsione della domanda, che permette di comprendere le esigenze dei consumatori; in un pianificazione della domanda puntuale, per realizzare piani di azione attendibili e precisi e ridurre il numero di resi; in un processo di trattamento degli ordini ottimizzato; in una migliore previsione della capacità produttiva, ottimizzando l'uso degli impianti; la pianificazione dell'utilizzo delle materie prime; in una più efficace integrazione tra domanda e fornitura e tra produzione, logistica e marketing.

1.2.3 Supply chain e e-commerce

Man mano che i mercati diventano sempre più connessi su scala globale, il modo in cui vengono soddisfatte le richieste dei clienti viene ridefinito. Manodopera, materie prime e produzione possono essere acquisiti da una gamma dinamica di fonti poiché le grandi e piccole imprese cercano il costo più basso. Ecco perché la supply chain diviene estremamente importante per il crescente settore dell'e-

commerce. L'e-commerce sta prosperando con lo sviluppo di nuovi modelli di business e sarà continuamente sviluppato negli anni successivi. L'e-commerce è considerato uno dei principali fattori di sviluppo dell'economia in quanto esso diventa un fenomeno mondiale che offre flessibilità, convenienza e accessibilità.

La funzione del supply chain management è la spina dorsale dell'e-commerce. E' stato dimostrato da diversi studi che l'e-commerce potrebbe aumentare la capacità di un'organizzazione di percepire e rispondere alle esigenze del mercato raccogliendo e diffondendo informazioni di mercato in tutta l'organizzazione. Con tali informazioni, le aziende valutano con precisione e stimano la domanda del mercato in modo da cercare nuovi mercati. Pertanto, le società che vedono l'e-commerce integrato con il proprio supply chain management avrebbero maggiori probabilità di sfruttare risorse complementari e ottenere vantaggi in termini di efficienza ed efficacia.⁶

2. E-commerce

L'e-commerce è definito come un modello di business in cui l'attività commerciale si svolge su reti elettroniche e in particolare su Internet. Esistono diversi tipi e forme di e-commerce per le quali sono state proposte diverse categorie:

- a seconda del rapporto tra le parti coinvolte, l'e-commerce può essere B2C - business to customer, B2B - business to business, C2C - cliente a cliente, B2A - business to administration
- a seconda del tipo di azienda che svolge l'attività commerciale; si definiscono pure players, le aziende che vendono solo o principalmente su Internet; piattaforme di vendita, che forniscono un marketplace online per i venditori esterni; aziende omnichannel, che combinano negozi fisici con piattaforme online.

Lo sviluppo di Internet e delle moderne tecnologie ha trasformato il commercio all'ingrosso a tal punto che la maggior parte dei flussi transnazionali di merci passa per le piattaforme online, portando l'e-commerce a diventare una funzione del commercio B2B transnazionale. In particolare il segmento del B2C, o commercio elettronico al dettaglio, più che una funzione, è un modello di business.

La crescita del commercio elettronico è accompagnata da diversi fenomeni correlati, come l'automazione, la digitalizzazione, l'intelligenza artificiale, l'analisi del big data, ecc.

Sebbene l'avvio di un'attività di e-commerce può sembrare più facile rispetto ad un negozio fisico; in verità, è sempre più difficile avere successo a causa della forte concorrenza. Il raggiungimento di una dimensione competitiva per beneficiare delle economie di scala è ad alta intensità di capitale e

richiede una strategia aziendale di espansione aggressiva con operazioni in perdita per determinati periodi di tempo.

Le grandi multinazionali del retail tradizionale, in particolare quelle quotate in borsa, hanno investito in operazioni di e-commerce per due ragioni fondamentali: avere piattaforme on-line rendono le transizioni tempestive qualora questo modello di business diventasse predominante nel retail, e allo stesso tempo le nuove piattaforme on-line o soluzioni omnichannel (Drives, preordini e ritiro in negozio ecc.) rappresentano un buon asset di comunicazione per il reporting aziendale e i mercati finanziari. In realtà, la maggior parte degli attori tradizionali, ha sviluppato filiali interne di e-commerce per servire aree urbane dense marginali alla struttura delle attività, generando in molti casi perdite e flussi di cassa negativi. Pertanto, i retailer tradizionali si rivelano tolleranti alle perdite subite dalle filiali di e-commerce e continuano ad investire in queste operazioni auspicando ad una redditività futura e alle esigenze del panorama competitivo.

L'e-commerce offre molti vantaggi ai clienti come costi inferiori, disponibilità e tempi ridotti. Il suo impatto si manifesta in vari aspetti aziendali, dal servizio clienti alla progettazione e consegna del prodotto. Un numero crescente di clienti ordina prodotti tramite Internet a causa di prezzi bassi e una gamma più ampia di prodotti, presumendo che questi arrivino a destinazione, il prima possibile, con la possibilità di varie forme di pagamento e l'assicurazione di un reso gratuito.

La sopravvivenza nel clima competitivo economico odierno richiede più di semplici sconti sui prezzi e prodotti innovativi. Per ottenere un vantaggio competitivo, le aziende devono concentrarsi e comprendere l'esperienza del cliente. Viviamo in un'epoca in cui soddisfare le esigenze del cliente è il principale elemento di differenziazione tra le aziende. Pertanto, le aziende devono spostare la loro attenzione sulla gestione dell'esperienza del cliente (CEM). Tutti i punti di contatto tra i clienti e l'azienda, i prodotti richiesti e il servizio durante l'esperienza del cliente rappresenta la strategia seguita dall'azienda per gestire la customer experience.

2.1 Il servizio clienti

Il servizio al cliente non è mai stato così importante come con lo sviluppo dell'e-commerce: i clienti si aspettano che l'acquisto sia consegnato a velocità record e con costi di spedizioni ridotti. Per questo motivo l'e-commerce sta cambiando il volto della supply chain.

Il tradizionale supply chain management si è rivelato non abbastanza efficace nel gestire il

rivoluzionario mercato dell'e-commerce, in quanto i sistemi classici si basano su innumerevoli fogli di calcolo e processi manuali, mentre i responsabili dei magazzini supervisionano le attività come se non perfettamente integrate con il canale logistico.

Sebbene questo metodo funzionava nel passato, l'avvento dell'e-commerce impone una diversa gestione.

La strategia sviluppatesi negli ultimi decenni, mira a trasformare prontamente il metodo di gestione della supply chain in modo da favorire lo sviluppo dell'e-commerce: i supply chain manager devono essere a conoscenza del cambiamento e sviluppare un approccio su più fronti per andare incontro alle nuove esigenze sia del B2C che del B2B e nel mentre gestire magazzini e sistemi logistici più grandi ed integrati.

Un'innovata gestione della supply chain e dell'e-commerce rappresenta la chiave per l'omnicanalità e per tutti i benefici da essa derivanti. Sviluppare però un approccio poliedrico per favorire l'omnichannel è sicuramente un rischio. Sebbene il beneficio nel lungo termine sia indiscusso, nel breve termine l'effetto potrebbe anche essere negativo: perdita di rapporti con il B2B, difficoltà nel soddisfare la domanda dei clienti, costi aggiunti per l'azienda.

Sebbene queste modifiche abbiano comportato, alle imprese convertite all'e-commerce, un temporaneo downtime, l'evoluzione ed il crescente miglioramento nella gestione della supply chain supera questi ostacoli. L'utilizzo di sistemi automatizzati ed altri tratti comuni alle moderne strategie di supply chain, hanno reso la transizione virtuosa verso un risultato duraturo.

Diversi studi hanno affermato quanto i vantaggi della nuova gestione della supply chain apportano un gran numero di benefici e una riduzione del rischio:

- aumento della trasparenza in tutte le operazioni;
- vendita omnichannel: coinvolgimento del cliente nelle decisioni e possibilità di ridurre i downtime usando tutte le risorse disponibili per evadere gli ordini;
- Reverse logistics rafforzata: dare ai responsabili di magazzino i mezzi per gestire i resi in maniera semplice e chiara;
- sistema automatizzato per la gestione delle scorte: possibilità di assicurare sempre un livello di scorte adeguato, ottimizzazione all'interno del magazzino per muovere solo ciò che è necessario, quando e dove richiesto.

Gestire la crescita dell'e-commerce ha, dunque, come ultima conseguenza: l'adozione dell'omnicanalità. I magazzini dovranno essere in grado di integrare i diversi sistemi e canali. Dovranno affidarsi alla potenza dell'Internet Of Things, far leva sull'intelligenza artificiale, sfruttare

i big data, per generare una transizione il quanto più possibile armoniosa verso un risultato duraturo e soprattutto competitivo.

2.2 Individuazione dei kpi tipici del canale

Affinchè sia possibile studiare e analizzare un fenomeno, la misurazione diventa uno strumento di fondamentale importanza. In particolare, i fattori chiave di prestazione (KPI) sono un elemento chiave di ogni processo di miglioramento, tali da permettere di verificare l'andamento dell'efficienza operativa mediante il confronto con i valori obiettivo.

Migliorare le proprie prestazioni significa essere in grado di misurarle.

I fattori critici di successo, ovvero fattori che incidono notevolmente sulle prestazioni di un'azienda, determinano la scelta degli indicatori da gestire e controllare per fare in modo che l'attività si sviluppi nella direzione attesa.

Uno dei KPI tipico utilizzato in ambito e-commerce è il Perfect Order (PO): esso misura la perfezione di ogni singolo processo coinvolto con l'emissione di un ordine.

Uno dei modi più utilizzati consiste nel misurare le note di credito emesse verso i clienti a causa di un errore; se poi il sistema permette di gestire un "reason code", ovvero un campo che identifica il motivo del reclamo, basta poi analizzare le note credito per motivo ed ottenere il PO con le sue sotto categorie.

In genere le categorie degli errori sono:

- Ritardi o errori in fase di inserimento ordine nel CRM
- Ritardi o errori in fase di preparazione ordine in magazzino
- Ritardi, errori o rotture in fase di consegna da parte del corriere
- Errori di fatturazione
- Reclami, resi o richiesta di rimborsi da parte del cliente

Vediamo un esempio:

- Order Entry Accuracy: 99,95% Corretto (5 errori ogni 10.000 linee ordinate)
- Warehouse Pick Accuracy: 99,2% (8 errori ogni 1.000 linee ordinate)
- Delivered on Time: 96% (4 spedizioni in ritardo ogni 100 consegnate)

- Shipped without Damage: 99% (1 spedizione danneggiata ogni 100 consegnate)
- Invoiced Correctly: 99,8% (2 fatture errate ogni 1.000 emesse)
- Returns from customer: 1% (1 reso ogni 100 ordini consegnati)

Il Perfect Order sarà dunque: $99,95\% * 99,2\% * 96\% * 99\% * 99,8\% * (100-1\%) = 99,95\% * 99,2\% * 96\% * 99\% * 99,8\% * 99\% = 93,10\%$

Un altro indicatore che permette di comprendere il livello di soddisfazione dei clienti rispetto al servizio ricevuto è il Customer Satisfaction Score (CSAT).

Nella sua forma più semplice, è espresso in percentuale tra 0 e 100, dove 100% rappresenta la soddisfazione massima dei clienti.

L'indicatore CSAT è spesso determinato da una domanda singola fatta successivamente ad un acquisto o una transazione "Come giudicheresti il tuo grado di soddisfazione al servizio ricevuto?" in genere la scelta è fra una scala di 5 valori, con 1 che rappresenta «molto insoddisfatto» e 5 «molto soddisfatto».

Il risultato finale è poi calcolato in due modi:

- media di tutte le risposte ottenute (es. Booking, Tripadvisor)
- considerando solo le risposte con score 5, ovvero i «molto soddisfatti»

I vantaggi dell'indicatori si presentano inconvenienti:

- generalmente i clienti mediamente soddisfatti o insoddisfatti non partecipano al sondaggio
- vi è correlazione tra il comportamento dell'azienda e il grado di soddisfazione dei clienti, in modo che eventuali cambi di procedure o processi aziendali possano eventualmente trovare risultato sulla soddisfazione dei clienti

Un altro ottimo indicatore è il Net Promoter Score (NPS) che si esplica con la domanda posta ai clienti "Con quale probabilità consiglieresti questa azienda a un amico?"

Le risposte sono classificate su una scala da 0 a 10 in cui i numeri più bassi indicano i clienti insoddisfatti e i numeri più alti rappresentano i clienti fedeli che riacquisteranno il prodotto e lo consiglieranno ad altre persone.

Il NPS è tenuto in considerazione dalle aziende per raccogliere feedback necessari al miglioramento della strategia commerciale.

CAPITOLO II

IL MAGAZZINO

1. Definizione magazzino

Il magazzino rappresenta il cuore di un'azienda industriale in quanto è strettamente connesso ai processi produttivi e a quelli di vendita. Esso è una struttura logistica composta da attrezzature di stoccaggio e movimentazione che, insieme alle risorse umane e gestionali, consente di regolare i flussi materiali e informativi in entrata e in uscita.

In un mondo caratterizzato da un avanzamento esponenziale dell'e-commerce agevolato dall'industria 4.0, il magazzino non è più inteso in senso restrittivo e limitativo come uno spazio in cui vengono depositati i prodotti finiti, i semilavorati e le materie prime; bensì esso ha la funzione di ricevere, conservare, distribuire le referenze. Queste funzioni sono collegate da una razionale disposizione dei materiali che assegna il valore aggiunto ad un'azienda, in quanto conferisce l'efficienza a livello di costi, spazio e tempo. Si parla infatti di attività di immagazzinaggio.

Il magazzino è un aspetto della logistica importante, non soltanto per gli ingenti investimenti che comporta e i costi che ne derivano, ma anche per la molteplicità di operazioni che lo caratterizzano. Le operazioni inerenti alla quantità e alla tipologia di prodotti da immagazzinare, quelle relative alle unità di carico e i sistemi utilizzati per movimentare la merce, l'organizzazione dell'entrata e dell'uscita delle merci, la gestione delle modalità di spedizione e stoccaggio, sono tutte componenti e attività che devono essere svolte in un magazzino

Per semplificare l'analisi, Rushton e Oxley (1993), individuano le principali attività che caratterizzano la gestione del magazzino suddividendole in:

1. Entrata delle merci, ovvero lo scarico, il ricevimento delle merci e la sosta in magazzino; il controllo della qualità e della quantità dei prodotti ricevuti; la relativa registrazione dei prodotti consegnati e la segnalazione di eventuali anomalie; il disimballo e l'allocazione della merce.
2. Stoccaggio, ovvero il trasferimento dei prodotti in cassette di riserva, o nella zona di stoccaggio; la conferma della locazione per un eventuale controllo; infine, il trasferimento della merce in caso di rifornimento dei box di prelievo.

3. Prelievo, vengono svolte tutte le attività necessarie per prelevare i prodotti al fine di evadere l'ordine, per il packaging e il controllo, comprendendo anche il rifornimento del materiale necessario per il packaging i prodotti.
4. Smistamento, indispensabile per mantenere un certo ordine in modo da suddividere i prodotti per cliente o veicolo.
5. Uscita delle merci, ovvero il caricamento dei veicoli e la spedizione, il tutto accuratamente studiato e programmato.

Data la molteplicità di fasi e quindi di attività indispensabili per operare una corretta gestione del magazzino, è necessario che l'azienda, come prima regola, studi dettagliatamente il ciclo logistico di cui fa parte il magazzino e successivamente passare alla vera e propria progettazione e verifica; in quanto una superficiale conoscenza di questo provocherebbe colli di bottiglia e zone inutilizzate. Perciò è necessario analizzare il contesto aziendale e delle situazioni che l'azienda specifica deve affrontare.

1.2 Ruolo del magazzino

I magazzini sono un aspetto chiave delle moderne supply chain e svolgono un ruolo vitale nel successo o nel fallimento delle imprese odierne (Frazelle, 2002a).

Sebbene molte aziende abbiano considerato la possibilità di fornitura diretta sincronizzata ai clienti, ci sono molte circostanze in cui ciò non è appropriato. I tempi di consegna richiesti dai clienti risultano spesso troppo brevi rispetto ai tempi necessari al fornitore, costringendo dunque il cliente ad essere servito dal magazzino piuttosto che direttamente dall'ordine.(Harrison e van Hoek, 2005). Allo stesso modo, può rivelarsi strategico avere scorte nei punti di disaccoppiamento della supply chain per separare le attività di lean production (che beneficiano di un flusso regolare) dalla risposta agile a valle ai mercati volatili (Christopher e Towill, 2001). In alternativa, le reti di fornitura e distribuzione possono essere di una complessità tale da rendere necessario il consolidamento delle merci nei punti di inventario in modo che gli ordini multiprodotto per i clienti possano essere consegnati insieme, ad esempio presso centri di consolidamento break-bulk o make-bulk (Higginson e Rilegatore, 2005). Le operazioni di tali magazzini sono fondamentali per la fornitura di elevati livelli di servizio al cliente.

Oltre ai tradizionali ruoli di gestione dell'inventario, i magazzini si sono evoluti per fungere da:

- punti di cross-docking: la merce nei veicoli in arrivo viene direttamente trasferita nei veicoli di uscita, evitando la fase di stoccaggio in magazzino
- centri di servizi a valore aggiunto: come i centri di assistenza clienti
- punti di rinvio della produzione: configurazione o assemblaggio di merci per la domanda specifica del cliente
- centri merci resi: essenziali per logistica inversa di imballaggi, merci difettose o merci a fine vita) e molte altre attività varie, come i centri di assistenza e riparazione (Maltz e DeHoratius, 2004).

Nonostante i magazzini siano fondamentali per un'ampia gamma di attività di servizio al cliente, sono particolarmente significativi dal punto di vista dei costi. I dati per gli USA indicano che i costi di capitale e operativi dei magazzini rappresentano circa il 22% dei costi logistici (Establish, 2005) , mentre i dati per l'Europa danno una cifra simile del 25% (ELA/AT Kearney, 2004) .

Con questo impatto critico sui livelli di servizio al cliente e sui costi logistici, nonché sul grado di complessità coinvolto, è indispensabile per il successo delle aziende, la progettazione efficiente e funzionale dei magazzini

1.3 Tipologie di magazzino

Esistono diverse tipologie di magazzini definiti da caratteristiche precise per cui le aziende sono mosse a scegliere determinate tipologie soffermandosi sulle loro principali attività aziendali, la domanda prevista e i costi derivanti. Le differenti dimensioni dei magazzini dipendono dalle giacenze di merci, le quali sono estremamente variabili date le attività aziendali, i volumi trattati e il grado di sviluppo dell'azienda nel mercato considerato.

Le attività di magazzinaggio influenzano le dimensioni, in quanto hanno come obiettivo la conservazione di quantità ideali di prodotto, in luoghi ideali sia ai fini di soddisfacimento della domanda che ai fini organizzativi minimizzando i costi operativi.(Rusthon, A., Oxely, J., 1993, Op. cit., Milano, FrancoAngeli.)

Potremmo classificare i magazzini in: (23 Payaro, A., 2008, Organizzazione del magazzino.)

- magazzini di materie prime. Magazzini che contengono al loro interno tutti i materiali e i prodotti necessari all'ottenimento di semilavorati o prodotti finiti;
- magazzini di semi-lavorati. Magazzini che contengono materiali chiamati WIP (work in progress);

in questo caso i materiali hanno subito delle trasformazioni ma non sono ancora completi; pertanto, appartengono al ciclo produttivo;

- magazzini di prodotti finiti. Magazzini che contengono il prodotto finito, composto di tutte le sue parti e idoneo ad essere venduto al cliente finale.

2. I magazzini automatici

In un mondo tecnologicamente avanzato la concorrenza delle aziende risulta essere improntata verso forme sempre più elevate con strumenti e tecnologie innovative finalizzate ad aumentare la produttività e l'efficienza di un'azienda. Grazie alla digitalizzazione e all'introduzione di realtà come le scaffalature industriali, la logistica, che opera in questo settore è, considerata parte integrante del successo di un'impresa e chiave per differenziarsi dai concorrenti.

Il processo è quello di realtà sempre più integrate, funzionali e con maggiore affidabilità e sicurezza verso un'automazione di tutte le fasi di magazzino, dallo stoccaggio al picking, fino alla spedizione. In questa prospettiva i magazzini automatici diventano i protagonisti, rendendo le scaffalature industriali sistemi integrati e utili a rendere un'azienda competitiva e produttiva.

2.1 Funzionamento del magazzino automatico

Il magazzino automatico è inteso come il complesso di quegli impianti e strumenti tecnologici destinati a rendere i processi di stoccaggio, picking, carico e scarico merci, completamente automatizzati. Pertanto, questa tipologia di magazzino è caratterizzata da scaffalature industriali robotizzate, in cui il contributo umano è ridotto al controllo attraverso un software che gestisce le fasi di immagazzinamento.

Questa realtà completamente gestita da software e sistemi informativi presenta una combinazione di sistemi automatizzati che agiscono in perfetta autonomia. Uno degli aspetti principali dei magazzini automatici risulta essere il principio in base al quale i flussi logistici sono programmati in modo da spostare i prodotti verso gli operatori secondo il principio del goods-to-man, ovvero delle merci che vanno verso l'uomo. In questo modo la fase di selezione e prelievo parziale dei materiali è più veloce, dato il picking completamente automatizzato con la preparazione meccanica del prodotto.

Questa “nuova logica” si oppone alla precedente del “man-to-goods” in cui era l'uomo che andava

verso le merci; tuttavia, entrambe le logiche dominano il mondo industriale in quanto applicate in base a determinate funzioni dell'azienda

2.1.1 Differenze tra i magazzini tradizionali e automatici

In un magazzino tradizionale le singole operazioni sono svolte con carrelli elevatori guidati da esseri umani in cui l'operatore gestisce le merci, posizionandole in modo che il prelievo avvenga in base alle consegne.

Questa tipologia di sistema segue la logica “man to goods” in cui non è la merce ad andare verso l'uomo, ma il contrario, è l'operatore a spostarsi in direzione delle merci per poter compiere le operazioni di prelievo. I carrelli elevatori, e le diverse tipologie di scaffalature industriali sono gli strumenti principali impiegati al fine di poter effettuare le varie fasi.

Invece nei magazzini automatizzati l'intero il processo si articola più rapidamente, con un intervento robotizzato che permette all'operatore di effettuare il picking velocemente con un aumento della produttività. La logistica diventa sempre più smart, gestita attraverso il lavoratore umano, il quale continua ad essere parte integrante del sistema ma con un apporto diverso: non più come mano d'opera, bensì necessario al controllo e al processo finale.

2.1.2 Caratteristiche dei magazzini automatici

Come tutte le realtà tecnologiche, anche i magazzini automatizzati presentano vantaggi e svantaggi nel loro impiego.

In primo luogo è necessario considerare che questi magazzini comportano un ingente investimento iniziale, il quale può essere ammortizzato grazie a una migliore produttività. Sebbene dispendiosa, l'evoluzione delle tecnologie applicate alla loro automazione ha permesso l'acquisizione di un enorme vantaggio, ovvero la realizzazione di software sempre più efficienti e strutture molto avanzate che permettono di installare le scaffalature industriali robotizzate anche in piccole e medie aziende.

Per comprendere al meglio come funziona il magazzino, quali possono essere i suoi apporti positivi e perché sostituire il tradizionale, è necessario analizzare il magazzino sotto tre criteri.

-Funzionalità: i sistemi automatizzati migliorano la gestione di pallet o di cassette.

Inoltre l'impiego di strumenti robotizzati permette un'integrazione del magazzino alle altre attività aziendali come sono la tracciabilità delle merci, il controllo delle scorte, il controllo dell'inventario in tempo reale e la programmazione delle consegne.

In quest'ottica il magazzino automatizzato permette di offrire migliore qualità al cliente.

-Prestazioni: un fenomeno da non sottovalutare è il netto incremento della competitività. La sostituzione di un sistema tradizionale con uno automatizzato provoca generalmente un incremento della velocità delle prestazioni effettuate all'interno del magazzino.

Le prestazioni del settore logistico migliorano in modo esponenziale con una conoscenza completa di tutte le merci presenti in magazzino, delle quantità, del peso e del volume di ogni singola unità. Inoltre, si guadagna un prezioso risparmio di spazio, gestendo meglio il magazzino e quindi incamerando un numero di articoli maggiore con un relativo profitto aggiuntivo. I tempi per poter effettuare il prelievo della merce e prepararla alla spedizione al cliente si dimezzano, rendendo quindi più produttiva l'azienda.

-Affidabilità: l'accuratezza diventa una caratteristica essenziale in un magazzino automatico. Con questo termine si considera la riduzione in modo drastico di errori, che possono causare disguidi con il cliente e ritardi nelle fasi di stoccaggio. Inoltre l'accuratezza emerge anche nella sicurezza intesa sia come salvaguardia del prodotto, che grazie agli strumenti robotizzati verrà tutelato riducendo eventuali danni dovuti allo stivaggio e al posizionamento delle merci nelle scaffalature, sia come salvaguardia della sicurezza degli operatori, grazie ai sistemi di automazione.

Per citare qualche numero, si pensi che la semplice automazione “gestionale”, ovvero quella che non riguarda i sistemi meccanici di movimentazione delle merci, può portare a un 25% di aumento della produttività, un 10-20% di ottimizzazione nell'impiego degli spazi e una riduzione fino al 30% delle scorte di sicurezza (Hokey Min- The Essentials of Supply Chain Management, via Westernacker). Tutto merito di tecnologie quali RFID, pick-by-light, sistemi di picking voice-assisted e, soprattutto, dell'intelligenza di un buon WMS, cui spetta la gestione smart e ottimizzata di tutti i processi logistici di magazzino. Migliorare la comunicazione, fornire visibilità sullo stock, le posizioni e i movimenti, eliminare errori dovuti a trascrizioni manuali e accelerare tutti i processi di magazzino porta rapidamente ai risultati sopracitati.

Il magazzino automatico rappresenta quindi il futuro del mondo industriale, in quanto la capacità di gestire ordini complessi garantendo uno straordinario livello di servizio sarà sempre più centrale per la soddisfazione del cliente, e le aziende saranno in grado di vincere questa sfida in modo sostenibile solo rivolgendosi a una qualche forma, totale o anche parziale, di automazione.

2.2 Tipologie di magazzino automatico

Ottimizzazione degli spazi, efficienza, sicurezza, controllo della qualità e gestione delle scorte. I vantaggi di un magazzino automatico sono numerosi. Non tutti i magazzini sono però uguali e si distinguono, principalmente, per il posizionamento nella catena logistica, la struttura fisica e la tipologia di tecnologia adattata. Si tratta di fattori di cui un'azienda deve tenere conto per scegliere la soluzione che risponde in maniera più efficace alle esigenze poste dal settore in cui si opera, dal prodotto e dallo spazio a disposizione.

Le principali tipologie di magazzino automatico:

-Magazzini di materia prima, di semilavorati e di prodotto finito

Una prima distinzione riguarda il posizionamento del magazzino all'interno della catena logistica. In base a questo, troviamo magazzini di materia prima, magazzini di semilavorati (detti anche inter-operazionali) e magazzini di prodotto finito.

-Magazzini tradizionali e autoportanti

Una seconda suddivisione dipende dalla struttura fisica del magazzino automatico. In questo caso le soluzioni principali sono due: il magazzino automatico tradizionale e quello autoportante.

Il magazzino tradizionale è costituito da normali scaffalature metalliche contenute all'interno di un edificio solitamente preesistente. Nel magazzino autoportante è invece lo scaffale stesso a sostenere le pareti e la copertura diventando così un edificio a tutti gli effetti. Normalmente si tratta di un edificio dalle dimensioni significative: mediamente si fanno impianti sui 25 metri altezza, ma si può arrivare anche a 40. Indipendentemente dalle dimensioni, tutti i magazzini automatici sono comunque dimensionati per sostenere le spinte concomitanti dovute a un'azione sismica.

-Magazzini a trasloelevatore e con navette al piano

I magazzini automatici si differenziano poi a seconda delle tipologie di automazione, in particolare delle macchine che eseguono il deposito e il prelievo, e in funzione delle unità di carico che gestiscono (pallet, cassoni, scatole, ecc.). La principale distinzione è tra magazzini a trasloelevatore e magazzini con navette al piano.

2.2 Le operazioni dei magazzini automatici

Prendendo come esempio i magazzini automatici per i prodotti finiti, la tipologia oggi più diffusa, sia con unità di carico mono o pluri-referenza sia mono o pluri-quantità le operazioni fondamentali che si possono svolgere in un magazzino sono tre:

- Ingresso interi
- Uscita interi
- Picking & Refilling

Nelle operazioni di picking l'operatore è fermo e le merci arrivano a una postazione predeterminata – la stazione di picking/refilling - attraverso speciali convogliatori, linee di trasporto, navette di asservimento al magazzino. Questa postazione è attrezzata con tutto il necessario per svolgere le attività guidate da videoterminale data-entry connesso a un software personalizzato (WMS). A completare la stazione di lavoro sono lettori di bar-code, bilance, stampanti di etichette e picking list. I sistemi automatici si avvalgono anche di picking automatico: in questo caso è l'attrezzo di prelievo (braccio antropomorfo di un robot con pinza di presa dedicata) che effettua il picking sia a collo singolo sia a strati di materiale.

3. Automated Storage and Retrieval Systems AS/RS

Gli Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RS), sono sistemi di movimentazione automatica ad alta densità di stoccaggio e tipicamente a forte sviluppo verticale per massimizzare il rendimento di superficie.

Essi sono sistemi utilizzati in produzione e distribuzione per lo stoccaggio ed il recupero automatico dei materiali (Roodbergen and Vis, 2009), la cui installazione ha registrato una notevole crescita a partire dal 2010.

Sono costituiti da una combinazione di apparecchiature e dispositivi di comando, che permettono di gestire, immagazzinare e prelevare materiali di vario genere (da piccoli contenitori a interi pallets di prodotti) con precisione e velocità. (Wen and Chen, 2001). Gli AS/RS possono variare da macchine relativamente semplici operanti in magazzini di medie dimensioni, a grandi sistemi computerizzati totalmente integrati nei processi produttivo e distributivo.

Nella maggior parte dei casi essi operano in modalità totalmente automatizzata con un basso o nullo coinvolgimento umano nella gestione dei materiali.

Tipicamente gli AS/RS sono utilizzati in applicazioni caratterizzate da elevati volumi di materiali da movimentare, dove la densità di immagazzinamento è elevata a causa dei vincoli di spazio e dove è dunque importante un buon livello di precisione nello stoccaggio (Roodbergen and Vis, 2009).

3.1 I vantaggi degli AS/RS

Rispetto ai sistemi non automatizzati, gli AS/RS presentano numerosi vantaggi. Permettono una veloce, accurata ed efficiente movimentazione dei materiali, 24 ore al giorno (Gagliardi et al., 2012a); consentono di ridurre i costi della manodopera, abbassano il bisogno di forza lavoro essendo indipendenti dal know-how del personale, ed incrementano la sicurezza sul posto di lavoro, evitando al personale di operare in condizioni difficili (come ad esempio in ambienti di stoccaggio a freddo degli alimenti).

Inoltre l'utilizzo di sistemi automatizzati comporta un maggior risparmio nei costi di stoccaggio, dal momento che lo sfruttamento ottimale degli spazi del magazzino (sia verticalmente che orizzontalmente) determina una densità di stoccaggio maggiore (Hwang and Lee, 1990).

Ulteriori vantaggi sono poi la riduzione dei tempi necessari per le operazioni di stoccaggio/recupero (attraverso l'eliminazione dei tempi di attesa e ricerca tipici di sistemi non automatizzati), l'aumento dell'affidabilità, la riduzione dell'incidenza degli errori di collocazione, la gestione di database sempre aggiornati sui movimenti della merce (con la possibilità di ottenere report real-time sulla giacenza) e la possibilità di abbassare la percentuale di furti (Bozer and White, 1984).

Per contro i costi dell'investimento sono molto elevati, così come i costi di manutenzione e la flessibilità di riconfigurazione è ridotta (Gagliardi et al. 2012a).

3.2 Componenti degli AS/RS

Un sistema AS/RS è definito come un sistema di stoccaggio che utilizza macchine per il percorso di deposito e prelevamento fisso, che si muovono su uno o più binari tra scaffalature di stoccaggio anch'esse fisse.

Generalmente un AS/RS è dunque costituito da una trasloelevatore che può muoversi lungo uno o più corridoi immagazzinando e/o prelevando i prodotti nelle scaffalature presenti su entrambi i lati del corridoio.

Il sistema registra l'ingresso del pallet, memorizza le informazioni di inventario (dimensioni,

tipologia, ecc) e trasmette al trasloelevatore tutte le informazioni necessarie alla sua movimentazione e ne determina la posizione ottimale. Ogni volta che il materiale viene quindi prelevato o spostato il sistema aggiorna l'inventario di conseguenza. Il sistema infatti segue le indicazioni date dall'operatore e le trasmette alla macchina per il recupero/deposito del materiale indicato.

I principali componenti sono (Wen and Chen, 2001):

Scaffalature: strutture di metallo con locazioni in cui posizionare i carichi (es. pallet) da immagazzinare.

Trasloelevatori: macchine per l'immagazzinamento/prelevamento talmente automatizzate che possono muoversi, prelevare e rilasciare i carichi.

Corridoi: spazi vuoti tra le scaffalature dove si possono muovere i trasloelevatori. Solitamente questi corridoi hanno una lunghezza compresa tra i 60 e i 240 m e sono larghi solo 20 cm in più dell'unità di carico utilizzata.

Punto di Input/Output (I/O): luogo dove i carichi prelevati dal magazzino vengono rilasciati e dove i carichi entranti vengono prelevati per essere poi stoccati.

Stazioni di picking: zone (se esistono) dove gli operatori lavorano per prelevare singoli pezzi da un'unità di carico (UDC) precedentemente prelevata e portata fuori corsia dal trasloelevatore. Avvenuta l'operazione l'unità di carico verrà riportata nella scaffalatura dal trasloelevatore.

I trasloelevatori sono robot a tre assi, realizzati su misura per ogni esigenza del magazzino e concepiti per il trasporto di pallet, contenitori, pacchi, cassette, o altre tipologie di unità di carico. Essi si possono muovere in verticale (asse y), alzando e abbassando le u.d.c, e in orizzontale, muovendo le u.d.c lungo il corridoio (asse x). Inoltre, si muovono anche lungo un terzo asse (asse z) per inserire o prelevare le UDC dalla loro locazione nella scaffalatura o per prelevare/depositare i carichi alla stazione di I/O.

La varietà e la versatilità delle configurazioni dei trasloelevatori in termini di altezza, capacità di carico, numero di UDC, conformazione della struttura (monocolonna o bicolonna) e organo di presa, permette di ottimizzare l'utilizzo dello spazio e di gestire molteplici unità di carico.

I trasloelevatori sono tipicamente composti da una piattaforma mobile al cui interno vi è l'organo di presa (forche telescopiche in acciaio ad alta resistenza). Tale piattaforma si muove lungo una colonna verticale (o due colonne per portate superiori ai 2000 kg) a sua volta traslabile lungo il corridoio delimitato lateralmente dalle due scaffalature. La colonna è fissata ad una trave inferiore su

due ruote portanti, una motrice ed una condotta, scorrevoli su una rotaia ancorata al pavimento. La verticalità del traslatore è mantenuta grazie ad apposite ruote di contrasto che, superiormente alla colonna verticale, scorrono lungo un profilato di acciaio fissato alla struttura portante della copertura del magazzino o alla controventatura degli scaffali.

Le forche telescopiche sono composte da un corpo fisso ed elementi sovrapposti i quali si muovono in modo telescopico bilaterale per la traslazione di carichi rispetto al centro. Esse consentono dunque la traslazione sull'asse z del trasloelevatore per l'immagazzinamento/prelevamento dei carichi nelle celle della scaffalatura.

I costi dei trasloelevatori sono fortemente influenzati dalle altezze delle scaffalature da servire.

Generalmente per scaffalature molto sviluppate verticalmente le velocità e accelerazioni di traslazione orizzontale, a causa della massa superiore da movimentare, risultano essere inferiori rispetto a quelle raggiungibili dai trasloelevatori utilizzati per scaffalature di altezza inferiore.

3.3 Tipologie AS/RS

Esiste un grande numero di opzioni possibili per la configurazione di un AS/RS.

La versione base, chiamata single unit-load aisle captive AS/RS prevede un trasloelevatore per ogni corridoio (aisle-captive), il quale può trasportare una sola unità di carico alla volta (single shuttle). Con questa configurazione i prodotti vengono prelevati/immagazzinati per unità di carico e non vi sono pertanto persone coinvolte nel prelevamento di singoli prodotti dall'unità di carico. Inoltre, la scaffalatura è a singola profondità, ciò significa che ogni carico è direttamente accessibile dal trasloelevatore.

A partire da tale configurazione base si possono poi trovare diverse alternative.

Una prima possibile variazione dall'AS/RS base si ha quando i trasloelevatori sono in grado di cambiare corsia. In questa configurazione, chiamata single unit-load aisle changing, i trasloelevatori possono operare su più corsie. Tale soluzione permette di minimizzare il numero di trasloelevatori e risulta vantaggiosa quando il numero di richieste di immagazzinamento/prelevamento non sia tale da giustificare l'utilizzo di un trasloelevatore per ogni corridoio. Anche in questo caso, come per il single unit-load aisle captive AS/RS le scaffalature sono a singola profondità.

Per superare le restrizioni in termini di capacità dei trasloelevatori single shuttle esistono poi i trasloelevatori multishuttle, che possono trasportare due (dual-shuttle cranes) o più carichi alla volta (molto rari).

Le operazioni di picking possono essere integrate nell'AS/RS stesso; un'opzione possibile è quella di progettare un trasloelevatore che possa ospitare un operatore a bordo (person-on-board) in modo che sia possibile evitare il prelievo dell'intera unità di carico dalla locazione, poiché l'operatore può effettuare direttamente il prelievo del singolo elemento dalla scaffalatura. La configurazione più comune per integrare il picking prevede tuttavia l'utilizzo del trasloelevatore per depositare l'unità di carico fuori corsia nella stazione di lavoro, dove un operatore preleva il numero richiesto di componenti; dopodiché l'unità di carico viene rimessa nella sua locazione dalla macchina R/S. Questa modalità viene chiamata end-of-aisle system.

L'immagazzinamento nella scaffalatura può essere a singola o doppia profondità (single o double-deep). In una scaffalatura a doppia profondità c'è spazio per due unità di carico immagazzinate una di fronte all'altra. L'immagazzinamento a doppia profondità è vantaggioso se il numero di codici da gestire, i lotti di rifornimento e il turnover sono tali da garantire selettività unitaria, ovvero, è possibile stoccare un UDC del medesimo codice in profondità. In tal modo il prelievo può essere fatto senza dover movimentare altre UDC per accedere al carico.

Un tipo speciale di AS/RS degno di nota è l'autonomous vehicle storage and retrieval system (AVS/RS). In questo sistema i movimenti verticale e orizzontale sono separati; i veicoli viaggiano orizzontalmente su rotaia attraverso i corridoi, mentre degli elevatori vengono utilizzati per trasferire i carichi verticalmente. Dato che il movimento non avviene simultaneamente sui due assi, tali sistemi portano a tempi di viaggio maggiori rispetto a quelli ottenibili dagli AS/RS (Malmborg, 2002). Un notevole vantaggio di questi sistemi è l'adattabilità della capacità produttiva del sistema alle variazioni di domanda, ad esempio variando il numero di veicoli circolanti per una fissata configurazione di stoccaggio (Ekren et al., 2010).

Solitamente questi impianti sono collegati con le diverse aree operative (ricevimento, picking, spedizione) attraverso sistemi di convogliamento più o meno articolati quali rulliere, catenarie, AGV, EMS.

In particolare gli AGV, Automated Guided Vehicles, sono trasportatori industriali che collegano le zone del magazzino e, soprattutto, ai trasloelevatori automatici, questi magazzini abilitano il sistema *goods-to-person*, che oltre a massimizzare la produttività offre tutti gli altri benefici dell'automazione, compresa l'ottimizzazione degli spazi, la maggiore sicurezza (per le persone e per le unità di carico) e un livello di servizio più elevato

Il dimensionamento di un sistema AS/RS è un processo complesso sia per quanto riguarda la scelta

della tipologia di macchina alla luce dei vincoli presenti, sia per quanto riguarda il calcolo della potenzialità del singolo trasloelevatore come funzione della geometria dello scaffale e delle prestazioni cinematiche della macchina (velocità, accelerazione, tempi fissi ecc.).

CAPITOLO III

IL MAGAZZINO INCAS

Il Dipartimento DIGEP di ingegneria gestionale della Produzione del Politecnico di Torino si propone di analizzare le performance di un magazzino automatizzato.

L'oggetto di questo progetto consiste nell'esaminare le caratteristiche peculiari del magazzino per verificare innanzitutto, attraverso degli esperimenti condotti nel laboratorio logistico ospitante il magazzino e due robot mobili autonomi, se esse rispettano i requisiti di un magazzino automatizzato e-commerce. Tuttavia, in caso esse non lo siano, l'obiettivo consisterà nell'ottenere un'analisi dettagliata sui limiti delle sue performance e ipotizzare il settore futuro di applicazione del suddetto magazzino.

In seguito verranno spiegate tecnicamente le funzionalità e il sistema gestionale del magazzino.

1. Warehouse Management System (WMS)

Il WMS è un software il cui obiettivo è agevolare la gestione del magazzino. Esso rappresenta il centro operativo e decisionale di tutte le attività del magazzino.

Il Magazzino INCAS dispone di questo gestionale per funzioni essenziali:

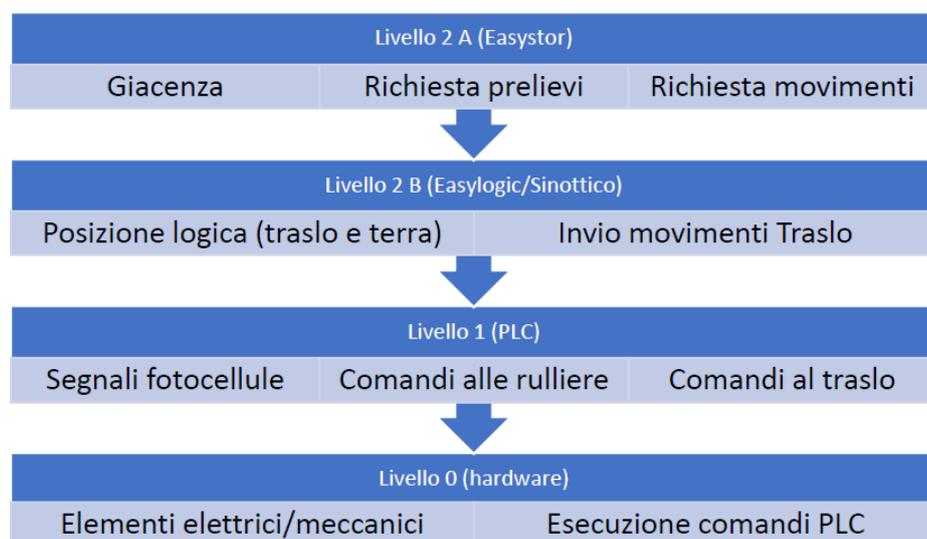
- Gestire l'entrata delle merci: il WMS insieme all'ERP (Enterprise Resource Planning, software designato per la gestione completa delle attività aziendali) semplifica il controllo e il caricamento a stock della merce. Nella fase di inserimento delle cassette all'interno del magazzino, il sistema gestionale controlla, attraverso le informazioni comunicate dai sensori del conveyor di ingresso, se le UDC sono state inserite precedentemente nel sistema.
- Stoccare le merci: il WMS propone una locazione dell'area di stoccaggio del magazzino dove depositare le merci in entrata. Tale locazione è del tutto sconosciuta, il WMS stocca le UDC secondo il suo algoritmo preimpostato.
- Gestire lo stock: il WMS registra lo stato attuale del magazzino della quantità della merce già stoccata, della configurazione fisica del magazzino e delle caratteristiche della merce da stoccare.
- Gestire l'uscita delle merci: il WMS si occupa di gestire la fase di picking, guidando gli operatori nel recupero delle merci e nella preparazione degli ordini. Inoltre, dialoga con l'ERP per segnalare l'ordine in uscita.

Il WMS si occupa quindi di gestire, nei fatti, i flussi di materiali di entrata e uscita del magazzino.

2. Descrizione del magazzino “INCAS”

Il sistema Incas che gestisce il magazzino automatico è formato da più sistemi che interagiscono durante tutto il funzionamento operativo dell’impianto.

Nello schema sottostante sono riportati i blocchi principali che costituiscono il sistema software e hardware alla base del magazzino Incas e sono indicati alcune delle funzioni principali degli stessi:



Schema 1

2.1 Informazioni generali

Prima di esporre il preciso funzionamento definiamo i termini con cui caratterizziamo i flussi in entrata e in uscita dal magazzino e le caratteristiche strutturali dove esso agisce.

Indichiamo con il termine UDC (unità di carico) la cassetta contenente prodotti non ancora prelevati per gli ordini ma che sono stoccati nel magazzino. Essa possiede i dati principali nella testata: codice cassetta, codice articolo e descrizione articolo, quantità totale di prodotto, quantità impegnata (da ordine o da trasferimento merce), vano di stoccaggio. Mentre le UDS (unità di spedizione) possiedono la stessa struttura divisa in testata con codice UDS, stato, ordine associato e in righe che mostrano il contenuto dell’UDS (articolo e quantità).

Per quanto concerne le caratteristiche strutturali del magazzino, è necessario identificare i vani.

2.2 I vani del magazzino

Per Easystor, il software che si occupa di tener conto delle giacenze, sono stati configurati dei vani per andare a identificare aree specifiche del magazzino oppure posizioni specifiche dell'impianto automatico.

Il vano di accettazione: solitamente corrisponde alla prima zona del magazzino in cui arriva la merce dall'esterno o da altri reparti. Esso avrà l'utilizzo del carico merce a seguito della procedura di carico generico dal programma Easystor.

Vano shuttle: sono i vani di uscita dallo shuttle adibiti, in un primo caso, al prelievo di merce per il completamento di ordini cliente, rappresenta quindi il flow rack per il prelievo; in un secondo caso, adibiti al prelievo di merce per la costruzione dei kit, rappresentando il flow rack per la costruzione kit.

Vano generico Shuttle: considera il Maxi Shuttle come un unico grande vano.

Vano generico Terra: identifica punti generici delle rulliere di terra, ovvero le rulliere oltre lo scanner del tratto di ingresso oppure di uscita dall'impianto.

Vano uscita rulliere da Shuttle che collegano lo Shuttle alle rulliere terra.

Vano Picking: in cui vi sarà la cassetta che serve a raccogliere i prelievi (UDS).

Vano costruzione Kit: vi sarà la cassetta per raccogliere il materiale per il kit (IDS), oppure è il vano dove si fermano le cassette richiamate verso il KIT, oppure dove arrivano le cassette da ricaricare.

Vano carico UDC: su cui viene caricata la merce dalla Postazione di Carico ma non corrisponde ad una rulliera fisica.

Vano Successivo al kit: utile per indicare su Easystor che una cassetta si è spostata dalla postazione di kit

Vano uscita: è un vano fittizio utile al fine del meccanismo delle missioni di prelievo.

2.3 Sinottico

Questa sezione si occupa della gestione di livello 2 (PC) della movimentazione delle cassette all'interno dell'impianto. È l'interfaccia utente del software Easylogic.

È suddiviso nelle diverse sezioni che vengono spiegate di seguito.

2.3.1 Terra

In questa sezione sono rappresentate le rulliere di terra dell'impianto. Il nome sulle rulliere corrisponde ad una stazione che possiede un singolo posto per una cassetta ed è lo stesso nome che si trova sulle etichette gialle presenti sugli elementi stessi dell'impianto. Fa eccezione solamente l'icona con nome "SCARTO" poiché è solamente una rappresentazione logica.

Ogni rulliera a livello software viene chiamata stazione, proprio perché permette lo stazionamento di oggetti.

Il movimento delle cassette sulla mappa Terra richiede i seguenti requisiti:

- le cassette devono essere state caricate attraverso la postazione di Carico (oppure eventualmente attraverso un carico generico di UDC dall'applicazione Easystor), se si tratta di UDC, oppure devono essere delle UDS generate attraverso postazione di Kit o Pick;
- il quadro PLC di terra deve essere in automatico in marcia (è stato premuto il bottone verde) e non ci sono allarmi che impediscono il movimento su terra (ad es. delle incongruenze sulle stazioni che vorremmo si muovessero).

2.3.2 Funzionamento del Sinottico

Analizziamo il percorso di una cassetta a partire dall'ingresso:

Dopo aver appoggiato una cassetta sulla stazione di ingresso, essa non sarà associata sul Sinottico ad alcun codice finché non passerà attraverso la lettura dello scanner: fino alla stazione successiva il software PC non ha potere decisionale sulla direzione da dare alla cassetta proprio perché ancora non la conosce (il primo passaggio della cassetta è consentito dal software PLC che la fa procedere solo in avanti senza porsi domande).

All'arrivo sulla 1003, stazione successiva all'ingresso, la cassetta avrà:

- "presenza logica": il PLC le avrà affidato il codice che ha rilevato attraverso lo scanner. Questo codice viene trasmesso anche al PC (sul Sinottico il quadratino della cassetta riporta sopra il codice).
- "presenza fisica": il PLC attraverso le fotocellule occupate sulla stazione 1003 capisce che una cassetta occupa tale stazione.
- esito del controllo sagoma: i sensori presenti sulla 1003 rilevano se l'altezza della cassetta è contenuta entro certi limiti richiesti dal sistema.

Eventuali problemi possono essere:

1. Cassetta sconosciuta:

Se la cassetta non è stata registrata nel software come UDC, ovvero come una cassetta con del prodotto al suo interno o come UDC vuota, o non è riconosciuta come UDS, e viene mandata indietro.

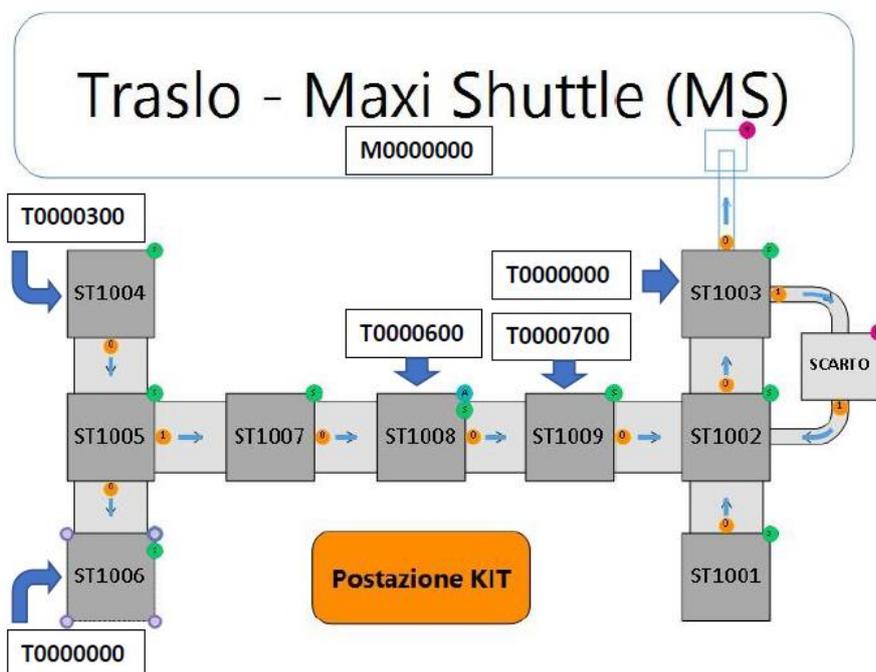
2. Codice cassetta non letto (mancata lettura):

Se il codice non viene letto viene mandata indietro ed occorre aprire una postazione di scarto e carica l'UDC in modo da inserire il vero codice della cassetta se effettivamente presente. In questo modo viene rimosso logicamente il codice non letto e scrive logicamente il codice inserito.

3. Scarto per controllo sagoma:

La cassetta scartata per questa motivazione viene riposizionata sulla stazione 1002 e viene mostrato l'apposito messaggio sulla postazione di scarto. Occorre valutare se la cassetta ha elementi all'interno che sono troppo sporgenti rispetto al limite massimo in altezza e che quindi andranno rimossi o aggiustati. Se si reputerà adeguata, si opterà per la "Ripartenza"

Al passaggio della cassetta attraverso le stazioni di terra del Sinottico, anche su Easystor vi sono gli aggiornamenti corrispondenti della giacenza, che avvengono in automatico.



Sinottico – Figura 2

2.3.3 Mappa traslo

Rappresenta una mappa della posizione delle cassette all'interno del magazzino riportando le specifiche dei due fronti, le colonne e i rispettivi vani. Attraverso una legenda sono indicati, con diversi colori, i vani pieni, vuoti, bloccati, di servizio, di ingresso\uscita da terra e su scaffale.

E' possibile visualizzare anche il vano logico del carrello del traslo; esso può contenere contemporaneamente solamente cassette dello stesso formato e in numero massimo di due, a causa di vincoli imposti dal software PLC.

Allocazione cassette

Quando viene concesso il permesso di prelievo di una cassetta, il sistema prende in carico la richiesta e segue i seguenti passaggi:

- ricerca un vano disponibile (libero, non bloccato e compatibile con il formato della cassetta) all'interno del magazzino;
- se trova almeno un vano disponibile e compatibile, allora genera la coppia di missioni sul Sinottico per gestire la cassetta;
- se non trova alcun vano disponibile (vani tutti occupati, vani liberi non compatibili con il formato cassetta, vani bloccati), genera la coppia di missioni per portare in uscita la cassetta e mostra allarme apposito sulla sezione.

2.4 Struttura Easystor

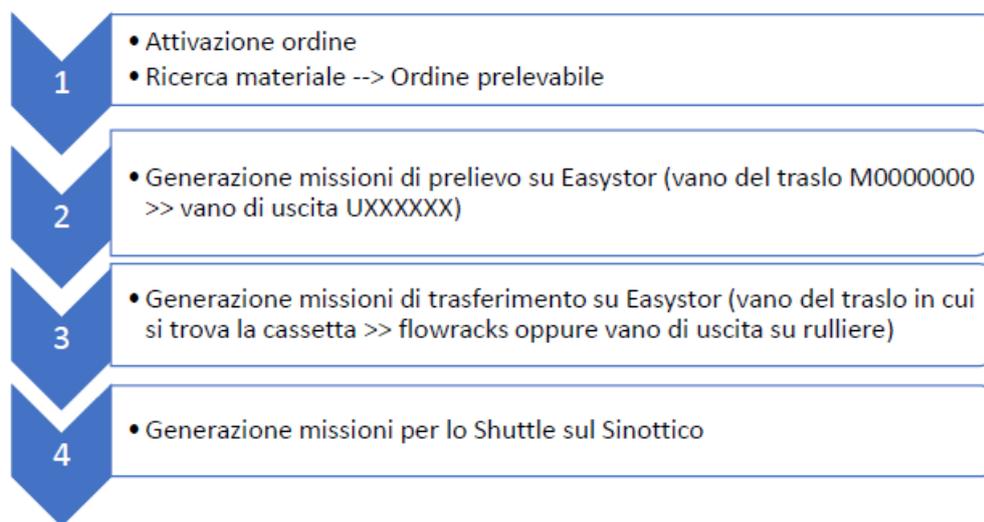
E' possibile inserire le giacenze nel magazzino ed attraverso l'interfaccia grafica del software in cui sono registrate le anagrafiche e i dettagli; allo stesso modo è possibile comporre gli ordini di picking e kitting per i quali è necessario scegliere numero, il tipo di prodotto e se necessario il lotto da cui prelevare il prodotto inserito a sistema ed inoltre, per la seconda modalità di composizione dell'ordine, il tipo di cassetta che occorre per comporre il kit.

2.4.1 Creazione nuovo ordine

Attraverso l'interfaccia grafica risulta intuitivo creare un nuovo ordine scegliendo tra picking o kitting ed inserendo i prodotti richiesti, il lotto se è stato precedente registrato, la quantità richiesta e la cassetta specifica se l'ordine scelto è del secondo tipo.

Una volta acquisito l'ordine, dalla "Postazione Picking" o "Postazione Kitting", tools presenti nel sistema, è possibile selezionarlo e attivarlo.

Esecuzione missione di prelievo



Schema 2

Quando un ordine viene attivato, il sistema, a seconda della tipologia di ordine (KIT oppure PICK), esegue la ricerca specifica del materiale all'interno del Maxi Shuttle.

Se la ricerca va a buon fine, l'ordine diventa prelevabile. Questo passaggio genera delle conseguenze a cascata.

Su Easystor vengono generate le missioni di prelievo che servono a soddisfare l'ordine attivato. Il termine "missioni di prelievo" vale per entrambe le tipologie, sia KIT che PICK, perché si tratta in ogni caso di prelievi di merce dalle cassette.

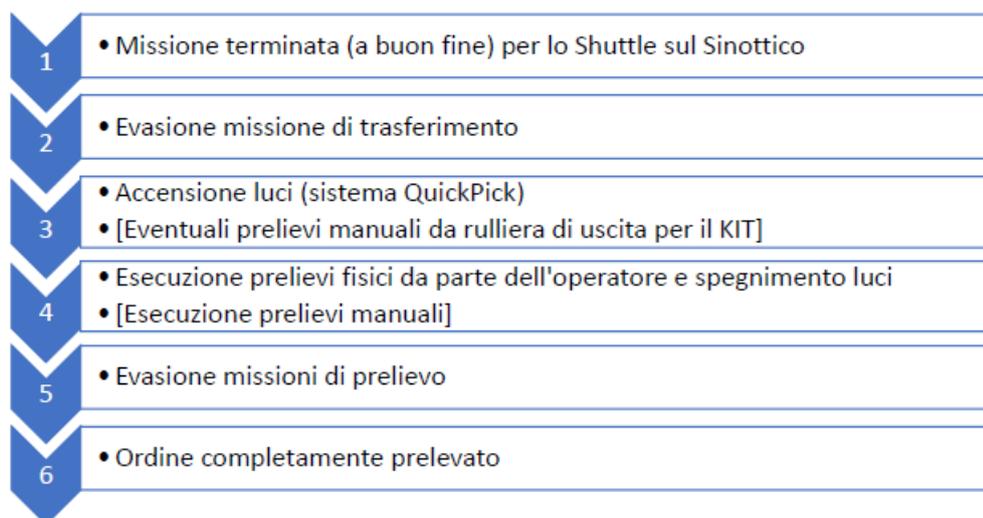
Le missioni di prelievo indicano fundamentalmente quale articolo, quale cassetta e quale quantità sono necessari per soddisfare una riga di un ordine. La missione indica anche da dove la merce deve essere prelevata.

Una volta generate le missioni di trasferimento, Easystor deve comunicare al Sinottico i movimenti da eseguire e lo fa sotto forma di attività legate alle cassette. Ad ogni cassetta viene comunicata l'attività che deve eseguire, ossia un certo punto specifico che deve raggiungere

Il Sinottico si prende in carico tale attività e inserisce questa richiesta nella coda di altre attività che aveva da eseguire. La stessa cosa succede anche per tutte le altre cassette necessarie per l'ordine.

Appena possibile (e con il Sinottico in automatico, come vedremo) il Sinottico tradurrà questa attività in due o più movimenti fisici per lo Shuttle, che si potranno leggere dall'elenco presente sul Sinottico (sezione "Missioni Traslo").

Lo Shuttle andrà ad eseguire fisicamente tali movimenti. Se i movimenti vanno correttamente a buon fine, la cassetta specifica, sarà finita dal vano in cui si trovava all'interno del magazzino nel vano specifico dello scopo dell'attività, e di conseguenza la relativa missione di trasferimento verrà registrata dal sistema come evasa, ossia eseguita



Schema 3

La missione di trasferimento ha fatto in modo che la cassetta arrivasse nel punto da cui è possibile effettuare la missione di prelievo.

Per come è stato implementato il KIT si possono avere due tipologie di missioni di prelievo:

- quelle che prevedono prelievo attraverso le luci (questo caso copre tutti i casi della postazione di Picking);
- quelle che prevedono prelievo dalla rulliera di uscita dell'impianto (prelievi definiti "prelievi manuali").

Andando a eseguire la missione di trasferimento, occorre poi attraverso le postazioni specifiche andare ad eseguire la missione di prelievo.

Attraverso il sistema delle luci (quindi prelevando la merce dalle UDC, mettendola nell'UDS e poi pigiando il bottone che si è acceso) oppure attraverso il prelievo manuale si vanno ad evadere le missioni di prelievo. Con l'evasione della singola missione di prelievo avviene lo scarico della quantità indicata sulla missione dall'UDC e il carico della stessa quantità sull'UDS.

Quando tutte le missioni di prelievo di un certo ordine risultano evase, l'ordine corrispettivo risulta completamente prelevato.

2.4.2 Conclusione dell'ordine

Dopo aver effettuato tutti i prelievi richiesti dall'ordine, esso passa in stato Prelevato.

A questo punto l'UDS coinvolta si trova "Chiusa", poiché contiene tutto il necessario. Dopo aver effettuato se necessario un ultimo check sul contenuto, l'ordine viene spuntato ovvero è comunicato che l'UDS è stata controllata completamente prima di essere spostata verso un altro reparto. In questo modo l'UDS passa in stato Terminata.

3. Analisi Maxi shuttle

Una volta definite le caratteristiche generali del magazzino INCAS, ci si è posti l'obiettivo di calcolare la velocità orizzontale e verticale del maxi-shuttle interno al magazzino rilevando sperimentalmente i tempi impiegati e lo spazio percorso.

3.1 Il maxi-shuttle

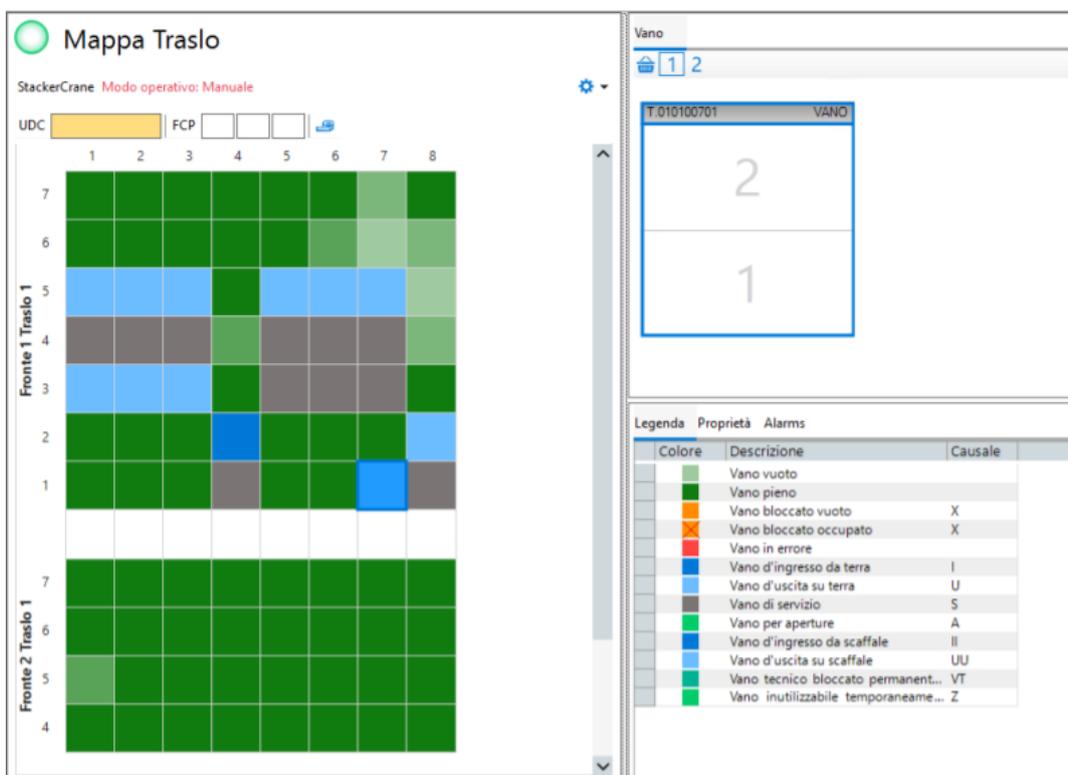
Nell'ambito del Material Handling lo shuttle è un'attrezzatura fondamentale impiegata nei magazzini automatici. Esso è una navetta equipaggiata normalmente con trasportatori a rulli o catene, la quale consente di depositare e prelevare le unità di carico, per smistare i pallet in ingresso.

Questa tecnica nel nostro caso, è impiegata non solo per lo stoccaggio multi profondità, ovvero quando si hanno molte unità di carico per referenza, ma in abbinamento ai dispositivi che raccordano i vari piani con la testata di movimentazione, anche per alimentare baie di picking e kitting.

3.2 Implementazione esperimento

L'obiettivo di tali rilevazioni consiste nel calcolare la velocità sia orizzontale che verticale dello shuttle, cronometrando il tempo che esso impiega a percorrere i diversi livelli del magazzino e considerando tutte le ampiezze possibili delle distanze tra ogni livello, dedotte dal layout.

Il magazzino INCAS è composto da due fronti ognuno dei quali è composto in altezza da 7 livelli e in lunghezza da otto. Impostando la modalità semiautomatica dello shuttle dal sinottico, è possibile muovere la navetta di quante posizioni si vuole e verso qualunque vano a nostra scelta. (vedi figura 3)



Mappa Traslo - Figura 3

Il primo problema rilevato consiste nel disallineamento temporale tra l'avvio dell'impulso logico e l'effettivo avvio del movimento del maxi-shuttle, dal quale si evince uno scostamento considerevole. Tuttavia sono stati rilevati i tempi in entrambi i casi, dall'avvio logico e dall'avvio effettivo, con l'obiettivo di verificare l'esistenza di un ritardo costante nella partenza dello shuttle indipendente dalla posizione raggiunta.

3.3 Rilevazioni spostamento verticale

Affinché sia possibile ricavare la velocità verticale del maxi-shuttle, è necessario prima di tutto calcolare il tempo impiegato per percorrere la distanza tra un livello e il livello superiore e la distanza tra due, tre, fino a sei livelli.

Sebbene apparentemente incostanti, sono stati riportati, nelle seguenti tabelle, i tempi caratterizzati sia dalle diverse considerazioni di avvio del movimento, sia dalle diverse distanze.

TEMPI DI EFFETTIVO MOVIMENTO				DISTANZA (mm)	TEMPI DA IMPULSO LOGICO			
SALITA		DISCESA		225	SALITA		DISCESA	
Da 1 a 2		Da 2 a 1			Da 1 a 2		Da 2 a 1	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	1,08	1	1,26		1	3,05	1	2,41
2	1,01	2	1,58		2	3,04	2	3,15
3	1,18	3	1,25		3	2,44	3	2,42
4	1,00	4	1,38		4	2,90	4	3,01
5	1,20	5	1,44		5	2,77	5	2,55
6	1,39	6	1,19		6	3,29	6	2,32
7	1,02	7	1,30		7	3,29	7	2,31
8	0,77	8	1,70		8	3,04	8	2,37
9	1,46	9	0,97		9	2,59	9	2,57
10	1,22	10	0,98		10	2,42	10	2,55
11	1,02	11	1,42		11	2,80	11	2,63
12	1,18	12	1,10		12	3,06	12	3,10
Tempo salita 1,13		Tempo salita 1,13			Tempo salita 1,13		Tempo salita 1,13	

Rilevazioni verticali a un passo - Tabella 1.1

TEMPI DI EFFETTIVO MOVIMENTO				DISTANZA (mm)	TEMPI DA IMPULSO LOGICO			
SALITA		DISCESA		450	SALITA		DISCESA	
Da 1 a 3		Da 3 a 1			Da 1 a 3		Da 3 a 1	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	1,20	1	1,79		1	3,31	1	3,30
2	2,36	2	1,35		2	3,21	2	2,97
3	1,05	3	1,61		3	3,12	3	4,13
4	1,62	4	1,12		4	3,10	4	3,70
5	1,01	5	1,16		5	3,13	5	3,13
6	1,30	6	1,33		6	3,28	6	2,90
7	1,40	7	1,23		7	3,37	7	3,16
8	1,18	8	1,42		8	3,40	8	2,69
9	1,16	9	1,19		9	3,21	9	2,82
10	1,39	10	1,10		10	3,09	10	3,09
11	1,08	11	1,20		11	3,40	11	3,19
12	1,26	12	1,54		12	3,25	12	3,13
Tempo medio 1,33		Tempo medio 1,34			Tempo medio 3,24		Tempo medio 3,18	

Rilevazioni verticali a 2 passi - Tabella 1.2

TEMPI DI EFFETTIVO MOVIMENTO				DISTANZA (mm)	TEMPI DA IMPULSO LOGICO			
SALITA		DISCESA		675	SALITA		DISCESA	
Da 1 a 4		Da 4 a 1			Da 1 a 4		Da 4 a 1	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	1,39	1	1,66		1	3,31	1	3,23
2	1,47	2	1,23		2	3,33	2	3,05
3	1,51	3	1,30		3	3,38	3	3,62
4	1,62	4	1,77		4	3,71	4	3,43
5	1,75	5	1,42		5	3,22	5	3,23
6	1,47	6	1,48		6	3,24	6	3,03
7	1,61	7	1,72		7	3,18	7	3,31
8	1,66	8	1,52		8	3,27	8	3,05
9	1,65	9	1,51		9	3,24	9	3,01
10	1,59	10	1,64		10	3,30	10	3,42
11	1,12	11	1,41		11	3,33	11	3,23
12	1,35	12	1,27		12	3,67	12	3,26
Tempo medio 1,52		Tempo medio 1,49			Tempo medio 3,35		Tempo medio 3,24	

Rilevazioni verticali a 3 passi - Tabella 1.3

TEMPI DA MOVIMENTO				DISTANZA (mm)	TEMPI DA COMANDO			
SALITA		DISCESA		1012,5	SALITA		DISCESA	
Da 1 a 5		Da 5 a 1			Da 1 a 5		Da 5 a 1	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	1,53	1	1,81		1	4,29	1	3,79
2	1,73	2	1,55		2	4,11	2	3,91
3	1,82	3	1,47		3	4,22	3	4,06
4	1,57	4	1,82		4	4,24	4	4,14
5	1,81	5	1,74		5	3,34	5	4,33
6	1,59	6	1,55		6	4,19	6	4,34
7	1,71	7	1,67		7	4,24	7	3,41
8	1,67	8	1,49		8	3,43	8	3,49
9	1,69	9	1,61		9	3,43	9	3,55
10	1,75	10	1,46		10	3,81	10	3,43
11	1,61	11	1,54		11	4,04	11	3,70
12	1,66	12	1,42		12	3,99	12	3,80
Tempo medio 1,68		Tempo medio 1,59			Tempo medio 3,94		Tempo medio 3,38	

Rilevazioni verticali a 4 passi - Tabella 1.4

TEMPI DI EFFETTIVO MOVIMENTO				DISTANZA (mm)	TEMPI DA IMPULSO LOGICO			
SALITA		DISCESA		1350	SALITA		DISCESA	
Da 1 a 6		Da 6 a 1			Da 1 a 6		Da 6 a 1	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	1,82	1	1,54		1	3,45	1	4,47
2	2,06	2	1,73		2	3,58	2	4,6
3	1,87	3	1,92		3	4,34	3	3,99
4	1,75	4	1,83		4	4,36	4	3,91
5	1,82	5	1,95		5	4,18	5	4,16
6	1,86	6	1,77		6	4,19	6	4,16
7	1,86	7	1,65		7	4,28	7	4,12
8	1,65	8	1,90		8	4,33	8	4,24
9	1,73	9	1,65		9	4,68	9	4,67
10	1,94	10	1,62		10	4,68	10	4,65
11	1,94	11	1,91		11	4,72	11	4,61
12	1,80	12	1,80		12	4,72	12	4,62
Tempo medio 1,84		Tempo medio 1,77			Tempo medio 4,29		Tempo medio 4,35	

Rilevazioni verticali a 5 passi - Tabella 1.5

TEMPI DI EFFETTIVO MOVIMENTO				DISTANZA (mm)		TEMPI DA IMPULSO LOGICO			
SALITA		DISCESA		1579,5		SALITA		DISCESA	
Da 1 a 7		Da 7 a 1				Da 1 a 7		Da 7 a 1	
prove	tempi	prove	tempi			prove	tempi	prove	tempi
1	2,24	1	1,86			1	4,99	1	5,12
2	2,25	2	2,34			2	4,99	2	5,02
3	2,41	3	2,26			3	4,91	3	4,13
4	2,25	4	2,27			4	4,85	4	4,16
5	2,41	5	2,26			5	5,07	5	5,07
6	2,26	6	2,30			6	5,14	6	4,76
7	2,17	7	2,30			7	4,67	7	5,17
8	2,33	8	2,20			8	4,81	8	4,91
9	2,04	9	2,22			9	5,01	9	4,74
10	2,24	10	2,34			10	4,80	10	4,63
11	2,37	11	2,49			11	4,70	11	4,24
12	2,29	12	2,27			12	4,97	12	4,16
Tempo medio	2,27	Tempo medio	2,26			Tempo medio	4,91	Tempo medio	4,68

Rilevazioni verticali a 6 passi - Tabella 1.6

In seguito ai dati sperimentali sopra riportati, sono stati individuati due tipi di fenomeni da analizzare:

- La correlazione dei tempi raccolti nelle diverse modalità dei due scenari
- Calcolo della velocità

5.3.1 Analisi della variazione dei tempi raccolti nei due scenari

Risulta evidente, paragonando il movimento in salita nei due scenari, e allo stesso modo di discesa, quanto sia considerevole la differenza dei dati raccolti.

Come precedentemente citato, potrebbe essere interessante verificare l'esistenza di un ritardo costante tra l'istante di avvio dato dall'impulso logico dal sinottico e l'istante di avvio effettivo del movimento ma, considerando la seguente tabella, in cui sono riportati per semplicità solo i dati relativi al movimento in salita, non appare evidente alcuna relazione costante.

TRATTO	TEMPO MEDIO 1	TEMPO MEDIO 2	VARIAZIONE
1-2	1,13	2,89	155,75%
1-3	1,33	3,24	143,61%
1-4	1,52	3,35	120,39%
1-5	1,68	3,94	134,52%
1-6	1,84	4,29	133,15%
1-7	2,27	4,91	116,30%

Variazione tempi - Tabella 2

Sebbene non sia possibile raggiungere questo obiettivo, dalla seguente tabella è possibile dedurre che il ritardo della partenza segue un andamento positivo a tassi decrescenti. Nello specifico, all'aumentare della distanza percorsa, il tempo di ritardo cresce in modo sempre più lento.

5.3.2 Analisi della velocità

Ammesse le differenze dei tempi raccolti nei due scenari, utilizziamo per la seguente analisi, i tempi considerati dall'avvio dell'impulso logico.

Riassumendo i tempi medi di spostamento verticale del traslo per ogni passo, in tabella 10, è stato tracciato un grafico spazio-tempo per meglio identificare le variazioni del tempo di percorrenza in relazione allo spazio percorso, sia in salita che in discesa.

	TEMPO SALITA	SPAZIO
1 PASSO	2,89	225
2 PASSI	3,24	450
3 PASSI	3,35	675
4 PASSI	3,94	1012,5
5 PASSI	4,29	1350
6 PASSI	4,91	1579,5

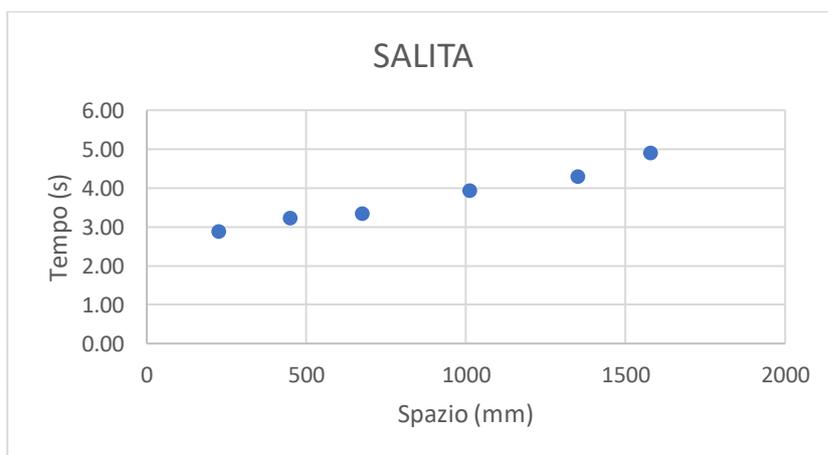


Tabella 3.1

Grafico 1 – Spazio-tempo salita

	TEMPO DISCESA	SPAZIO
1 PASSO	2,62	225
2 PASSI	3,18	450
3 PASSI	3,24	675
4 PASSI	3,83	1012,5
5 PASSI	4,35	1350
6 PASSI	4,68	1579,5

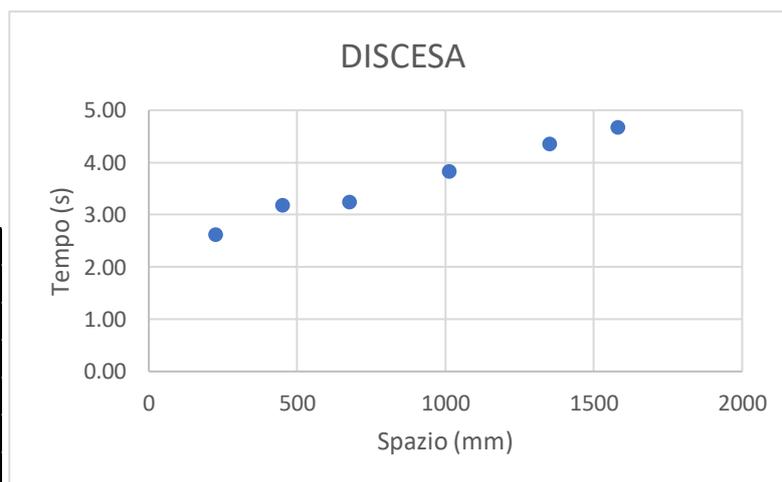


Tabella 3.2

Grafico 2 – Spazio-tempo discesa

Per quanto concerne i fenomeni distinti di salita e discesa, i grafici presentano lo stesso andamento coerentemente ai tempi raccolti.

D'altra parte, i tempi raccolti confrontati con lo spazio percorso tendono ad essere incostanti.

Per esempio, confrontando i tempi in salita quando lo spazio da percorrere raddoppia, nel tratto 1-

2 e 1-3 il tempo aumenta del 12,11% mentre nel tratto 1-4 e 1-6 il tempo aumenta del 28%
 Dunque, i risultati ottenuti non permettono di raggiungere l'obiettivo prefissato riguardo il calcolo della velocità.

La velocità media non può essere ricavata dalla solita formula dello spazio percorso sul tempo in quanto presente l'accelerazione, nell'istante in salita, e decelerazione nell'istante in discesa. Pertanto, sarebbe corretto calcolare la velocità, considerando l'accelerazione e decelerazione istantanea, che nel nostro caso risulta impossibile da calcolare.

5.4 Rilevazioni spostamento orizzontale

Nelle medesime modalità sono state eseguite le rilevazioni dei tempi considerando gli spostamenti orizzontali, per entrambi i versi, delle sette posizioni raggiungibili dal traslo.

Di seguito riportati i diversi tempi raccolti

SPOSTAMENTO EFFETTIVO				DISTANZA (mm)		SPOSTAMENTO LOGICO			
1 PASSO A DX		1 PASSO A SX		524		1 PASSO A DX		1 PASSO A SX	
prove	tempi	prove	tempi			prove	tempi	prove	tempi
1	1,37	1	1,05			1	3,63	1	3,23
2	1	2	1,14			2	3,65	2	3,21
3	1,13	3	0,99			3	3,75	3	3,31
4	1,07	4	1,01			4	3,53	4	3,10
5	1,28	5	0,97			5	3,51	5	3,10
6	1,11	6	0,97			6	3,65	6	3,12
7	1,10	7	0,87			7	2,84	7	3,58
8	1,12	8	1,29			8	2,93	8	3,68
9	1,01	9	1,10			9	2,96	9	3,03
10	0,86	10	1,10			10	2,88	10	3,30
11	1,17	11	1,27			11	2,96	11	3,67
12	0,93	12	1,10			12	2,87	12	2,73
Tempo medio 1,10		Tempo medio 1,07				Tempo medio 3,26		Tempo medio 3,26	

Rilevazioni orizzontali a un passo - Tabella 4.1

ORIZZONTALE EFFETTIVO				DISTANZA (mm)	ORIZZONTALE DA COMANDO			
2 PASSI A DX		2 PASSI A SX		1048	2 PASSI A DX		2 PASSI A SX	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	1,40	1	1,55		1	3,47	1	4,20
2	1,43	2	1,57		2	4,02	2	4,18
3	1,63	3	1,38		3	4,03	3	4,01
4	1,43	4	1,37		4	4,12	4	3,99
5	1,35	5	1,50		5	4,21	5	4,18
6	1,39	6	1,44		6	4,15	6	3,90
7	1,38	7	1,56		7	4,23	7	4,05
8	1,42	8	1,45		8	4,05	8	3,86
9	1,50	9	1,55		9	4,10	9	3,88
10	1,34	10	1,45		10	3,84	10	4,14
11	1,54	11	1,51		11	3,82	11	4,17
12	1,38	12	1,51		12	3,75	12	3,80
Tempo medio 1,43		Tempo medio 1,49			Tempo medio 3,98		Tempo medio 4,03	

Rilevazioni orizzontali a 2 passi - Tabella 4.2

ORIZZONTALE EFFETTIVO				DISTANZA (mm)	ORIZZONTALE DA COMANDO			
3 PASSI A DX		3 PASSI A SX		1572	3 PASSI A DX		3 PASSI A SX	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	1,93	1	1,95		1	4,73	1	4,05
2	1,83	2	2,05		2	4,03	2	3,95
3	2,02	3	1,89		3	3,82	3	4,6
4	1,83	4	2,07		4	3,86	4	4,30
5	1,92	5	1,98		5	3,81	5	4,32
6	1,97	6	1,90		6	3,87	6	4,08
7	1,96	7	2,02		7	3,77	7	4,19
8	1,87	8	2,01		8	4,83	8	4,77
9	2,05	9	2,10		9	3,87	9	4,18
10	1,92	10	2,10		10	4,33	10	4,45
11	2,06	11	2,13		11	4,39	11	4,37
12	1,97	12	2,04		12	4,42	12	4,43
Tempo medio 1,94		Tempo medio 2,202			Tempo medio 4,14		Tempo medio 4,31	

Rilevazioni orizzontali a 3 passi - Tabella 4.3

ORIZZONTALE EFFETTIVO				DISTANZA (mm)	ORIZZONTALE DA COMANDO			
4 PASSI A DX		4 PASSI A SX		2096	4 PASSI A DX		4 PASSI A SX	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	2,31	1	2,11		1	4,43	1	4,11
2	2,10	2	2,3		2	4,34	2	4,55
3	2,25	3	2,14		3	4,17	3	4,36
4	2,33	4	2,26		4	4,56	4	4,50
5	2,26	5	2,24		5	4,45	5	4,35
6	2,17	6	2,36		6	4,54	6	4,56
7	2,16	7	2,23		7	4,42	7	4,47
8	2,29	8	2,33		8	4,28	8	4,69
9	2,17	9	2,38		9	4,33	9	4,62
10	2,14	10	2,42		10	4,67	10	4,52
11	2,16	11	2,27		11	4,43	11	4,55
12	2,24	12	2,33		12	4,39	12	4,67
Tempo medio 2,22		Tempo medio 2,28			Tempo medio 4,42		Tempo medio 4,50	

Rilevazioni orizzontali a 4 passi - Tabella 4.4

ORIZZONTALE EFFETTIVO				DISTANZA (mm)	ORIZZONTALE DA COMANDO			
5 PASSI A DX		5 PASSI A SX		2620	5 PASSI A DX		5 PASSI A SX	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	2,41	1	2,55		1	4,85	1	4,72
2	2,41	2	2,44		2	4,62	2	4,53
3	2,56	3	2,42		3	4,91	3	4,47
4	2,35	4	2,45		4	4,81	4	4,48
5	2,54	5	2,47		5	4,80	5	4,47
6	2,43	6	2,40		6	4,78	6	4,88
7	2,52	7	2,44		7	4,43	7	4,66
8	2,41	8	2,50		8	4,84	8	4,86
9	2,33	9	2,49		9	4,79	9	4,56
10	2,52	10	2,43		10	4,54	10	4,54
11	2,55	11	2,49		11	4,85	11	4,66
12	2,39	12	2,43		12	4,44	12	4,86
Tempo medio 2,45		Tempo medio 2,46			Tempo medio 4,72		Tempo medio 4,64	

Rilevazioni orizzontali a 5 passi - Tabella 4.5

ORIZZONTALE EFFETTIVO				DISTANZA (mm)	ORIZZONTALE DA COMANDO			
6 PASSI A DX		6 PASSI A SX		3144	6 PASSI A DX		6 PASSI A SX	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	2,67	1	2,63		1	4,67	1	4,70
2	2,63	2	2,73		2	4,92	2	4,84
3	2,61	3	2,74		3	5,2	3	4,9
4	2,52	4	2,68		4	5,03	4	4,93
5	2,72	5	2,79		5	4,91	5	5,30
6	2,66	6	2,78		6	4,99	6	4,96
7	2,62	7	2,53		7	5,01	7	4,95
8	2,94	8	2,73		8	4,97	8	4,92
9	2,80	9	2,82		9	5,26	9	4,99
10	2,86	10	2,83		10	4,85	10	5,25
11	2,79	11	2,81		11	5,00	11	4,96
12	2,90	12	2,80		12	4,90	12	5,15
Tempo medio 2,73		Tempo medio 2,74			Tempo medio 4,98		Tempo medio 4,99	

Rilevazioni orizzontali a 6 passi - Tabella 4.6

ORIZZONTALE EFFETTIVO				DISTANZA (mm)	ORIZZONTALE DA COMANDO			
7 PASSI A DX		7 PASSI A SX		3668	7 PASSI A DX		7 PASSI A SX	
prove	tempi	prove	tempi		prove	tempi	prove	tempi
1	3,09	1	3,03		1	5,05	1	5,20
2	3,07	2	3,09		2	5,2	2	5,37
3	3,02	3	3,13		3	5,05	3	5,08
4	3,14	4	3,16		4	5,28	4	5,02
5	3,14	5	2,99		5	5,27	5	5,12
6	3,13	6	3,24		6	5,20	6	5,29
7	3,23	7	3,13		7	5,33	7	5,20
8	3,10	8	3,20		8	5,05	8	5,15
9	3,18	9	3,17		9	5,23	9	5,33
10	3,01	10	3,08		10	5,01	10	5,18
11	3,22	11	3,20		11	5,17	11	5,36
12	3,21	12	3,15		12	5,18	12	5,22
Tempo medio 3,13		Tempo medio 3,13			Tempo medio 5,17		Tempo medio 5,21	

Rilevazioni orizzontali a 7 passi - Tabella 4.7

5.4.1 Analisi della variazione dei tempi raccolti nei due scenari

Analogamente a quanto dedotto in precedenza, riguardo la variazione dei tempi raccolti nei due scenari, non è possibile calcolare un preciso tempo di ritardo costante. Tuttavia, appare evidente dalla seguente tabella, l'andamento, di tale ritardo dall'istante di avvio logico emesso a sistema all'istante di avvio effettivo del traslo, positivo ma a tassi decrescente

TRATTO	TEMPO MEDIO 1	TEMPO MEDIO 2	VARIAZIONE
1-2	1,1	3,26	196,36%
1-3	1,43	3,98	178,32%
1-4	1,94	4,14	113,40%
1-5	2,22	4,42	99,10%
1-6	2,45	4,72	92,65%
1-7	2,73	4,98	82,42%
1-8	3,13	5,17	65,18%

Variazione tempi - Tabella 5

5.4.2. Analisi della velocità

Analogamente al caso delle rilevazioni dei tempi riguardo gli spostamenti orizzontali, di seguito riportati in tabella i tempi di spostamento orizzontale, per ogni passo, a destra e a sinistra, e la distanza percorsa dal maxi-shuttle.

Dagli stessi dati sono stati realizzati i seguenti grafici spazio-tempo, tali da evidenziare l'andamento più o meno uniforme dello shuttle.

	TEMPO SPOSTAMENTO A DX	SPAZIO
1 PASSO	3,26	524
2 PASSI	3,98	1048
3 PASSI	4,14	1572
4 PASSI	4,42	2096
5 PASSI	4,72	2620
6 PASSI	4,98	3144
7 PASSI	5,17	3668

Tabella 6

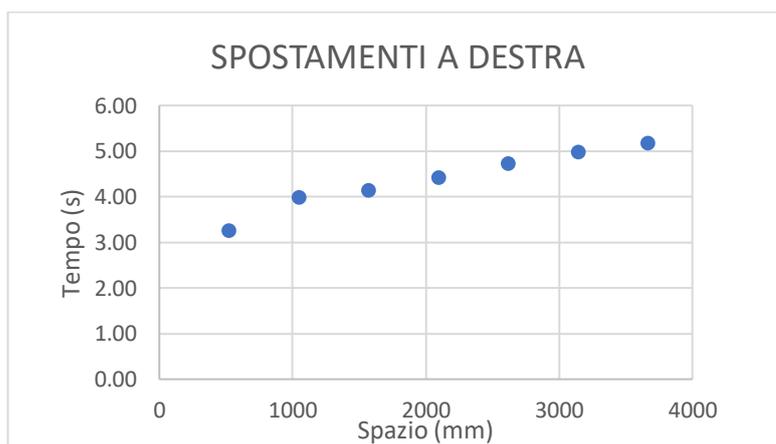


Grafico 3 – spazio-tempo

	TEMPO SPOSTAMENTO A SX	SPAZIO
1 PASSO	3,26	524
2 PASSI	4,03	1048
3 PASSI	4,31	1572
4 PASSI	4,50	2096
5 PASSI	4,64	2620
6 PASSI	4,99	3144
7 PASSI	5,21	3668

Tabella 7

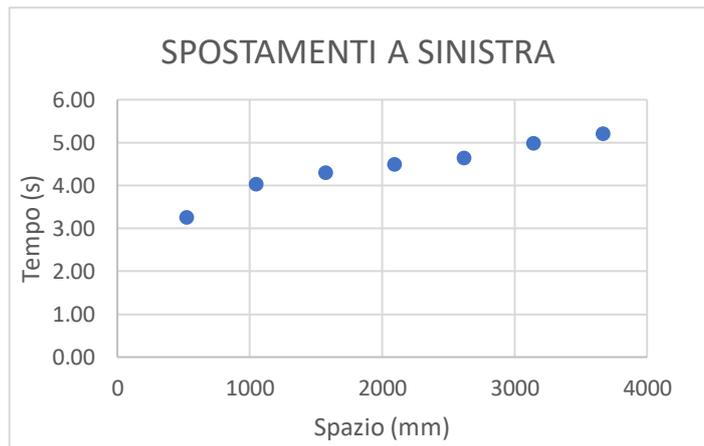


Grafico 4 – spazio-tempo

In questa analisi riguardo le rilevazioni dei tempi e spostamenti orizzontali, l'incremento del tempo di percorrenza pare essere a tratti decrescenti, coerentemente con il tasso decrescente dell'incremento delle distanze.

Ciò nonostante risulta non raggiungibile l'obiettivo del calcolo delle velocità, in quanto caratterizzate da un'accelerazione e decelerazione istantanea.

3. I KPI dei magazzini

Secondo H. J. Harrington «Misurare è la chiave. Se non si misura non si può controllare. Se non si può controllare non si può gestire. Se non si può gestire non si può migliorare» (Leonardi 2007).

Migliorare le proprie prestazioni significa essere in grado di misurarle ed essere in grado di misurarle significa conoscere profondamente l'oggetto di studio. La misurazione rappresenta il collegamento tra i due momenti fondamentali della vita di ogni processo: la progettazione e il miglioramento.

L'efficienza complessiva del magazzino dipende in gran parte dalle prestazioni sinergiche, per questo è necessario stimare preventivamente le prestazioni complessive del magazzino, le quali richiedono una previsione accurata degli indicatori chiave di prestazione (KPI).

La prestazione può essere definita come il raggiungimento di un determinato compito misurato rispetto ad uno standard predeterminato (Rahman *et al.*, 2019). È un elemento critico nella gestione delle operazioni in vari campi.

Tecnicamente, può essere uno strumento utile per misurare l'efficienza organizzativa complessiva e intraprendere azioni correttive in anticipo. Pertanto, ci sono vari modi in cui i manager sono

interessati a misurare le prestazioni organizzative. Da una prospettiva più recente, una previsione accurata delle prestazioni organizzative è un fattore cruciale come studiato da molti ricercatori. Sebbene la misurazione e la previsione delle prestazioni di un magazzino, o in senso più generale dell'intera Supply Chain, siano sempre più necessarie, poiché lo stoccaggio è una componente essenziale delle operazioni logistiche, che contribuisce alla velocità e al profitto delle aziende, stanno anche diventando sempre più complesse.

Il successo della gestione del magazzino dipende in gran parte dalla misurazione e dalla stima degli indicatori chiave di prestazione (KPI; Krauth & Moonen, 2005).

Un KPI è una metrica quantificabile che aiuta le aziende, gli esperti o i lavoratori a valutare i propri risultati in relazione ai propri obiettivi.

In questo lavoro di tesi i KPI risultano non solo importanti, ma essi rappresentano l'unica via attendibile capace di garantire il conseguimento dell'obiettivo di valutazione del magazzino.

Sono stati studiati e analizzati un gran numero di articoli scientifici in modo da individuare un set di indicatori per poi procedere alla loro riconfigurazione.

Considerati i diversi ambiti protagonisti del complesso processo di gestione del magazzino, gli indicatori individuati sono stati innanzitutto così suddivisi:

- Indicatori di tempo
- Indicatori di costo
- Indicatori di produttività
- Indicatori di qualità

Lo studio è inoltre stato esteso alla ricerca di KPI caratteristici dei magazzini tradizionali, automatizzati, e-commerce e magazzini e-commerce automatizzati.

Questi sono riportati nella seguente tabella

KPI	Breve descrizione	Variabili correlate	Campo di applicazione	Referenze
Indicatori di tempo				
Receiving Time Rec t	Tempo di scarico	$Rec\ t = \frac{\sum \Delta t (Rec)}{Pal\ Unlo} \text{ (ora/pallet)}$ <p>$\Delta t (Rec)$ = Tempo tra l'arrivo della fornitura e l'istante in cui il prodotto viene scaricato dal camion (ora)</p> <p>Pal Unlo: numero di pallet scaricati (nb/mese)</p>	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Gu, et al., 2007)

Put away time $Pu t$	Lead time da quando un prodotto è stato scaricato a quando viene stoccato nel luogo assegnato	$Pu t = \frac{\sum \Delta t (Sto)}{Pal Sto + unlo} \text{ (ora/pallet)}$ $\Delta t (Sto)$ = Tempo tra l'istante in cui il prodotto viene scaricato e il suo stoccaggio (ora) Pal Sto: numero di pallet stoccati (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Mentzer & Konrad, 1991)
Dock to stock time $DS t$	Lead time dall'arrivo della fornitura fino a quando non è pronta per il ritiro	$DS t = \frac{\sum \Delta t (DS)}{Pal Unlo} \text{ (ora/pallet)}$ $\Delta t (DS)$ = Tempo tra l'arrivo della fornitura e la disponibilità del prodotto per il picking (ora) $DS t$ = Receiving time + put away time	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Ramaa.A, et al., 2012)
Replenishment time $Rep t$	Lead time dei prodotti dall'area di reserve storage all'area di prelievo	$Rep t = \frac{\sum \Delta t (Rep)}{Pal Moved} \text{ (ora/unità di carico)}$ $\Delta t (Rep)$ = Tempo tra il trasferimento dei prodotti dall'area di reserve storage all'area anteriore di picking (ore) Pal Moved = numero di pallet spostati durante l'operazione di rifornimento (nb/mese) Bc Può includere il prelievo e il trasferimento in un altro magazzino	Automatico	(Mascolo, et al., 2014)
Order picking time $Pick t$	Lead time per prelevare una riga d'ordine	$Pick t = \frac{\sum \Delta t (Pick)}{Order Li Pick} \text{ (ora/riga d'ordine)}$ $\Delta t (Pick)$ = Tempo tra gli istanti in cui l'operatore inizia a prelevare un ordine e il termine del prelievo (ore) OrdLi Pick = numero di righe d'ordine prelevate (nb/mese)	Automatico	(Mentzer & Konrad, 1991)
Shipping time $Ship t$	Tempo tra il prelievo e il packaging (prima della spedizione)	$Ship t = \frac{\sum \Delta t (Ship)}{Order Del} \text{ (ora/ordine)}$ $\Delta t (Ship)$ = Tempo che intercorre tra l'istante in cui termina il prelievo dell'ordine e il completamento del carico del camion (ora) Ord Del = numero di ordini consegnati (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Campos, et al., 2004)

Delivery lead time Del t	Tempo totale di distribuzione per totale ordini distribuiti	$Del t = \frac{\sum \Delta t (Del)}{Ord Del}$ (ora/ordine) $\Delta t (Del)$ = Tempo tra il carico del camion e l'accettazione del prodotto da parte del cliente (ora)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Campos, et al., 2004)
Order lead time OrdLT t	Lead time dall'ordine del cliente all'accettazione del cliente	$OrdLT t = \frac{\sum \Delta t (Ord)}{Ord Del}$ (hour/order) $\Delta t (Ord)$ = Tempo tra l'ordinazione del cliente e l'accettazione del prodotto da parte del cliente (ora)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Mentzer & Konrad, 1991)
Indicatori di produttività				
Labour productivity Lab p	Numero totale di articoli gestiti in base alla quantità di ore lavorative di gestione degli articoli	$Lab p = \frac{item\ proc}{WH}$ (articolo/ore di lavoro) Item Proc = numero di articoli gestiti dal magazzino (in entrata e in uscita) (nb/mese) WH = numero di ore lavorative per la movimentazione degli articoli (ora/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(DeMarco & Mangano, 2011)
Labour efficiency LE p	Tempo standard definito dall'ingegneria diviso per il tempo effettivo	$LE p = \frac{Theor H}{WH}$ (%) TheorH = tempo teorico che l'operatore dovrebbe impiegare per svolgere un compito (ora/mese) WH = numero di articoli movimentati	Tradizionale, automatico, e-commerce	(GOOMAS, 2011)
Receiving productivity Rec p	Numero di veicoli scaricati per ora di lavoro	$Rec p = \frac{Pal Unlo}{WH Rec}$ (pallet/ora di lavoro) Pal Unlo = numero di pallet scaricati (nb/mese) WH Rec = somma delle ore di lavoro dei dipendenti che lavorano nell'attività di recezione (ora/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Mentzer & Konrad, 1991)
Storage productivity Sto p	Numero di unità di carico stoccate per ore di lavoro nell'attività di stoccaggio	$Sot p = \frac{Pal Sto}{WH Sto}$ (pallet/ora di lavoro) Pal Sto = numero di pallet stoccati (nb/mese) WH Sto = somma delle ore di lavoro dei dipendenti che lavorano nell'attività di stoccaggio (ora/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Mascolo, et al., 2014)

Average Stock S	La quantità media di prodotti stoccati in magazzino durante un certo periodo di tempo	$S = \frac{\sum S(i)}{N}$ <p>N= il numero di giorni osservati S(i)= lo stock misurato il i-esimo giorno, espresso come numero di prodotti o peso totale</p>	Automatico	(Colla & Nastasi, 2010)
Receptivity Saturation Coefficient RSC	Esprimere quanto il magazzino è stato sfruttato in un certo periodo di tempo	$RSC = \frac{S}{R}$ <p>S= stock medio R= ricettività, approssimativamente uguale alla quantità massima di articoli che è stata registrata</p>	Automatico	(Colla & Nastasi, 2010)
Replenishment productivity Rep p	Numero di pallet spostati per ora di lavoro nell'attività di rifornimento	$Rep\ p = \frac{Pal\ Moved}{WH\ rep}$ (pallet/ore di lavoro) <p>Pal Moved = numero di pallet movimentati durante l'operazione di rifornimento (nb/mese) WH Rep = somma delle ore di lavoro dei dipendenti che lavorano nell'attività di rifornimento (ora/mese)</p>	Automatico	(Mascolo, et al., 2014)
Picking productivity Pick p	Numero di prodotti prelevati per ore di lavoro nell'attività di picking	$Pick\ p = \frac{OrdLi\ Pick}{WH\ Pick}$ (riga d'ordine/ore di lavoro) <p>OrdLi Pick = numero di righe d'ordine prelevate (nb/mese) WH Pick = somma delle ore di lavoro dei dipendenti che lavorano nell'attività di picking (ora/mese)</p>	Automatico	(Kiefer & Novack, 1999)
Shipping productivity Ship p	Numero totale di prodotti spediti per periodo di tempo	$Ship\ p = \frac{OrdLi\ Ship}{WH\ Ship}$ (riga d'ordine/ore di lavoro) <p>OrdLi Ship = numero di righe d'ordine spedite (nb/mese) WH Ship = somma delle ore di lavoro dei dipendenti che lavorano nell'attività di spedizione (ora/mese)</p>	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Mentzer & Konrad, 1991)

Delivery productivity y Del p	Numero totale di ordini consegnati per ore di lavoro nell'attività di consegna	$DEL p = \frac{Ord Del}{WH Del}$ (ordini/ore di lavoro) WH Del = somma delle ore di lavoro dei dipendenti che lavorano nell'attività di consegna (ora/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Mascolo, et al., 2014)
Inventory utilisation InvUt p	Rapporto di spazio occupato dallo storage	$InvUt p = \frac{Inv CapUsed}{Inv Cap}$ (%) Inv CapUsed = spazio medio occupato da magazzino (m ³) Inv Cap = capacità totale dell'inventario del magazzino(m ³)	Automatico	(Ramaa.A, et al., 2012)
Turnover TO p	Rapporto tra il costo delle merci vendute e l'inventario medio	$TO p = \frac{CGoods}{Ave Inv}$ (tempo/mese) CGoods = $\sum[(\text{numero di articoli venduti})_i * (\text{costi})_i]$ (\$/mese) Ave Inv = $\sum[(\text{numero medio di articoli in inventario})_i * (\text{costi})_i]$ (\$/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Johnson & McGinnis, 2011)
Transport utilization TrUt p	Tasso di riempimento del veicolo	$TrUt p = \frac{Ton Tr}{Ton Avail}$ (%) Ton Tr = totale tonnellate trasportate (ton/mese) Ton Avail = $\sum(\text{capacità di tonnellata di ogni camion})$ (ton)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Bourlakis & Matopoulos, 2010)
Warehouse utilization WarUt p	Capacità di magazzino utilizzata	$WarUt p = \frac{War CapUsed}{War Cap}$ (%) War CapUsed = spazio medio occupato nel magazzino (m ³) War Cap = capacità totale del magazzino (m ³)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Bowersox, et al., 2002)
Equipment downtime EqD p	Percentuale di ore di inutilizzo dell'attrezzatura	$EqD p = \frac{\sum HEq Stop}{\sum HEq avail}$ (%) HEq Stop = numero totale di ore di fermo delle apparecchiature (ora/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Bowersox, et al., 2002)

		HEq Avail = numero totale di ore durante le quali l'attrezzatura è disponibile per lavorare (ora/mese)		
Throughput Th p	Rapporto tra articoli e ore di uscita dal magazzino	$Th p = \frac{Ord\ ship}{War\ WH}$ <p>Ord Ship = numero di ordini spediti (nb/mese)</p> <p>War WH = numero totale di ore durante le quali il magazzino lavora (ora/mese)</p>	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Mentzer & Konrad, 1991)
In/out throughput	La misura del numero di elementi che entrano o escono durante un'unità di tempo (ora, turno, giorno)	$T in = \frac{I in}{\Delta t}$ $T out = \frac{I out}{\Delta t}$ <p>I= numero di articoli in entrata o in uscita</p>	Automatico	(Colla & Nastasi, 2010)
Inbound handling	La capacità dinamica del magazzino espressa come numero massimo di unità di carico in entrata considerando l'unità di tempo	Numero di righe di ingresso/totale movimenti giornalieri	Automatico	Gian Paolo Calzolaro (2021)
Outbound handling	La capacità dinamica del magazzino espressa come numero massimo di unità di carico in uscita considerando l'unità di tempo	Numero totale di linee in uscita/movimenti al giorno	Automatico	Gian Paolo Calzolaro (2021)
Inventory accuracy	Discrepanze tra i record elettronici che rappresentano l'inventario e lo stato fisico dell'inventario.	Numero di codice errato/numero di codice totale	Automatico	Gian Paolo Calzolaro (2021)
Reliability of deliveries	Grado in cui un fornitore è in grado di servire i propri clienti	Numero di spedizioni errate / numero di spedizioni totali	Automatico	Gian Paolo Calzolaro (2021)

	entro i tempi di consegna promessi			
Stock contraction	Percentuale di contrazione teorica dello stock rispetto a quella attuale	$(\text{Stock teorico} - \text{Stock attuale}) / \text{Stock teorico}$	Automatico	Macalux (2021) https://www.mecalux.it/blog/kpi-logistica
Out-of-stock rate	La quantità di un assortimento che non è in stock	Ordini inevasi/Ordini totalix 100	Automatico	Macalux (2021)
Rotation index	Numero di volte in cui un prodotto è stato completamente rinnovato in magazzino in un determinato periodo di tempo	Spedizione media /stock	Tradizionale, automatico, e-commerce	Macalux (2021)
Punctuality for suppliers	Rapporto tra puntualità e ordini totali	Ordini consegnati in tempo / ordini totali consegnati	Tradizionale, automatico, e-commerce	Macalux (2021)
Overstock	Surplus di stock	Valore dell'inventario in surplus / valore dell'inventario	Tradizionale, automatico, e-commerce	Macalux (2021)
Inventory velocity	La percentuale di inventario che si prevede finisca durante un determinato periodo	Stock di apertura / Previsioni di vendita del prossimo periodo	Tradizionale, automatico, e-commerce	Symbia Logistics (2019)
Obsolescence	Diminuzione del valore di stock quando diventa obsoleto	Stock di apertura / Previsioni di vendita del prossimo periodo	Tradizionale, automatico, e-commerce	Macalux (2021)
Order fulfilment	Percentuale di ordini che passano attraverso il processo di evasione senza errori o deviazioni	$\text{Numero di ordini processabili in T} / \text{Numero di ordini totali ricevuti in T}$	Tradizionale, automatico, e-commerce	Macalux (2021)

Lead time variance	Variabilità dei tempi di consegna promessi ed effettivi	Lead time attuale / lead time atteso	Tradizionale, automatico, e-commerce	Macalux (2021)
Indicatori di costo				
Inventory costs Inv c	Costo di mantenimento e penalità per esaurimento scorte	$Inv\ c = InvC + LostC$ (\$) InvC = costo finanziario per mantenere l'inventario di magazzino (\$) LostC = penale misurata dall'azienda come costo quando il cliente effettua un ordine e il prodotto non è disponibile (\$)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(li et al. 2009)
Transportation cost Tr c	Costo speso per ordine consegnato	$Tr\ c = \frac{TrC}{Ord\ Del}$ (\$/order) TrC= costo di trasporto, che è la somma di beni, petrolio, manutenzione e costi di manodopera (\$/mese) Ord Del = numero di ordini consegnati (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Bowersox, et al., 2002)
Order processing cost OrdProcC c	Costo di elaborazione di tutti gli ordini per numero di ordini	$OrdProc\ c = \frac{Ord\ ProcC}{Cust\ Ord}$ (\$/order) Ord ProcC = somma dei costi dell'ufficio e dei dipendenti per evadere gli ordini (\$) Cust Ord = numero di ordini cliente (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Campos, et al., 2004)
Cost as a % of sales CS c	Costo di magazzino come percentuale delle vendite totali	$CS = \frac{WarC}{Sales}$ (%) WarC = somma di tutti i costi di attività che il magazzino ha in carico (\$) Vendite= totale dei ricavi delle vendite (\$)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Bowersox, et al., 2002)
Labour cost Lab c	Costo degli operatori responsabili delle operazioni di magazzino	$Lab\ c = Stipendio + spese + altro$ (\$/mese) Stipendio = stipendi di tutti i dipendenti del magazzino (\$) Spese = spese pagate per tutti i dipendenti Altri = altri costi (\$/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Cagliano, et al., 2011)
Maintenance cost Maint c	Costo totale di manutenzione delle attrezzature e dell'edificio	$Maint\ c = BuildC + EqMaintC + altro$ (\$/mese) BuildC = costo per mantenere la costruzione del magazzino (\$/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(DeMarco & Mangano, 2011)

		EqMaintC = costi di manutenzione dell'attrezzatura (\$/mese) Altri = altri costi (\$/mese)		
Indicatori di qualità				
Receiving accuracy Rec q	Numero di pallet caricati senza incidenti	$Rec q = \frac{Cor Unlo}{Pal Unlo} (\%)$ Cor Unlo = numero pallet scaricati avvenuti senza incidenti (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Mascolo, et al., 2014)
Storage accuracy Sto q	Conservazione dei prodotti nella posizione corretta	$Sto q = \frac{Cor Sto}{Pal Sto} (\%)$ Cor Sto = numero di pallet stoccati in un luogo appropriato (nb/mese) Pal Sto = numero di pallet stoccati (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Voss, et al., 2005)
Replenishment accuracy Rep q	Corretta movimentazione dei prodotti dall'area di stoccaggio all'area di picking	$Rep q = \frac{Cor Rep}{Pal Moved} (\%)$ Cor Rep = numero di pallet spostati correttamente nell'area di stoccaggio di andata (nb/mese) Pal Moved = numero di pallet spostati durante l'operazione di rifornimento (nb/mese)	Automatico	(Mascolo, et al., 2014)
Physical inventory accuracy Inv q	I conteggi fisici dell'inventario concordano con lo stato dell'inventario riportato nel database	$Inv q = \frac{(Unlo+Sto+Moved Pal)-Prob data}{Unlo+Sto+Moved Pal} (\%)$ Prob data = numero di pallet con imprecisioni tra l'inventario fisico e il sistema (nb/mese)	Automatico	(Bowersox, et al., 2002)
Picking accuracy Pick q	Numero di ordini prelevati correttamente per ordini prelevati	$Pick q = \frac{Cor ordLi Pick}{OrdLi Pick} (\%)$ Cor OrdLi Pick = numero di righe d'ordine prelevate correttamente (nb/mese) OrdLi Pick = numero di righe d'ordine prelevate (nb/mese)	Automatico	(Bowersox, et al., 2002)
Orders shipped accuracy Ship q	Numero di ordini senza errori spediti	$Ship q = \frac{Cor OrdLi Ship}{OrdLi Ship} (\%)$ Cor OrdLi Ship = numero di righe d'ordine spedite correttamente (nb/mese) OrdLi Ship = numero di righe d'ordine spedite (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(De Koster & Warffemius, 2005)

Delivery accuracy Del q	Numero di ordini distribuiti senza incidenti	$Del q = \frac{Cor Del}{Ord Del} (\%)$ Cor Del = numero di ordini consegnati correttamente (nb/mese) Ord Del = numero di ordini consegnati (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Campos, et al., 2004)
On time delivery OTDel q	Numero di ordini ricevuti entro o prima della data di impegno	$OTDel q = \frac{Ord Del OT}{Ord Del} (\%)$ Ord Del OT = numero di ordini ricevuti dal cliente entro o prima della scadenza (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Voss, et al., 2005)
Orders shipped on time OTShip q	Numero di ordini spediti in tempo per totale ordini spediti	$OTShip q = \frac{Ship OT}{Ord Ship} (\%)$ Ship OT= numero di ordini spediti entro o prima della scadenza (nb/mese) Ord Ship = numero di ordini spediti (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Kiefer & Novack, 1999)
Order fill rate OrdF q	Numero di ordini completati alla prima spedizione	$OrdF q = \frac{Compleat 1st Ship}{Ord Ship} (\%)$ Compleat 1st Ship = numero di ordini consegnati completati alla prima spedizione (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Ramaa.A, et al., 2012)
Perfect order PerfOrd q	Numero di ordini consegnati in tempo, senza danni e con documentazione accurata	$PerfOrd q = \frac{(Ord OT,ND,CD)}{Ord Del} (\%)$ Ord OT, ND, CD = numero di ordini ricevuti dal cliente in tempo (OT), senza danni (ND) e documentazione corretta (CD) (nb/mese) Ord Del = numero di ordini consegnati (nb/mese)	E-commerce	(Kiefer & Novack, 1999)
Customer satisfaction CustSat q	Numero di reclami dei clienti per numero di ordini	$CustSat q = \frac{Cust Reclami}{Ord Del}$ (denuncia/ordina) Cust Reclami= numero di reclami dei clienti riguardanti aspetti logistici (nb/mese)	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Voss, et al., 2005) (Lao, et al., 2011)
Stock out rate StockOut q	Numero di prodotti in stock fuori ordine	$StockOut = \frac{Articolo non disponibile}{Articolo in uscita} (\%)$ Articolo non disponibile= numero di prodotti che non sono disponibili a	Tradizionale, automatico, e-commerce	(Lao, et al., 2011)

		<p>magazzino quando il cliente effettua un ordine (nb/mese)</p> <p>Articolo in uscita = somma degli articoli elaborati dal magazzino con articoli in lavorazione nelle attività di prelievo e spedizione (nb/mese)</p>		
--	--	--	--	--

KPI magazzino – Tabella 8

In un ambito complesso come la gestione di un magazzino, dato l'alto numero di variabili interessate e che occorre gestire in modo integrato, l'obiettivo di ricerca delle prestazioni del magazzino consiglia l'approfondimento di una serie di misure che permettano un'analisi sufficientemente bilanciata di tutte le variabili del sistema.

È estremamente importante riorganizzare i KPI in base ad una struttura ideale che possa proporre la lettura congiunta di misure specifiche, raggruppate in modo tale da permettere la miglior interpretazione dei principali fenomeni ritenuti critici. In tal modo può risultare più semplice governare la gestione di tali fattori critici, grazie ad un controllo più sicuro.

Una volta individuato un set di indicatori caratteristici dei tre tipi magazzini e fissato l'oggetto di studio quale la ricerca delle miglior misure di performance che possano aiutare ad individuare le criticità del magazzino, risulta necessario riorganizzare la tabella precedentemente riportata.

Nello specifico non verranno considerati gli indicatori di costo e gli indicatori inerenti a consegne, trasporto, spedizione e il grado di soddisfazione del cliente in quanto non inerenti all'attività di immagazzinaggio interna; inoltre non verranno considerati indicatori inerenti alla fornitura e alla movimentazione perché anch'esse attività esterne all'attività stabilita per il magazzino.

Di seguito riportata la tabella riorganizzata in base alle caratteristiche strutturali del nostro magazzino e alle caratteristiche metodologiche dell'attività preposta.

	KPI	Nome KPI	Definizione	Formula	Unità
Indicatori di tempo	Put t	Put away time	Lead time da quando il prodotto è stato scaricato quando viene stoccato nel luogo assegnato	$(\sum \Delta t (Sto))/LU$	ora/unità di carico

	Pick t	Order picking time	Lead time per prelevare una riga d'ordine	$(\sum \Delta t (Pick)) / (OrderLi Pick)$	ora/riga d'ordine
	PtP t	Picking to packaging time	Tempo tra il picking e il packaging (prima della spedizione)	$(\sum \Delta t (Ship)) / (Order Del)$	ora/ordini
Indicatori di produttività	Pick p	Picking productivity	Numero di prodotti prelevati per ore di lavoro nell'attività di picking	$(OrdLi Pick) / (WH Pick)$	riga d'ordine /ora di lavoro
	Lab p	Labour productivity	Numero totale di articoli gestiti in base alla quantità di ore lavorative di gestione degli articoli	item proc/WH	articoli/ore di lavoro
	Th p	Throughput	Rapporto tra articoli e ore di uscita dal magazzino	$(Ord ship) / (War WH)$	
Indicatori di magazzino	Sto p	Storage productivity	Numero di unità di carico stoccate per ore di lavoro nell'attività di stoccaggio	$(LU Sto) / (WH Sto)$	Unità di carico/ore di lavoro
	S	Average Stock	La quantità media di prodotti stoccati in magazzino durante un certo periodo di tempo	$(\sum s(i)) / N$	
	RSC	Receptivity Saturation Coefficient	Esprime quanto il magazzino è stato sfruttato in un certo periodo di tempo	S/R	
	Out-of-stock rate	Out-of-stock rate	La quantità di un assortimento che non è in stock	$\frac{Ordini\ inevasi}{Ordini\ totali} \times 100$	%
Indicatori di qualità	Sto q	Storage accuracy	Conservazione dei prodotti nella posizione corretta	$(Cor Sto) / (LU Sto)$	%

	EqD p	Equipment downtime	Percentuale di ore di inutilizzo dell'attrezzatura	$(\sum H_{Eq}$ Stop)/ $(\sum H_{Eq}$ avail)	%
--	-------	-----------------------	---	---	---

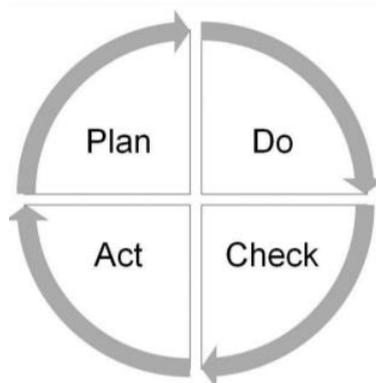
KPI magazzino Incas – Tabella 9

Nei prossimi capitoli ciascun KPI verrà esaminato e calcolato a seguito degli esperimenti condotti in laboratorio.

CAPITOLO IV

ANALISI SPERIMENTALE DEI KPI

Il processo di costruzione e di utilizzo di un sistema di misura e monitoraggio può essere ricondotto al ciclo di Deming o metodo PDCA, acronimo delle quattro fasi che lo caratterizzano:



Ciclo di Deming - Figura 4

1. Plan: identificare i processi, proporre indici di performance e scegliere tra questi i KPI opportuni con gli obiettivi specifici dei processi
2. Do: misurare le performance e raccogliere i dati
3. Check: analizzare e valutare i dati raccolti
4. Act: adottare decisioni di miglioramento al sistema di misura e controllo

Definito precedentemente il set di indicatori, in questo capitolo verranno illustrati diversi esperimenti condotti in laboratorio ai fini di ricavare empiricamente i KPI ed esaminare le dinamiche interne del magazzino INCAS.

Associando ai processi logistici un sistema di controllo delle prestazioni, è possibile attivare un sistema di miglioramento razionalizzato mediante il ciclo continuo di misurazione, verifica delle relazioni causa-effetto aspettate dal sistema ed attivazione di azioni di miglioramento (Stancari 2003). Il processo logistico è inteso come il processo che inizia con la ricezione della merce a magazzino e termina con la consegna della merce al reparto richiedente (ARSS del Veneto 2010a).

Questo processo è suddiviso in due sottoprocessi:

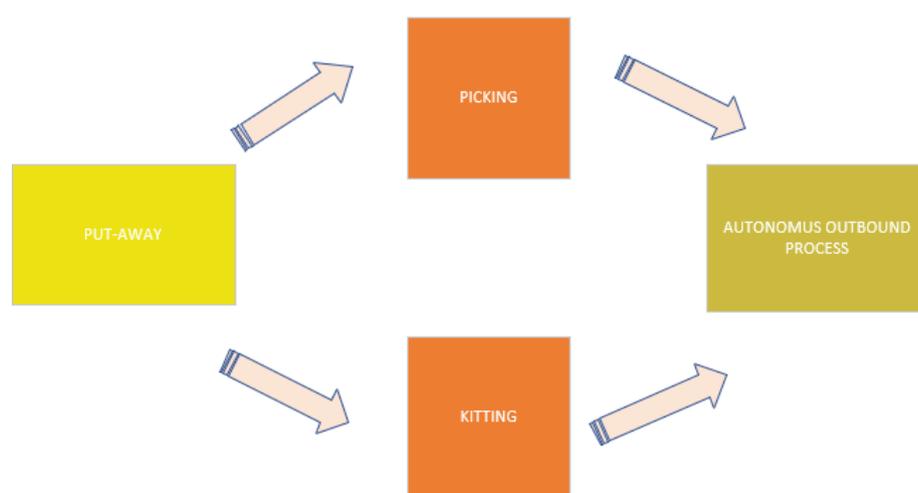
- Ricevimento e stoccaggio della merce, costituito dalle fasi:

- Ricevimento;
 - Stoccaggio.
- Evasione delle richieste, costituito dalle fasi:
 - Picking\Kitting e Packing;
 - Trasporto esterno;
 - Consegna al reparto

Nello specifico, il processo logistico studiato è stato semplificato alle fasi fondamentali che compongono un breve ciclo di vita della merce all'interno del magazzino, in cui dal ricevimento merci, gli ordini vengono evasi con tecniche differenti e trasferiti nell'area packaging.

Il ciclo identificato è definito dalle seguenti fasi (vedi figura 3):

- Put-away, inteso come processo di ricevimento e stoccaggio merci
- Picking e kitting, tecniche per l'evasione degli ordini
- Autonomus outbound process, inteso come processo di trasferimento della merce dal picking al packaging



Processo Logistico. Figura 5

Il processo logistico è stato analizzato singolarmente per le sottofasi, in modo da estrarre le individuali misure di performance per ognuno di esse.

1. Set up iniziale

In principio è stato necessario ripristinare logicamente il software di controllo e fisicamente il magazzino dalle cassette inserite precedentemente.

È stato, inoltre, ipotizzato un set up generale unico per l'inizializzazione dei diversi esperimenti che seguiranno, in modo tale da ottenere risultati oggettivi non influenzati da fenomeni particolari e/o poco realistici.

Il set-up ipotizzato segue le diverse fasi:

1. Ripristino ed inserimento di articoli

Inizialmente, come già accennato, per simulare la situazione di partenza, il magazzino è stato completamente svuotato delle cassette presenti, quali UDC, UDS e cassette vuote, sia fisicamente e sia logicamente eliminandole dal sistema. Inoltre, anche le anagrafiche di tutti gli articoli inseriti a sistema in passato sono stati cancellati.

Si è ipotizzato di effettuare i primi esperimenti considerando un numero indicativo di articoli ed in seguito, in base ai risultati ottenuti volta per volta, modificare il numero di articoli di cui sono composti gli ordini o il numero di operazione. A tal proposito sono stati inseriti 10 generici articoli, rappresentanti ognuno un indefinito prodotto, il quale sarà poi determinato e specificato con il raggiungimento di uno degli obiettivi prefissati, quale l'individuazione del settore operativo del magazzino.

2. Determinazione della capacità del magazzino e delle singole cassette

Il magazzino INCAS è dotato di cinque tipologie di cassette caratterizzate da dimensioni e forme differenti per le quali corrispondono diverse capacità:

-LTB6220: la tipologia di cassetta con dimensioni maggiori rispetto a tutte le altre. Essa ha una capacità di 50 prodotti

-LTB4220: caratterizzata dalla stessa altezza della prima e metà della sua lunghezza, la sua capacità è di 25 prodotti.

-LTB6120: caratterizzata da una capacità 30 prodotti

-LTB4120: rappresenta la tipologia più piccola delle cassette, la quale contiene 10 prodotti

-MF 6070: caratterizzata dalla stessa lunghezza della prima, ma di un'altezza inferiore rispetto a tutte, la sua capacità è di 20 cassette.

Considerando la cassetta più grande, LTB6200, è stata calcolata la capacità totale del magazzino: contando fisicamente i vani e con l'aiuto del sinottico, sono stati rilevati 90 vani che ospiterebbero potenzialmente un totale di 112 cassette del primo tipo.

La capacità potenziale trovata è stata corretta da un coefficiente di sicurezza pari a circa il 20% del totale, in quanto risulta opportuno considerare una certa quantità di buffer di sicurezza e dei buffer necessari alla movimentazione stessa della macchina; pertanto in conclusione la capacità netta totale è stata fissata a 90 cassette di cui 75 saranno colme di prodotto e 15 saranno UDC vuote occorrenti all'esecuzione delle operazioni quali picking e kitting.

3. Definizione delle specifiche cassette e dei prodotti

Una volta stabilito il numero totale di cassette stoccate all'interno del magazzino, in modo proporzionale è stato definito il numero specifico di cassette, sia piene che vuote, per ogni tipologia. Si è considerato il numero totale di cassette per ogni tipologia di cui il magazzino dispone a priori e, una volta calcolata la percentuale di questi sul totale, essa è stata riportata sul numero totale di cassette scelte.

Di seguito la tabella illustra l'analisi esposta.

TYPE	N UDC	%	EMPTY IN	LOADING UNITS	EMPTY OUT
LTB6120	30	23%	3	18	9
LTB6220	50	38%	6	29	15
LTB4120	20	15%	2	11	7
LTB4220	20	15%	2	11	7
MF 6070	10	8%	2	6	2
	130				

Suddivisione UDC - Tabella 9.1

Definite la quantità e i codici specifici delle cassette per ogni dimensione, il tipo di prodotto al suo interno è stato determinato attraverso una funzione random, utilizzando gli articoli generici, da 1 a 10, precedentemente inseriti a sistema.

Di seguito è riportato lo studio effettuato sul tipo di cassette LTB6120, equivalente al *modus operandi* per gli altri quattro tipi.

BOX	CODE	CAPACITY	PRODUCT	TYPE
LTB6120	1001	30	4	LOADING UNITS
LTB6120	1002	30	4	LOADING UNITS
LTB6120	1003	30	4	LOADING UNITS
LTB6120	1004	30	9	LOADING UNITS
LTB6120	1005	30	4	LOADING UNITS
LTB6120	1006	30	6	LOADING UNITS
LTB6120	1007	30	8	LOADING UNITS
LTB6120	1008	30	5	LOADING UNITS
LTB6120	1009	30	7	LOADING UNITS
LTB6120	1010	30	5	LOADING UNITS
LTB6120	1011	30	10	LOADING UNITS
LTB6120	1012	30	7	LOADING UNITS
LTB6120	1013	30	10	LOADING UNITS
LTB6120	1014	30	8	LOADING UNITS
LTB6120	1015	30	3	LOADING UNITS
LTB6120	1016	30	5	LOADING UNITS
LTB6120	1017	30	5	LOADING UNITS
LTB6120	1018	30	3	LOADING UNITS
LTB6120	1019	30	0	EMPTY IN
LTB6120	1020	30	0	EMPTY IN
LTB6120	1021	30	0	EMPTY IN
LTB6120	1022	30	0	EMPTY OUT
LTB6120	1023	30	0	EMPTY OUT
LTB6120	1024	30	0	EMPTY OUT
LTB6120	1025	30	0	EMPTY OUT
LTB6120	1026	30	0	EMPTY OUT
LTB6120	1027	30	0	EMPTY OUT
LTB6120	1028	30	0	EMPTY OUT
LTB6120	1029	30	0	EMPTY OUT
LTB6120	1030	30	0	EMPTY OUT

Classificazione cassette – Tabella 9.2

2. Processo Put-away

In un magazzino automatizzato, il put-away si riferisce a tutti i processi che avvengono tra la ricezione delle merci dai fornitori e il loro stoccaggio nei vani interni al magazzino. Questo particolare processo semplifica lo stoccaggio tradizionale della merce, riduce il rischio di smarrimento degli articoli e mantiene il magazzino ordinato e organizzato, grazie all'utilizzo di robot mobili autonomi di cui il magazzino INCAS dispone.

2.1 Robot mobili autonomi: MIR100

L'automazione della logistica interna è una tendenza in rapida crescita sia per le grandi che per le piccole aziende per contribuire a migliorare la competitività e la sicurezza dei dipendenti.

I processi di produzione sono stati i primi obiettivi per l'automazione e i progressi nei robot collaborativi, sicuri e facili da implementare, hanno reso rapidamente questo tipo di automazione accessibile

Automatizzando il trasporto dei materiali, le organizzazioni possono ottimizzare la produttività e programmare le consegne in modo più efficace per ridurre i colli di bottiglia della produzione e concentrare le risorse dei dipendenti nelle attività di maggior lavoro.

Fino a poco tempo fa, i tradizionali veicoli a guida automatica (AGV) erano l'unica opzione per automatizzare le attività di trasporto interno. Gli AGV hanno un'intelligenza di bordo minima che permette di eseguire semplici istruzioni di programmazione. Per navigare, deve essere guidato da cavi, strisce magnetiche o sensori, che in genere richiedono l'installazione di aggiornamenti estesi e costosi, durante i quali la produzione può essere interrotta.

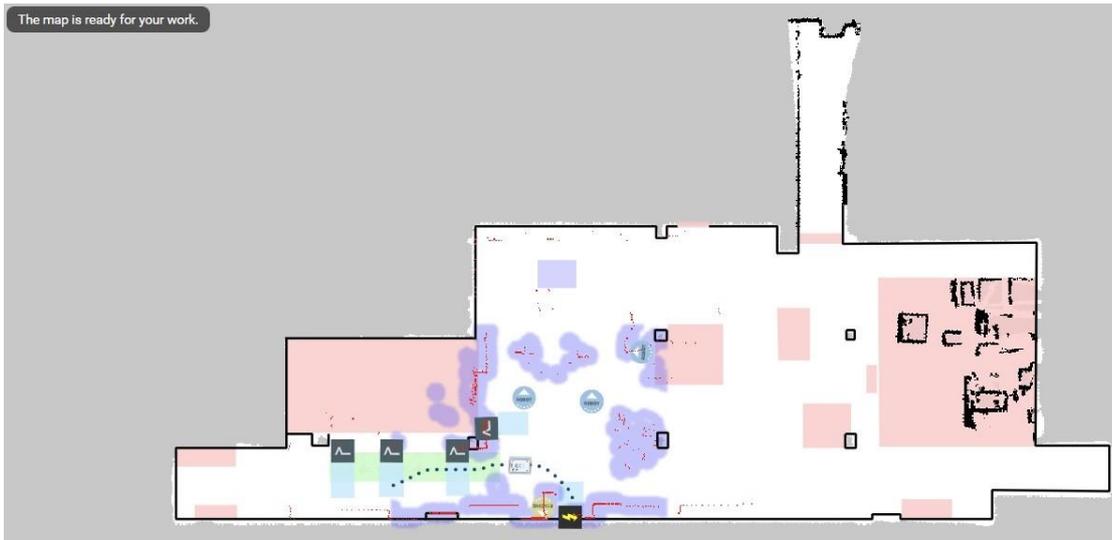
Oggi, tuttavia, gli AGV sono sostituiti in parte dalla tecnologia più sofisticata, flessibile ed economica dei robot mobili autonomi (AMR).

Il magazzino INCAS dispone di due AMR, denominati Mir100, i quali sono stati impiegati nelle attività di inbound e outbound per test del magazzino.

2.1.1 Funzionamento dei Mir100

Questi robot navigano tramite mappe che il suo software costruisce in loco o tramite layout della struttura precaricati. L'AMR utilizza i dati delle fotocamere, dei sensori integrati e degli scanner laser, nonché un software sofisticato, denominato MirFleet, che gli consente di rilevare l'ambiente circostante e scegliere il percorso più efficiente verso la destinazione impostata.

Di seguito riportata la schermata dell'interfaccia MirFleet, la quale mostra il layout del laboratorio logistico del Politecnico di Torino, pre caricato nel software del robot



Mappa Mirfleet - Figura 6

La soluzione MiR100 funziona in modo completamente autonomo e se davanti ad esso si verificano pallet, cassette, persone o altri ostacoli, l'AMR eviterà in sicurezza, utilizzando il miglior percorso alternativo. Ciò ottimizza la produttività garantendo che il flusso di materiale sia gestito nei tempi previsti.

Le attività AMR possono essere controllate tramite l'interfaccia del robot che assegna automaticamente la priorità agli ordini e al robot più adatto per una determinata attività in base alla posizione e alla disponibilità. Una volta schedulata una missione, i dipendenti non impiegano tempo a coordinare il lavoro dei robot, il che consente loro di concentrarsi su lavori di alto valore.

I due robot sono altresì caratterizzati da un particolare metodo di comunicazione attraverso l'uso di luci colorate. Intuitivamente l'operatore può comprendere, sebbene distante o impegnato, eventuali problemi di malfunzionamento o assicurarsi dell'avanzamento inalterato del lavoro.

Questo sistema offre una vasta gamma di colori, mostrati in tabella 10, identificativa di un'accurata indagine sullo stato di avanzamento operativo attuale

Rosso	Arresto di emergenza
Verde	Pronto per lavorare
Azzurro	Trasferimento verso la destinazione
Viola	Ostacolo verso la destinazione o sul percorso
Bianco	Pianificazione / Calcolo
Giallo	Missione in pausa
Giallo tremolante	Segnale di avvio prima che il PC sia attivo
Giallo con	Spegnimento del robot
Giallo	Movimento relativo ignorando gli ostacoli
Viola - Giallo	Errore generale; ad esempio hardware, localizzazione
Blu	Joystick per controllo manuale
Blu tremolante	Mappatura
Arcobaleno	Carica: Stazione di carica
Bianco tremolante	Richiesta all'utente / In attesa di risposta dall'utente

Legenda – Tabella 10

Inoltre, il robot è composto da un rullo principale chiamato TR125\TR125auto

Il TR125 è installato sul robot MiR100, con lo scopo di trasportare singole unità di carico all'interno dell'ambiente operativo. Per caricare una cassetta, il robot attracca una docking station integrata in un sistema di trasporto esterno, da cui può essere ricevuto il carico.

Una volta che la merce è stata caricata sul rullo, il robot può trasportare la merce in un punto di scarico specificato. Qui, il robot può ancora attraccarsi a un sistema di trasporto esterno su cui scaricare il carico trasportato.

Il processo di trasferimento del carico consiste in:

1. regolazione dinamica dell'altezza dei rulli
2. far girare i rulli nella direzione appropriata fino a quando il carico non è completamente caricato o scaricato
3. arresto dei rulli
4. abbassare i rulli ad un'altezza adeguata al trasporto attraverso una regolazione dinamica dell'altezza.

Il robot deve attraccare sempre con la parte anteriore rivolta verso l'impianto esterno, sia per il carico che per lo scarico dell'operazione.

Gli AMR sostituiscono i tradizionali strumenti di esecuzione ordini mirati ad aumentare l'efficienza e la produttività dei raccoglitori. Sono utilizzati per operazioni di order picking, zone picking, goods to person, picking autonomo o smistamento flessibile

2.2 Implementazione della simulazione

L'esperimento condotto in laboratorio simula realmente il processo di put-away, simile al caricamento massivo di un magazzino e-commerce, ipotizzando l'esistenza concreta del prodotto.

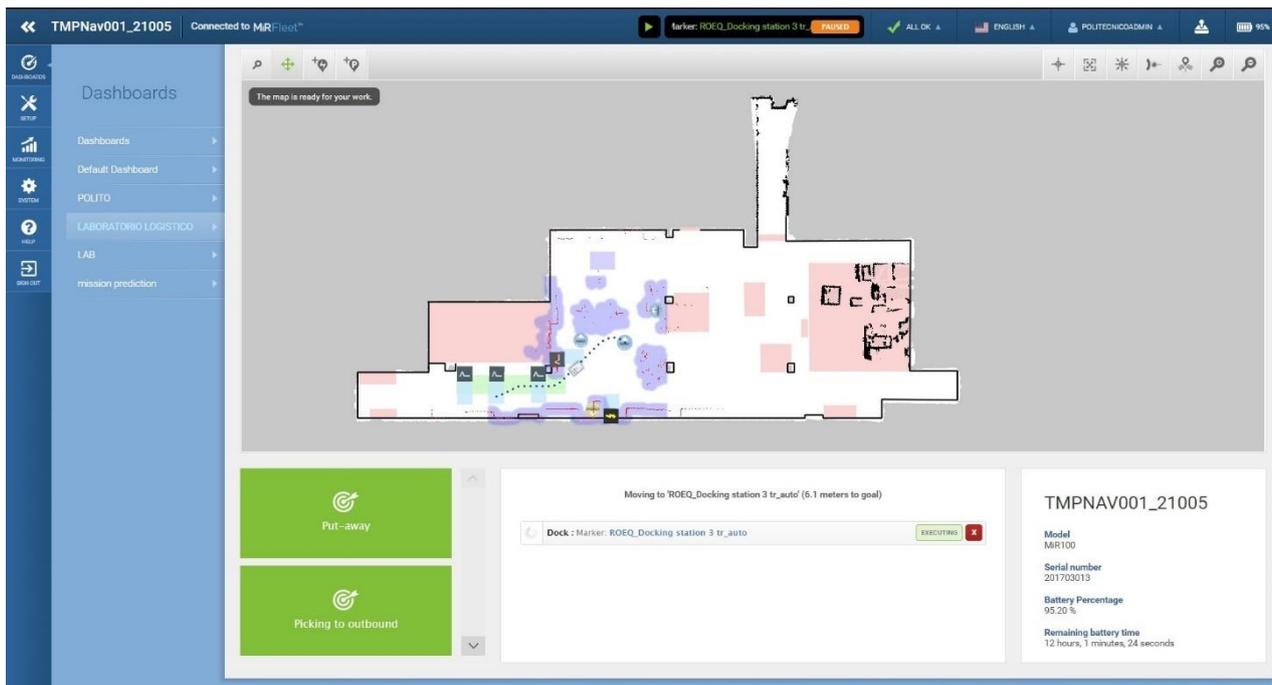
Successivamente la fase di approvvigionamento della merce nell'apposita zona di ricevimento all'interno del laboratorio e completati i teorici controlli di qualità, essa viene logicamente registrata nel software gestionale del magazzino, che genera, di conseguenza, un'etichetta identificativa del tipo e quantità di prodotto per la specifica cassetta scelta.

L'automazione del processo rende innovativo e del tutto automatico il trasporto delle unità di carico dalla zona di ricevimento merci allo stoccaggio nei vani del magazzino, tramite i due robot di cui il laboratorio logistico dispone.

Dunque, l'operatore attraverso la piattaforma Mirfleet, genera la missione di Put-Away: i robot dalla postazione di carica, o da qualunque posizione essi si trovino, raggiungono la postazione di ricevimento merci preimpostata nella mappa, per avviare il processo di stoccaggio.

Come precedentemente descritto, gli AMR navigano tramite mappe pre caricate nel software e raggiungono le destinazioni assegnate attraverso l'uso di fotocamere e sensori integrati.

Di seguito riportata l'interfaccia grafica della piattaforma Mirfleet, dalla quale l'utente genera le missioni, controlla progressivamente le attività e monitora il percorso schedulato dal robot.



Schermata Mirfleet Put-away process- Figura 7

Nella presente simulazione sono state schedate in coda 10 missioni uguali dalla medesima piattaforma, la quale gestisce e assegna le missioni ad entrambi i MiR100.

Una volta caricata fisicamente la cassetta sul robot e logicamente comunicata la conferma di tale attività dalla piattaforma, il MiR100 segue il percorso schedato fino al conveyor di entrata del magazzino. In modo automatizzato e dinamico adatta l'altezza del rullo superiore alle dimensioni del conveyor, comunica attraverso i sensori e carica la cassetta nel magazzino.

Il processo di put-away può ritenersi concluso. Pertanto, è necessario schedare una successiva missione affinché il robot liberi la zona di stoccaggio, oppure in caso di altre missioni in coda, autonomamente ripeterà il percorso raggiungendo nuovamente la postazione di ricevimento merci.

Dunque, l'esperimento ha come protagonisti i due robot mobili autonomi, per i quali è difficile non essere mossi dalla curiosità di scoprire le inaspettate applicazioni e le molteplici funzionalità, ovvero, misurare le prestazioni.

La simulazione pone l'obiettivo di calcolare il Put away time definito come il tempo che intercorre tra il caricamento delle cassette sul robot e lo stoccaggio a magazzino.

Piuttosto che calcolare il tempo totale, la lunga simulazione è stata partizionata in simulazioni più brevi e gestibili, avendo come oggetto di studio il caricamento di 10 cassette per ognuna.

Sono stati calcolati i tempi di sei simulazioni, come riportato nella tabella.

Simulazione	Tempi
1	15:01
2	14:50
3	14:42
4	15:23
5	16:20
6	16:42

Tempi Put Away – Tabella 11

Di cui si evince il tempo medio di caricamento pari a 15:29 minuti.

Considerando il tempo medio di caricamento e il numero totale di cassette in quel determinato intervallo di tempo, il put away time calcolato risulta pari a 1,529 minuti per pallet.

2.3 Analisi e problemi rilevati

Analizzando attentamente i tempi riportati in tabella possiamo dedurre che il processo di stoccaggio guidato dai MIR risulta abbastanza lento.

In particolare durante le varie simulazioni, sono stati registrati due tipi di errori causati dal funzionamento proprio del magazzino e dai robot stessi.

Per quanto concerne il funzionamento del magazzino, sono frequenti debug di sistema operativo derivanti dal disallineamento delle funzioni logiche e fisiche nel momento di carico delle cassette.

Accade frequentemente che le cassette risultino sul conveyor di entrata a livello logico del software, ma che a livello fisico esse non siano effettivamente presenti; altresì ricorrenti sono errori dati dalla mancata lettura del codice di particolari cassette (nello specifico per le cassette di tipo MF 6070)

Più rilevanti, considerando l'oggetto di studio dell'esperimento, sono gli errori propri dei robot.

Nello specifico si è notato un problema ricorrente riscontrato nel caricamento dell'ultima cassetta del primo Mir, ovvero della penultima missione schedulata in coda.

Una volta caricata la sua ultima cassetta, il robot si blocca comunicando l'errore attraverso un cambiamento di colore delle luci inferiori: da una luce di colore azzurra, che indica il regolare funzionamento, a una luce di colore viola che indica una situazione di arresto in cui il robot risulta privo di un obiettivo. Perciò al termine della penultima missione schedulata, il processo continuo interrompe il suo normale funzionamento automatizzato, generando un blocco della missione. La complicazione viene risolta direzionando il robot manualmente dalla piattaforma Mirfleet.

Questa soluzione, si è dimostrato sperimentalmente, essere l'unica azione intuitiva affinché la

simulazione schedate termini nel modo più efficiente possibile.

Riguardo le lente prestazioni di stoccaggio dei robot, si è notato che il percorso effettuato nel nostro laboratorio logistico è oggettivamente limitato. Ciò comporta un'importante riflessione sulla composizione del processo totale dei robot.

Dai tempi raccolti, al netto di errori, risulta che il 30% del tempo totale di missione è costituito dal tempo fisso impiegato dai robot per carica e specialmente scaricare le cassette.

Analizzando in dettaglio il processo di scarico della cassetta, esso si compone nel seguente modo:

il Mir100 si posiziona davanti al conveyor di entrata del magazzino, regola dinamicamente l'altezza del TR125auto adattandosi all'altezza inferiore del conveyor, scarica la cassetta, il TR125auto ripristina l'altezza iniziale, si allontana e ricalcola il percorso per tornare alla posizione di ricevimento merci o in posizione di carica. Ognuna di queste operazioni ha tempi fissi, non accelerabili.

Il trasferimento tra il processo di carico di un robot e di scarico dell'altro è anch'esso affetto da bias. Circa il 20% del tempo totale del processo è impiegato dai robot per schedare nuovamente i rispettivi percorsi nel momento di avvicinamento speculare.

Quando un robot termina il caricamento della cassetta in magazzino, procede verso la zona di ricezioni merci incontrando l'altro robot, il quale si dirige, in verso opposto, verso la postazione di scarico appena lasciata dal primo. I due robot, grazie ai sensori, non si scontrano e non si toccano, ma si considerano, a vicenda, ostacoli. Considerata la vicinanza in cui si trovano ad operare, essi sono costretti a ricalcolare i rispettivi percorsi, riprendendo in ritardo il normale funzionamento.

3. Processo di Picking

Il secondo processo simulato è il picking, inteso come il prelievo di quantità parziali di merci per soddisfare gli ordini dei clienti (van Gils et al., 2018). Esso è un processo chiave in quasi tutte le supply chain e rappresenta più della metà dei costi operativi di un magazzino (Tompkins et al., 2010).

Nonostante la crescente possibilità di automatizzare i processi di picking degli ordini, in molte aziende questo tipo di processo è ancora basato sul lavoro umano manuale.

Gli order picking systems manuali, come il magazzino INCAS, offrono comunque la possibilità di interazione con sistemi automatizzati come i sistemi di stoccaggio e prelievo automatizzati (AS/RS)

e le attrezzature per i sistemi pick-to-light che riducono le attività umane, ma in cui il picking (inteso come il recupero degli articoli) è eseguito manualmente.

In particolare il sistema pick-to-light è una soluzione di picking di tipo “man to goods” in grado di assicurare una notevole produttività. Il sistema si compone di spot collegati al sistema di gestione del magazzino tramite una rete di comunicazione bidirezionale in tempo reale. Sulle scaffalature viene apposta una serie di spie luminose, che segnalano dove prelevare la merce, nonché la quantità esatta (vedi figura 8)



Pick-to-light – Figura 8

L'operatore si muove lungo le scaffalature e preleva le quantità di materiali richieste globalmente da un lotto di ordini attraverso le segnalazioni che appaiono sui display luminosi.

Al termine dell'operazione, l'operatore conferma la fine del picking attraverso un bottone che provoca lo spegnimento del display e lo scambio immediato delle informazioni con il gestionale di magazzino.

3.1 Order picking time e Picking productivity

Poiché il picking ha un impatto diretto sulla soddisfazione del cliente, sulla reputazione aziendale e sulla redditività, il miglioramento di questa attività è una priorità assoluta per tutte le aziende.

Data perciò la rilevante importanza in termini di efficienza operativa dei magazzini, è opportuno fare

considerazioni su indici determinanti nell'operazione di picking: order picking time e picking productivity.

Le performance di picking esprimono il grado di produttività in outboud che calcola il numero di quantità o righe prelevate in un determinato intervallo di tempo.

Pertanto i KPI individuati identificano il tempo impiegato per il picking, i problemi di prestazione e dove possono essere apportati miglioramenti.

Generalmente consentono di confrontare le prestazioni dei singoli operatori o tra i vari reparti per la determinazione di un livello standard previsto.

Le performance di picking possono essere misurate in diversi modi in base all'operazione e al tipo di stock. Nel nostro caso, esaminando un magazzino automatizzato pensato originariamente per l'e-commerce, si è ritenuto opportuno considerare le righe d'ordine evase su ore di lavoro.

Il range dei KPI , generalmente, è strettamente collegato al tipo di operazione e di prodotto:

per il prelievo di oggetti piccoli si stima di ottenere una media di 200 righe d'ordine all'ora, tuttavia se si tratta di oggetti dalle grandi dimensioni o dove sono necessarie attrezzature per la movimentazione manuale, 15 prelievi all'ora risulterebbe un ottimo risultato.

Nel nostro esperimento non è stato stabilito alcun range, d'altro canto sono questi risultati che forniranno i presupposti su cui formulare le ipotesi per i successivi miglioramenti e futuro settore a cui sarà destinato il magazzino.

3.2 Analisi preliminare della composizione degli ordini

Prima di simulare il processo di picking del magazzino INCAS, sorge l'esigenza di non inserire casualmente gli ordini nel sistema di gestione WMS, ma discutere ed ipotizzare una loro ragionevole composizione.

Essendo l'obiettivo finale del progetto di tesi stimare il settore operativo e la rispettiva previsione di domanda, risulta ora difficile impostare un'accurata schedulazione degli ordini.

Dunque, considerando l'originale scopo di poter attribuire al magazzino un ruolo nel mondo dell'e-commerce, l'impostazione degli ordini è stata basata su un determinato articolo scientifico relativo alle scelte dei consumatori riguardo il commercio elettronico.

Tra le varie osservazioni rilevate, l'articolo individua sperimentalmente il numero di articoli che costituisce gli ordini medi annuali di un campione costituito da più di 700 utenti.

I dati estratti dal testo non fittano nessuna delle distruzioni teoriche, perciò gli ordini sono stati

generati seguendo una distribuzione empirica.

Considerato il numero di articoli di cui è composto ogni ordine per tutti gli utenti ed esclusi gli ordini composti da più di dieci articoli, sono stati schedulati proporzionalmente circa 50 ordini, necessari all'esperienza, con la stessa frequenza derivante dallo studio di riferimento.

La tabella seguente riporta i passaggi della suddetta analisi.

Articoli per ordine	Numero acquirenti	%acquirenti	Relativi a 50 ordini	Numero ordini
1	653	48,99%	24,49	25
2	455	34,13%	17,07	17
3	151	11,33%	5,66	2
4	32	2,40%	1,20	1
5	22	1,65%	0,83	1
6	6	0,45%	0,23	1
7	2	0,15%	0,08	1
8	3	0,23%	0,11	1
10	9	0,68%	0,34	1

Numero di prodotti per ordine - Tabella 12

Ottenuto il numero di ordini per ogni composizione, attraverso una funzione random sono stati definiti gli articoli specifici, da 1 a 10, di cui ogni ordine è composto.

3.3 Implementazione della simulazione

Per quanto concerne l'implementazione logica dell'esperienza, i 50 ordini, completi delle loro caratteristiche appena definite, sono stati inseriti nel sistema gestionale e acquisiti. Essi, una volta selezionati nella sezione "Postazione Picking", sono sottoposti ad un rapido esame da parte della WMS che verifica la disponibilità delle quantità in stock che, se sufficiente a soddisfare l'ordine, rende esso prelevabile sui vani appositi al processo di picking.

Tuttavia per quanto concerne le fasi pratiche, l'esperienza è stato così eseguito:

inizialmente è stato selezionato nella "Postazione Picking" uno degli ordini preparati in precedenza, divenuto prelevabile viene richiesto dal sistema l'inserimento del codice di una cassetta vuota ospitante l'ordine, la quale sarà poi identificata automaticamente nel sistema come una UDS.

Una volta evaso l'ordine come in figura 6 , il picker preleva le quantità suggerite dal pick to light, scarica i flow track, reinserisce le UDC nel magazzino e la nuova UDS sul conveyor di outboud per

effettuare il successivo processo autonomo di picking to outboud.



Processo di picking – Figura 9

Di seguito riportata la sezione della “testata ordini” dell’interfaccia grafica del sistema WMS del magazzino INCAS in cui sono evidenziati gli ordini eseguiti su 50 ordini creati, e da cui si evincono, nell’ultima colonna, le composizioni di tali ordini.

Alias	ID Ordine	Numero Ordine	Descrizione Stato	Tipo	Descrizione Tipo	Numero Righe
Uscita	280	5277	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	2
Uscita	288	5285	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	2
Uscita	290	5287	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	2
Uscita	293	5290	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	2
Uscita	298	5295	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	2
Uscita	302	5299	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	3
Uscita	309	5306	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	310	5307	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1

Uscita	311	5308	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	312	5309	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	313	5310	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	314	5311	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	315	5312	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	319	5316	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	322	5319	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	323	5320	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	327	5324	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	328	5325	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	330	5327	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	3
Uscita	340	5337	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	6
Uscita	344	5341	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	10
Uscita	346	5343	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	8
Uscita	347	5344	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	3
Uscita	348	5345	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	5
Uscita	349	5346	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	2
Uscita	351	5348	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	2
Uscita	352	5349	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	1
Uscita	353	5350	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	4
Uscita	355	5352	Acquisito (valido)	Pick	Tipo ordine prelievo	4

Evasione ordini picking – Tabella 13

3.4 Analisi dei risultati ottenuti

L'esperimento, il cui obiettivo è la misurazione dell'order picking time e, del rispettivo indice reciproco, picking productivity, prevede il prelievo di più ordini possibili in un'ora di lavoro.

Al termine dell'intervallo di tempo, dalla sezione "testate ordini" si individuano 29 ordini evasi con successo a cui corrispondono 73 righe d'ordine.

Il KPI di produttività corrisponderà esattamente al valore, soprammenzionato, delle righe d'ordine evase nell'ora di lavoro osservata, inversamente l'Order picking time risulta essere 0.0137 ora/righe d'ordine.

L'esperimento è stato eseguito, per una migliore accuratezza dei dati empirici, una seconda volta.

Sebbene impostate le medesime modalità analizzate precedentemente, la composizione degli ordini

evasi è ben diversa e i risultati emersi poco differenti. Al termine dell'intervallo di tempo di questa ulteriore simulazione, sono stati evasi 32 ordini corrispondenti a 76 righe d'ordine. Analogamente al caso precedente, il picking productivity corrisponde alle righe d'ordine evase, mentre il KPI reciproco, l'Order picking time, risulta essere 0.0132 ora\righe d'ordine.

4. Processo di Kitting

La tecnica di kitting è una strategia di ottimizzazione del processo di raccolta dei componenti necessari alla produzione di un determinato prodotto o di articoli separati ma correlati, i quali devono essere imballati e forniti insieme in un'unica soluzione.

I componenti necessari al completamento dell'ordine vengono raccolti in un kit e portati alla postazione di montaggio o di packaging.

Questo processo consente all'operatore di avere l'immediata disponibilità dei componenti necessari e di concentrarsi nel completamento dell'ordine. Il vantaggio del kitting, dunque, consiste nella riduzione dei tempi di elaborazione delle parti nonché dei tempi di inattività della catena di montaggio, gestendo in modo più efficiente la filiera.

4.1 Implementazione della simulazione

Analogamente a quanto discusso nel paragrafo precedente riguardo sia l'analisi di composizione degli ordini sia l'analisi dei KPI stabili, il presente esperimento segue la stessa *ratio* del primo.

Per quanto concerne l'implementazione logica, i 50 ordini, definiti dalla distribuzione precedente, sono stati inseriti nel sistema gestionale ma, contrariamente all'implementazione del picking, la WMS richiede già in questa fase la specificazione della tipologia di cassetta contenente il futuro kit. Ne consegue, per quanto concerne l'implementazione pratica, l'inserimento preventivo di tali cassette vuote se non presenti in magazzino.

Nella presente simulazione, l'ordine selezionato nella "Postazione kitting" è sottoposto al controllo della WMS riguardo la disponibilità delle quantità richieste, viene evaso nei vani adibiti al kitting.

La configurazione, sotto riportata in figura 7, mostra la specifica cassetta di raccolta richiesta evasa sull'apposito conveyor e le cassette contenenti gli articoli dell'ordine evase nella baia di kitting predisposta al sistema pick-to-light.



Processo kitting - Figura 10

L'operatore preleva le quantità suggerite dal pick-to-light come nell'esperimento precedente, raccogliendo il necessario in una cassetta vuota fornita direttamente dal magazzino.

Tuttavia, nel caso in cui le cassette contenenti gli articoli dell'ordine fossero multiprodotto, il sistema ricorre al conveyor di uscita del magazzino, in modo da permettere all'operatore di comprendere l'esatto prodotto richiesto. Non essendo adibito alla modalità pick-to-light, il sistema eroga un pop-up che avvisa l'operatore circa la quantità e il batch, se il prodotto ne è caratterizzato, da cui prelevare.

Di seguito riportata la sezione della "testata ordini" del sistema gestionale in cui sono evidenziati gli ordini evasi nella prima simulazione durata 29.40 minuti.

Si osserva che, contrariamente all'esperimento di picking, vi è, in aggiunta, la colonna della tipologia della cassetta inserita nel sistema precedentemente.

Alias	ID Ordine	Numero Ordine	Descrizione Stato	Tipo	Tipo cassetta	Descrizione Tipo	Numero Righe
Uscita	444	5441	Prelevato	Kit	LTB 6120	Tipo Ordine Kit	2
Uscita	453	5450	Prelevato	Kit	LTB 4120	Tipo Ordine Kit	3
Uscita	431	5428	Prelevato	Kit	LTB 4120	Tipo Ordine Kit	1
Uscita	443	5440	Prelevato	Kit	LTB 4220	Tipo Ordine Kit	2
Uscita	417	5414	Prelevato	Kit	LTB 4120	Tipo Ordine Kit	1
Uscita	428	5425	Prelevato	Kit	LTB 4220	Tipo Ordine Kit	1
Uscita	432	5429	Prelevato	Kit	LTB 4220	Tipo Ordine Kit	1
Uscita	425	5422	Prelevato	Kit	LTB 4220	Tipo Ordine Kit	1
Uscita	421	5418	Prelevato	Kit	LTB 6220	Tipo Ordine Kit	1
Uscita	434	5431	Prelevato	Kit	LTB 4220	Tipo Ordine Kit	1
Uscita	447	5444	Prelevato	Kit	LTB 6220	Tipo Ordine Kit	2
Uscita	440	5437	Prelevato	Kit	LTB 6220	Tipo Ordine Kit	2
Uscita	437	5434	Prelevato	Kit	LTB 4220	Tipo Ordine Kit	2
Uscita	430	5427	Prelevato	Kit	LTB 6220	Tipo Ordine Kit	1
Uscita	427	5424	Prelevato	Kit	LTB 4220	Tipo Ordine Kit	1

Evasione ordine kitting - Tabella 14

4.2 Analisi dei risultati ottenuti

Sebbene le simulazioni siano state partizionate in intervalli di tempo diversi, data la complessità della tecnica, analogamente al precedente, il presente esperimento si propone di misurare l'order kitting time e, il reciproco indice, kitting productivity.

Sono state svolte quattro simulazioni dalla durata ciascuna di circa 30 minuti, per le quali sono stati stimati gli indici relativi alla produttività del kitting valutati in un'ora di lavoro.

Al termine dell'intervallo di tempo, dalla sezione "testate ordini" si individuano gli ordini e le righe evase da cui si ricavano i seguenti KPI. .

Durata simulazione [minuti]	#ordini evasi	#righe evase	Order kitting time [ora/righe d'ordine]	Kitting productivity [righe d'ordine/ora]
29.40	15	22	0.022	45
30.03	15	31	0.016	62
30.13	16	30	0.017	60
29.22	10	33	0.015	68

KPI simulazioni kitting - Tabella 15

La variabilità del numero di articoli di cui sono composti gli ordini causa la variabilità delle righe evase in ogni simulazione e delle misure di performance.

Dai risultati ottenuti emerge che la quantità maggiore di righe d'ordine evase deriva dalla simulazione svolta nel più breve tempo e con un numero di ordini totali evasi inferiore rispetto alle altre simulazioni.

In particolare, quest'ultima è stata caratterizzata da ordini composti da 10, 8, 7, 5 articoli, al contrario delle altre simulazioni caratterizzate in prevalenza da ordini di uno o due prodotti, coerentemente rispetto alla distribuzione ipotizzata.

Si potrebbe dunque dedurre che ordini composti da più prodotti, ottimizzano il processo di kitting permettendo l'evasione di più righe di prodotto a parità di tempo impiegato.

Tuttavia, è bene sottolineare che, ordini di tale portata impegnano molto il magazzino incentivando sia possibili errori di funzionamento generale, sia l'incidenza del collo di bottiglia. Esso si verifica durante situazioni in cui il maxi-shuttle è sottoposto a un sovraccarico riguardo la gestione di flussi sia in entrata, sia in uscita.

4. Autonomus outbound process

In un contesto fortemente influenzato dalla automazione, i ritmi sostenuti nei magazzini diventano sempre più intensi durante le attività di picking, aumentati dallo sviluppo dell'e-commerce e il continuo aumento delle esigenti richieste. I robot mobili autonomi o AMR, agevolano molto il lavoro gli addetti alla logistica, rendendoli liberi di dedicarsi ad attività più redditizie e ad alto valore aggiunto, collaborando alla movimentazione delle scorte per le attività di picking o il trasferimento della merce in aree diverse del centro logistico.

In tal modo i due robot Mir100 del laboratorio logistico, diventano protagonisti, ulteriormente al processo iniziare di put-away, nel processo autonomo di outbound.

4.1 Implementazione dell'esperimento

Terminata la fase operativa del processo di picking, vi un'ultima fase altresì rilevante, riguardante il trasferimento delle cassette contenenti gli ordini prelevati, in un altro reparto.

L'obiettivo del seguente esperimento consiste nell'esaminare le prestazioni dei robot mobili autonomi

nel processo autonomo di outbound. Dunque, l'indicatore di performance che stimeremo sarà il picking to packaging

Conseguentemente alle osservazioni rilevate nell'esperienza di Put-Away riguardo l'incontro ricorrente dei due robot e soprattutto considerando l'influenza dei tempi fissi di carico e scarico del Mir100 sul tempo totale, la ridotta superficie di svolgimento dell'attività, per questo esperimento è stato utilizzato un solo robot.

Ciononostante, l'esperienza è stata impostata nelle medesime modalità del primo: piuttosto che eseguire una lunga simulazione, sono state osservate sei simulazioni con oggetto il trasferimento di 10 cassette per ognuna. Sono state schedate 10 missioni in coda per il primo Mir100 denominate "Picking to outbound" in cui il robot ha eseguito autonomamente il trasferimento delle UDS.

Nello specifico, la missione preimpostata nel software MirFleet, è stata svolta nel modo seguente:

-Dalla postazione di carica il robot avanza sino al conveyor di outbound. Il quale essendo anch'esso automatizzato, convoglia la cassetta contenente l'ordine di picking fino al rullo superiore del robot, come mostrato in figura 8.



Autonomus outbound process – Figura 11

-Il Mir100, regolando l'altezza dinamicamente, acquisisce la cassetta ed esegue il trasferimento fino

alla destinazione predefinita di spedizione merci.

Di seguito riportati i risultati relativi alle sei osservazioni del processo autonomo di outbound.

Simulazione	Tempi
1	13:14
2	13:30
3	12:47
4	13:02
5	13:34
6	13:38

Tempi Picking to outbound - Tabella 16

4.2 Analisi e problemi rilevati

Dalle sei simulazioni eseguite, si evince un tempo medio di esecuzione del processo pari a 13,11 minuti. Da cui il KPI Picking to packaging, calcolato come il tempo in media impiegato per le 10 cassette trasportate, risulta essere pari a 1,311 minuti\pallet. Dunque, possiamo affermare che il tempo impiegato dal robot per trasferire una UDS, ottenuta dal processo di picking, alla zona di packaging è di 1,311 minuti per ogni cassetta.

Sebbene il suddetto esperimento, come il primo, individua come protagonisti i due Mir100, sono stati registrati meno errori di funzionamento.

Per quanto concerne il funzionamento del magazzino, contrariamente al processo di put-away, non vi sono errori di questo genere dato il suo inutilizzo.

Mentre per quanto concerne l'errore dei robot discusso nel primo esperimento, riguardo l'interruzione della missione a seguito dell'ultima cassetta caricata, è stato risolto schedulando, dopo le 10 missioni di picking to outbound, una missione di ritorno alla postazione di carica.

CAPITOLO V

ANALISI E FUTURI SVILUPPI

In questo capitolo finale si vogliono analizzare e discutere i risultati ottenuti dagli esperimenti condotti, individuando i limiti e le possibili simulazioni future, utili ad esaminare più approfonditamente le prestazioni del magazzino e degli AMR, in modo da migliorare e aumentare le funzionalità di questi.

1. Analisi critica AMR

Per quanto concerne gli esperimenti con i robot mobili autonomi, vi sono rilevanti osservazioni da analizzare. I KPI calcolati, put-away time e picking to packaging, risultano poco prestanti data la lentezza del processo lento.

Se in una prima analisi l'inefficienza può essere attribuita all'insoddisfacente velocità dei robot, va evidenziato che la velocità massima raggiungibile dai Mir100 è doppia rispetto a quella impostata durante l'esperimento. D'altro canto, da un'analisi approfondita risulta irrilevante la velocità dei robot, intesa come variazione della posizione in un determinato intervallo di tempo.

Essa è influenzata da fattori fisici come l'accelerazione e la decelerazione, per cui in fase iniziale e finale richiede un determinato intervallo di tempo tale da raggiungere la velocità impostata, e fattori di sicurezza per permettere l'arresto immediato a fronte di un ostacolo verificatosi sul suo percorso. Altresì determinante è analizzare, come precedentemente dedotto dalla simulazione del put-away, il tempo impiegato per le singole fasi di cui il processo è composto. Di fatto, il tempo totale impiegato nel processo è fortemente influenzato da tempi fissi, di cui sono caratterizzate le fasi di carico e scarico delle cassette, i quali rappresentano circa il 30% del tempo totale.

Sebbene il tempo di carico della cassetta può essere trascurabile, in quanto il robot reagisce quanto meno tempestivamente in seguito alla conferma dell'effettivo caricamento della cassetta tramite la piattaforma MirFleet, il tempo di scarico influenza in modo determinante il put-away time. Il Mir100, una volta posizionatosi davanti al conveyor d'ingresso del magazzino, impiega tempo per adattare la sua altezza alle dimensioni della rulliera del magazzino, il trasporto su essa e le manovre necessarie al transito verso la destinazione.

Altresì rilevante è la ricorrente situazione in cui i due robot, operando in uno spazio limitato, si incontrano e interrompono il regolare funzionamento reputandosi entrambi ostacoli. In tal caso entrambi impiegano circa il 20% del tempo totale per ricalcolare un percorso alternativo.

Tali considerazioni sono dimostrate dal secondo esperimento condotto, per ovviare all'ultima problematica discussa e per le ridotte dimensioni dello spazio interessato, con un solo Mir100.

Basti pensare alla convergenza dei dati sperimentali ottenuti nonostante le diverse modalità di applicazione dei robot. In particolare, risulta dal primo esperimento un tempo medio pari a 15.29 minuti per il trasferimento di 10 cassette in un percorso di circa 10 metri, mentre dal secondo un tempo medio pari a 13.11 minuti considerando uno spazio di circa due metri.

Il breve percorso del secondo processo eseguito con il singolo robot, appare maggiormente evidente confrontando la precedente schermata MirFleet, in figura 7, con il dettaglio della mappa sotto riportata della simulazione del processo outbound.



Schermata Mirfleet outbound process – figura 12

A forza di quanto precedentemente dedotto, le misure di performance del processo sono fortemente influenzate dai tempi fissi e non dipendono dalla velocità dei robot intesa come lo spazio percorso in un determinato tempo. E' dunque dimostrato sperimentalmente che riducendo del 80% le distanze percorse, il tempo impiegato si riduce solo del 12%.

1.1 Sviluppi futuri

Benché sui tempi fissi non sia possibile intervenire direttamente, sviluppi futuri potrebbero ipotizzare scenari in cui l'impatto negativo di tali tempi sia meno prevalente, sfruttando la flessibilità di questa

innovativa tecnologia tale da aumentare l'efficienza dei robot.

La flessibilità degli AMR è fondamentale per i moderni ambienti di produzione che richiedono agilità e flessibilità, inoltre altamente adattabili per la produzione. Risulta, perciò, semplice e rapido inserire una nuova mappa dell'edificio o l'AMR stesso può mappare in loco i nuovi percorsi, in modo da essere utilizzato immediatamente per nuove attività. Questa capacità offre a qualunque tipo di azienda la piena proprietà del robot e delle sue funzioni.

Dunque, una possibile futura simulazione potrebbe esaminare il funzionamento dei Mir100 in spazi e contesti differenti dal laboratorio logistico in questione. Considerando lunghi percorsi e ampi spazi liberi, la velocità dei Mir100, che può addirittura essere raddoppiata, risulta adatta e adeguata al compito dei robot, migliorando in tali contesti la produttività dell'intero processo.

In tale scenario ipotizzato i tempi fissi, per definizione, non variano rispetto agli esperimenti precedentemente simulati; tuttavia, considerando contesti industriali caratterizzati da percorsi estesi e privi di ostacoli, l'intervallo di tempo in cui la velocità permane costante minimizza gli intervalli di tempo in cui essa è condizionata dai discussi tempi fissi, dalla accelerazione e decelerazione.

2. Analisi dei processi di picking e kitting

Nel precedente capitolo, riguardo i processi di evasione degli ordini, è stata analizzata la produttività del magazzino nell'esecuzione delle tecniche di picking e kitting.

Degna di nota, è l'osservazione discussa precedentemente riguardante il processo di kitting. Durante la simulazione caratterizzata da ordini composti da più articoli, il magazzino evade il maggior numero di ordini nel minor tempo rispetto alle altre simulazioni. Sebbene questo risultato possa avvalorare l'ipotesi secondo cui il magazzino incrementa la produttività eseguendo ordini di tale portata, l'affaticamento del maxi-shuttle evidenzia il collo di bottiglia. Sebbene nella suddetta simulazione, esso emerge in lieve misura e solo durante le fasi in cui il maxi shuttle gestisce sia la movimentazione dei flussi in uscita, per le cassette del nuovo ordine, sia dei flussi in entrata, per lo stoccaggio delle cassette evase dall'ordine concluso, in altri esperimenti previsti dell'esecuzione contemporanea di picking e kitting, il collo di bottiglia è, non solo evidente, ma causa principale di un considerevole rallentamento o addirittura una congestione dell'intero processo. Pertanto le performance del magazzino si dimostrano essere soddisfacenti per quanto riguarda ordini, pressoché complessi, ma evasi con una sola delle due tecniche che può eseguire.

Sebbene esistano range predefiniti, i quali definiscono le soglie minime e massime accettabili entro

le quali l'indicatore è considerato una buona prestazione, essi risultano troppo generali in questo caso studio. Fissare in modo preciso i livelli di prestazione dei KPI in modo da renderli di facile interpretazione, presuppone la conoscenza specifica del settore, del tipo di commercio, del tipo di prodotto, dunque considerazioni finali di questa trattazione.

Tuttavia, i KPI ottenuti precedentemente possono assumere il ruolo di parametri benchmark, in seguito a futuri esperimenti.

2.1 Sviluppi futuri dei processi di picking e kitting

Le simulazioni per entrambe le tecniche sono state impostate secondo condizioni standard: utilizzando una distribuzione empirica per la composizione degli ordini, estratta da uno studio sperimentale circa le scelte dei consumatori; schedulando gli ordini di picking e kitting ininterrottamente, come un magazzino e-commerce, in un determinato intervallo di tempo osservato; inserendo articoli non previsti di batch, in quantità illimitata e in cassette mono prodotto.

L'efficienza complessiva del magazzino dipende in gran parte da come i processi con i vari fattori di produzione quali le ripartizioni della merce fornita, la composizione degli ordini e le tecniche di prelievo, siano combinati tra loro. Dunque, è necessario stimare preventivamente le prestazioni del magazzino, le quali richiedono una misurazione accurata degli indicatori chiave di prestazione relazionati alla combinazione dei processi.

La misura delle prestazioni è più complessa, tanto più è critico il processo sotto esame.

Dunque, per un'analisi accurata della gestione del magazzino sono richiesti futuri sviluppi proiettati su scenari che mirano ad un'ottimizzazione efficiente.

L'inserimento dei prodotti è stato eseguito considerando cassette mono prodotto per semplicità di esecuzione. Sarebbe dunque interessante condurre ulteriori simulazioni variando la tipologia e l'organizzazione degli articoli all'interno delle cassette, analizzare come i processi di picking e kitting si adattano a tale variazione e come questo impatta sulle misure di performance.

Pertanto, simulazioni future potrebbero esaminare una diversa configurazione delle tecniche, considerando il caso di cassette multiprodotto.

Assunta buona parte delle cassette registrate nel sistema come multiprodotto, le modalità secondo cui la WMS permette lo svolgimento dei processi di picking e kitting, suggeriscono diverse configurazioni. Ciò deriva principalmente da una caratteristica funzionale del magazzino: quando in un ordine è presente un articolo contenuto in una cassetta multiprodotto, la WMS convoglia le cassette

di quel genere esclusivamente sul conveyor di uscita, come mostrato in figura 10.



Kitting multiprodotto - Figura 13

I flow rack della postazione picking e kitting solitamente utilizzati, non permettono la normale esecuzione delle operazioni in quanto l'operatore sarebbe sia incapace di comprendere la posizione del prodotto richiesto, sia le quantità dei prodotti, se entrambi richiesti, dato l'utilizzo del pick to light.

Dunque, per questa ragione nel caso di cassette multiprodotto, il picking e il kitting assumono le diverse configurazioni di seguito riportate:

- uso esclusivo del conveyor del kitting
- svolgimento delle tecniche di prelievo degli articoli esternamente al magazzino
- partizione interna delle cassette e modifica del pick to light.

Per quanto concerne il primo scenario, esso rappresenta la diretta conseguenza dell'impossibilità di

utilizzo dei flow rack precedentemente discussa. Sebbene risulti, di prima impressione, una configurazione inefficiente rispetto le normali modalità, sarebbe interessante valutare il trade-off tra il tempo aggiuntivo impiegato dal magazzino per convogliare sulla stessa rulliera le cassette e i possibili benefici quali un numero inferiore di cassette, totali o per il singolo ordine, da gestire; possibilità di stoccare in magazzino una maggiore varietà di prodotti; ottimizzare il riempimento delle singole cassette.

Per le analoghe ragioni riguardati l'inutilizzo dei flow racks, piuttosto che svolgere le attività su un conveyor, il picking e il kitting possono essere eseguiti al di fuori del magazzino.

In questo caso, le cassette multiprodotto saranno "richiamate" dalla WMS, dall'apposito comando, una volta rilasciate gli operatori potranno eseguire il prelievo dei prodotti richiesti e successivamente reinserire le cassette in magazzino.

Questa configurazione suggerisce in prima battuta dei tempi maggiori e pochi benefici, tuttavia sarebbe interessante verificare sperimentalmente l'efficienza in casi in cui, per precise ragioni, il magazzino è vincolato a detenere cassette multiprodotto.

Il terzo scenario rappresenta la configurazione apparentemente più efficiente seppure impegnativa da attuare. La soluzione propone una riprogettazione strutturale delle cassette e logica della WMS.

Al fine di inserire più prodotti all'interno della stessa cassetta e permettere all'operatore il semplice riconoscimento del prodotto richiesto, è possibile attuare su di esse una ripartizione in due, quattro o sei compartimenti interni in modo da allocare le diverse tipologie di prodotto e non permettere che si confondano in fase di movimentazione. Tuttavia, non stravolgendo totalmente la struttura iniziale delle cassette, le compartimentazioni dovranno essere denominate, per esempio con lettere dell'alfabeto; il simbolo scelto dovrà essere inciso sulla cassetta multiprodotto in modo visibile e denunciato a sistema. Pertanto, sarà necessario un ulteriore intervento, a livello logico, della WMS.

Sebbene la soluzione fino ad ora analizzata risolve il problema della difficoltà dell'operatore nella scelta del prodotto corretto, è necessario modificare il sistema di pick to light tradizionalmente utilizzato, affinché esso comunichi l'esatto numero dello specifico prodotto, o di entrambi, se richiesti due articoli differenti della stessa cassetta.

La configurazione innovativa propone, oltre alla suddivisione strutturale della cassetta, l'indicazione sugli schermi dei flow rack del numero di articoli da prelevare accompagnati dalla lettera che indica il preciso articolo richiesto.

In tal caso si tratterebbe di una riprogettazione informatica del software facilmente realizzabile dall'azienda INCAS.

Analogamente, le modifiche strutturali ipotizzate non stravolgerebbero la struttura delle cassette,

ma comporterebbero rettifiche caratterizzate da un costo irrisorio al pari di benefici considerevoli. Dunque, la soluzione consentirebbe, al netto delle suddette riprogettazioni, lo svolgimento delle tecniche di picking e kitting, secondo le medesime modalità del nostro esperimento ma beneficiando del valore aggiunto dell'utilizzo delle cassette multiprodotto.

Si ipotizza un minor tempo totale di esecuzione determinato dalla quantità inferiore di cassette gestite, in primo luogo, dal magazzino sia in fase di evasione d'ordine, sia in fase di reinserimento delle cassette, problematica cruciale in quanto determinante del collo di bottiglia.

In secondo luogo la quantità inferiore di cassette gestite dall'operatore, ridurrà gli spostamenti e le azioni di prelievo.

CONCLUSIONI

Lo scopo ultimo del presente elaborato è quello di individuare il settore operativo che meglio integra le funzionalità del magazzino ai processi industriali. Tale obiettivo può essere raggiunto analizzando criticamente le misure di performance precedentemente calcolate, essenziali per valutare sia il rendimento dei processi aziendali, sia per identificare i livelli di *responsiveness*, ovvero la capacità di adattarsi in tempo reale alle oscillazioni della domanda.

Dalle molteplici simulazioni, prove pilota ed esperimenti di vario tipo, emergono vantaggi e svantaggi che insieme deliano un modello di magazzino adatto alle esigenze di un determinato mercato.

Per quanto concerne esperimenti caratterizzati in contemporaneo dalle tecniche di picking e kitting, le misure di performance si dimostrano essere abbastanza insoddisfacenti, rendendo un processo lento e soggetto a malfunzionamenti. Per quanto concerne le singole tecniche, le misure di performance dimostrano un rendimento efficiente del magazzino, in particolare in contesti caratterizzati da una domanda modesta e, per ragioni strutturali, per la movimentazione di merce dalle piccole dimensioni. Tuttavia, per ovviare situazioni che potrebbero provocare congestioni del processo, è bene assegnare a tale magazzino, missioni di prelievo schedulate da un numero contenuto di ordini anche complessi, per soddisfare la modesta domanda di mercato.

In questo contesto il magazzino automatico INCAS rappresenta una soluzione versatile, progettata a misura delle specifiche esigenze aziendali in modo da integrarsi perfettamente all'interno di un processo produttivo. Apporta benefici rilevanti, non solo in termini di gestione della movimentazione, ma anche per quanto riguarda stoccaggio, logistica e risparmio di spazio.

Ci sono settori poco sviluppati in cui questo tipo di magazzino, non solo garantirebbe la soddisfazione delle esigenze aziendali e dei consumatori, ma apporterebbe anche un notevole contributo innovativo e rivoluzionario tale da migliorare l'efficienza e l'efficacia dei processi logistici.

Dunque, il magazzino può rappresentare una via innovativa in settori caratterizzati dalla movimentazione obsoleta di merce di piccole dimensioni, come sistemi farmaceutici e ospedalieri, sistemi bibliotecari e sistemi di ricambio per le attrezzature dei lavoratori in azienda.

D'altro canto, sarebbe senza dubbio da escludere, considerata l'analisi delle misure di performance e la struttura attuale del magazzino, il settore dell'e-commerce, caratterizzato da elevati ritmi aziendali o il settore Food&Beverage, caratterizzato da una elevata sensibilità del prodotto, di cui il magazzino non è attualmente capace di controllare.

Il magazzino Incas è un sistema molto efficiente per lo stoccaggio e il prelievo di piccoli componenti non troppo pesanti. Le sue elevate prestazioni rendono questa soluzione idonea in contesti tipici del settore dei ricambi industriali. Il sistema migliora notevolmente la produttività e l'efficienza energetica sia che venga utilizzato per rifornire gli operai nella linea di produzione con una vasta gamma di attrezzi, sia che venga installato come magazzino buffer nell'area di assemblaggio.

L'introduzione del magazzino automatico in tale settore consente di stoccare, in uno spazio ridotto, un numero elevato di parti a bassa rotazione e di accedere costantemente e senza errori a tutti i componenti immagazzinati in modo sicuro grazie al controllo degli accessi fornito dal software gestionale.

Per quanto concerne i sistemi bibliotecari, generalmente si pensa ad un archivio costituito da tanti scaffali, posizionati l'uno di fianco all'altro. Faldoni che occupano ogni spazio possibile, a volte posizionati in doppia fila o in scaffali non identificati, non permettendo la facile visibilità e la tracciabilità.

I sistemi di archiviazione tradizionali, come le scaffalature statiche, non sono una soluzione efficiente per catalogare, in quanto i corridoi occupano gran parte della superficie disponibile e gli scaffali alti sono difficili da raggiungere. Questo è il motivo per cui molti uffici e biblioteche hanno ripensato a come riorganizzare il proprio spazio e hanno implementato sistemi automatici di archiviazione e recupero.

La soluzione adottata da molte biblioteche o uffici dalle notevoli esigenze di spazio per l'archiviazione, è un magazzino automatico verticale a cassette in modo da ottenere un risparmio del 90% di spazio a terra rispetto ai metodi tradizionali.

L'ottimizzazione dello spazio di archiviazione esistente riduce il disordine, migliora l'accessibilità dei materiali e dei dati, inoltre la superficie recuperata può essere riutilizzata per creare ulteriori sale funzionanti all'attività e fornire accesso a computer o materiali di riferimento.

I sistemi di stoccaggio automatici possono estendersi attraverso diversi piani e fornire un accesso a più livelli agli elementi immagazzinati all'interno dell'unità, evitare il rischio di possibili cadute degli scaffali, polvere, urti e una complessa e burocratica gestione dell'inventario.

Tutti i prelievi dal magazzino automatico sono monitorati e documentati per offrire la piena tracciabilità, grazie all'integrazione di un software di gestione dell'inventario. Il WMS fornisce uno scambio di informazioni accurato e continuo con un impatto minimo sulle procedure preesistenti, in modo da evitare la classica situazione in cui un volume, elencato come disponibile, non sia fisicamente reperibile.

Dunque, attraverso il software di gestione WMS e gli ausili visivi che facilitano il picking, il personale della biblioteca può localizzare e restituire i libri o documenti in modo rapido e semplice, rendendo possibile la richiesta elettronica degli articoli e il ritiro in pochi minuti.

Sebbene questo sistema di stoccaggio automatico integri perfettamente le sue funzioni alle esigenze del settore di riferimento, la soluzione specifica identifica un magazzino verticale a cassette.

Pertanto, se il magazzino Incas sarà destinato ad ambienti bibliotecari o di ufficio saranno necessarie modifiche strutturali per l'adattamento delle attività.

Il particolare periodo storico e i recenti cambiamenti che hanno investito il mondo sanitario rendono interessante l'installazione dei magazzini automatici in farmacie all'avanguardia o in determinati reparti ospedalieri in cui l'esigente domanda dei consumatori richiede un'innovativa riprogettazione del processo di gestione.

È indispensabile proporre una nuova organizzazione efficiente, per dedicare risorse alle attività ad alto valore aggiunto, come l'erogazione di servizi e le attività di counseling al cliente/paziente.

Di fatto, un primo e immediato miglioramento apportato dall'introduzione di un magazzino automatico è il minor tempo da dedicare quotidianamente allo stoccaggio dei prodotti. Le attività di presa in carico delle merci ricevute e la sistemazione di esse in determinati vani del magazzino tradizionale, sono sostituite dall'inserimento dei codici merce nel sistema gestionale e dall'automazione dello stoccaggio del magazzino automatico.

Inoltre, il risparmio di tempo è accompagnato da un preciso controllo delle rotazioni, delle giacenze e dell'inventario e da una migliore pianificazione degli acquisti. Sistemi compatti e versatili come il magazzino INCAS in questo contesto, permettono un prezioso risparmio di spazio e una migliore efficienza generale.

Infine, da un punto di vista umano, la presente soluzione permetterebbe una gestione più attenta, professionale e fidelizzante del cliente al banco. Il tempo in precedenza impiegato per il prelievo dei farmaci dalle cassette, potrà ora dedicato all'accoglienza e al consiglio per i pazienti.

L'orizzonte tecnologico diventa sempre più irraggiungibile, impone ridefinizioni e standard elevati, rimette in discussione paradigmi da lungo tempo assodati e permette la creazione di forme e configurazioni innovative mai immaginate prima. In questo contesto, il ruolo cruciale della logistica ha contribuito a stimolare una maggiore attenzione alla ricerca e allo sviluppo tecnologico nel settore, chiave strategica per sopravvivere alla concorrenza sempre più aggressiva.

La vera innovazione, dunque, passa per l'automazione. Le nuove tecnologie, che stanno disegnando una logistica sempre più smart, sono un elemento imprescindibile a cui le aziende devono adottarsi

per emergere, migliorare l'efficienza e l'efficacia dei processi ed essere parte integrante dell'enorme miglioramento continuo di questo secolo.

BIBLIOGRAFIA

Christopher S. Tang ; Lucas P. Veelenturf (2019), “The strategic role of logistics in the industry 4.0 era”

Borsa Surajit , Shivam Gupta , Zongwei Luo (2020), “Il giornale internazionale di gestione della logistica”

Pietro De Giovanni (2020) “Smart Supply Chains with vendor managed inventory, coordination, and environmental performance”

Winkelhaus e Grosse (2020) “Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system”

Younis D. (2020) “The role of mediation of the customer experience Management in the relationship between e-commerce and Supply Chain Management Practices”

Luca Monti (2014) “Progettazione energeticamente efficiente degli Automated Storage and Retrieval Systems”

Bansal, V. , Roy, D. , Pazour, JA (2020), “Performance analysis of batching decisions in waveless order release environments for e-commerce stock-to-picker order fulfillment”

Sven Winkelhaus, Eric H.Grosse, Stefan Morana (2021) “Towards a conceptualization of Order Picking 4.0”

He, W., Xiang, H. (2021), “Research on Collaborative Innovation Strategy of Smart Supply Chain in the Big Data Era”

Nantee, N., Sureeyatanapas, P. (2021), “The impact of Logistics 4.0 on corporate sustainability: a performance assessment of automated warehouse operations”

Zhang, D., Zhang, J. (2021), “Research on Picking Route Optimization Based on Simulated Annealing Algorithm”

Yang, D., Wu, Y., Ma, W. (2021), “Optimization of storage location assignment in automated warehouse”

SITOGRAFIA

Cyzer. (2020), <https://articles.cyzer.com/putaway-process-optimization-warehouse-operations>

Mecalux. (2020), <https://www.mecalux.it/manuale-logisticamagazzino/magazzino>

Ailog, <https://www.ailog.it>

Technobuild, <https://www.technobuild.it/kitting-3-strategie-per-ottimizzarlo/>

Incas Group (2021) , <https://www.incasgroup.com/magazzini-automatici/>

ROEQ, <https://roeq.dk/it/soluzioni/prodotti-per-mir1000/>

MODULA, <https://www.modula.eu/ita/l%E2%80%99intra-logistica-entra-all%E2%80%99universit%C3%A0-con-modula.html>

<https://www.logisticanews.it/come-le-commerce-sta-cambiando-il-supply-chain-management/>

Logistica efficiente, <https://www.logisticaefficiente.it/supplychain/management/principali-kpi-tipici-del-canale-ecommerce.html>

Mobil Industrial Robts (2021), <https://www.mobile-industrial-robots.com/it/insights/get-started-with-amrs/agv-vs-amr-whats-the-difference/>

Compu Group Medical (2021), https://www.cgm.com/ita_it/prodotti/farmacie/strumenti-and-hardware/magazzino-automatizzato.html