



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali
Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

**Studio ed ottimizzazione delle percorrenze di un traslo-elevatore
per magazzini automatizzati: il caso SARIV S.r.l.**

Relatore:

Chiar.mo Prof. Alessandro Persona

Tesi di laurea di:

PETTENUZZO GIANLUCA

Matricola 2021783

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

SOMMARIO	5
INTRODUZIONE	7
1. MAGAZZINO	9
1.1 DEFINIZIONE	9
1.2 CLASSIFICAZIONE DEI MAGAZZINI	9
1.3 ATTIVITÀ SVOLTE IN MAGAZZINO.....	10
1.4 AREE CHE COMPONGONO UN MAGAZZINO	11
1.5 UNITÀ DI CARICO.....	16
1.6 PICKING.....	22
1.7 MOVIMENTAZIONE INTERNA	27
1.8 CRITERI DI MAPPATURA PER IL MAGAZZINO	35
2. MAGAZZINI AUTOMATICI.....	39
2.1 DEFINIZIONE	39
2.2 TRASLOELEVATORE.....	40
2.3 VANTAGGI DEI MAGAZZINI AUTOMATIZZATI.....	43
2.4 FLUSSI NEL MAGAZZINO AUTOMATICO.....	44
2.5 CICLO SEMPLICE E CICLO COMBINATO	46
2.6 F.E.M.....	49
2.7 BOZER E WHITE.....	52
2.8 CONFRONTO FRA I DUE MODELLI.....	56
2.9 WMS (O SGM)	59
2.10 PLC.....	61
2.11 KPI DI UN MAGAZZINO AUTOMATICO.....	63
3. CASO STUDIO: SARIV S.R.L.....	70
3.1 L'AZIENDA.....	70
3.2 OBIETTIVO	72
3.3 STABILIMENTO	72
3.4 DESTINAZIONE D'USO DEL MAGAZZINO	76
3.5 GATE DI CONTROLLO.....	77
3.6 PARAMETRI DEL TRASLOELEVATORE.....	79
3.7 SITUAZIONE INIZIALE	82
3.8 MODIFICHE DA APPORTARE.....	85
3.9 INTRODUZIONE DI UNA NUOVA BALIA.....	95
3.10 CONSIDERAZIONI FINALI.....	97
3.11 SVILUPPI FUTURI.....	100
BIBLIOGRAFIA.....	101
SITOGRAFIA	102
RINGRAZIAMENTI.....	103

SOMMARIO

Il presente elaborato si basa sull'esperienza di tirocinio svolto presso l'azienda SARIV s.r.l. situata a Fontaniva, in provincia di Padova.

L'obiettivo dello stage è stato quello di studiare, analizzare ed ottimizzare la logica di lavoro e le modalità di operare di un traslo-elevatore del magazzino automatico che l'azienda utilizza come principale metodo logistico di stoccaggio.

In questo studio verrà illustrata la situazione iniziale del magazzino, con successiva analisi della logica ancora in utilizzo per le movimentazioni del traslo-elevatore. Verrà poi introdotto un nuovo modo di operare dell'impianto, valutato rispetto diversi criteri in seguito analizzati ed esplicitati.

L'analisi viene dunque preceduta da uno studio delle diverse tipologie di UDC stoccate, il numero di movimentazioni della merce che viene messa a magazzino, la variabilità dei codici di prodotto, le specifiche tecniche dell'apparato meccanico già presente, le baie di ingresso/uscita e la struttura del magazzino stesso.

Tale studio ha lo scopo di ottimizzare i tempi di percorrenza del traslo-elevatore, sfruttare in modo migliore le risorse a disposizione dell'azienda ed eliminare eventuali modi di operare che abbassano l'efficienza dell'impianto con il fine di ottenere il massimo rendimento di tutto l'apparato logistico, determinante per raggiungere un maggiore livello di servizio.

INTRODUZIONE

Esistono molti differenti motivi per cui le aziende hanno la necessità di utilizzare un magazzino. Con il passare degli anni questo elemento sarà sempre più importante e strategico per lo svolgimento delle attività aziendali.

La principale esigenza di chi utilizza un magazzino è quella di poter coniugare nel modo più efficiente ed efficace possibile l'approvvigionamento, lo stoccaggio, la movimentazione e la spedizione della merce.

Per poter soddisfare questo tipo di servizio offerto, il magazzino necessita di avere una capacità di conservare un determinato quantitativo di materie prime e prodotti (che possono essere imballati o sfusi).

L'elevata variabilità di domanda che il mercato presenta, porta a dover necessitare di edifici e sistemi specifici allo stoccaggio e alla distribuzione della merce in azienda. Diventa quindi importante adattare le scelte logistiche al fine di soddisfare esigenze attuali e future dell'impresa.

Il magazzino è dunque un aspetto che caratterizza molte realtà ambientali e presenta al suo interno diverse attrezzature per la movimentazione, lo stoccaggio e la gestione della merce permettendo il corretto flusso in entrata e uscita dall'azienda.

L'elaborato tratta nel suo primo capitolo differenti aspetti teorici riguardanti il magazzino come le sue diverse classificazioni, il modo di distinguere le aree al suo interno, le diverse unità di carico che possono essere stoccate e il picking.

Nel secondo capitolo sono presenti sviluppi teorici relativi ai magazzini automatici, con una prima introduzione dei sistemi che li compongono, dei vantaggi che un sistema di questo tipo può portare e una descrizione dei flussi al suo interno. Poi, vengono analizzati e confrontati diversi modelli relativi al calcolo dei tempi ciclo di un magazzino automatico, riportando inoltre un'analisi relativa ai software e alle KPI utilizzati in questi magazzini.

Nel terzo e ultimo capitolo viene analizzato il caso studio SARIV s.r.l. Da una prima analisi della situazione iniziale dell'azienda e del suo magazzino, si passa ad un'analisi delle problematiche affrontate, seguita da una spiegazione delle modifiche ideate per l'azienda, fornendo delle considerazioni finali sui risultati e mostrando gli sviluppi futuri che l'azienda intende intraprendere.

1. MAGAZZINO

1.1 DEFINIZIONE

Un magazzino è una struttura logistica che, utilizzando attrezzature di stoccaggio e movimentazione oltre a risorse umane e gestionali, consente di regolare i flussi di merce in entrata e in uscita.

In altre parole, il magazzino è quel sistema che permette alle aziende di ricevere, conservare e spedire la merce. Questi flussi di materiali in entrata e uscita non sempre sono coordinati e questo è uno dei motivi per cui si ricorre allo stoccaggio.

1.2 CLASSIFICAZIONE DEI MAGAZZINI

L'attività economica di un'azienda può richiedere la costruzione di varie tipologie di magazzino, a seconda delle necessità e degli obiettivi prestabiliti. Tale deposito può essere utilizzato per immagazzinare materie prime, semilavorati o prodotti finiti.

Questi impianti devono dunque essere ubicati in funzione anche delle esigenze specifiche di funzionamento e in modo da rispettare le restrizioni o possibilità presenti nel contesto o luogo di locazione.

Un ottimo metodo per classificare i magazzini è quello di raggrupparli sulla base delle caratteristiche comuni come, per esempio, in funzione della natura del prodotto stoccato, della tipologia di edificio, dell'ubicazione sul territorio, del flusso di merci e del grado di automazione che è presente nell'impianto.

Più nello specifico:

- Tipo di prodotto: all'interno dei magazzini è possibile lo stoccaggio di materiali speciali; pertanto, è possibile che

l'impianto sia specializzato rispetto al tipo di merce che deve contenere (bobine, ricambi, prodotti deperibili, etc.).

- Tipo di edificio: magazzini all'aperto, seminterrati, silos o depositi, capannoni, celle frigorifere, magazzini autoportanti (dove le scaffalature costituiscono anche la struttura portante dell'edificio).
- Ubicazione: la posizione a livello geografico dell'impianto consente di classificarlo in hub centrale, regionale o di transito.
- Flusso di merce: gli impianti vengono dedicati a materie prime, componenti, semilavorati o prodotti finiti e possono quindi rivestire il ruolo di magazzino intermedio, deposito o hub di distribuzione.
- Grado di automazione: dipende dal numero di attività che sono automatizzate all'interno dell'impianto. A seconda del livello di automazione si può parlare di magazzini tradizionali (la maggior parte dei processi è svolta manualmente) o di magazzini automatici (la maggior parte dei processi è svolta in modo completamente automatico).

1.3 ATTIVITÀ SVOLTE IN MAGAZZINO

La natura dinamica del magazzino, che spesso viene visto come deposito statico, sta diventando un concetto sempre più attuale. Negli impianti di stoccaggio moderni, cuore della logistica aziendale, la visione statica è considerata obsoleta. All'interno del magazzino si possono individuare diverse tipologie di operazioni e processi:

- Ricevimento della merce: si tratta di un'attività essenziale per l'impianto e prevede anche processi di registrazione e controllo.

Possono essere utilizzati software WMS a supporto di queste operazioni.

- **Trasporto interno e stoccaggio:** si tratta della movimentazione della merce all'interno del magazzino, attraversando le diverse aree. Tali attività possono essere svolte in modo tradizionale (manuale o con mezzi di sollevamento) o si può scegliere di ricorrere alla movimentazione automatica della merce. Il fine ultimo del trasporto sarà quello di posizionare la merce in una zona specifica del magazzino in attesa che si presentino ordini di clienti.
- **Picking e spedizione:** è il processo che prevede il prelievo e la spedizione della merce. Quando viene confermato l'ordine di un cliente si procede alla preparazione degli articoli richiesti, confezionandoli e successivamente spedendoli.
- **Aggiornamento informazioni:** tutti i dati relativi alla merce stoccata, in entrata e in uscita vengono sempre aggiornati. In questo modo si mantiene un controllo sui flussi e sulle giacenze della merce, dati che risultano utili per effettuare previsioni e analisi sulla domanda.

Tutti questi processi sono rilevanti ai fini organizzativi dell'intero impianto. Risulterà infatti importante il modo di disporre le diverse aree del magazzino e il modo di processare le diverse attività.

1.4 AREE CHE COMPONGONO UN MAGAZZINO

Nella progettazione di un magazzino bisogna tener conto di diversi fattori come, ad esempio, i processi svolti al suo interno, gli spazi a disposizione, le attrezzature, il personale di cui si dispone e i flussi della

merce (spesso si tiene conto anche della possibilità di una futura crescita).

Apparentemente questa divisione in aree del magazzino può sembrare un aspetto semplice, ma risulta complicata a livello pratico.

Possiamo considerare come distribuzione migliore quella che soddisfa una serie di esigenze: il miglior sfruttamento spaziale, la riduzione al minimo delle movimentazioni, la facilità di accesso alla merce stoccata, una buona flessibilità e una facilità di controllo delle quantità di merci che ci sono a magazzino. Si parla quindi di organizzazione del lay-out di magazzino in aree funzionali.

Le principali attività che caratterizzano l'organizzazione di un magazzino sono:

- Ricevimento
- Controllo qualità
- Adattamento delle unità di carico
- Stoccaggio
- Preparazione ordini
- Spedizioni

Possiamo dunque individuare delle macro-aree dove vengono svolte queste operazioni:

1.4.1 - Area di Ricevimento

In questa zona del magazzino avviene il ricevimento delle merci, il controllo qualità e se necessario anche l'adattamento delle unità di carico (scomponendole per ridimensionarle).

Viste le attività svolte in questa area, sarà necessario che essa si trovi in prossimità delle baie di carico e scarico del magazzino e che abbia

delle dimensioni adeguate a processare nel miglior modo possibile il flusso della merce per tutte le attività da svolgere. In genere si tende a sovradimensionare questa zona per far fronte a eventuali incrementi non programmati di materiali in ingresso.

Nella progettazione degli spazi bisognerà tener conto di tutte le risorse che saranno necessarie nell'area: personale, banchi da lavoro, spazio di stoccaggio momentaneo, etc.

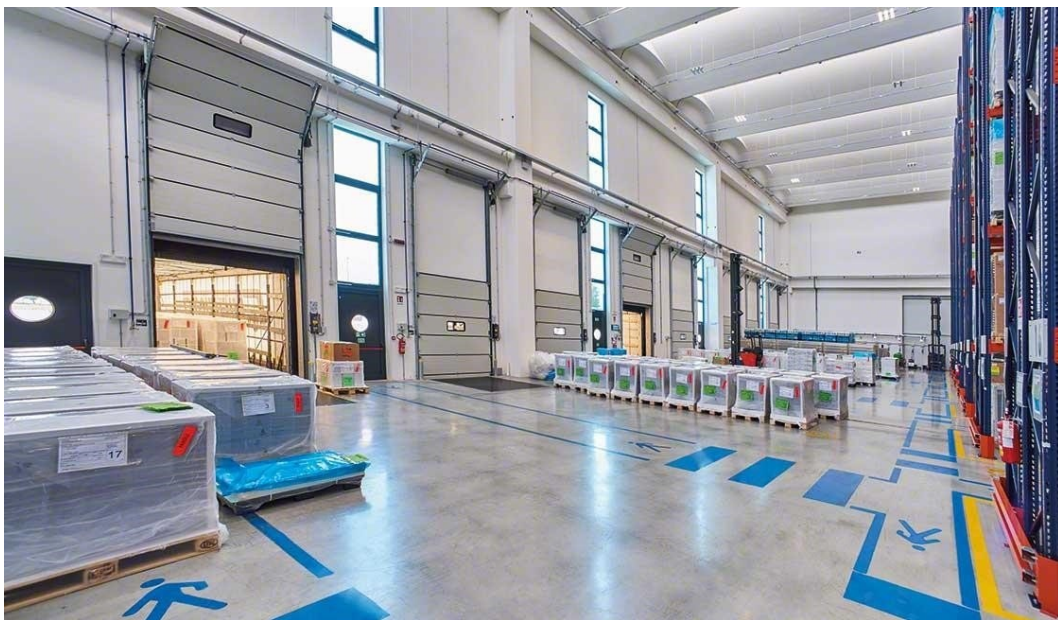


Figure 1: Area di ricevimento merce

1.4.2 - Area di Stoccaggio

È l'area del magazzino che viene utilizzata per il deposito e la conservazione della merce. Può essere divisa in diversi settori a seconda del modo di stoccare la merce, del tipo di merce che viene depositata, in base all'indice di rotazione della merce etc.

Bisognerà valutare bene l'investimento economico che si vorrà fare, al fine di scegliere i mezzi, gli strumenti e le strutture più idonee all'impianto.



Figura 1.2: Area di stoccaggio per merce pallettizzata

1.4.3 - Area di Spedizione

In questa zona avviene la preparazione degli ordini e la spedizione delle merci. Serviranno dei mezzi che permettano di lavorare in maniera efficiente. Il lavoro svolto in questa zona è direttamente collegato all'immagine dell'azienda e sarà dunque fondamentale svolgere queste attività con molta attenzione oltre che con standard qualitativi alti. Lo spazio da dedicare a questa area sarà dunque quello necessario ad alloggiare tutti gli ordini di spedizione previsti (in un certo periodo). Come per l'area di ricevimento anche l'area di spedizione si troverà nei pressi delle baie di carico e scarico. Si può sovradimensionare lo spazio di questa zona per far fronte ai picchi di domanda.



Figura 1.3: Area di spedizione

1.4.4 – Aree di Servizio

Una parte del magazzino viene utilizzata per lo svolgimento delle attività che rientrano fra i servizi dell'impianto: uffici generali e di controllo, spogliatoi, bagni, aree di manutenzione e ricarica batterie delle macchine di movimentazione, etc.

Da una corretta organizzazione e gestione delle aree del magazzino, dipenderanno anche i fattori di sicurezza, produttività, rapidità di risposta ed efficienza dei processi logistici. Questo aspetto risulta fondamentale per ottenere un vantaggio competitivo.

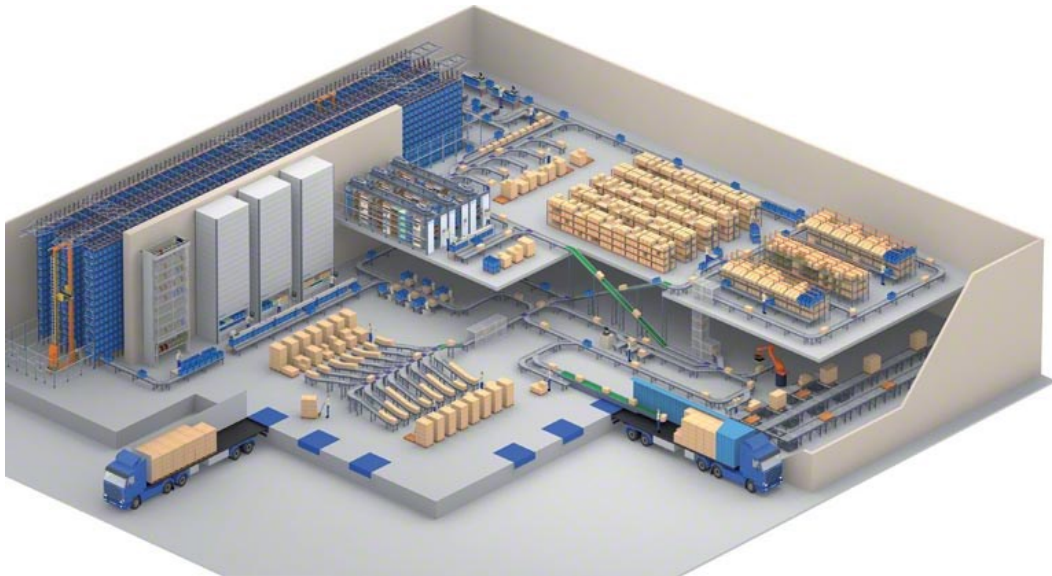


Figura 1.4: Illustrazione esemplificativa e completa di un magazzino.

1.5 UDC

I flussi all'interno di un magazzino possono essere semplici o complessi, in funzione del tipo di azienda, delle operazioni da svolgere sulla merce, delle relative quantità e modalità di movimentazione.

Per comprendere al meglio il funzionamento di queste operazioni è necessario analizzare le tipologie di unità di carico che si possono trovare in un magazzino.

Con unità di carico, definita con l'acronimo "UdC", si intende l'unità di base per lo stoccaggio e il trasporto che viene posizionata su un supporto o imballo modulare (come possono essere casse, pallet, contenitori, ecc.) al fine di semplificare e rendere più efficiente la movimentazione della merce.

La tipologia di UdC influisce nella scelta della soluzione logistica da utilizzare.

Al fine di migliorare e rendere ottimi i processi operativi, massimizzando anche la superficie sfruttata, è fondamentale saper

riconoscere le caratteristiche delle diverse unità di carico, considerate ormai un tassello essenziale per il magazzino.

Le UdC si classificano utilizzando una scala gerarchica suddivisa in tre livelli:

- a. Nel livello più basso troviamo i colli, che sono degli imballi che contengono la merce.
- b. Nel secondo livello troviamo le UdC accatastate, a cui si fa riferimento nel magazzino quando si parla di unità di carico.
- c. Il terzo livello è caratterizzato da contenitori speciali, come possono essere i container per i trasporti o le casse mobili.

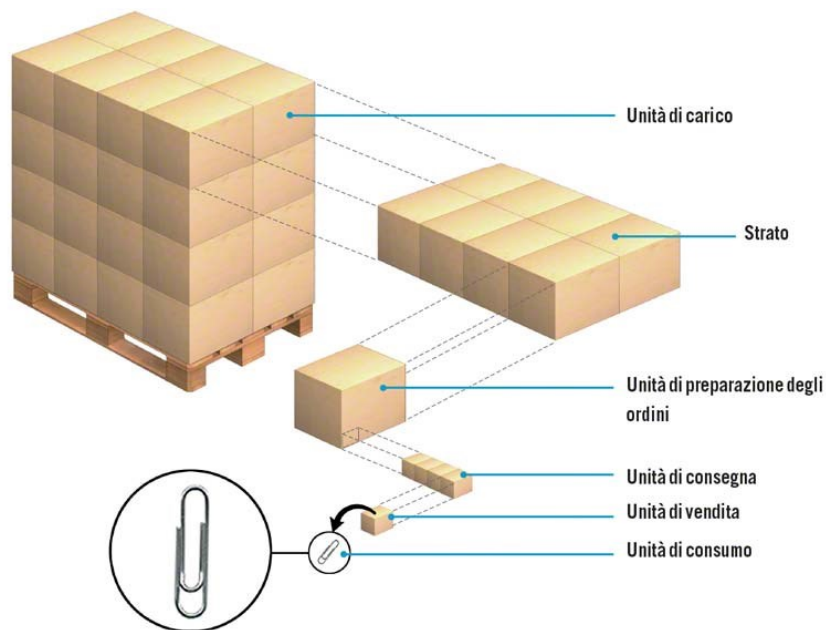


Figura 1.5: Esempio di suddivisione dell'unità di carico.

Le principali unità di carico che si possono trovare all'interno di un magazzino sono:

- Pallet: Il pallet, o paletta, è l'unità di carico che più viene utilizzata in magazzino se parliamo di UdC di secondo livello. Su di esso vengono posizionate le UdC di primo livello (colli),

prestando una particolare attenzione alla disposizione dei singoli imballi, che dovranno evitare di lasciare degli spazi vuoti fra le varie unità e non dovranno uscire dall'area d'appoggio che il pallet permette, non devono cioè creare debordo. Il pallet può essere di diversi materiali, il più comune è il legno, ma esistono anche in materiale metallico e plastico. Il pallet metallico è di solito composto da acciaio o alluminio, risulta molto costoso anche se garantisce una durata ed una resistenza molto elevata rispetto agli altri materiali. Il pallet in plastica è generalmente polistirene o polietilene, e viene generalmente usato nell'industria alimentare e farmaceutica per l'assenza di schegge e chiodi, oltre al fatto che possono essere lavati facilmente. Esiste una normativa dimensionale per i pallet che è la UNI EN 13698-1 che stabilisce che la dimensione dei pallet in legno sia 800x1200 millimetri a quattro vie su nove blocchetti. Con questa normativa si è semplificato il lavoro di standardizzazione anche dei mezzi di movimentazione per i pallet. Sui pallet è previsto dunque il marchio "EPAL" per rendere immediato il riconoscimento della normativa. Esistono anche altre dimensioni standardizzate che sono la 1200x1000, 1000x1200 e 800x600 millimetri. In commercio esistono anche pallet non standardizzati.



Figura 1.6: Pallet EPAL 800x1200

- Contenitori: solitamente hanno una dimensione standard di 600x400 millimetri o sono multipli di questa dimensione. Possono essere, come i pallet, in materiale metallico, plastico o di legno. In genere si utilizzano molto quelli in materiale metallico per sfruttarne l'elevata resistenza.

I principali tipi di contenitori sono:

- con parete piena in lamiera



Figura 1.7: Contenitore in metallo con parete piena.

- con rete metallica



Figura 1.8: Contenitore in metallo con parete in rete metallica.

Esistono altri tipi di contenitori che variano sulla base delle esigenze dell'azienda. Essi possono avere una parte della parete ripieghevole, possono essere ribaltabili e con fondo apribile. Tutti i contenitori hanno la caratteristica fondamentale di essere sovrapponibili, per permettere di sfruttare al meglio gli spazi e il volume.



Figura 1.9: Altre tipologie di cassoni

- **Cassette:** possono essere realizzate in legno, plastica o in lamiera. Le dimensioni sono in genere dei sottomultipli delle dimensioni dei pallet, che sono il luogo dove appunto andranno collocate per essere movimentate. Anche loro sono sovrapponibili e possono avere una “bocca” d’accesso (dette in questo caso “cassette a bocca di lupo”, in genere usata per minuterie).



Figura 1.10: Cassette in plastica per il deposito della merce

- **Scatole:** sono un’unità di carico del primo livello. In genere sono l’imballo che contiene la merce e devono essere disposte su un pallet.

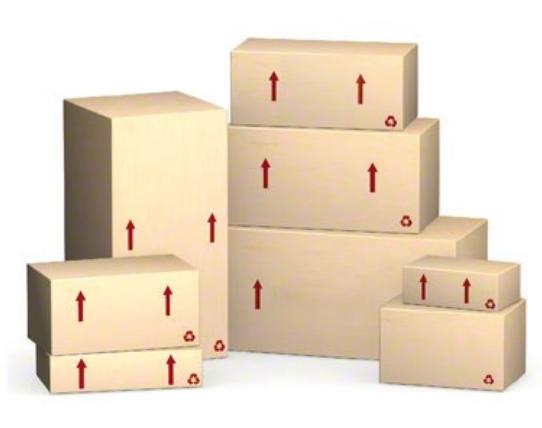


Figura 1.11: Diverse dimensioni di scatole.



Figura 1.12: Esempio di pallet con diversi strati di imballi accatastati sopra.

- Prodotto sfuso: non esistono imballi e l'unità di carico è la merce stessa.
- Materiale raggruppato con reggettatura: l'UdC è costituita da un insieme di prodotti che viene aggregato mediante reggettatura, quindi da un nastro d'acciaio o da materiale plastico.

Utilizzando questa classificazione a livelli, possiamo definire una prima circoscrizione del concetto di UdC, che altrimenti risulterebbe un concetto troppo ampio.

All'interno di un magazzino è possibile stoccare le unità di vendita nel modo che si preferisce, in genere si cerca di agevolare le operazioni di picking (prelievo selettivo di un'unità di prodotto al fine di preparare

un ordine). Il prelievo può avvenire direttamente dallo scaffale o luogo in cui la merce viene depositata all'interno del magazzino stesso.

Risulta chiaro come il concetto di Unità di carico abbia un ruolo fondamentale per la realizzazione e progettazione di un impianto industriale. Le caratteristiche dimensionali devono essere adatte ai fattori di produzione, gestione e distribuzione dei colli che andranno depositati a magazzino. Per raggiungere un livello di efficienza elevato è necessaria, dunque, una pianificazione dello spazio, e di conseguenza un'ottimizzazione della superficie che andrà occupata dalle unità di carico.

È necessario precisare che le unità di carico presenti a magazzino dovranno, per fattori anche di sicurezza, essere il più standardizzate possibile, per facilitare e velocizzare i processi di movimentazione manuali e automatici.

Nella progettazione dell'unità di carico va tenuto conto di diversi fattori, quali la deperibilità dei prodotti, ergonomia per attività di picking, il peso e la forma del contenitore o della merce stessa. Tutti questi fattori, dunque, andranno a condizionare le scelte che dovranno essere fatte per la creazione/sistemazione del magazzino.

1.6 PICKING

Il termine picking viene utilizzato per identificare l'attività di selezione e prelievo parziale della merce, che può appartenere anche a diverse unità di carico. Tale attività può essere svolta in qualsiasi magazzino ogni qualvolta sia necessario un prelievo, anche parziale, della merce dalle UdC con il fine di raggruppare questi materiali e spedirli.

Questa attività apparentemente semplice può avvenire in modi differenti: dal semplice prelievo da parte dell'operatore, che si muove all'interno del magazzino, al più complicato sistema automatizzato. Entrambi i sistemi di picking presentano dei vantaggi e dei limiti.

Per comprendere anche l'impatto finanziario di questa attività in ambito logistico, è sufficiente sapere che i costi del picking possono arrivare ad essere il 55% dei costi operativi del magazzino. Gli oneri per le aziende crescono ulteriormente se il layout del magazzino non è ottimizzato o se non sono presenti sistemi di stoccaggio adeguati.

Proprio per questo motivo, l'attività di picking e di gestione a magazzino diventano prioritarie ai fini di ottimizzare costi ed efficienza dell'intero stabilimento. È diventato dunque necessario uno studio per ottimizzare i cicli di prelievo e di stoccaggio al fine di ottenere un rendimento migliore.

Una delle prime alternative possibili per migliorare le procedure di picking è investire sulla tecnologia. Esistono infatti moltissimi dispositivi che, nonostante il cospicuo esborso iniziale, contribuiscono nel lungo e breve periodo a ridurre i costi marginali dell'attività di selezione e prelievo.

Oltre al budget a disposizione dell'azienda vanno considerati anche diversi accorgimenti, considerati delle best practices ai fini di migliorare la qualità delle operazioni di picking. Questi piccoli accorgimenti possono portare un aumento dell'efficienza globale dell'attività con successivo miglioramento della stessa (dal punto di vista funzionale e del livello di servizio).

Le tre logiche di picking più diffuse sono:

- a. Picking “uomo alla merce”: con questo metodo è l’operatore a spostarsi nel magazzino fino a raggiungere la merce (che può essere localizzata anche in ubicazioni differenti) per effettuare il prelievo. Per utilizzare questa tecnica vengono sfruttati sistemi di stoccaggio tradizionali, più facili da installare e con un costo di investimento relativamente più basso, come le scaffalature per pallet o contenitori. Questo sistema porta però ad un numero di prelievi relativamente basso e l’errore umano può incidere molto.



Figura 1.13: Sistema di picking “uomo alla merce”

- b. Picking “merce all’uomo”: in questo caso l’operatore non si muove e sarà un apparato automatizzato ad occuparsi del trasferimento della merce fino alla postazione di picking. Risulta pertanto fondamentale l’utilizzo di sistemi automatici di movimentazione della merce. In questo caso gli investimenti sono molto più alti del picking “uomo alla merce” ma si avrà un’efficienza maggiore e una riduzione dell’errore umano.

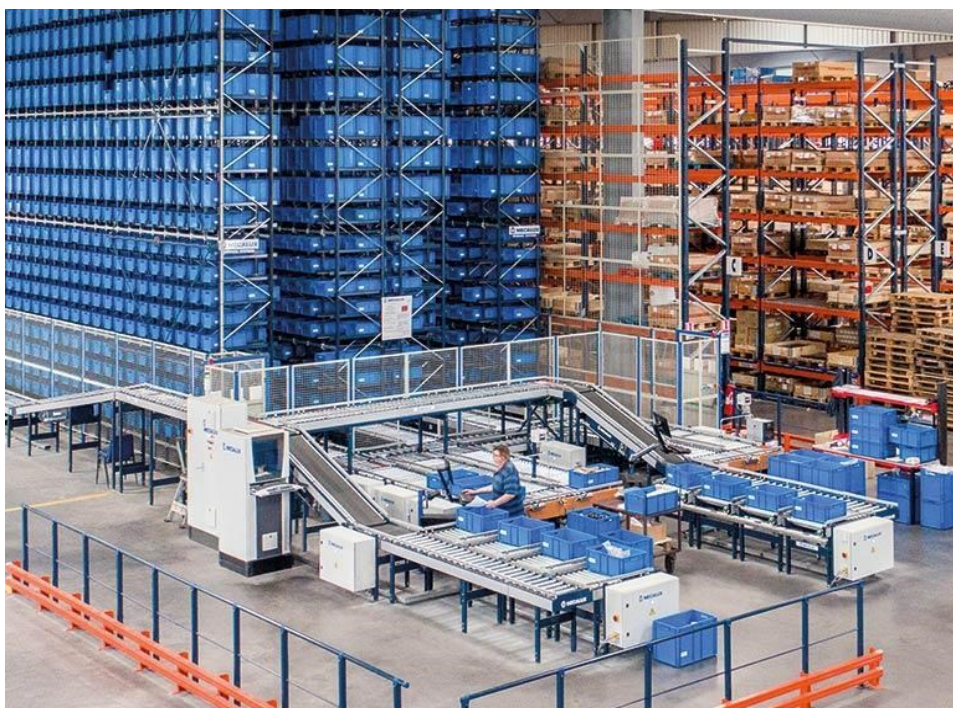


Figura 1.14: Sistema di picking “merce all’uomo”

- c. Picking a sistema misto: è una logica di prelievo che unisce le due precedenti e richiede un lavoro combinato di più sistemi di stoccaggio.

Esistono anche alcune strategie che possono dare un contributo positivo alle operazioni di picking:

- a. È possibile installare un software di gestione del magazzino che permette di ottimizzare i percorsi degli addetti al picking, con l’obiettivo di diminuire le distanze percorse e le ripetizioni nei movimenti.
- b. Una distribuzione ottimale della merce nel magazzino e più nello specifico anche nelle scaffalature, rende le operazioni di prelievo più semplici. Assieme a questa distribuzione ottimizzata della merce si può anche ricorrere all’utilizzo di terminali e dispositivi a radiofrequenza (RF) o di voice picking che consentono di

evitare l'utilizzo di documenti cartacei oltre a snellire le operazioni di prelievo.

- c. Utilizzare tecniche di picking massivo (wave picking), cioè prelevando un quantitativo maggiore di merce che andrà destinata a diversi clienti. Verranno dunque processati diversi ordini in modo simultaneo. Queste tecniche prendono il nome di batch-picking e picking multi-ordine.
- d. Si può dinamicizzare la procedura di picking facendo ricorso a delle scaffalature in gravità che possono essere dotate di dispositivi pick-to-light, che hanno lo scopo di indicare dove raccogliere la merce per la creazione dell'ordine.
- e. Si possono utilizzare dei sistemi completamente automatizzati per lo svolgimento del picking, sfruttando il cosiddetto picking automatico. Tale pratica permette la creazione di magazzini in altezza e di non dover utilizzare mezzi di sollevamento per le procedure di prelievo. Esistono diverse configurazioni di picking automatico, in particolare le più rilevanti sono: postazioni di picking in testata o sulla parte laterale del magazzino automatico, postazioni di picking in zone adiacenti e l'utilizzo di robot speciali per il picking.

Tutti questi metodi influenzano in maniera positiva il rendimento delle operazioni di picking.

1.7 MOVIMENTAZIONE INTERNA

I sistemi di trasporto del materiale all'interno di un impianto industriale svolgono un ruolo importante. La loro mansione è quella di movimentare la merce all'interno del magazzino, evitando spostamenti inutili ed ottimizzando i tempi.

Questi mezzi vengono classificati in relazione al grado di automazione e al livello di flessibilità; sulla base di questi due fattori possiamo costruire la seguente tabella:

	Bassa flessibilità	Alta flessibilità
Bassa automazione	Transpallet	Carrelli elevatori
Alta automazione	Trasportatori "rigidi"	AGV

Per la scelta del sistema di movimentazione bisogna effettuare un'analisi rispetto al caso reale in cui ci si trova.

1.7.1 - TRANSPALLET

Il mezzo più semplice e diffuso nei magazzini moderni è il transpallet. Si tratta di un mezzo per il trasporto. Queste macchine, estremamente versatili, possono essere utilizzate per il carico/scarico, per spostamenti su brevi distanze o come mezzi ausiliari per il picking. Questi mezzi, a basso costo, possono essere manuali o elettrici. I primi richiedono necessariamente un operatore a terra, mentre per i secondi è possibile che l'operatore sia a bordo (seduto o in piedi).



Figura 1.15: Transpallet manuale (sinistra) ed elettrico (destra)

1.7.2 - CARRELLI ELEVATORI

I carrelli elevatori sono veicoli a ruote, utilizzati per movimentare qualsiasi tipo di materiale, che sfruttano l'ausilio di un operatore. Questi carrelli, definiti accatastatori, sono dotati di attrezzature idonee per il sollevamento del carico ad altezze molto superiori rispetto al transpallet (esistono però alcune tipologie di transpallet che permettono il sollevamento).

Si può dividere la famiglia degli accatastatori in diverse tipologie di carrelli elevatori:

- Carrelli elevatori frontali
- Carrelli elevatori a forche retrattili
- Carrelli elevatori con forche tra i longheroni
- Carrelli elevatori a presa laterale
- Carrelli elevatori a presa bilaterale
- Carrelli elevatori a presa trilaterale
- Carrelli elevatori con posto di guida sollevabile

a) CARRELLI ELEVATORI FRONTALI

Il carrello elevatore frontale è considerato, fra quelli analizzati, il più economico e flessibile, adatto a impieghi interni al magazzino ed esterni. Ne esistono diversi tipi, sulla base della motorizzazione e della gommatura che permettono di avere una elevata velocità e facilità di manovra in base alle proprie esigenze. Risulta però fondamentale tenere conto dello spazio per muovere e manovrare il carrello all'interno delle corsie del magazzino. Vista la limitata altezza di sollevamento, risultano adatti a contesti aziendali relativamente piccoli.



Figura 1.16: Carrello elevatore frontale

b) CARRELLI ELEVATORI A FORCHE RETRATTILI

Questa tipologia di carrelli può retrarre il montante verso il baricentro della macchina consentendo di operare in corridoi più stretti rispetto ai tradizionali carrelli elevatori frontali. Questo fattore porta ad un incremento dello spazio che può essere utilizzato per lo stoccaggio della merce. Sono mezzi più lenti e hanno una gommatura in materiale plastico (vulkollan), pertanto necessitano di una pavimentazione liscia

e regolare, rendendo sconvenevole l'utilizzo di questi carrelli all'esterno dell'impianto.



Figura 1.17: Carrelli elevatori con forche retrattili

c) CARRELLI BILATERALI E TRILATERALI

La tendenza all'impiego di magazzini intensivi con altezza fino a 5/6 metri, meccanizzati o automatizzati, favorisce notevolmente l'utilizzo di carrelli per il sollevamento di tipo bilatero e trilatero, per permettere un risparmio in termini di spazio che migliorano gli indici di utilizzo del magazzino, oltre a ridurre i costi di esercizio. A differenza dei tradizionali carrelli elevatori, questi mezzi possono raggiungere le UdC che si trovano su entrambi i lati (bilaterali) oppure anche frontali (trilaterali) senza dover sterzare le ruote motrici. Questa tipologia di carrelli viene utilizzata esclusivamente all'interno delle corsie del magazzino, evitando quindi l'utilizzo per il carico/scarico della merce dai vettori.



Figura 1.18: Carrello elevatore trilaterale (sinistra) e bilaterale (destra)

1.7.3 - SISTEMI DI TRASPORTO RIGIDO

I sistemi di trasporto rigido sono i mezzi automatizzati più utilizzati in un magazzino. Si possono identificare diverse tipologie di questi sistemi, i più comunemente utilizzati sono:

- Trasportatori a rulli:

Sono costituiti da una serie di rulli montati in strutture portanti, divisi in moduli. Vengono impiegati per il trasferimento e l'accumulo della merce e sono dotati di un piano di appoggio regolare (si evitano quindi impuntamenti con i rulli sottostanti). Per utilizzare questo tipo di trasportatore è necessario che la merce che si va a trasportare sia appoggiata almeno su due rulli alla volta. Questi rulli sono costituiti da un motore con una trasmissione a cinghia o a catena che ne permette il funzionamento (esistono anche rulli "folli") e una velocità costante durante la movimentazione di circa 0,3 m/s.

I vantaggi di questa tipologia di trasportatori sono: il basso costo di installazione, di esercizio e la facilità di gestione. Gli svantaggi invece sono principalmente legati all'ingombro delle strutture e quindi dal cattivo sfruttamento degli spazi.

In genere i rulli vengono utilizzati per il trasporto rettilineo della merce, ma esistono delle soluzioni che permettono di svolgere dei percorsi non rettilinei (curve costituite da rulli normali o con tronco conico, piattaforme girevoli, deviatori mobili).



Figura 1.19: Trasportatori a rulli

- **Trasportatori a nastro:**

Questa tipologia di trasportatori viene utilizzata molto per il trasporto continuo, in orizzontale o in pendenza, della merce alla rinfusa o di carichi concentrati leggeri. Questa tipologia di trasportatori utilizza una struttura di sostegno e sfruttano dei rulli superiori e inferiori per il supporto del nastro trasportatore.

Esistono delle larghezze standard per i nastri presenti in commercio:
400,500,650,800,1000,1200,1400,1600,1800,2000 (mm)

Per il trasporto di materiali a temperature superiori ai 100/120 gradi Celsius si utilizzano dei nastri in acciaio inox o al carbonio (con elevato carico di rottura e allungamenti trascurabili). Questi tipi di

nastri si usano per la movimentazione in essiccatoi, raffreddatori, etc.

La velocità di questi trasportatori è compresa fra i 2 e i 3 m/s in funzione del tipo di impiego.

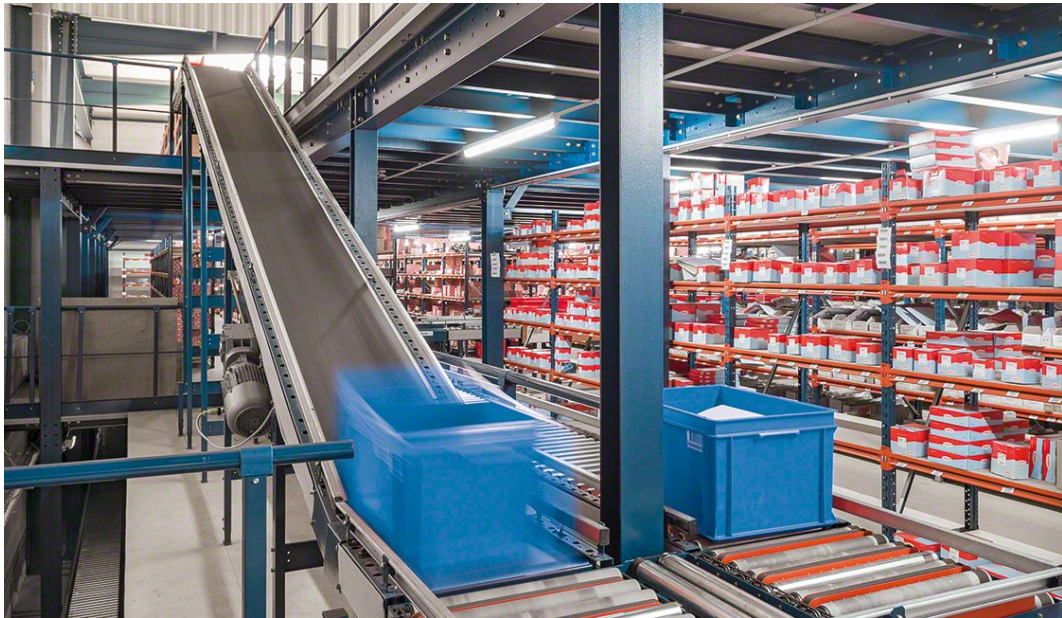


Figura 1.20: Trasportatori a nastro inclinato

- **Trasportatori a catena:**

Si tratta di trasportatori con cui è possibile movimentare i pallet con delle catene che si muovono in maniera sincrona. Vengono spesso utilizzati come completamento dei trasportatori a rulli, grazie ai quale è possibile creare una curvatura ad angolo retto. Questi trasportatori possono essere dotati di due linee di catene (in genere laterali) o tre (due laterali e una centrale) in base alle caratteristiche dell'unità di carico, che dovrà essere collocata a novanta gradi rispetto ai trasportatori a rulli. Sono dei trasportatori relativamente economici.



Foto 1.21: Trasportatori a catena

1.7.4 - AGV/LGV

Le macchine AGV (Automated Guided Vehicle) e LGV (Laser Guided Vehicle) vengono utilizzate per il trasporto. A differenza dei carrelli elevatori però, seguono in maniera automatica una traiettoria prestabilita o programmata.

Se viene utilizzato un sistema a filoguida si parla di AGV e si sfrutta un campo elettro-magnetico generato da un cavo induttivo a pavimento.

Se viene sfruttato un dispositivo in grado di emettere laser, il quale rimbalza e torna al mezzo, si riescono a calcolare le distanze e di conseguenza il percorso da svolgere, parlando quindi di LGV. Questo avviene tramite dei deflettori (almeno tre contemporaneamente per permettere una triangolazione del segnale laser) posizionati in diversi punti del magazzino.

Nel mercato esistono diverse tipologie di AGV e LGV che permettono il trasporto di casse, pallet, bobine e carichi voluminosi.

Utilizzare questi veicoli risulta vantaggioso se le distanze da coprire sono relativamente lunghe e senza ostacoli.



Figura 1.21: Gruppo di trasportatori AGV

1.8 CRITERI DI MAPPATURA PER IL MAGAZZINO

Tutte le aziende che hanno la necessità di conservare e gestire merci e prodotti all'interno di un magazzino possono incorrere in diverse difficoltà.

Gestire grandi quantità di articoli, infatti, non è facile e rappresenta una sfida per l'azienda da non sottovalutare. I principali aspetti da tenere sotto controllo quando si deve gestire un magazzino sono: l'ottimizzazione dei flussi, la gestione del personale, la sicurezza e la disposizione della merce con relativo studio degli spazi del magazzino.

Risulta quindi fondamentale la mappatura dell'area di magazzino per una corretta ottimizzazione di tutta l'area di stoccaggio della merce. Esistono diverse logiche di mappatura della merce, le principali sono:

- Metodo a posto fisso: con questa logica di organizzazione, è facilmente intuibile, che si cerca di assegnare ad ogni articolo una postazione fissa all'interno dell'area di stoccaggio. In assenza di quell'articolo non si può utilizzare la posizione per mettere a giacenza un articolo differente; infatti, la posizione rimarrà vuota. Questo metodo risulta molto semplice da utilizzare però presuppone che l'azienda disponga di grosse aree di stoccaggio. Per tale metodo non è necessario disporre di software di gestione computerizzati ma è sufficiente avere una mappa della disposizione delle merci.
- Metodo per classi: vista l'incidenza dell'agilità dell'impianto e dei costi operativi, bisogna tenere gli articoli maggiormente richiesti più vicini a zone comode per il prelievo/deposito. Proprio per questo motivo si utilizza un ordinamento degli articoli che sfrutta il concetto di indice di rotazione. La merce viene divisa in tre classi: A, B, C; la classe A è costituita dalla merce ad alta rotazione, che vista la quantità di movimenti deve essere in una posizione accessibile e vicina, la classe B è costituita da articoli con una rotazione media, più bassa di A, per questo avrà posizioni più scomode della classe A e infine la classe C degli articoli a rotazione più bassa che occuperà le zone più distanti e scomode vista la frequenza di movimento di questa merce. Utilizzando questo metodo si può notare che spesso la distribuzione referenze/consumi segue la distribuzione 80/20 di

Pareto (al 20% delle referenze corrisponde l'80% delle movimentazioni/consumi).

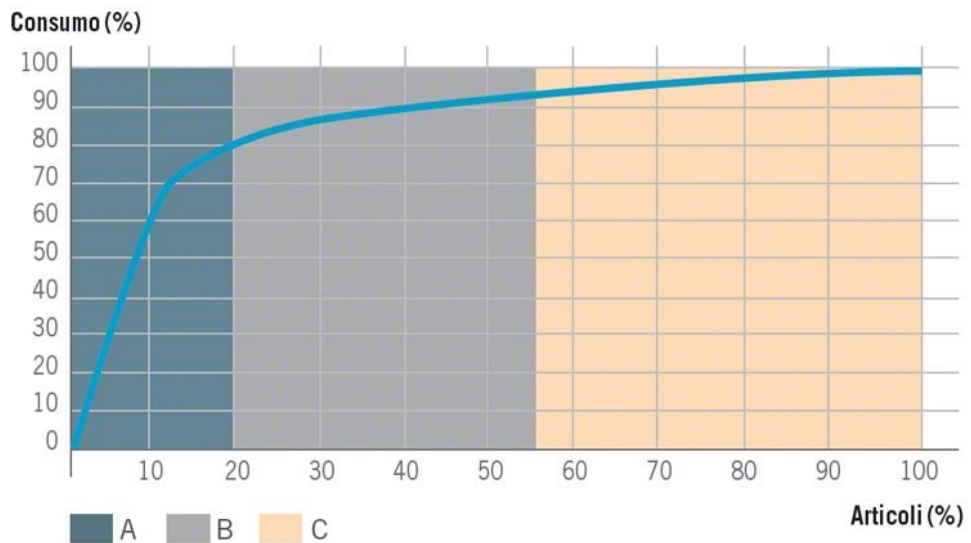


Figura 1.22: Esempio di divisione in classi ABC rispetto al consumo

- Metodo per vicinanza: Si assegna alla merce la prima posizione libera in magazzino. Facendo questo si genererà, a lungo andare, disordine. Capita spesso che la merce in posizioni comode rimanga a giacenza per molto tempo, e che merce con alta rotazione occupi posti scomodi. In genere si utilizza questa logica quando si hanno magazzini relativamente piccoli e delle rotazioni della merce simili o non troppo rilevanti.

2 MAGAZZINI AUTOMATICI

2.1 DEFINIZIONE

I magazzini automatici sono dei magazzini intensivi, simili per struttura ai magazzini manuali, nella quale la maggioranza delle movimentazioni e dei cicli operativi vengono svolte in maniera automatica, sfruttando mezzi di sollevamento come i trasloelevatori, i trasportatori o sistemi di trasporto automotore (EMS).

La logistica 4.0 porta ad una riduzione dei costi e ad un miglioramento dei cicli operativi. Questo modo di operare, automatizzando i processi, aiuta a diminuire il rischio di errori e ad aumentare la produttività.

Ogni azienda ha diversi obiettivi ed esigenze e spesso si ricorre all'utilizzo di questi sistemi quando si vuole sfruttare al massimo l'altezza di uno stabilimento, per sfruttarne al meglio la densità di riempimento, per ridurre il numero di addetti adibiti al trasporto interno, ottimizzando così anche il flusso in ingresso e uscita delle merci, per migliorare a livello qualitativo e quantitativo le operazioni di picking e per conoscere in modo più rapido, grazie ai software di gestione automatizzata, le movimentazioni e le disponibilità della merce a giacenza.

I magazzini automatici sono divisi in corsie e sfruttano dei macchinari, chiamati trasloelevatori, che hanno il compito di svolgere le operazioni di movimentazione della merce. Il costo dell'intero apparato è proporzionale al numero di corridoi che si intende avere.

Anche in un magazzino automatico si possono distinguere le operazioni di prelievo di unità complete di stoccaggio (come, per esempio, i pallet) e le operazioni di prelievo frazionato o parziale (picking).

2.2 TRASLOELEVATORE

Il trasloelevatore è una macchina dotata di una struttura mobile, denominata piattaforma, che può muoversi contemporaneamente lungo due direzioni, quella orizzontale e quella verticale. Tale caratteristica permette al trasloelevatore di movimentare la merce lungo tutta la scaffalatura.

Un trasloelevatore, a livello costruttivo, è caratterizzato da un telaio scorrevole lungo una colonna verticale in acciaio, che può traslare lungo un corridoio delimitato lateralmente da due scaffalature. Essendo fissato ad una trave inferiore è supportato da ruote scorrevoli su una rotaia ancorata a pavimento, e alle volte anche a soffitto. Sulla trave di base sono installate anche delle ruote di contrasto laterale che agiscono sui fianchi della rotaia di scorrimento. I trasloelevatori di portata superiore ai 1500/2000 kg, anziché monocolonna, hanno sovente due colonne verticali, fra loro collegate inferiormente e superiormente, lungo le quali scorre il telaio mobile.

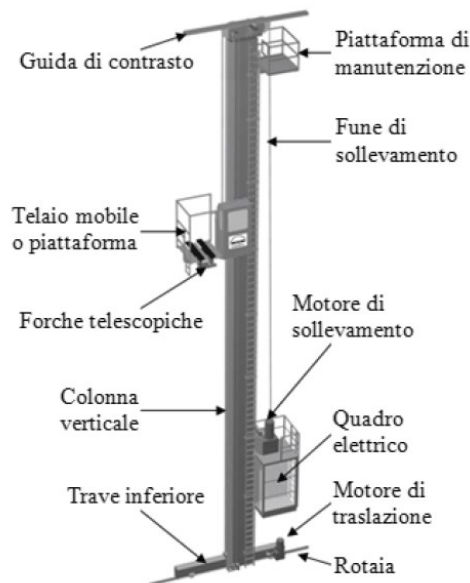


Figura 2.1: Esempio di trasloelevatore mono-colonna per magazzini automatizzati

La precisione dei movimenti e l'indirizzamento del trasloelevatore è garantita da diversi dispositivi:

- Posizionamento lungo l'asse x: si utilizza un encoder di tipo assoluto od incrementale, installato sulla trave di base, che assieme a dei sensori ottici rileva i movimenti del trasloelevatore;
- Posizionamento lungo l'asse y: usa sempre un encoder di tipo assoluto od incrementale che viene installato sul telaio mobile del trasloelevatore e rileva, grazie a dei dispositivi meccanici, il movimento relativo di tale struttura rispetto alla colonna.

Per una più completa analisi dei movimenti del trasloelevatore è necessario considerare anche le movimentazioni delle forche telescopiche che avvengono lungo l'asse z, movimenti utilizzati per le fasi di prelievo e deposito. La posizione delle forche durante la corsa è rilevata da sensori di prossimità disposti in posizioni significative. Non sempre un trasloelevatore è dotato di queste forche, infatti può anche avere una culla che ospita una navetta che scorre lungo le corsie sotto ai pallet ed è in grado di spostarli lungo la corsia stessa.

La peculiarità del movimento delle forche è che deve avvenire a macchina ferma e correttamente posizionata, non come per i movimenti lungo gli assi x e y che avvengono in maniera simultanea durante lo spostamento del trasloelevatore.



Figura 2.2: Differenti tipologie di trasloelevatori

Tutto il sistema viene gestito tramite un software WMS la cui trasmissione e ricezione dati può avvenire in qualsiasi punto della corsa, anche con trasloelevatore in movimento.

Tutti gli impianti elettrici dei trasloelevatori devono essere realizzati in conformità alla vigente normativa ed in particolare alle norme C.E.I. ed antincendio. Il grado di protezione prescritto dipende dal materiale immagazzinato e dal contesto di applicazione. L'utilizzo di questi macchinari comporta quindi il rispetto di numerose norme antinfortunistiche e l'installazione di adeguati sistemi di sicurezza.

2.3 VANTAGGI DEI MAGAZZINI AUTOMATICI

Queste soluzioni automatizzate consentono una gestione ottimizzata e più rapida dei processi di stoccaggio, di preparazione e di spedizione degli ordini ai clienti. Molte imprese, dunque, decidono di utilizzare queste soluzioni per i diversi vantaggi che portano:

- **Produttività ed elevata disponibilità:** questi magazzini automatici permettono flussi continui di merce sia in entrata che in uscita. I mezzi di sollevamento sono sempre disponibili;
- **Riduzione dei costi di manodopera:** tutti i mezzi di sollevamento sono automatizzati, pertanto, non necessitano di un operatore che li controlli. In questo modo i carrellisti, i preparatori e gli impiegati amministrativi possono dedicarsi in modo completo ad altri cicli operativi che possono portare un maggior valore aggiunto;
- **Riduzione dei costi di movimentazione:** tutte le movimentazioni automatizzate portano ad un'usura del mezzo limitata, poiché il mezzo non viene utilizzato in modo improprio;
- **Sicurezza del personale:** i magazzini automatici sono ideati per ridurre al minimo la presenza dell'operatore, che pertanto avrà una probabilità molto minore di infortunio;
- **Sicurezza della merce:** tutti i materiali hanno accessi limitati al personale, ciò permette di conservare i prodotti in uno stato di ottimo, evitando alla merce di rompersi o di essere ridotta in cattivo stato;
- **Inventario in tempo reale:** tutti i magazzini automatici hanno a disposizione un software di gestione del magazzino (WMS) che permette il controllo e l'identificazione di tutta la merce che si trova a giacenza in tempo reale. È possibile inoltre disporre di una

cronologia dei movimenti che permette di ricostruire lo storico di un determinato prodotto (tracciabilità).

- Sfruttamento dello spazio: risulta evidente che la superficie disponibile dall'impresa viene ottimizzata. Questi magazzini sono molto flessibili e possono adattarsi alle caratteristiche dell'edificio di cui si dispone. Un altro fattore rilevante per questi impianti è la scalabilità, cioè la possibilità di ampliare il magazzino, in base alle necessità.

L'unico svantaggio riscontrato per questo tipo di sistemi è il cospicuo investimento iniziale per la realizzazione dell'impianto.

2.4 FLUSSI NEL MAGAZZINO AUTOMATICO

Nella parte iniziale, posta sulla “testa” del magazzino, troviamo una zona definita baia di interfaccia, dove il trasloelevatore dovrà prelevare o depositare le UdC, rispettivamente in ingresso e uscita dal magazzino automatico. Questa zona esterna al magazzino è caratterizzata da trasportatori a rullo o a catena disposti in particolari configurazioni (spesso quella ad anello). Esistono inoltre dei buffer di deposito, denominati “rack”, per tenere la merce che viene spesso chiamata per il picking ed evitare un numero elevato di entrate e uscite dello stesso codice dal magazzino.

L'UdC che deve entrare all'interno del magazzino passa attraverso dei gate di controllo sagoma, dove viene sottoposta ad un controllo di forma, dell'integrità del pallet e pesata. Questa barriera fotoelettrica permette, grazie ad un sistema di laser, di fare le opportune verifiche sull'unità di carico, bloccando il processo di ingresso qualora si presentino delle irregolarità o se dovesse essere necessario l'intervento di un operatore.

Altro fattore rilevante per lo stoccaggio è la decisione di utilizzare delle scaffalature a singola profondità o a più profondità. La merce, infatti, può essere posizionata sullo stesso lato della scaffalatura a profondità differenti. Le configurazioni più utilizzate sono quelle a singola profondità e a doppia profondità, in cui troviamo rispettivamente un solo pallet accessibile per ogni lato o due.

Utilizzare la doppia profondità permette di evitare una seconda corsia (e quindi un secondo trasloelevatore) e porta ad avere una capacità di stoccaggio superiore. Questi sistemi presentano però dei limiti di accesso all'UdC che viene stoccata nella seconda profondità; infatti, per potervi accedere sarà necessario spostare l'eventuale unità di carico presente nella prima profondità.

I flussi di movimentazione della merce all'interno del magazzino possono essere divisi in ingressi o uscite definitive dell'UdC oppure in flussi di picking.

In ingresso le UdC vengono prelevate dal trasloelevatore tramite la baia di interfaccia e posizionate all'interno dell'area di stoccaggio. Processo inverso per le UdC in uscita, che vengono prelevate dall'ubicazione nell'area di stoccaggio e portate fino alla baia. Per il picking, le unità di carico vengono portate in baie, chiamate appunto baie di picking, dove avviene il prelievo frazionato dei colli da parte di un operatore e successivamente il rientro con la stessa logica delle UdC in ingresso al magazzino automatico.

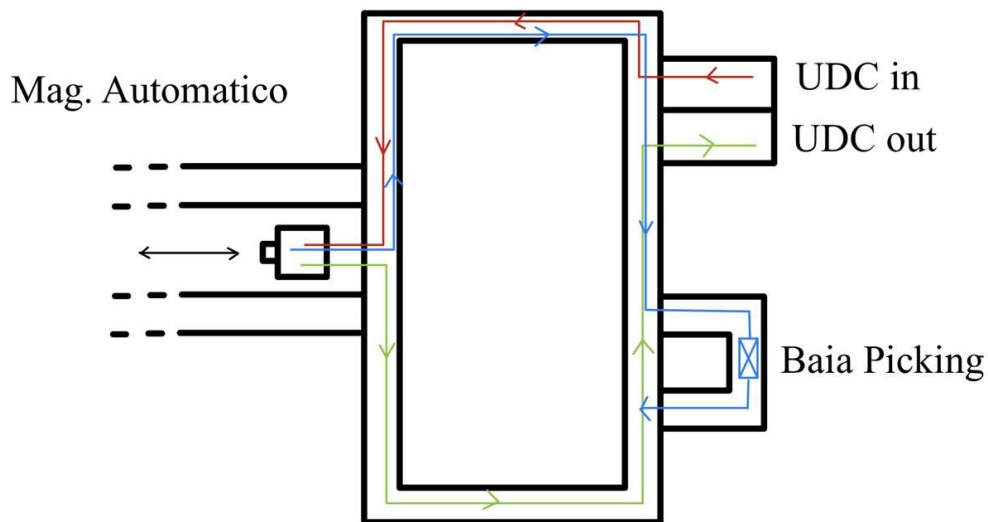


Figura 2.3: Schema riassuntivo dei movimenti in ingresso/uscita della merce in un magazzino automatico

2.5 CICLO SEMPLICE E CICLO COMBINATO

Se si parla di tempo ciclo, per definizione, si fa riferimento alla quantità totale di tempo impiegato dall'inizio di un processo, o procedura, fino alla sua conclusione.

Nel caso di magazzini automatici, il tempo ciclo fa riferimento alle procedure di prelievo e deposito della merce con una movimentazione che inizia e finisce nello stesso punto. Questa procedura ciclica può essere divisa in cicli semplici o in cicli combinati.

Si parla di ciclo semplice se si muove un'unica UdC all'interno del ciclo stesso. Per la fase di ingresso della merce nel magazzino il trasloelevatore dovrà partire dal punto di input/output (I/O), prelevare l'unità di carico e depositarla in una posizione (D), tornando infine con le forche libere al punto di input/output. La fase di uscita della merce seguirà un processo analogo, il trasloelevatore partendo dal punto I/O

andrà a prelevare l'UdC in un punto (P) scaricandola al punto I/O dove poi verrà prelevata.

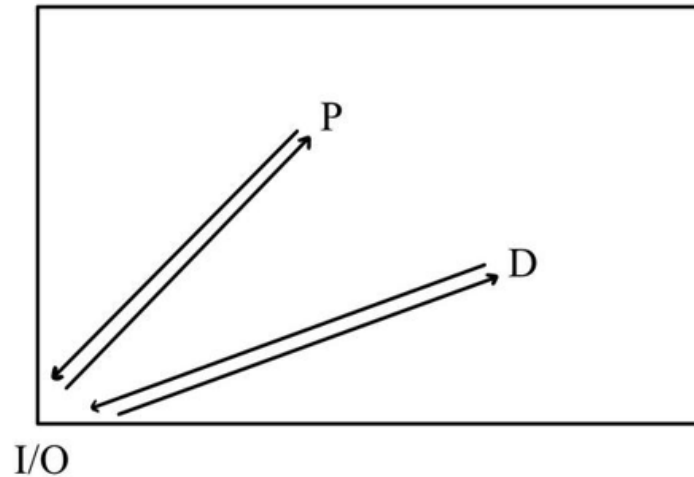


Figura 2.4: Ciclo semplice di movimentazione della merce

Si parla invece di ciclo combinato quando la movimentazione è di due UdC all'interno dello stesso ciclo. Il trasloelevatore preleva l'UdC dal punto I/O del magazzino, lo porta nella sua locazione all'interno della scaffalatura (D), depositandolo, per poi spostarsi su un secondo punto (P) dove preleverà una seconda UdC, portandola poi al punto di I/O.

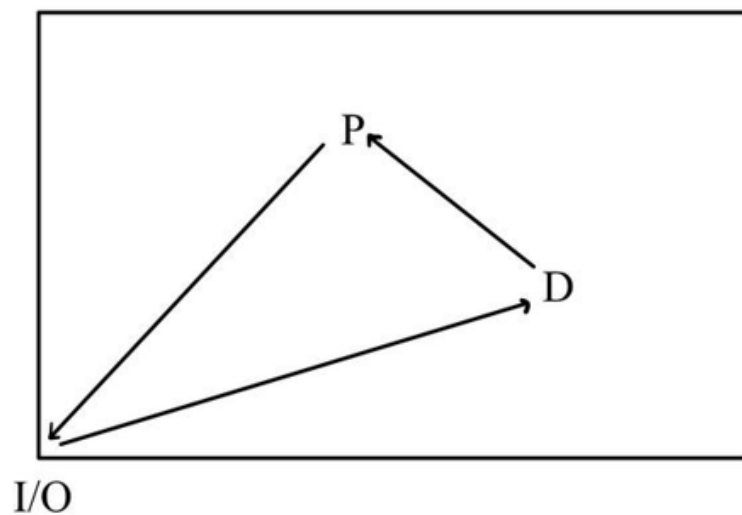


Figura 2.5: Ciclo combinato di movimentazione della merce

Il tempo ciclo delle movimentazioni può dunque essere scomposto in due parti, costituite da componenti di tempo variabili e fisse. In particolare, le componenti variabili sono quelle che dipendono dalla posizione considerata, viceversa le componenti fisse non dipendono dalla posizione.

Si possono identificare delle componenti di tempo variabili e fisse nella composizione dei tempi ciclo.

Possiamo dunque individuare queste componenti:

Componenti variabili:

- Spostamenti lungo l'asse x con carico;
- Spostamenti lungo l'asse x senza carico;
- Spostamenti lungo l'asse y con carico;
- Spostamenti lungo l'asse y senza carico;

Componenti fisse:

- Attesa informazioni UdC;
- Manovre di posizionamento;
- Ciclo forche;

Pertanto, la durata complessiva del tempo ciclo risulta essere:

$$d = T_{VARIABILI} + T_{FISSI}$$

con:

d = Durata del tempo ciclo

$T_{VARIABILI}$ = Sommatoria dei tempi variabili del ciclo

T_{FISSI} = Sommatoria dei tempi fissi del ciclo

L'obiettivo sarà quello di ridurre minimo la componente relativa ai tempi variabili, tenendo conto che il trasloelevatore può muoversi in modo simultaneo rispetto i due assi x e y.

2.6 FEM

La normativa FEM (Fédération Européenne de la Manutention) 9851 consente di determinare il tempo ciclo di un sistema composto da trasloelevatori all'interno di un magazzino automatico. Con questa normativa vanno prima indentificati due punti (detti vani), P1 e P2, rappresentativi di tutta la scaffalatura, rispetto la quale si calcoleranno i tempi ciclo.

Sono necessarie però due ipotesi:

- 1) Le coordinate di questi due vani si ricavano considerando l'intera scaffalatura come un dominio continuo, anziché discreto, all'interno della quale le UdC possono occupare una qualsiasi posizione;
- 2) Equiprobabilità di accesso ai vani da parte del trasloelevatore.

I punti P1 e P2, rappresentativi della scaffalatura, avranno dunque le seguenti coordinate:

$$x_{P1} = \frac{1}{5} L + \frac{1}{3} x_{I/O}$$

$$y_{P1} = \frac{2}{3} H + \frac{1}{3} y_{I/O}$$

e

$$x_{P2} = \frac{2}{3} L + \frac{1}{3} x_{I/O}$$

$$y_{P2} = \frac{1}{5} H + \frac{1}{3} y_{I/O}$$

Dove:

L = massima distanza percorribile longitudinalmente dal trasloelevatore
(L non è $L_{SCAFFALATURA}$)

$x_{I/O}$ = ascissa del punto di input/output delle unità di carico (coordinata della baia)

$y_{I/O}$ = ordinata del punto di input/output delle unità di carico (coordinata della baia)

H = quota del punto di input/output

Le due equazioni relative ai tempi ciclo saranno dunque:

$$T(CS) = 2T(I/O \rightarrow P1) + 2T(I/O \rightarrow P2) + 4T_{fissi}$$

$$T(CC) = T(I/O \rightarrow P1) + T(I/O \rightarrow P2) + T(P1 \rightarrow P2) + 4T_{fissi}$$

Per il calcolo dei tempi di percorrenza fra due punti, va utilizzato il valore massimo fra il tempo per percorrere la corsa lungo l'asse x e lungo l'asse y; questo perché il trasloelevatore si muove in maniera simultanea rispetto le due coordinate, pertanto il tempo massimo, fra i due, tiene già conto del tempo di percorrenza dell'altra coordinata.

Per il calcolo dei tempi ciclo si ragiona sfruttando le coordinate spaziali relative ai punti P1 e P2. È possibile però trasformare queste coordinate spaziali in coordinate temporali. In questo modo si ottiene una rappresentazione della scaffalatura molto utile per la valutazione dei tempi che il trasloelevatore impiega per raggiungere i vani.

Per effettuare questa conversione bisogna dividere la componente spaziale per la corrispondente velocità di traslazione a regime (del rispettivo asse).

I valori di t_h , t_l e $t_{I/O}$ saranno quindi:

$$t_h = \frac{H}{v_y}$$

$$t_l = \frac{L}{v_x}$$

$$t_{I/O} = \frac{H_{I/O}}{v_y}$$

Si può dunque rappresentare la scaffalatura nel seguente modo:

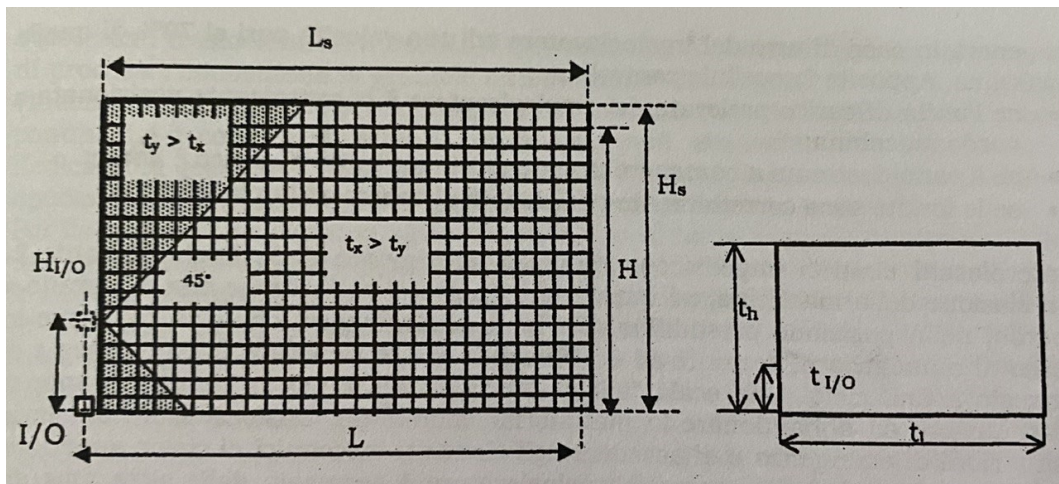


Figura 2.6: Trasformazione da coordinate spaziali in coordinate temporali

I tempi t_x e t_y sono le rispettive corse in X e Y, trasformate in coordinate temporali.

Tutte le celle lungo la bisettrice hanno $t_x=t_y$.

I vani al di sopra della bisettrice avranno $t_y>t_x$ mentre quelli al di sotto $t_x>t_y$.

Per avere un bilanciamento dei tempi bisognerebbe utilizzare una struttura che permetta una mappatura dei tempi quadrata, cioè la diagonale taglia la struttura in due parti uguali in area, aventi il tempo

in x dominante sotto la diagonale e il tempo in y dominante sopra la diagonale.

Esiste una normativa FEM semplificata che si può utilizzare in fase di progettazione per stimare i tempi ciclo semplice e combinato (l'I/O deve avere coordinata x e y uguale a zero, cioè sull'origine):

$$T(CS) = 1,8 \left[\frac{L}{v_{xmax}} + \frac{H}{v_{ymax}} \right] + 4T_{fissi}$$

$$T(CC) = 1,3 \left[\frac{L}{v_{xmax}} + \frac{H}{v_{ymax}} \right] + 4T_{fissi}$$

2.7 BOZER E WHITE

Un metodo alternativo alle FEM per il calcolo dei tempi ciclo di un sistema di trasloelevatori è stato proposto da Bozer e White nel 1984.

Tale metodo presenta delle ipotesi:

- La scaffalatura da analizzare è unica e servita da un trasloelevatore;
- La scaffalatura ha forma rettangolare e il punto di I/O si trova sul lato sinistro della sezione;
- La mappa temporale della scaffalatura è rettangolare;
- I trasloelevatori possono muoversi in contemporanea lungo l'asse x e y;
- Le velocità sono considerate costanti e pertanto vengono trascurate le accelerazioni del traslo;
- Come per le FEM è presente l'equiprobabilità di accesso ai vani.

Bisogna quindi introdurre due parametri:

$$T = \max \{T_x; T_y\}$$

$$b = \max \left\{ \frac{T_x}{T}; \frac{T_y}{T} \right\}$$

dove:

b = fattore di forma, è un valore compreso fra 0 e 1

T = fattore di scala

$T_x = L/v_x$ è il tempo necessario per percorrere la tratta orizzontale L a velocità v_x

$T_y = H/v_y$ è il tempo necessario per percorrere la tratta verticale H a velocità v_y

Viene dunque riportato il modello sfruttando l'approccio semplificato che considera $H_{I/O} = 0$, cioè con I/O non in quota.

Il tempo medio di ciclo semplice varrà:

$$T(CS) = 2T \left[1 + \frac{b^2}{3} \right] + 4T_{fissi}$$

Mentre il tempo medio per il ciclo combinato sarà:

$$T(CC) = T(CS) + T_{trasf} + 2T_{fissi} = T \left[\frac{4}{3} + \frac{b^2}{2} - \frac{b^3}{30} \right] + 4T_{fissi}$$

Con T_{trasf} che è il tempo di trasferimento medio tra i due vani interni alla scaffalatura e vale:

$$T_{trasf} = T \left[\frac{1}{3} + \frac{b^2}{6} - \frac{b^3}{30} \right]$$

Nel caso in cui il punto I/O sia in quota, è possibile utilizzare questo metodo, "spezzando" la scaffalatura in due parti divise dall'orizzontale che parte dal punto I/O, applicando Bozer e White alle due sezioni così ottenute, ricavando infine un unico valore di tempo ciclo, dato dalla

media pesata (usando come pesi la superficie delle due scaffalature così ottenute oppure con i vani disponibili) dei due risultati ottenuti separatamente.

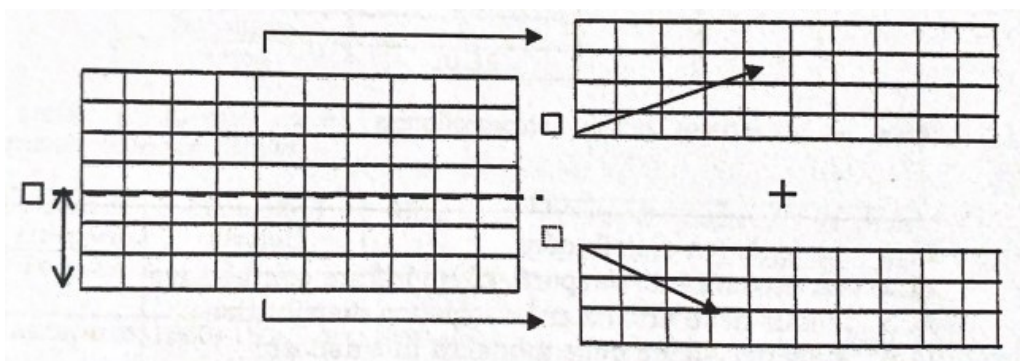


Figura 2.7: Divisione della scaffalatura se il punto di I/O si trova in quota

2.7.1 DIMOSTRAZIONE

Per dimostrare quanto appena detto, bisogna ragionare su una scaffalatura di dimensioni $L \times b$ dove il punto di I/O si trova in basso a sinistra e il valore di L è normalizzato a uno. Così facendo il vincolo di prestazione risulta essere l'asse delle ascisse.

Si può individuare, all'interno dell'area della scaffalatura, una sezione quadrata di lato b e ciò implica che, essendo la sezione della scaffalatura rettangolare, il suo lato orizzontale e la sua altezza siano minori di uno.

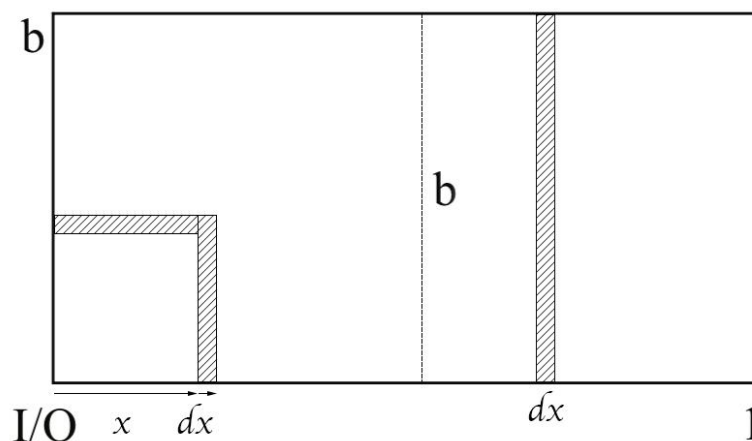


Figura 2.8: Sezione della scaffalatura divisa in sottosezioni

La formula del tempo ciclo sarà:

$$T(CS) = \frac{4T}{b} \left[\int_0^b (2x \cdot x) dx + \int_b^1 (b \cdot x) dx \right] + 4T_{fissi}$$

In cui $\frac{4T}{b}$ indica le 4 entrate/uscite di un ciclo semplice, che vengono moltiplicate per la T è il parametro temporale e divise per b per normalizzare. La variabile x rappresenta una distanza rispetto il punto I/O.

Il primo integrale, relativo all'intervallo fra 0 a b, è costituito da 2x, che è il fronte di avanzamento, che moltiplica x, che è la quota. Il secondo integrale, relativo all'intervallo fra b a 1, è rappresentato dalla seconda area, quindi da b altezza moltiplicata per x larghezza.

Riprendendo la formula, svolgendo alcuni passaggi matematici, possiamo ottenere:

$$\begin{aligned} T(CS) &= \frac{4T}{b} \left[\int_0^b (2x \cdot x) dx + \int_b^1 (b \cdot x) dx \right] + 4T_{fissi} \\ &= \frac{4T}{b} \left\{ \left[\frac{2x^3}{3} \right]_0^b + \left[\frac{bx^2}{2} \right]_b^1 \right\} + 4T_{fissi} \\ &= \frac{4T}{b} \left[\frac{2b^3}{3} + \frac{b}{2} - \frac{b^3}{2} \right] + 4T_{fissi} \\ &= \frac{4T}{b} \left[\frac{4b^3 + 3b - 3b^3}{6} \right] + 4T_{fissi} \\ &= \frac{4T}{b} \left[\frac{b^3}{6} + \frac{b}{2} \right] + 4T_{fissi} \\ &= 2T \left[1 + \frac{b^2}{3} \right] + 4T_{fissi} \end{aligned}$$

Per il ciclo combinato bisogna calcolare anche il tempo relativo alla movimentazione fra i due punti interni del magazzino, che risulta essere:

$$T(\text{punti interni}) = T \left[\frac{1}{3} + \frac{b^2}{6} - \frac{b^3}{30} \right]$$

E quindi il tempo ciclo combinato sarà:

$$\begin{aligned} T(CC) &= \frac{1}{2}T(CS) + T(\text{punti interni}) + 4T_{fissi} \\ &= T \left[\frac{4}{3} + \frac{b^2}{2} - \frac{b^3}{30} \right] + 4T_{fissi} \end{aligned}$$

Le formule di Bozer e White risultano molto utili anche quando si utilizza un trasloelevatore che trasporta due UdC per volta, visto che le FEM non possono essere utilizzate per questa casistica. Il tempo ciclo combinato relativo alla movimentazione delle due unità di carico sarà:

$$T(CC \text{ dual}) = \frac{1}{2}T(CS) + 3T(\text{punti interni}) + 8T_{fissi}$$

Basterà dunque moltiplicare il $T(\text{punti interni})$ per il numero di volte che si fa un tragitto fra vani della scaffalatura (con due UdC trasportate saranno quattro punti, quindi devo moltiplicare per tre) e aggiungere i rispettivi tempi fissi relativi ai cicli forche aggiuntivi (che quindi risulteranno essere otto T_{fissi}).

2.8 CONFRONTO FRA I DUE MODELLI

Si consideri un ciclo semplice per una scaffalatura, come quella riportata sotto:

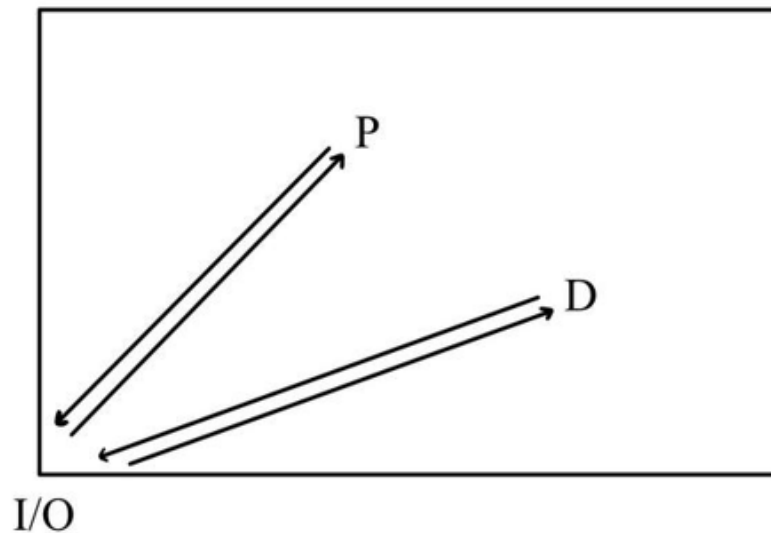


Figura 2.9: Rappresentazione del ciclo semplice di movimentazione per un trasloelevatore.

I punti P1 e P2 avranno le seguenti coordinate, secondo la normativa FEM:

$$P1 = \left(\frac{1}{5}L ; \frac{2}{3}H \right)$$

$$P2 = \left(\frac{2}{3}L ; \frac{1}{5}H \right)$$

Si può notare inoltre dalla figura che la coordinata che vincola, in termini temporali, lo spostamento verso il punto P1 è l'ordinata. Caso opposto abbiamo per il punto P2 dove la coordinata che vincola le prestazioni del trasloelevatore è l'ascissa.

Il tempo ciclo semplice secondo la normativa FEM vale:

$$T_{CS} = 2T(I/O \rightarrow P1) + 2T(I/O \rightarrow P2) + 4T_{fissi}$$

Se si utilizzano le formule delle coordinate vincolanti, all'interno della formula, si ottiene:

$$T_{CS} = 2 \left(\frac{2}{3} \frac{H}{v_y} \right) + 2 \left(\frac{2}{3} \frac{L}{v_x} \right) + 4T_{fissi}$$

Teniamo inoltre come ipotesi che il magazzino abbia come lato più lungo quello orizzontale, dunque, gli spostamenti lungo l'asse delle ascisse sono penalizzati.

Allora vale che:

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}; \frac{L}{v_y} \right\} = \frac{L}{v_x}$$

Andando a raccogliere T nella formula precedente si ottiene che:

$$T_{CS} = 2T \left(\frac{2}{3}b + \frac{2}{3} \right) + 4T_{fissi} = \frac{4}{3}T(b + 1) + 4T_{fissi}$$

Se si prende ora il ciclo semplice per Bozer e White, il tempo ciclo semplice vale:

$$T_{CS} = 2T \left[1 + \frac{b^2}{3} \right] + 4T_{fissi}$$

Allora se $b = 1$

$$T_{CS}(FEM) = \frac{4}{3}T (1 + 1) = \frac{8}{3}T$$

$$T_{CS}(Bozer e White) = 2T \left[1 + \frac{1}{3} \right] = \frac{8}{3}T$$

Se invece $b = 0$

$$T_{CS}(FEM) = \frac{4}{3}T$$

$$T_{CS}(Bozer e White) = 2T$$

Si può dunque concludere che il modello di Bozer e White è un modello più cautelativo, visto che restituisce un tempo ciclo maggiore quando il valore del fattore di forma (b) è minore di 0,8, mentre coincide con il valore dato dalle FEM per $b > 0,8$.

Tutti i ragionamenti possono essere riassunti con il seguente grafico:

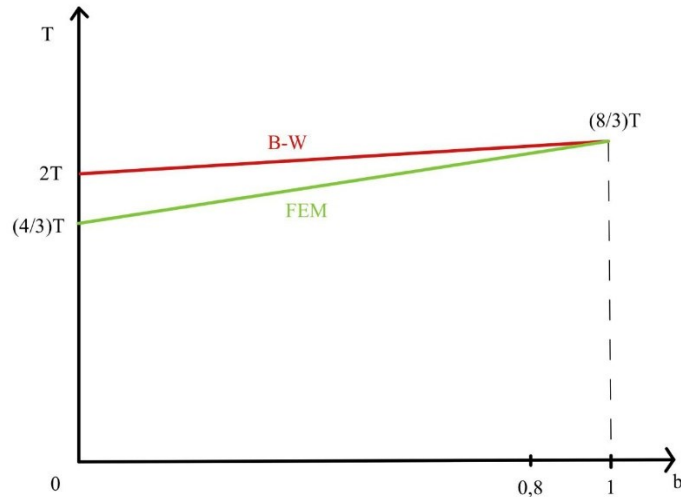


Figura 2.10: Rappresentazione grafica del confronto fra Bozer-White (rosso) e FEM (verde)

2.9 WMS (o SGM)

Il Warehouse Management System (WMS) è un software che viene utilizzato per controllare, coordinare e ottimizzare i movimenti e tutti quei processi che avvengono all'interno del magazzino, da quelli più semplici a quelli più complessi. L'utilizzo dei sistemi WMS sta diventando necessario per ogni tipo di magazzino, in particolare nei magazzini automatici questo sistema porta, con uno sforzo minore, ad avere un'efficienza migliore e risultati più affidabili rispetto ad un sistema di movimentazione manuale (in cui l'errore umano può condizionare le operazioni di magazzino).

Quando si parla di WMS ci si riferisce dunque ad un sistema avanzato e complesso che può lavorare da solo o essere integrato con il sistema ERP dell'azienda, fornendo un monitoraggio della merce a magazzino e della supply chain (alcuni moduli lo permettono, rendendo possibile la tracciabilità lungo tutta la filiera). Spesso il termine WMS viene usato come sinonimo dell'acronimo SGM, che in realtà si riferisce ad un sistema più semplice, sempre di stampo gestionale, che però viene utilizzato per una singola attività, come può essere ad esempio la gestione delle scorte.

La modalità di scelta del tipo di software, WMS o SGM che sia, è decisa sulla base delle esigenze aziendali, che possono dunque implementare il software che meglio si adatta a loro.

Risulta evidente che i sistemi WMS cambiano da azienda a azienda, ma si possono identificare delle funzioni basilari che si riscontrano spesso.

Le principali funzioni che devono essere presenti in un sistema WMS sono:

- Gestione della merce in entrata: il software aiuta ad avere un controllo ed una catalogazione precisa di tutta la merce in entrata. Effettuato dunque questo controllo scrupoloso sulla qualità e conformità di tutto ciò che deve entrare in magazzino, si inseriscono le informazioni all'interno del WMS, che integrato al sistema ERP procede al controllo dell'ordine e alla relativa gestione delle fasi operative.
- Allocazione delle merci: si occupa, rispettando le logiche di allocazione, di gestire gli ordini di posizionamento della merce, individuando la posizione ottimale per gli articoli in funzione delle dimensioni e della tipologia.

- Controllo e gestione dello stock: questa importante funzione del WMS permette di ottenere in tempo reale la situazione relativa alle giacenze e alle scorte del magazzino. Avere un quadro degli stock contribuisce a migliorare la gestione della merce.
- Gestione delle merci in uscita: il software permette di coordinare i processi di spedizione della merce, a partire dalla più semplice elaborazione dell'ordine fino alla gestione dei resi/trasferimenti della merce. Inoltre, il WMS, integrato all'ERP, permette di coordinare al meglio le operazioni di picking e i processi di preparazione degli ordini in uscita.

Spesso questi software vengono utilizzati in magazzini complessi, in cui c'è la necessità di integrare un sistema in grado di gestire una combinazione di sistemi di stoccaggio tradizionali, con trasloelevatori e altre soluzioni automatiche. Un singolo programma dovrà dunque essere in grado di gestire tutte le diverse aree del magazzino, in modo coordinato.

Per la logistica moderna, un software come il WMS è assolutamente indispensabile, nonostante i costi di acquisto, di implementazione e i tempi di integrazione siano elevati, per rendere tutto l'impianto più efficiente ed affidabile evitando gli errori.

2.11 PLC

Con il termine Programmable Logic Controller, o più semplicemente PLC, si indicano quegli hardware in cui vengono caricati dei programmi specializzati per interpretare delle informazioni ricevute da un software di livello superiore e far eseguire dei movimenti a sistemi automatizzati. In altri termini sono dei dispositivi che vengono utilizzati per processare

le indicazioni ed eseguire dei movimenti di un apparato automatico, permettendone il corretto funzionamento.

Il software di livello superiore è denominato WCS (warehouse control system) e si occupa di inviare i dati al PLC (o PC industriale) per fare in modo che avvenga il movimento delle macchine. Il WCS può essere affiancato dal WMS per ottenere in maniera più rapida e integrata le informazioni di cui necessita.

Il PLC è considerata una pietra miliare dell'automazione industriale, infatti la maggior parte dei sistemi automatici per magazzini si affidano a questo sistema.

Per funzionare il PLC deve essere in grado di raccogliere le informazioni che gli arrivano dal software di gestione o controllo del magazzino, eseguendo poi le attività in funzione di regole che sono pre-programmate. Il PLC è dunque dotato di un processore in grado di ricevere queste informazioni in entrata, trasformandole in movimenti macchina in uscita.

Tutti questi controllori hanno una struttura molto simile a quella di un computer e sono dunque formati da:

- CPU, è l'unità di elaborazione che costituisce il cervello del PLC.
- Alimentatore, fornisce energia a tutte le componenti.
- Memoria, spazio in cui vengono depositate e conservate le informazioni che servono per svolgere le attività di controllo
- Canali IN/OUT, sono dei moduli analogici e digitali che permettono al PLC il corretto funzionamento; i canali in entrata elaborano le informazioni, quelli in uscita permettono la comunicazione con le macchine da movimentare.

- Unità di programmazione, è l'insieme di software e hardware che permettono l'interpretazione delle informazioni che il PLC riceve.

Bisogna tenere presente però che i PLC sono differenti dai comuni PC industriali che si possono trovare in azienda. Essi, infatti, non dispongono di un sistema operativo (OS), e questo impedisce l'utilizzo delle basi dati. Nonostante ciò, il PLC offre diversi vantaggi rispetto al PC industriale: è possibile, infatti, ideare dei programmi di sicurezza con entrate e uscite sicure, ideali per tutti quei processi in cui non può esserci margine d'errore, oltre a ciò, risultano essere dei sistemi molto robusti e progettati per disporre di protezioni ambienti complessi (tante vibrazioni, ambienti corrosivi, cambi di temperature).

Nulla vieta all'azienda di sfruttare una combinazione di PC industriali e PLC per sfruttare i vantaggi di entrambi i sistemi.

I PLC sono molto utilizzati nei processi industriali che richiedono poco spazio, un buon controllo dei processi e lo svolgimento di sequenze multiple per effettuare diverse attività.

2.10 KPI DI UN MAGAZZINO AUTOMATICO

Vista l'importanza del WMS è fondamentale l'utilizzo di key performance indicator (KPI) per valutare le performance del sistema.

Questi KPI però non sono solamente uno strumento di analisi, possono essere utilizzate anche per la pianificazione in ottica di miglioramento continuo.

Un KPI è un valore numerico che rappresenta un insieme complesso di fenomeni empirici. Per un adeguato supporto in fase decisionale è

necessario quindi valutare un insieme aggregato di fattori che possano rappresentare le performance del sistema.

In accordo con la teoria dei vincoli (Theory of Constraints, TOC), ogni attività è strettamente legata alle altre in un sistema complesso. È quindi possibile lo studio delle performance di sistema analizzando solo determinati fattori che potrebbero avere un effetto cascata (Goldratt, 1990). Inoltre, concentrarsi su un ristretto numero di indicatori, permette di evitare un sovraccarico di informazioni (Tangen, 2004).

Per Faveto, Alberto et al. è possibile organizzare questi indicatori secondo tre punti di vista (sociale, ambientale ed economico) e tre livelli gerarchici (strategico, tattico e operativo).

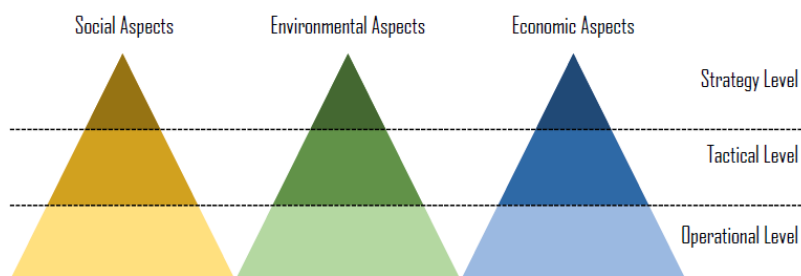


Figura 2.11: Divisione a livelli e gerarchica dei KPI

Secondo questa rappresentazione un'azienda dovrebbe operare in completo rispetto per l'ambiente e la società generando profitto. Per il livello strategico si intende il più alto livello che contiene informazioni che possono essere usate per decisioni di lungo termine. Il livello tattico è quello intermedio e si occupa di controllare che gli obiettivi del livello superiore vengano rispettati in modo efficiente. L'ultimo livello gerarchico, il livello operativo, è quello alla base della piramide ed è costituito da molte informazioni dettagliate che sono utilizzate per le decisioni meno incisive e più frequenti.

Per comprendere l'impatto degli indicatori è necessario definire prima:

- Frequenza relativa, ottenuta dividendo le occorrenze dell'indicatore per i risultati totali. La frequenza relativa f di un generico indicatore TETA sarà:

$$f_{\theta}^r = \frac{f_{\theta}^a}{K}$$

- Frequenza pesata, che calcoliamo come segue:

$$f_{\theta}^w = \frac{\sum_{k=1}^K C_k B_k^{\theta}}{\sum_{k=1}^K C_k}$$

Dove C_k è il numero di citazioni per il k -esimo articolo e B_k è un valore booleano (uguale a 1 se l'indicatore i è presente, altrimenti vale 0).

- Frequenza globale, è la media aritmetica della frequenza assoluta e pesata che però devono, per essere confrontabili, essere prima normalizzate:

$$G_{\theta} = \frac{(\widehat{f_{\theta}^r} + \widehat{f_{\theta}^w})}{2}$$

Per ogni categoria di indicatore vengono riportate delle tabelle contenenti il nome dell'indicatore, l'unità di misura, la frequenza relativa, la frequenza pesata, la frequenza globale e il livello gerarchico dell'indicatore stesso.

Indicatori Economici

Gli indicatori economici, che costituiscono circa l'80% degli indicatori totali, sono relativi alle performance del magazzino direttamente influenzabili dai costi e dal profitto aziendale. Possiamo individuare cinque sottocategorie di questi indicatori:

- Performance generiche

Tabella 2.1

	<i>unit</i>	$f_{\theta}^r(\%)$	$f_{\theta}^w(\%)$	$G_{\theta}(\%)$	
Throughput	<i>LU/min</i>	24.14	32.64	91.15	T
Area occupation	<i>m²</i>	14.29	39.66	79.59	S
Receptivity	<i>LU</i>	20.20	20.49	67.67	T
Capacity Flexibility	-	20.20	16.79	63.01	S
Travel Distance	<i>m</i>	17.24	17.54	57.83	O
Resource Utilization	%	12.32	19.55	50.15	O
Shelf Occupation	%	5.91	5.08	18.64	O
Critical WIP	<i>LU</i>	7.39	2.01	17.83	T
Machine Collision	<i>1/hour</i>	5.42	1.69	13.36	O
Unoccupied Space	%	4.43	2.13	11.87	O
Vehicle Capacity	<i>LU</i>	3.45	2.76	10.62	O
Inventory Turnover	<i>days</i>	3.45	2.01	9.67	S
Object Misplacement	%	3.45	1.88	9.51	T
Selectivity	%	3.94	0.94	9.35	T
Positioning Accuracy	%	1.97	1.25	5.66	O
Number of Failures	<i>1/year</i>	1.48	1.13	4.48	T
Bottleneck Rate	<i>LU/min</i>	1.97	0.19	4.32	T
Peak Utilization	%	0.99	0.81	3.07	T
Unprocessed Order	%	0.99	0.63	2.83	T
Picking Accuracy	%	0.99	0.13	2.20	O
Stock Balance	-	0.49	0.19	1.26	T
Warehouse/Exposition	%	0.49	0.00	1.02	S

- Performance di costo

Tabella 2.3

	<i>unit</i>	$f_{\theta}^r(\%)$	$f_{\theta}^w(\%)$	$G_{\theta}(\%)$	
Management Cost	<i>€/year</i>	11.82	14.10	42.26	S
Storage Cost	<i>€/task</i>	8.37	6.14	25.09	T
Retrieval Cost	<i>€/task</i>	6.40	3.95	18.24	T
Inventory Cost	<i>€</i>	3.45	8.08	17.33	S
Holding Cost	<i>€/day</i>	4.93	2.57	13.44	T
Direct Labor Cost	<i>€</i>	3.45	2.01	9.67	S
Indirect Labor Cost	<i>€</i>	1.97	2.26	6.93	S
Maintenance Cost	<i>€/year</i>	1.48	0.13	3.22	S
Space Cost	<i>€/m²</i>	0.49	0.00	1.02	S

- Performance di tempo

Tabella 2.2

	<i>unit</i>	$f_{\theta}^r(\%)$	$f_{\theta}^w(\%)$	$G_{\theta}(\%)$	
Cycle Time	<i>min</i>	19.70	36.09	86.31	T
Picking Time	<i>min</i>	14.29	35.03	73.75	O
Order Elabor. Time	<i>min</i>	14.29	33.33	71.61	O
Travel Time	<i>min</i>	19.70	17.92	63.41	O
Queue Waiting Time	<i>hours</i>	10.84	11.84	37.38	T
Task Time	<i>min</i>	10.84	10.40	35.56	O
Planning Time	<i>hours</i>	2.46	21.80	32.59	T
Storage Time	<i>min</i>	6.90	8.65	25.19	O
Retrieval Time	<i>min</i>	5.91	6.77	20.78	O
Inventory Time	<i>days</i>	6.40	4.32	18.72	T
Lead Time	<i>days</i>	7.39	5.89	22.73	T
Makespan	<i>hours</i>	2.46	6.02	12.68	T
Charging Platform Av.	<i>%</i>	2.46	1.44	6.92	O
Packing Time	<i>min</i>	1.97	1.57	6.06	T
Warehouse Av.	<i>%</i>	0.99	1.69	4.17	T
Charging Time	<i>hours</i>	1.48	0.69	3.93	O

- Performance del sistema informativo

Tabella 2.4

	<i>unit</i>	$f_{\theta}^r(\%)$	$f_{\theta}^w(\%)$	$G_{\theta}(\%)$	
Image Rec. Speed	<i>s</i>	5.91	3.45	16.59	T
Algorithm Reliability	<i>%</i>	3.45	5.08	13.54	T
Response Latency	<i>ms</i>	2.46	5.33	11.82	O
Solver Iterations	<i>-</i>	0.99	0.25	2.36	O
QR Code Reliability	<i>%</i>	0.49	0.00	1.02	T

- Misure del magazzino

Tabella 2.5

	<i>unit</i>	$f_{\theta}^r(\%)$	$f_{\theta}^w(\%)$	$G_{\theta}(\%)$	
Temperature	$^{\circ}\text{C}$	1.48	0.11	3.03	O
Barometric Pressure	<i>mmHg</i>	1.48	0.08	2.79	O
Humidity	g/m^3	0.99	0.10	1.91	O
Roof Temperature	$^{\circ}\text{C}$	0.99	0.01	1.12	T
Pollutant/Dirty Conc.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.49	0.06	0.55	T

Indicatori Ambientali

Attività, prodotti e servizi di un'azienda che ha interazioni con l'ambiente vengono definiti “aspetti ambientali”, che possono avere un effetto negativo o positivo sull'ambiente.

Tabella 2.6

	<i>unit</i>	$f_{\theta}^T(\%)$	$f_{\theta}^W(\%)$	$G_{\theta}(\%)$	
Energy Consumption	<i>kWh</i>	14.78	10.03	43.25	T
Energy Recovery	<i>%</i>	7.39	7.14	24.31	T
Pollutant Emission	<i>g/hour</i>	3.45	4.07	12.28	S
Passive Consumption	<i>kWh</i>	3.94	1.07	9.51	T
Vehicle Autonomy	<i>hours</i>	1.48	0.25	3.38	T

Indicatori Sociali

L'azienda spesso si ritrova a dover interagire con diversi enti sociali, come i propri impiegati, clienti e altri partner. Sono quindi individuabili alcuni indicatori che indicano che l'azienda ha un impatto sui soggetti con cui interagisce.

Tabella 2.7

	<i>unit</i>	$f_{\theta}^T(\%)$	$f_{\theta}^W(\%)$	$G_{\theta}(\%)$	
Human Utilization	<i>%</i>	5.42	1.88	13.59	O
Human Error	<i>1/year</i>	2.96	4.89	12.28	O
Work Safety	<i>-</i>	2.46	1.19	6.60	S
Human Activity Time	<i>FTE</i>	2.46	1.13	6.52	T
Machine Safety	<i>-</i>	2.46	0.69	5.97	T
Noise	<i>dB</i>	0.99	0.44	2.59	O
Activity Automation	<i>%</i>	0.49	0.00	1.02	S
Operators per Area	<i>1/m²</i>	0.49	0.00	1.02	T

3. CASO STUDIO: SARIV S.R.L.

3.1 L'AZIENDA

SARIV s.r.l. è un'industria che lavora nel settore meccanico con sede nel comune di Fontaniva, in provincia di Padova. Nasce nel 1989 come azienda locale a gestione familiare e si sviluppa fin da subito sfruttando i mercati esteri.

Nel 2003 viene edificato il primo capannone di proprietà di circa 6000 mq, al quale viene affiancato un magazzino automatico di circa 5000 posti pallet.

Nel 2009 grazie agli investimenti fatti in ambito tecnico e tecnologico, vi è il passaggio da azienda di produzione "seriale", legato cioè alla produzione di articoli standard, ad azienda specializzata con il fine di sviluppare diverse soluzioni di fissaggio.

Con le novità successivamente introdotte nel processo di produzione, iniziano anche a lavorare per diverse industrie in ambito Automotive.

Il continuo sviluppo e l'accrescimento del loro know-how permette all'impresa di acquisire un'azienda israeliana nel 2014, sviluppando così una diversa gamma di rivetti a strappo e inserti filettati.

Parallelamente si sviluppa un processo di digitalizzazione e applicazione della filosofia dell'Industry 4.0, tuttora attiva e in costante evoluzione.

Nel 2016 viene poi aperto un nuovo sito produttivo adiacente a quello già esistente, portando l'intera azienda ad avere un'estensione di 9000 mq. La capacità produttiva di SARIV è di circa tre milioni di pezzi al giorno, e il 60% della produzione è dedicato ai rivetti speciali o per il settore automotive.

La cultura aziendale di SARIV è orientata verso il valore, e riconosce nella sua articolazione dei doveri fondamentali nei confronti dei propri clienti e dipendenti. I fattori più importanti che determinano la competitività e la produttività, sono la forza di innovazione, l'orientamento alla clientela, la capacità di adattamento e l'efficienza.

SARIV inoltre investe molto nelle certificazioni di qualità, che sono essenziali ai fini di rispettare gli standard dei settori industriali con cui deve operare. Alcune delle loro certificazioni sono: ISO 9001:2015 (processi produttivi), IATF 16949:2016 (management aziendale per settore automotive), ISO 45001:2018 (sicurezza e salute sul lavoro) e la ISO 14001:2015 (gestione del rischio ambientale).

Nella creazione di questi fattori, la cultura aziendale gioca un ruolo fondamentale. Oltre alla professionalità delle persone, dunque, SARIV punta sullo spessore umano e la crescita reciproca: dal rispetto e dal confronto nasce un atteggiamento positivo che genera innovazione e crescita, fattori fondamentali per garantire la massima qualità e flessibilità, rendendo SARIV un leader del settore.



Figura 3.1: L'intero complesso di SARIV s.r.l. a Fontaniva (PD).

3.2 OBIETTIVO

L'obiettivo di questo capitolo è illustrare e spiegare come è stato possibile ottimizzare le percorrenze del trasloelevatore del magazzino automatico di SARIV s.r.l. per migliorarne il rendimento in termini soprattutto di tempi di percorrenza. Il magazzino presentava inizialmente una logica di movimentazione “disordinata”, con una gestione di due tipologie differenti di unità di carico: cassoni e pallet. Le due UdC vengono gestite utilizzando baie differenti.

Per migliorare le percorrenze del trasloelevatore è stato necessario uno studio preliminare, con il fine di comprendere al meglio le logiche di funzionamento che il magazzino aveva utilizzato fino a quel momento, e un ulteriore studio sulle esigenze dell'azienda, per capire quali modifiche o cambiamenti fossero necessari per soddisfare quanto richiesto.

3.3 STABILIMENTO

SARIV s.r.l. presenta un magazzino automatico composto da un unico corridoio di altezza 19 metri, composto da circa 5000 posti pallet e servito da un unico trasloelevatore a singola culla con un sistema d'imbarco a forche. Questo trasloelevatore non è l'unica macchina di questo complesso sistema automatizzato che lavora in sinergia con il fine di realizzare un sistema di stoccaggio e prelievo della merce in maniera automatica. Sono presenti anche diverse baie di ingresso e uscita della merce, realizzate sfruttando sistemi di movimentazione rigida.

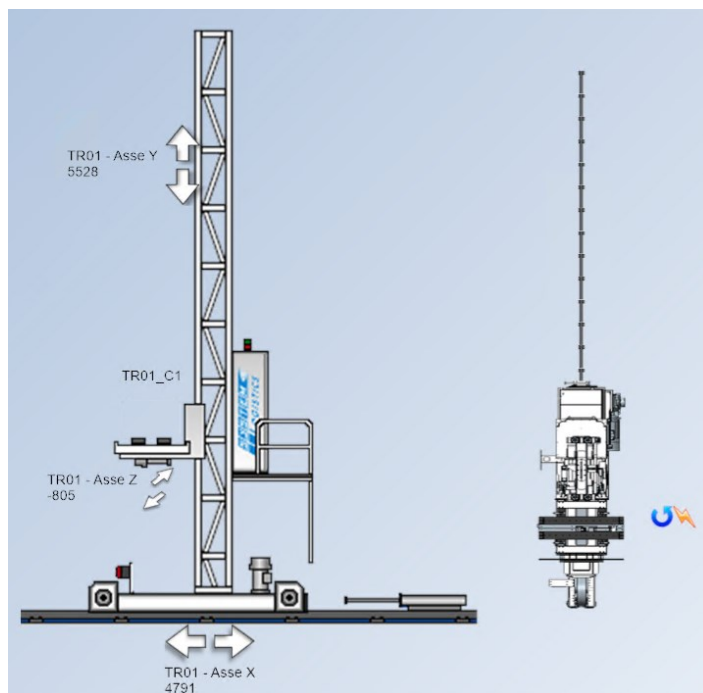


Figura 3.3: Visione laterale e frontale dei movimenti del trasloelevatore.

Il magazzino è composto da una scaffalatura metallica, suddivisa in locazioni (celle) che possono contenere le unità di carico. A livello di software queste celle sono identificate da un sistema di coordinate cartesiane che rendono veloci e sicure le operazioni di prelievo, deposito e movimentazione della merce.

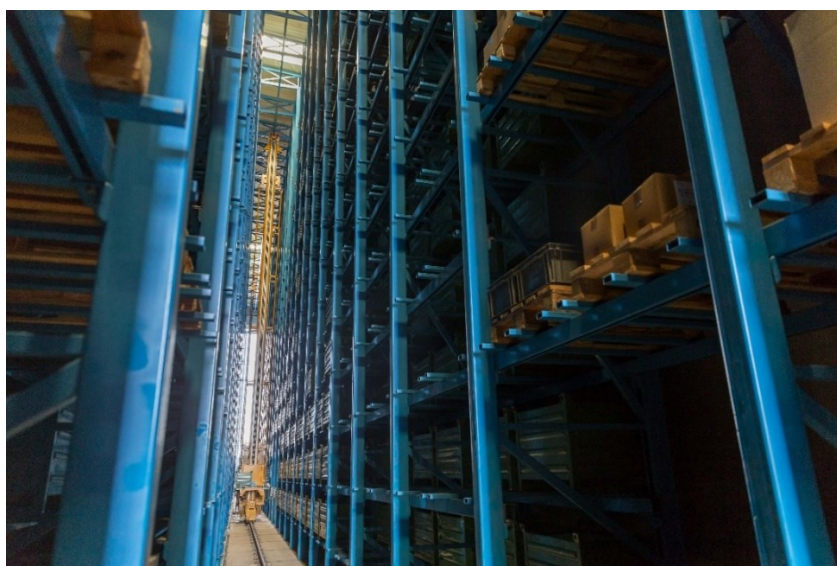


Figura 3.2: foto del magazzino automatico di SARIV visto dall'interno.

La perfetta gestione ed il controllo sicuro dell'impianto è garantito dall'alta integrazione dei tre settori fondamentali dell'automazione, meccanico, elettrico e informatico gestionale.

Il magazzino automatico di SARIV viene principalmente utilizzato in asservimento alla produzione ed allo stoccaggio temporaneo della merce che dovrà essere spedita o lavorata ulteriormente; al suo interno, quindi, saranno presenti materie prime, semilavorati e prodotti finiti.

A tutti gli articoli e UdC viene assegnato un codice identificativo e le diverse trasformazioni del prodotto, portano ad un cambiamento di questo codice, permettendo così un monitoraggio rigido e preciso della “vita” delle unità di carico.



Figura 3.4: Esempio di codifica della merce utilizzata in SARIV s.r.l.

Il magazzino è dotato di due diverse tipologie di baie:

- Baia di picking, utilizza un sistema di rulli e catene con una forma a U che permette l'uscita temporanea della merce e il picking da parte di un operatore (sfrutta quindi un sistema di prelievo "merce all'uomo")



Figura 3.5: Foto baia di picking di SARIV s.r.l.

- Baia di ingresso/uscita della merce, sfrutta un sistema di rulli con una forma lineare che permette l'ingresso e l'uscita della merce, che dovrà però essere prelevata o depositata da un carrello elevatore.



Figura 3.6: Baie di I/O uni-direzionali SARIV s.r.l.

3.4 DESTINAZIONE D'USO DEL MAGAZZINO

Il magazzino automatico è stato realizzato e concepito per la movimentazione di UdC che hanno le seguenti caratteristiche:

- Cassone in metallo
Peso massimo - 600 kg

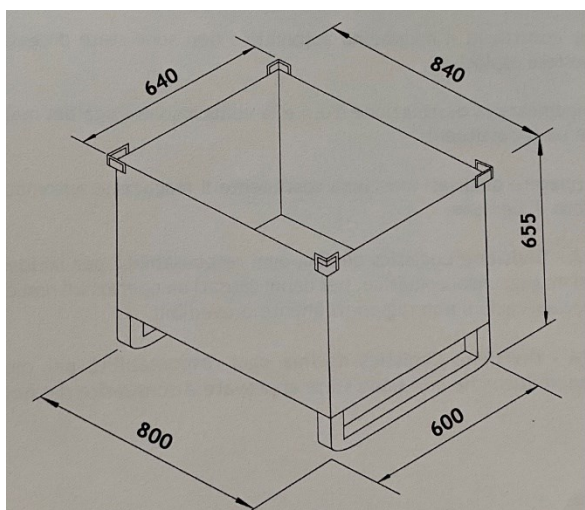


Figura 3.7: Dimensioni del cassone in uso in SARIV s.r.l.

- Pallet in legno
Peso massimo - 1000 kg

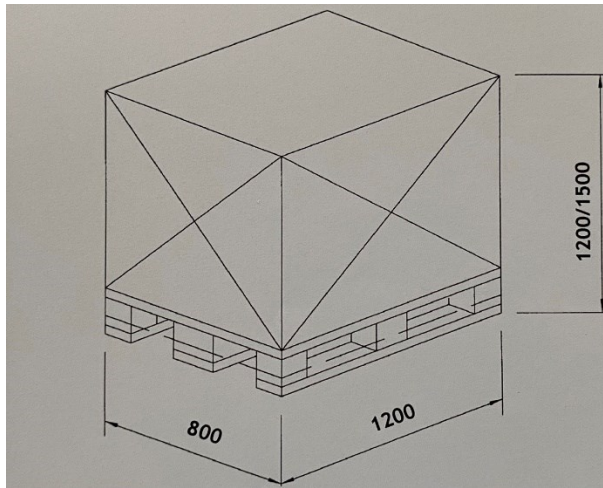


Figura 3.8: Dimensioni del pallet in uso in SARIV s.r.l.

Le unità di carico che entrano a magazzino devono essere identificate da un codice a barre. La lettura di questo codice viene fatta, manualmente, dall'operatore che ha movimentato l'unità di carico fino alla baia di ingresso. Nel sistema gestionale del magazzino si creerà quindi una missione d'ingresso che avrà come obiettivo quello di posizionare nell'ubicazione di destino l'unità di carico che è entrata. In caso di errore, non si crea nessuna missione e l'unità di carico non entra a magazzino.

3.5 GATE DI CONTROLLO

In tutte le baie del magazzino sono presenti dei gate, che hanno lo scopo di effettuare dei controlli preliminari sull'unità di carico. Tale analisi preliminare serve come base per la scelta di posizionamento dell'UdC all'interno del magazzino.



Figura 3.9: Gate di controllo sagoma di SARIV s.r.l.

Questo sistema si occupa di effettuare le seguenti attività:

- **Controllo peso UdC:**
Viene effettuato un controllo del peso effettivo dell'unità di carico con la merce sopra, verificando che non ecceda il peso massimo imposto e inviando il dato relativo al peso reale al gestionale aziendale
- **Controllo sagoma:**
Viene effettuato un controllo delle dimensioni dell'unità di carico verificando che non si superino le dimensioni massime consentite. L'eventuale superamento è segnalato dall'accensione di una luce rossa posizionata sul gate di controllo della sagoma
- **Controllo inforcabilità:**

Viene effettuato un controllo inforcabilità dell'UdC verificando che il pallet abbia la luce necessaria per le operazioni di inserimento forche

Se al termine di questi controlli l'unità di carico risulta idonea, allora inizia il processo di ingresso a magazzino. L'unità di carico, quindi, tramite un sistema di rulli e catene entra nel magazzino automatico dove verrà prelevata dal trasloelevatore per poi essere posizionata nell'ubicazione a lei assegnata.

L'uscita dell'UdC risulta più semplice, infatti non sono necessari i controlli, già effettuati in fase di ingresso, per iniziare una movimentazione d'uscita della merce. L'unità di carico verrà portata dal trasloelevatore in baia e successivamente prelevata da un carrello elevatore.

Un sistema di fotocellule si occupa della verifica di presenza delle UdC nelle baie.

3.6 PARAMETRI DEL TRASLOELEVATORE

I parametri cinematici del trasloelevatore, rispetto i diversi assi cartesiani, utilizzato da SARIV sono:

Tabella 3.1

	X	Y	Z	
Velocità	3	0,9	0,8	m/sec
Acc./Decelerazione	0,4	0,6	0,7	m/sec ²

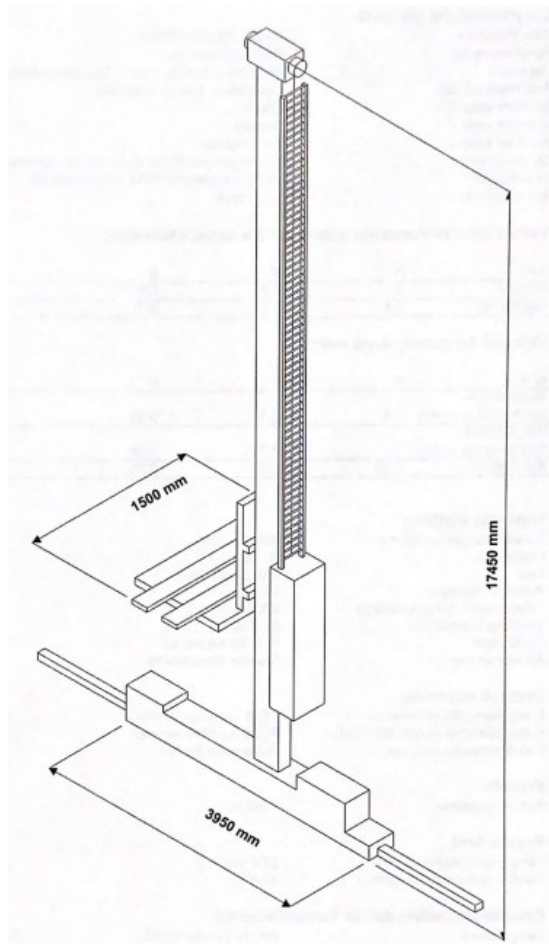


Figura 3.3: Dimensioni di ingombro del trasloelevatore di SARIV s.r.l.

In genere il vettore delle componenti delle velocità del trasloelevatore deve essere il più vicine possibile alla diagonale della scaffalatura. In questo modo si cerca di equilibrare le componenti delle velocità lungo i due assi di movimento del trasloelevatore (asse x e y).

Si prenda ora la sezione della scaffalatura, in cui viene evidenziata la diagonale e il punto di ingresso/uscita della merce si trova in basso a sinistra. Qualora le componenti della velocità fossero sbilanciate ci si può ritrovare in uno dei seguenti casi:

CASO 1

Nel primo caso, identificato dalle frecce di colore rosso, si può notare come per raggiungere il punto P che si trova lungo la diagonale della scaffalatura, il trasloelevatore impiega un tempo minore nel raggiungere la quota lungo l'asse y, rispetto la posizione rispetto l'asse x. Questo aspetto è determinato dal fatto che la velocità rispetto l'asse verticale è maggiore rispetto all'asse orizzontale.

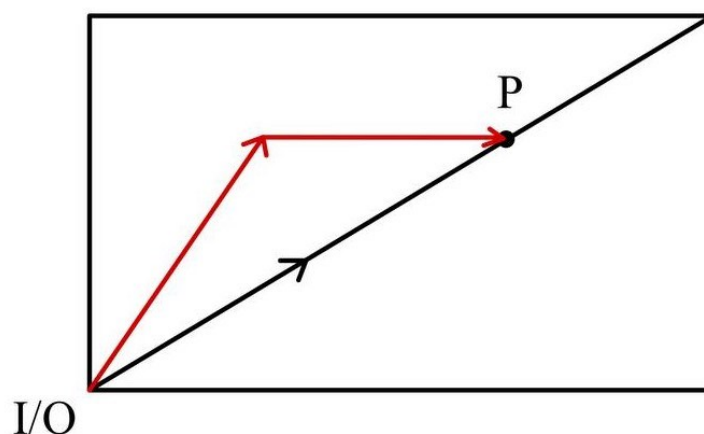


Figura 3.4: Rappresentazione della scaffalatura con velocità sbilanciate rispetto l'asse y

CASO 2

In questo caso, identificato dalle frecce di colore verde, si può notare che per il raggiungimento del punto P il trasloelevatore impiegherà un tempo minore per raggiungere la posizione sull'asse orizzontale, rispetto all'asse verticale. Analogamente a quanto detto prima, ciò dipende dal fatto che la velocità rispetto l'asse x è maggiore rispetto all'asse y.

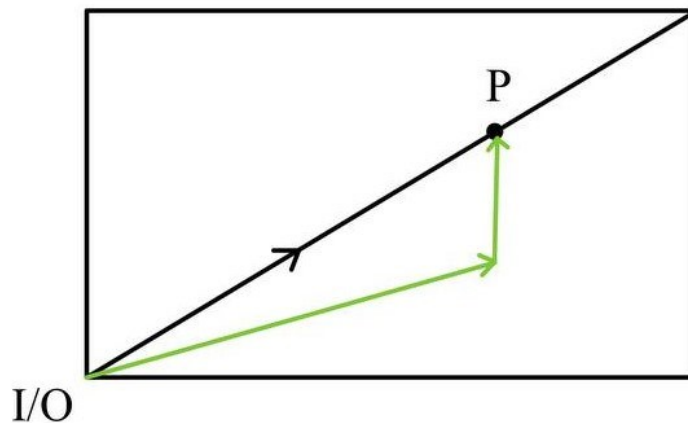


Figura 3.5: Rappresentazione della scaffalatura con velocità sbilanciate rispetto l'asse x

Questo ragionamento viene fatto in fase di progettazione, con il fine di ottimizzare la scelta del motore da utilizzare per il trasloelevatore, evitando un sovradimensionamento che porterebbe a costi maggiori in termini di investimento iniziale e di consumo energetico.

Una visione dall'alto della struttura viene riportata qui sotto:

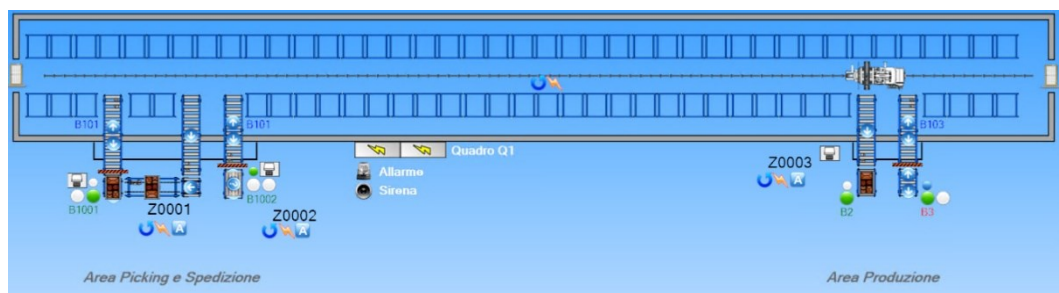


Figura 3.6: Visione tramite WMS del magazzino automatico di SARIV s.r.l.

3.6 SITUAZIONE INIZIALE

La logica utilizzata fino a questo momento è nata assieme al magazzino automatico. L'azienda si è evoluta negli anni e con la pandemia ha dovuto modificare anche il suo modo di operare. Inizialmente la gestione del magazzino era prettamente Make to stock (MTS) e il flusso di merce in entrata e uscita dal magazzino era molto alto proprio per

permettere un elevato accumulo di scorte, qualora fosse necessario far fronte ad un picco di domanda. In seguito ad un aumento del mercato degli articoli speciali (cioè creati appositamente per un cliente) e all'evolversi del mercato stesso post-pandemia, si sta cercando di passare ad una logica Make to order (MTO). Il magazzino ha da sempre utilizzato una logica basata sulle classi e, di conseguenza, sugli indici di rotazione della merce.

È stato possibile ricostruire la planimetria delle celle in termini di classi:

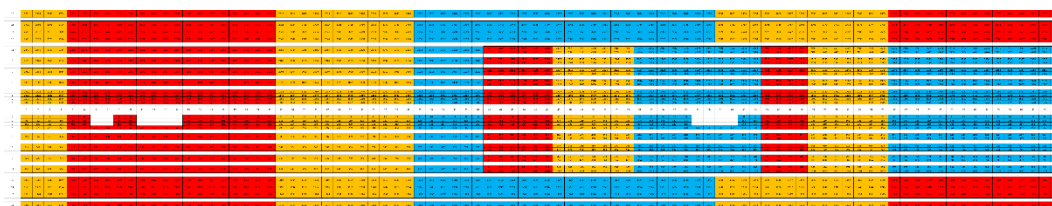


Figura 3.7: Schema Excel delle classi del magazzino. In rosso la classe 1, in arancione la classe 2 e in blu la classe 3.

La scaffalatura, divisa in 16 righe e 90 colonne, è composta da diverse tipologie di celle:

- Cella per filo, sono le celle dell'ultima riga del magazzino, costituite da un'altezza maggiore rispetto alle altre e vengono utilizzate per lo stoccaggio del filo (MP) che deve essere pallettizzato.
- Cella pallet, divisa a sua volta in due tipologie di celle a seconda dell'altezza (celle pallet medi e bassi), vengono utilizzate per lo stoccaggio di tutta la merce che viene stoccata su pallet.
- Cella cassone, è l'unica tipologia di cella che sfrutta la doppia profondità, cioè lo stoccaggio di una doppia UdC; con la doppia profondità è necessario considerare che i cicli delle forche del trasloelevatore sono differenti (infatti i due cassoni si trovano

uno dietro l'altro) e a volte è necessario lo spostamento di quella in posizione avanzata per prelevare l'UdC che si trova più dietro, questo movimento si chiama "cella-cella" perché il cassone più avanti viene spostato in un'altra cella per permettere il prelievo dell'altra unità di carico.

Oltre alle unità di carico, sono presenti anche diverse baie che vengono utilizzate per scopi differenti, in ordine da sinistra verso destra sono:

- La baia uno è la baia di picking e viene utilizzata esclusivamente per il prelievo frazionato dei colli dai pallet che vengono messi a magazzino; può processare più di un'unità di carico per volta (fino a quattro contemporaneamente), ma per avere accesso all'UdC successiva è necessario far rientrare (o uscire definitivamente) il pallet che si trova davanti.
- La baia due è una baia bi-direzionale utilizzata soprattutto dagli operatori della linea di confezionamento per far uscire il materiale da confezionare e successivamente re-inserirlo dopo averlo pallettizzato.
- La baia tre è composta da due baie unidirezionali distinte, una di ingresso e una di uscita, e vengono utilizzate dalla linea produttiva per mettere a magazzino le MP, i semilavorati e i prodotti finiti, che potranno poi essere confezionati o chiamati nuovamente in linea di produzione per subire ulteriori lavorazioni.

La posizione delle tre baie è individuabile in *Figura 3.6*.

3.7 MODIFICHE DA APPORTARE

Prima di definire ciò che è stato fatto per il miglioramento delle operazioni di movimentazione del trasloelevatore è necessario rendere note le problematiche che sono state riscontrate in fase di analisi iniziale. Con uno studio preliminare del magazzino automatico, reso possibile grazie al sistema WMS e al sistema ERP dell'azienda, si è notato che:

- I pallet potevano contenere un solo articolo (singola referenza) o più articoli diversi (multi-referenza), rendendo l'analisi delle movimentazioni degli articoli più complicata per le UdC pallettizzate;
- In genere tutte le multireferenze si trovano su un pallet con altezza bassa e vengono create da un operatore di picking quando ritenute necessarie (per esempio se ci sono pochi colli che utilizzano un pallet vengono uniti ad altre unità di carico);
- I cassoni utilizzano una logica a doppia profondità, permettendo lo stoccaggio di due UdC nello stesso vano ma creano delle movimentazioni "cella-cella", dovute anche alla logica FIFO del magazzino, per il prelievo delle unità di carico che si trovano nella seconda profondità;
- Nello storico delle movimentazioni del gestionale aziendale utilizzato per l'analisi sono presenti degli articoli che non vengono più prodotti e durante il periodo in analisi sono rimasti a giacenza o sono stati movimentati;
- Diverse celle sono state disattivate e risultano pertanto inutilizzabili;

- I pallet oltre alla singola/multi-referenza, devono anche tener conto delle diverse altezze che la merce può avere sulle unità di carico;
- Alcuni articoli sono rimasti a magazzino per un periodo molto breve, non riportando la giacenza tramite gestionale ma solamente le movimentazioni. Si è deciso quindi analizzare i diversi periodi settimanali per il calcolo della giacenza e tutti gli articoli entrati a magazzino durante questi sette giorni sono stati considerati a giacenza per l'intera durata della settimana.

L'azienda voleva orientarsi verso una logica MTO, mantenendo la gestione FIFO già in uso nel magazzino.

In ottica generale la gestione delle baie doveva rimanere come quella attuale, migliorando però la divisione in classi delle celle e degli articoli presenti nell'anagrafica aziendale.

Come prima cosa, sfruttando la pianta della scaffalatura e il manuale tecnico del trasloelevatore, sono state individuate tutte le percorrenze possibili del macchinario relative alle singole celle, sia in singola profondità che in doppia profondità.

Per ottenere il tempo necessario nel raggiungere una cella è stato necessario uno studio accurato del moto della macchina: il trasloelevatore, infatti, si muove di moto uniformemente accelerato e non sempre è in grado di raggiungere la velocità massima rispetto le componenti in asse x o y (l'asse z viene invece valutato unicamente nelle fasi che prevedono l'utilizzo delle forche).

Misurando dalla planimetria le distanze rispetto ai tre assi, otteniamo una tabella contenente tutte le percorrenze che il trasloelevatore deve

fare per servire ogni singola cella, distanza che viene calcolata rispetto il punto medio della baia di riferimento: per i pallet la baia di picking e per i cassoni la baia numero tre (quella più a destra in *Figura 3.5*).

Analizzando ora una sola delle componenti di velocità (per l'altra il discorso è uguale), possiamo costruire il seguente grafico del moto, in cui i due assi sono la velocità del trasloelevatore rispetto l'asse in analisi e lo spazio percorso lungo quell'asse:

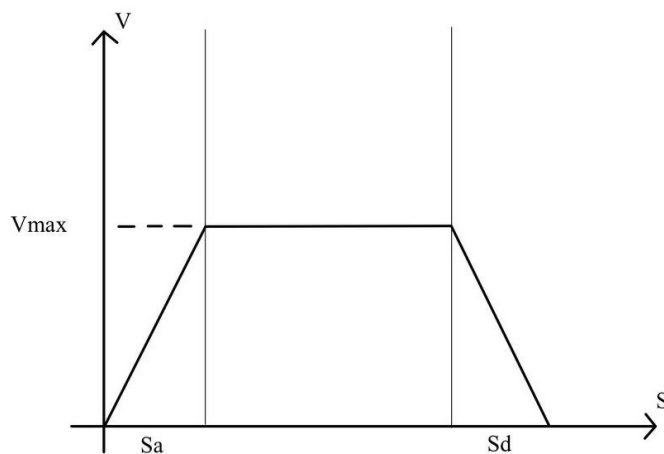


Figura 3.8: Schema del moto uniformemente accelerato

Dove

S_a = spazio di accelerazione;

S_d = spazio di decelerazione;

V_{max} = velocità massima raggiungibile dal traslo rispetto quella componente (x o y);

Lo spostamento lungo l'asse è diviso in tre tratti: un primo tratto di accelerazione, un secondo tratto a velocità costante e un terzo tratto di decelerazione.

Risulta immediato il calcolo del tempo di accelerazione e decelerazione, ottenuto come:

$$t_a = t_d = \frac{v_{asse}}{a_{asse}}$$

Sfruttando poi le formule del moto uniformemente accelerato si ottiene lo spazio di accelerazione/decelerazione (S_a/S_d):

$$S_a = S_d = \frac{1}{2} a t_a^2$$

Per il trasloelevatore in questione riportiamo i valori di spazio calcolati per raggiungere la velocità massima nelle tre componenti:

S_{ax}	S_{ay}	S_{az}	
11,250	0,579	0,114	m

Il tempo totale di percorrenza, per l'asse in analisi, della distanza sarà quindi la somma delle componenti del tempo:

$$T_{tot} = t_a + t_d + t_{vmax}$$

Bisogna tener conto che non sempre il trasloelevatore raggiunge la velocità massima lungo le due componenti di movimento e può risultare più complicato il calcolo del T_{tot} .

Per calcolare il tempo a velocità massima si procede come segue (ragioniamo rispetto l'asse x, per l'asse y il procedimento è analogo):

Sottraiamo alla distanza l_x (distanza da percorrere) lo spazio di accelerazione e decelerazione, ottenendo così lo spazio percorso a velocità costante l_{xvmax} :

$$l_x - 2S_a = l_{xvmax}$$

Ricaviamo quindi il tempo di velocità massima per il trasloelevatore come:

$$t_{vmax} = \frac{l_{xvmax}}{v_{max}}$$

Sommando questo tempo ai due tempi già calcolati per accelerazione e decelerazione si ottiene:

$$T_{tot} = \frac{l_x - 2S_a}{v_{max}} + \frac{2v_{max}}{a}$$

Calcolato il tempo totale di percorrenza dei tre assi, si procederà a considerare come tempo di percorrenza quello necessario al traslo per raggiungere la cella e prelevare l'UdC; quindi, il tempo di riferimento utilizzato sarà il maggiore fra i due tempi dell'asse x e dell'asse y, a cui verrà sommato il tempo rispetto l'asse z, ossia il ciclo forche del traslo, che cambierà a seconda della profondità di prelievo dell'UdC.

Si ottiene quindi una tabella composta da diverse righe, una per ogni cella del magazzino, fatta come segue:

numero cella	Dx (mm)	Dy (mm)	profondità	Dz (mm)	Lvcostx	Lvcosty	Lvcostz	Ttotx	Ttoty	Ttotz	Tcella (secondi)
1	9650	0	1	1050	-12,85	-1,16	0,14	10,72	0,00	2,46	13,17

Con

D_x, D_y, D_z = distanza che deve percorrere il trasloelevatore lungo l'asse;

$L_{vcostx}, L_{vcosty}, L_{vcostz}$ = distanze percorse lungo l'asse a velocità costante (in negativo se v_{max} non viene raggiunta);

$T_{totx}, T_{toty}, T_{totz}$ = tempi totali di percorrenza del trasloelevatore rispetto l'asse;

T_{cella} = tempo totale che il trasloelevatore impiega per raggiungere la cella e prelevare l'UdC;

È ora possibile costruire una mappatura dettagliata contenente tutti i tempi di percorrenza per ogni cella del magazzino, che andranno messi in ordine crescente. Per procedere con il passo successivo, cioè quello di utilizzare un processo iterativo di ottimizzazione per il calcolo della dimensione delle classi relative agli articoli, è necessario ricavare ulteriori dati relativi agli articoli.

Per procedere a tale calcolo, oltre alla mappatura dei tempi cella, è necessario disporre degli indici di rotazione della merce e della giacenza media relativa al periodo.

Per il calcolo dell'indice di rotazione bisogna calcolare il rapporto fra i movimenti fatti dal trasloelevatore per un determinato articolo e il numero di periodi analizzati, mentre per la giacenza media sono stati usati due approcci differenti, a seconda della tipologia di UdC. Per i pallet, viste le problematiche legate alle multi-riferenze, si è sfruttato un ragionamento a “pallet equivalenti”, utilizzando quindi i movimenti dei singoli pezzi di ogni articolo, per poi trasformare questo numero in un quantitativo di pallet sfruttando l'anagrafica degli imballaggi e la logica di palletizzazione in uso dagli operatori. Per i cassoni invece, che non presentavano la problematica della multireferenze, è bastato sfruttare la giacenza di periodo presa dall'ERP. Il gestionale aziendale utilizzava però un ragionamento a “movimenti aperti”, che ha reso complicata l'estrazione delle giacenze e non permetteva una corretta analisi dei movimenti delle singole referenze; infatti, con questa logica, un'unità di carico nasceva con un determinato numero di pezzi e le successive aggiunte o riduzioni portavano alla creazione di una seconda

UdC copia con la stessa codifica. Il problema di questi movimenti salvati nel database dell'azienda era che alcune unità di carico risultavano più movimentate rispetto al numero reale, proprio perché il numero di movimenti conteggiava anche gli spostamenti dell'UdC copia che si era venuta a creare. Dopo una prima pulizia dei dati è stato possibile individuare il numero corretto delle movimentazioni.

Incrociando quindi lo storico delle movimentazioni ottenute dal software del trasloelevatore e la giacenza finale del periodo presa del sistema ERP dell'azienda, si è potuto risalire alla giacenza di inizio periodo, andando a ritroso, rendendo possibile una visione d'insieme della situazione del magazzino nel periodo in analisi.

Sfruttando quindi l'indice di movimentazione e la giacenza media del periodo, è stato possibile calcolare la giacenza %, la giacenza % cumulata, l'indice di accesso % e l'indice di accesso % cumulato, le cui formule sono:

$$G\% = \frac{G_{articolo}}{G_{tot}} \%$$

$$I_a\% = \frac{I_{marticolo}}{G_{articolo}} \%$$

$$G_{cum}\% = \sum G\%$$

$$I_{acum}\% = \sum I_a\%$$

Dove

G = Giacenza dell'articolo

I_m = Indice di movimentazione dell'articolo

I_a = Indice di accesso dell'articolo

È possibile ottenere una tabella in cui per ogni articolo si avrà una riga composta in questo modo:

Nr. articolo	Gmedia	Im	Ia	G%	Gcum%	Ia%	Iacum%
ESHB1106010-0	1	1,981	1,981	0,000	0%	0,005	0%

Bisogna però rendere noto che prima di procedere con i calcoli delle giacenze cumulate e degli indici di accessi cumulati è necessario ordinare questa tabella per I_a decrescenti.

È possibile riassumere la tabella degli accessi con i seguenti grafici, ottenuti per le due diverse tipologie di UdC:

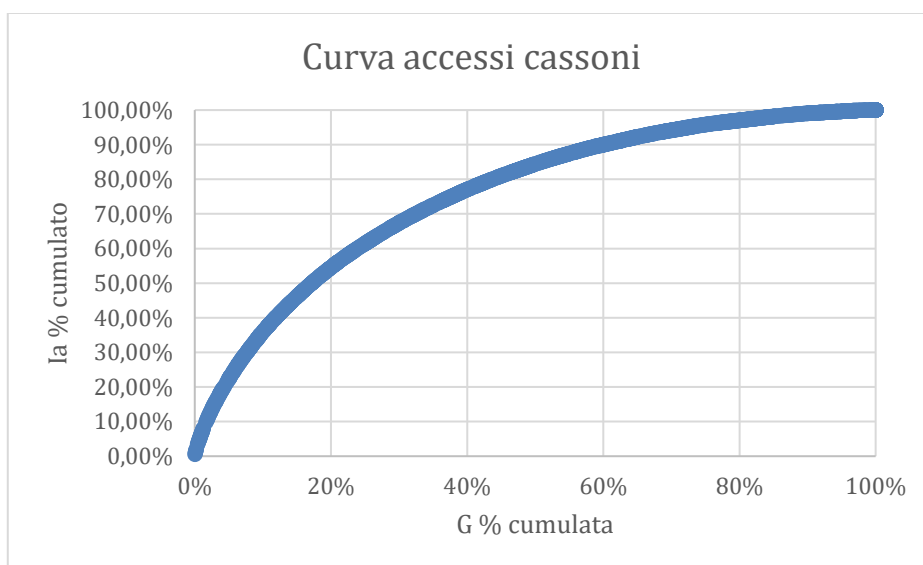


Figura 3.9: Curva accessi cumulati cassoni

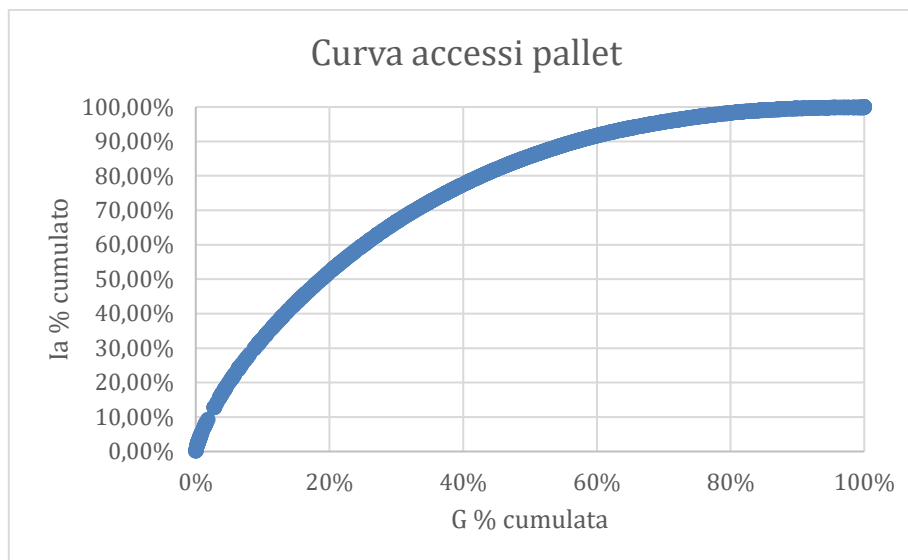


Figura 3.10: Curva accessi cumulati pallet

Il passo successivo prevede un processo iterativo, che porterà all'ottenimento di un minimo, e necessita l'incrocio fra i dati contenuti nella tabella dei tempi di percorrenza delle celle e quelli contenuti nella tabella con le giacenze e gli accessi. Per ottenere quindi il numero di celle necessarie alle diverse classi di movimentazione bisogna sfruttare la seguente formula:

$$T_{mA} = T_m(SKU_A) * I_{acum}\%(SKU_A) + T_m(SKU_B) * I_{acum}\%(SKU_B)$$

Dove

T_{mA} = tempo medio di accesso della classe di movimentazione A

SKU_A = rappresenta il riferimento numerico della SKU rispetto al quale si sta calcolando il tempo medio di accesso della classe (cioè l'ultima referenza da includere nella classe A)

SKU_B = rappresenta il riferimento di tutte le altre referenze degli articoli (quindi la metà delle referenze che verrà collocata in classe B)

$$T_m(SKU_X) = \frac{\sum T_{celle \text{ fino alla } SKU_X}}{\text{numero } SKU_X} = \text{tempo medio di accesso alle celle}$$

del gruppo SKU_X

$$I_{acum}\%(SKU_A) = \text{Frequenza degli accessi alla classe A}$$

$$I_{acum}\%(SKU_B) = 1 - I_{acum}\%(SKU_A) = \text{Frequenza degli accessi della classe B}$$

Tale formula porta all'ottenimento di un tempo di accesso minimo che permette di individuare quali SKU vanno inserite nella classe A (e quindi anche nella classe B). Successivamente viene ripetuto con tutte le referenze di classe B, escludendo le celle già assegnate ad A, per ottenere le SKU di classe B e C con le relative celle da assegnare.

Il numero di celle da inserire nelle classi sarà dato dalla somma della giacenza di tutte le referenze che con il processo di iterazione sono state imputate a quella classe di movimentazione.

Unendo i risultati ottenuti per i pallet e i cassoni si ottiene una visione della scaffalatura che è simile alla *Figura 3.7* ma con una nuova logica delle classi:

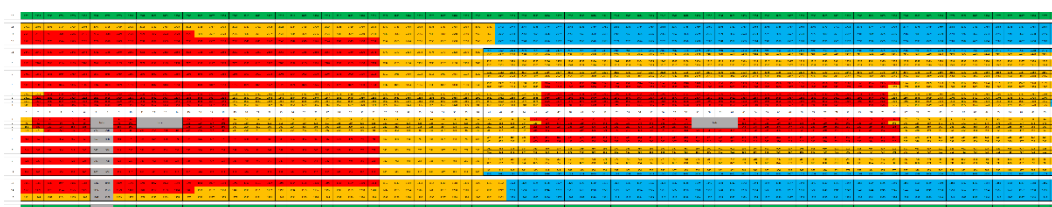


Figura 3.11: Nuova suddivisione celle considerando la nuova baia. In rosso la classe 1, in arancione la classe 2 e in blu la classe 3.

Si possono identificare delle zone differenti rispetto al caso iniziale:

- Alcune celle sono state disattivate per motivi legati a problematiche aziendali interne e pertanto non sono momentaneamente utilizzabili; qualora tornassero operative

“copierebbero” la classe della cella che si trova sul lato opposto della scaffalatura

- Le celle per il filo, che si trovano sull’ultima riga del magazzino, vengono separate dalle altre per il calcolo delle classi; queste celle, infatti, saranno assegnate unicamente a quella tipologia di articolo e verranno riempite seguendo una logica di riempimento casuale (per semplicità si assegna la classe di movimentazione più bassa)

3.8 INTRODUZIONE DI UNA NUOVA BAIA

L’azienda, in seguito all’introduzione di un nuovo layout di entrambi gli stabilimenti, ha deciso di introdurre due nuove baie unidirezionali, una di ingresso e una d’uscita, che andranno posizionate al posto delle celle

1657,1658,1659,1660,1567,1568,1569,1570,1477,1478,1479,1480.

Queste baie si occuperanno insieme al gruppo baie numero tre (quello più a destra nella *Figura 3.12*) della gestione dei flussi di merce dei cassoni.

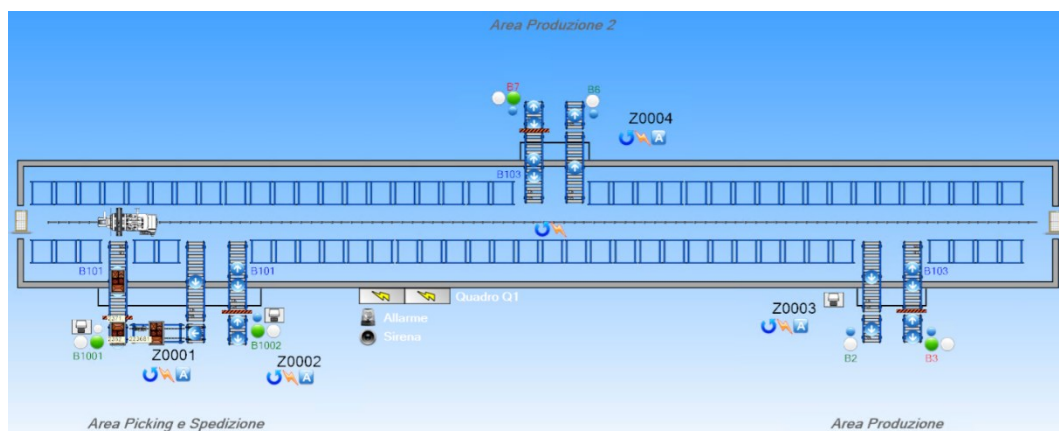


Figura 3.12: Nuova visione del mag. automatico in seguito all’aggiunta della nuova baia

È risultato necessario quindi svolgere nuovamente lo studio delle classi, visto che ora la gestione dei cassoni era da valutare rispetto due gruppi baia.

Il calcolo delle giacenze e degli indici di accesso svolto per gli articoli che vengono messi a cassone, non è cambiato; quello che è cambiato sono i tempi cella da considerare per l'assegnazione delle classi.

Per questi nuovi tempi cella bisogna considerare che saranno due le baie che dovranno occuparsi dei flussi in ingresso e uscita delle UdC e pertanto si userà la media pesata dei tempi rispetto alle due baie che andranno a servire le UdC come tempo cella del trasloelevatore. Visto che i due gruppi baia avranno un flusso bilanciato (50/50) è sufficiente fare la media matematica dei tempi ottenuti rispetto alle due baie per ogni cella. Qualora le baie avessero flussi sbilanciati, bisognerebbe fare una media pesata sulla base della percentuale di flusso per ottenere i tempi cella.

I risultati ottenuti per la nuova “zona cassoni” sono:

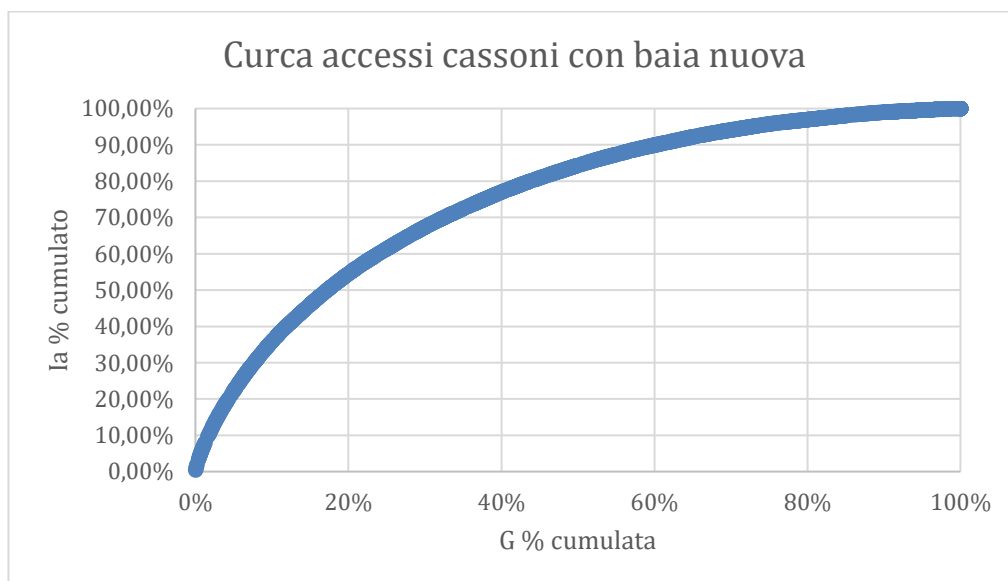


Figura 3.13: Curva accessi cumulati cassoni con la nuova baia

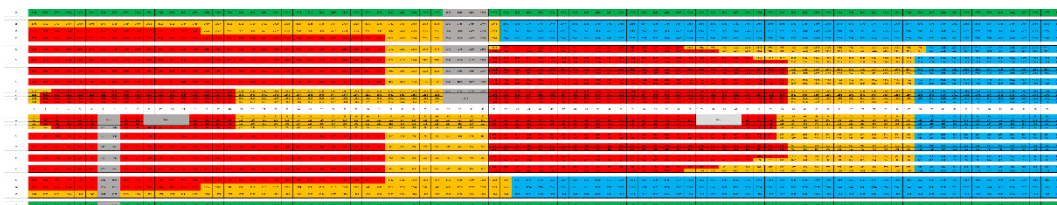


Figura 3.14: Nuova suddivisione celle considerando la nuova baia

3.9 CONSIDERAZIONI FINALI

Si possono dunque evincere alcune considerazioni finali riguardanti il progetto di ottimizzazione:

- a. È stato possibile calcolare il SAVING, cioè la percentuale di tempo che si risparmia, utilizzando queste nuove classi rispetto ad una mappatura che segue una logica casuale (che prevede un tempo cella medio di 18,8 secondi per i pallet e 18,16 secondi per i cassoni). Non viene valutato il tempo risparmiato rispetto l'attuale logica in uso, perché ha una visione che è sovradimensionata rispetto l'ottica MTO che l'azienda vuole implementare. Il saving che si avrà mantenendo la gestione a classi del magazzino, rispetto al modello casuale, è del 22,07% per le UdC pallet, mentre è del 29,9% e del 22,98% rispettivamente per le UdC cassone senza e con il nuovo gruppo baia, ottenuto come segue:

$$SAVING = 1 - \frac{T_{mA}}{T_{random}} \%$$

Dove

$$T_{random} = \frac{\sum T_{cella}}{\sum \text{numero celle}} = \text{tempo ottenuto dividendo la sommatoria dei tempi cella di tutte le celle di una determinata tipologia di UdC}$$

$$T_{mA} = \frac{\sum T_{cellaX}}{\sum \text{numero celle}_X} = \text{tempo medio di accesso fatto rispetto}$$

una determinata classe di movimentazione X

Quindi si avrà un risparmio temporale per le celle che hanno classe di movimentazione più alta; infatti, il tempo cella medio sia per la classe A che per la classe B è minore del tempo medio con la logica casuale.

- b. Oltre ad un risparmio temporale, con la nuova mappatura, si avrà un risparmio in termini energetici e quindi anche economici oltre ad una riduzione dei movimenti “cella-cella”. Per una miglior gestione, infatti, è stata apportata una modifica alla logica di riempimento del magazzino. Ora il trasloelevatore procederà al riempimento completo delle celle nella seconda profondità, prima di passare alla prima profondità, pur mantenendo il controllo della classe di movimentazione.
- c. Altre celle sono state disattivate temporaneamente per permettere il ricalcolo strutturale della portata della scaffalatura in vista dell'imminente aggiunta del nuovo gruppo baia.
- d. Si potrebbe modificare la logica di creazione delle multireferenze che attualmente è affidata completamente agli operatori di picking, rendendola più standardizzata. Questo permetterebbe in futuro uno studio più approfondito delle multireferenze che potrebbe portare ad una semplificazione nella gestione di queste tipologie di UdC, oltre a ridurre il numero di pallet multireferenza presenti a magazzino.
- e. Sono stati rilevati, durante l'analisi, differenti unità di carico in posizioni errate per la loro classe di appartenenza o per la loro altezza. Questo problema è legato al fatto che il trasloelevatore si

ritrova a valutare il fattore di altezza per la decisione della cella oltre ad un controllo della classe (che comunque è un fattore vincolante). Alcune UdC si ritrovano quindi ad occupare delle celle di altezza differente quando non ci sono più vani disponibili dell'altezza corretta. Molti pallet bassi si trovavano in celle medie per il sottodimensionamento del numero di celle dei pallet di altezza bassa. Vista però la saturazione media, intorno al 60% complessiva, delle unità di carico palletizzate, l'azienda ha deciso di non aggiungere posti per i pallet di altezza bassa, consapevole della presenza di UdC con un'altezza minore in slot per pallet "medi". Il miglioramento di questo problema è influenzato anche dall'innumerabile numero di multireferenze presenti a magazzino, che sono spesso di altezza bassa.

- f. Vista la variabilità di codici e la innumerevole quantità di articoli gestiti dall'azienda sarà necessario un controllo delle classi fatto in modo frequente, per evitare il sovradimensionamento delle classi di movimentazione dovuto a nuovi articoli e l'occupazione delle classi con articoli che hanno aumentato o diminuito la loro rotazione.

L'azienda si ritrova ora ad utilizzare un magazzino automatico con un trasloelevatore che effettua tratte meno lunghe per il raggiungimento della merce che portavano a perdite di tempo e che potevano portare a rallentamenti di tutta la linea di produzione e preparazione degli ordini. I due stabilimenti, in seguito all'aggiunta del nuovo gruppo baie, possono ora considerarsi collegati tramite il magazzino automatico, rendendo molto più snelle e rapide tutte le operazioni di prelievo che

prima prevedevano lunghe tratte da percorrere con il carrello elevatore per spostare gli articoli da un edificio all'altro.

3.10 SVILUPPI FUTURI

L'azienda sta cercando di sviluppare un sistema di fotosensori che semplifica l'immissione delle unità di carico all'interno del magazzino. Le UdC in ingresso vanno appunto inserite manualmente dopo aver depositato la merce sulla baia, ma questo sistema implica dei tempi operativi relativamente lunghi, se sommati, nell'arco di un turno di lavoro. Con l'aggiunta di un sistema video per la scannerizzazione delle etichette, sarà possibile ridurre questi tempi, rendendoli quasi nulli, permettendo all'operatore di far entrare nel magazzino le UdC senza scendere dal carrello elevatore.

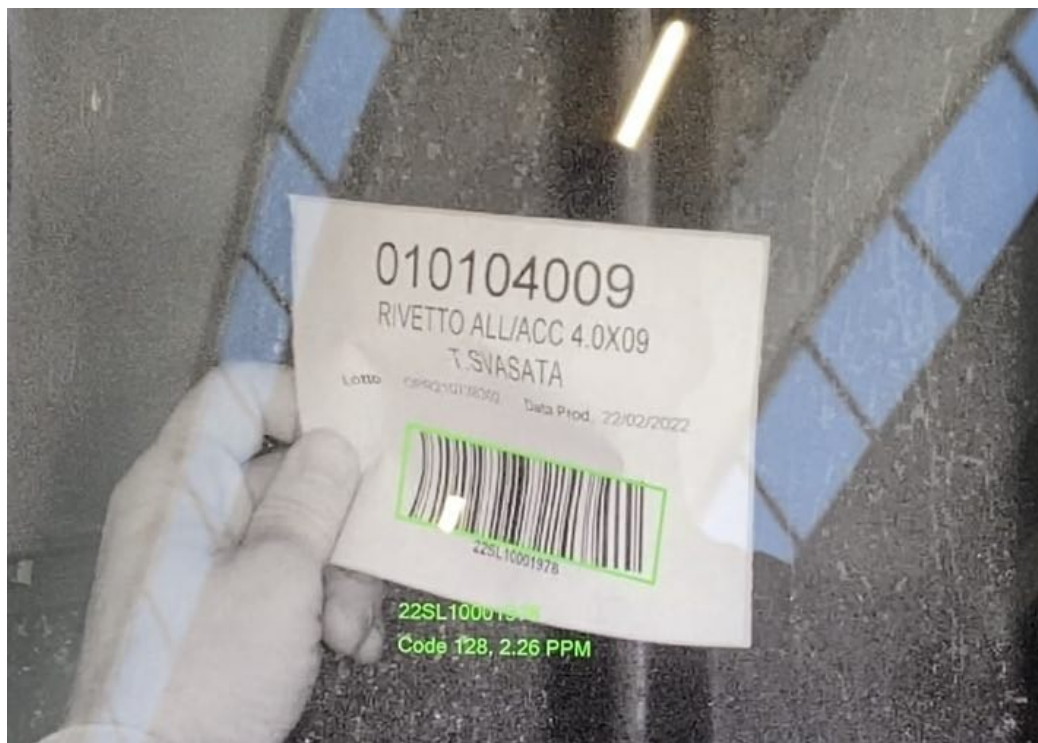


Figura 3.15: Riprese dei sensori in corso di implementazione

BIBLIOGRAFIA

Atieh, A. M., Kaylani, H., Al-Abdallat, Y., Qaderi, A., Ghoul, L., Jaradat, L., & Hdairis, I. (2016). *Performance improvement of inventory management system processes by an automated warehouse management system*. *Procedia Cirp*, 41, 568-572.

Bozer, Y. A., & White, J. A. (1984). *Travel-time models for automated storage/retrieval systems*. *IIE transactions*, 16(4), 329-338.

Çelik, M., Archetti, C., & Süral, H. (2022). *Inventory routing in a warehouse: The storage replenishment routing problem*. *European Journal of Operational Research*, 301(3), 1117-1132.

Faveto, A., Traini, E., Bruno, G., & Lombardi, F. (2021). *Development of a key performance indicator framework for automated warehouse systems*. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 116-121.

Goldratt, E. M. (1990). *Theory of constraints*. North River Croton-on-Hudson.

Mecalux, Dipartimento Marketing Mecalux, *Manuale Tecnico dello Stoccaggio* (2015);

Pareschi, A., Regattieri, A., Ferrari, E., & Persona, A. (2015). *Logistica Integrata e Flessibile: Per i sistemi produttivi dell'industria e del terziario*. Con applicazioni numeriche e progettuali. Società Editrice Esculapio.

Sarker, B. R., & Babu, P. S. (1995). *Travel time models in automated storage/retrieval systems: A critical review*. *International Journal of Production Economics*, 40(2-3), 173-184.

Tangen, S. (2004). *Performance measurement: From philosophy to practice*. International Journal of Productivity and Performance Management, 53(8), 726–737.

SITOGRAFIA

<https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/organizzazione-magazzino>

<https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/magazzino/unita-di-carico>

<https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/picking>

<https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/picking/picking-logica-prelievo>

<https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino>

<https://www.mecalux.it/blog/come-funziona-un-magazzino-automatico>

<https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/magazzino/cos-e-wms-sgm>

<https://www.mecalux.it/blog/plc-controllore-logico-programmabile-logistica>

RINGRAZIAMENTI

Mi sento in dovere di dedicare questa pagina dell'elaborato a tutte le persone che mi hanno accompagnato durante questo percorso.

Innanzitutto, ringrazio il mio relatore il Prof. Persona Alessandro che è sempre stato disponibile durante il periodo di tirocinio e mi ha accompagnato nella stesura di questo elaborato. Un grazie va sicuramente a lui per avermi trasmesso un grande interesse per la logistica e per avermi permesso di arrivare fino a questo punto.

Un doveroso ringraziamento va poi a tutto il personale di SARIV, in particolare al mio tutor l'Ing. Bertuzzo Andrea e all'Ing. Sartore Nicola. Grazie a loro ho potuto applicare le conoscenze acquisite in questi anni universitari sul campo, mettendomi così alla prova in una magnifica realtà aziendale.

Non posso poi non menzionare i miei genitori e tutta la mia famiglia che da sempre mi sostengono nella realizzazione dei miei progetti. Non finirò mai di ringraziarvi per avermi permesso di arrivare fin qui.

Un ringraziamento speciale va a Noemi per essermi stata vicina in tutto questo percorso, sostenendomi nei momenti difficili, grazie per esserci sempre stata.

Ringrazio i miei amici, nonché compagni di vita, per il sostegno che mi hanno dato durante tutti questi anni.

Infine, vorrei dedicare questo piccolo traguardo a me stesso, che possa essere solo l'inizio di un lungo percorso.