



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali
Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea

METODOLOGIE PER MAGAZZINI INTENSIVI SU CONVOGLIATORI AEREI

Relatore:

Ch.mo Prof. Alessandro Persona

Laureando:

Giorgio Valentino Piccolotto

Anno Accademico 2011-2012

*Ai miei genitori,
che hanno sempre creduto
che potessi farcela.
A mia moglie, che lo ha fatto capire a me.
Vi amo profondamente.*

Indice

Introduzione.....	1
Capitolo 1.....	3
1.1 Generale.....	3
1.2 Convogliatori monorotaia.....	5
1.3 Convogliatori birotaia	7
1.4 Convogliatori monorotaia manuali a carrelli.....	8
1.5 I componenti principali di un convogliatore aereo	9
1.5.1 Catena.....	9
1.5.2 Binario.....	11
1.5.3 Curve.....	12
1.5.4 Gruppo traino	13
1.5.5 Attacchi alla catena	15
1.5.6 Ganci di trascinamento.....	15
1.5.7 Trolley e carrelli	16
1.5.8 Bilancelle e telai porta-pezzi.....	18
1.5.9 Altri componenti.....	19
Capitolo 2.....	23
2.1 Magazzini intensivi su convogliatori aerei.....	23
2.2 Progettazione del magazzino.....	26
2.2.1 Dimensionamento	26
2.2.2 Funzionamento dei magazzini intensivi	30
2.3 Funzione di costo	32
2.3.1 Famiglie di costo.....	32
2.3.2 Analisi di costo.....	33

2.4	Studio delle performance.....	40
2.4.1	Il tempo ciclo.....	40
2.4.2	Organizzazione del magazzino.....	44
2.5	La simulazione.....	46
2.5.1	Ipotesi iniziali.....	46
2.5.2	Magazzino organizzato per articolo.....	47
2.5.3	Magazzino organizzato per cliente.....	50
	Conclusioni.....	55
	Bibliografia.....	56

Introduzione

Nell'ambito dell'analisi dei sistemi logistici, che governano la distribuzione fisica dei prodotti internamente all'azienda, i convogliatori aerei a catena rappresentano una soluzione di trasporto continuo che si adatta ad una grande molteplicità di contesti diversi, con l'intento di snellire ed ottimizzare la movimentazione delle risorse fisiche all'interno dell'azienda.

Uno dei principali utilizzi nei confini della logistica di magazzino, e nella gestione integrata dei flussi di ingresso, uscita e deposito è costituito dai magazzini intensivi su convogliatore aereo monorotaia. Questo genere di impianti trova applicazione in tutti quegli scenari in cui l'organizzazione della distribuzione dei prodotti, dal loro ingresso nel magazzino all'evasione degli ordini, riveste un compito cruciale. La nascita sempre più frequente di poli logistici che aumentano il livello di servizio al cliente, diversificando sempre più la ricettività a prodotti diversi e integrando nel contempo le operazioni di gestione degli ordini, comporta un certo interesse verso quelle tipologie di impianto sempre più "adattabili" a prodotti distinti.

L'obiettivo della prima parte di questa tesi è quello di fornire una panoramica dettagliata sulle tecnologie di realizzo dei convogliatori aerei monorotaia e birotaia a catena biplanare.

Nella seconda parte vengono illustrate per i magazzini intensivi a ceste, le metodologie di indagine volte all'analisi dei costi e delle performance, in funzione della dimensione del magazzino, del numero di macchine e del numero di prelievi.

Questo lavoro, frutto anche dell'esperienza lavorativa in un'azienda specializzata nella realizzazione di questo tipo di impianti, è stato svolto eseguendo simulazioni di funzionamento del magazzino in 5 diverse configurazioni a numero crescente di macchine e per due contesti distinti: magazzino *customer oriented* e *item oriented*.

Capitolo 1

I convogliatori aerei

1.1 Generale

Un convogliatore aereo è un dispositivo meccanico utilizzato per la movimentazione e lo spostamento di una o più unità di trasporto (UdT), anche dette unità di carico, tra località diverse. Spesso un convogliatore aereo viene anche chiamato *trasportatore aereo*, o più semplicemente *trasportatore*.

All'interno del vasto universo della logistica, il sottoinsieme che racchiude i convogliatori aerei è quello del *Material Handling*. La terminologia inglese, che in italiano diventa *movimentazione dei materiali*, definisce una classe di mezzi impiegati strutture e risorse il cui core concept è il trasporto e la gestione dei materiali.

Il Material Handling Institute of America riassume il concetto nella seguenti due definizioni:

“Material handling means providing the right amount of the right material, in the right condition, at the right place, at the right time, in the right position, in the right sequence, and for the right cost, by using the right method.”

“Material handling significa rendere disponibile il materiale richiesto, nella giusta quantità, nelle condizioni adatte, nel posto giusto, nel momento giusto, nella giusta orientazione e sequenza, ad un costo adeguato usando il giusto metodo”

“Material is the movement, storage, control and protection of materials, goods and products throughout the process of manufacturing, distribution consumption and disposal. The

focus is on the methods, mechanical equipment, systems and related controls used to achieve these functions”

“Il material handling è la movimentazione, immagazzinamento, controllo e protezione dei materiali, beni e prodotti attraverso i processi di produzione, distribuzione, consumo e smaltimento. L’obiettivo è realizzare questi risultati attraverso i metodi, i macchinari, i sistemi ed il controllo.”

Gli obiettivi più significativi nell’impiego dei convogliatori possono essere riassunti come segue:

- ridurre al minimo la movimentazione manuale.
- effettuare tutte le operazioni di movimentazione al costo ragionevolmente più basso.
- eliminare il più possibile operazioni manuali
- facilitare il carico scarico dei materiali in tutti i processi
- migliorare gli aspetti ergonomici per ogni operatore.

L’oggetto trasportato può essere un prodotto finito, uno o più componenti di esso, una materia prima, un semilavorato, un utensile, etc., in linea generale un qualsiasi oggetto che contribuisca a una o più fasi del ciclo produttivo del prodotto, e che necessiti di essere movimentato durante il ciclo.

Nell’ambito di un sistema produttivo di un qualsivoglia prodotto, l’esigenza di movimentare unità di carico è dettata da molteplici fattori, e si pone in maniera trasversale alle diverse funzioni del sistema produttivo. Un esempio potrebbe essere lo spostamento di un semilavorato all’interno delle fasi di fabbricazione, montaggio o controllo. In questi casi i convogliatori vanno a formare la spina dorsale del processo produttivo, in cui il prodotto si sposta e procede attraverso le varie fasi di fabbricazione. Si pensi inoltre alla movimentazione tra due processi produttivi separati, o ai flussi da e verso il magazzino, che determinano l’approvvigionamento e la distribuzione fisica dei prodotti.

Un altro importante impiego dei convogliatori, in cui la movimentazione assume carattere funzionale, è quello dei magazzini intensivi dinamici. In questo caso non è più

l'operatore a muoversi all'interno del magazzino per le tipiche operazioni di prelievo e deposito, ma è il convogliatore a presentare di fronte ad una o più postazioni fisse una allocazione vuota di magazzino o il prodotto desiderato. I benefici di una gestione dinamica del magazzino sono ancora più marcati nel momento in cui il magazzino-convogliatore viene *mappato*, identificando cioè ogni locazione in maniera univoca e ottenendo un diretto controllo e tracciabilità dei prodotti.

Alla base del principio di funzionamento dei convogliatori aerei ci sono uno o più anelli di catena che scorrono all'interno di appositi binari. A queste catene è demandata la movimentazione delle unità di trasporto, in maniera diretta oppure tramite carrelli.

I convogliatori aerei sono macchine dalla struttura semplice e robusta. Essi necessitano di poca manutenzione e sono caratterizzati da un ciclo di vita molto lungo.

In linea generale i convogliatori aerei si distinguono in due famiglie: i convogliatori monorotaia e i convogliatori birotaia.

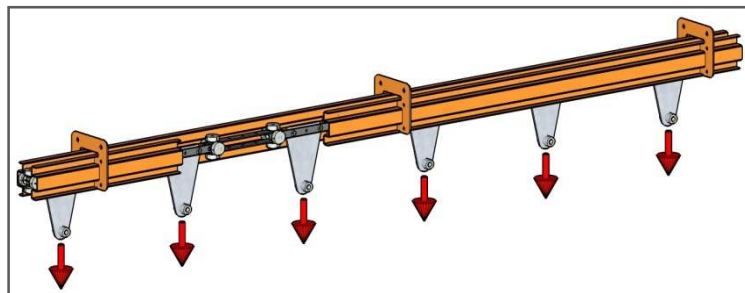
1.2 Convogliatori monorotaia

Un convogliatore monorotaia è formato da un profilo esterno sagomato detto binario o rotaia, all'interno del quale scorre la catena che permette la movimentazione. Alla catena vengono agganciate le UdT in maniera solidale attraverso degli attacchi o attraverso dei sistemi di aggancio a bilancella dove verranno posizionati gli articoli da trasportare. Il binario è costituito di tratti rettilinei e curvi a comporre un anello chiuso. Si forma in tal modo un percorso articolato all'interno dello stabilimento, per raggiungere le posizioni di lavoro necessarie. Un gruppo di traino che "ingrana" la catena, permette lo scorrimento della stessa all'interno del binario ad una data velocità, e la movimentazione delle UdT. Gli attacchi o bilancelle sono fissati alla catena ad una distanza tra loro generalmente fissa (passo di aggancio o trascinamento). Questa distanza è funzione dell'ingombro del prodotto da trasportare, della capacità richiesta al convogliatore, e delle operazioni ausiliare da eseguire sul

prodotto in transito. In genere gli attacchi e le bilancelle devono permettere un alloggiamento sicuro in maniera che durante il trasporto e nelle fasi di lavorazione non sia possibile lo sgancio accidentale del prodotto.

I sistemi monorotaia sono sistemi *vincolati*. Le UdT e la loro movimentazione sono infatti vincolate alla catena tramite il sistema di aggancio in maniera solidale. Questo significa che non è possibile muovere una UdT in maniera singolare, e senza muovere la catena e tutte le altre unità di trasporto ad essa solidali. Lo spostamento è unico e omogeneo. (Fig. 1.1) Inoltre il percorso dei prodotti è fisso e prestabilito, e non può essere modificato, a meno di non intervenire con importanti modifiche strutturali al convogliatore.

Figura 1.1 - I prodotti da trasportare sono agganciati agli attacchi alla catena e vengono movimentati contemporaneamente dalla catena di trazione.



1.3 Convogliatori birotaia

I convogliatori aerei di tipo birotaia a differenza dei monorotaia sono composti da due binari, solitamente sovrapposti e coassiali. Nel binario superiore scorre una catena biplanare, dello stesso tipo utilizzato nei trasportatori monorotaia, mentre nel binario inferiore scorrono dei carrelli (trolley) svincolati dalla catena superiore. In questo caso la catena superiore si occupa della sola trazione mentre il sostegno dei carichi trasportati è demandato ai carrelli e al binario inferiore che li sostiene.

Sulla catena ad un passo stabilito sono fissati i ganci di traino (anche ganci di trascinamento), dispositivi dotati di una parte mobile e una fissa, che permettono alla catena superiore di agganciare e sganciare i carrelli. Questo sistema di ingaggio dei carrelli consente che le UdT vengano movimentate in maniera disgiunta, e possano essere fermate in opportune posizioni mentre altre UdT continuano il loro percorso.

Tale sistema prende anche il nome di *power and free* (P&F) distinguendo appunto la catena superiore che muove i carrelli (power) e i carrelli inferiori che svincolati dal sistema (free) vengono agganciati tramite i ganci di trascinamento dalla catena di trazione power. (Fig. 1.2)

La peculiarità di avere due sistemi accoppiati, uno traente e l'altro libero, è alla base delle principali proprietà che caratterizzano i convogliatori aerei birotaia:

- È possibile deviare i carrelli su percorsi differenti tramite scambi che collegano i binari, o alternativamente far convergere su uno stesso binario carrelli provenienti da binari diversi.
- È possibile ottenere cadenze e velocità di trasporto differenti: quando un carrello viene deviato su un percorso differente, viene *abbandonato* da una catena per essere agganciato da un'altra.
- È possibile fermare uno o più carrelli e mantenere la movimentazione di altri.
- I carrelli possono andare in **accumulo** in buffer. Quando cioè si trovano in posizione contigua con altri carrelli si sganciano automaticamente dalla catena di trazione e si accodano al carrello che li precede.

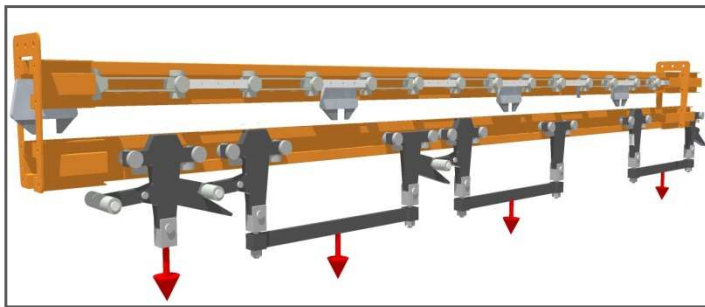


Figura 1.2 - I prodotti da trasportare sono agganciati al carrello di trasporto che può essere formato da un trolley singolo, o da più trolley e da una barra di accoppiamento che li collega. I carrelli sono svincolabili dalla catena di trazione.

1.4 Convogliatori monorotaia manuali a carrelli

Il convogliatore monorotaia a carrelli è composto da un profilo scatolato di lamiera piegata a forma di C, sostenuto da strutture portanti, entro cui scorrono una serie di carrellini (Fig. 1.3) che rappresentano l'unità di trasporto. I carrellini possono essere liberi, e quindi movimentati manualmente, oppure essere legati tutti assieme a formare un treno di carrelli.

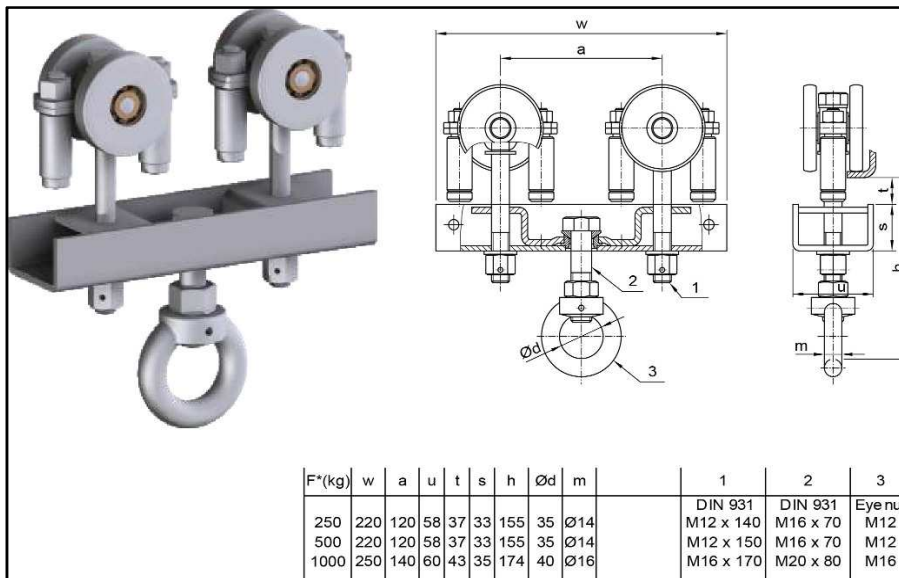


Figura 1.3 – Carrello per convogliatore monorotaia manuale. Portate in funzione della dimensione delle ruote

Per lo più i carichi sono appesi con attacchi fissati direttamente al carrello o a carrelli multipli. In relazione al tipo di carico trasportato, possono essere realizzati specifici tipi di carrello e binario con portate diverse. Questo tipo di convogliatore è

particolarmente indicato quando è necessario spostare carichi gravosi in punti diversi del processo di fabbricazione. Il carico e scarico del convogliatore viene usualmente effettuato manualmente spesso con l'ausilio di dispositivi ausiliari per il sollevamento alla quota di trasporto, tipo paranchi carri ponte o sollevatori. Il percorso di un convogliatore aereo di questo tipo può essere progettato con il massimo grado di flessibilità. La movimentazione manuale permette infatti di eseguire cambi di marcia e di percorso che in genere con un trasportatore continuo automatizzato non sono possibili. Vengono inoltre implementati, secondo necessità, sistemi di sollevamento e interruzione degli stessi binari per permettere lo spostamento dell'unità di trasporto tra due rami di impianto a diversa altezza o per facilitare operazioni di carico e scarico di prodotti trasportati su impianti in quota.

1.5 I componenti principali di un convogliatore aereo

1.5.1 Catena



La catena è il cuore dell'impianto ed il principale elemento funzionale. E' formata da maglie verticali ed orizzontali, accoppiate a due a due tramite dei blocchetti, detti snodi, a cui è fissato un set di 4 cuscinetti di scorrimento per mezzo di perni. Gli snodi permettono alle maglie di articolarsi indipendentemente sul piano orizzontale e verticale. Per tale motivo la catena dei convogliatori aerei è chiamata *biplanare*. La duplice articolazione delle maglie sugli snodi permette di percorrere tratti di binario con curve in orizzontale e in salita/discesa. Lo scorrimento della catena all'interno del profilo è garantito dai cuscinetti. I parametri principali che distinguono le catene per convogliatori sono:

Cuscinetti

Il tipo e la dimensione del cuscinetto determinano il campo di utilizzo della catena e quindi del trasportatore: a maggiore diametro corrisponde una maggiore efficienza di rotolamento ed una maggiore capacità di carico. Il diametro può variare dai 25 mm fino anche sopra i 50 mm. Solitamente vengono utilizzati cuscinetti con gabbia per carichi medio leggeri, e senza gabbia a pieno riempimento di sfere per i carichi pesanti. Inoltre possono essere secondo le esigenze di impiego aperti o schermati - prelubrificati - rivestiti - con mozzo differenziato etc.

Maglie

Il passo delle maglie determina la quantità dei cuscinetti per metro di catena e influenza altri elementi principali del convogliatore come il traino o le curve. Può essere metrico (100 / 400 mm) o in unità anglosassoni (4 / 20 pollici)

Materiali impiegati conformi all'utilizzo

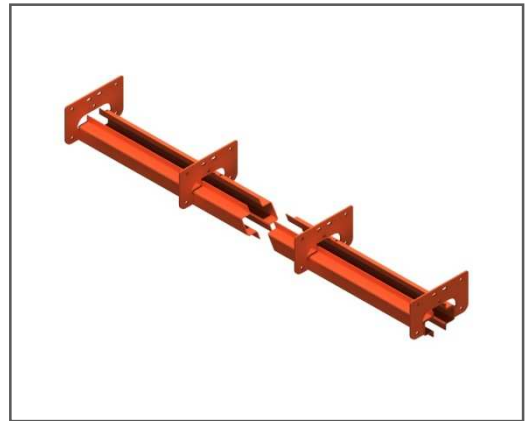
Solitamente e per ambienti industriali normali la catena è realizzata con maglie e blocchetti in ferro zincato o brunito. Nel caso di impiego del convogliatore in ambienti specifici la catena come gli altri elementi del convogliatore devono essere realizzati secondo le rispondenze a quanto previsto dalle normative di riferimento. Nell'industria alimentare ad esempio, dove vi è l'esigenza di lavare e detergere i macchinari a fine turno, il convogliatore aereo è esposto ad ambiente particolarmente umido e aggressivo, e la catena viene realizzata interamente in acciaio inox o in materiale plastico. Un altro esempio sono gli impianti di verniciatura. In tali impianti vengono utilizzati i convogliatori per il passaggio e permanenza in forni di cottura e asciugatura, anche a temperature oltre i 250 gradi. In tal caso è necessario che i cuscinetti siano previsti per le alte temperature, unitamente a dispositivi predisposti per la lubrificazione delle catene, per evitare il grippaggio dei componenti.

Le catene dei sistemi monorotaia rispetto a quelle per birotaia sono sottoposte ad un duplice sforzo: lo sforzo di tiro dovuto allo spostamento lungo il percorso delle UdT, dove la maggior sollecitazione è localizzata sulle giunzioni delle maglie, e lo sforzo del

carico direttamente collegato alla catena, rappresentato dalla sollecitazione dovuta ai carichi appesi, sui cuscinetti verticali della catena.

1.5.2 Binario

Il binario è formato da due semi profili ottenuti per trafilatura oppure da lamiera piegata in un profilo a C, a formare l'alloggiamento dove scorrono i cuscinetti della catena. I due profili vengono uniti e mantenuti accoppiati da staffe di giunzione, saldate agli estremi degli elementi di binario e lungo gli stessi ad un passo fisso.



Gli elementi di binario vengono realizzati in lunghezze diverse, a seconda delle necessità del progetto, e tramite le staffe verranno accoppiati ed imbullonati in sede di montaggio con gli altri elementi del convogliatore. Le staffe di giunzione oltre a tenere insieme i profili e gli elementi tra loro, conferiscono rigidità al sistema, per cui spesso per aumentare la portata del binario (e della macchina) è sufficiente aumentare il numero delle staffe per metro di lunghezza del binario. Questo infatti evita che il binario si apra sul lato inferiore a causa dell'eccessivo carico sui cuscinetti. In genere lo spessore delle staffe varia dai 3 ai 8 mm di spessore, e vengono realizzate per tranciatura o tramite taglio laser.

Nel caso di trasportatore birotaia vengono accoppiati insieme due binari tramite la stessa staffa di giunzione. (Fig. 1.4) Esistono però varianti del binario necessarie al funzionamento del sistema. Il binario può essere allora P&F, birotaia standard con doppio binario, per carrelli e catena di trazione. Binario folle o FREE, per tratti senza trazione, o a spostamento manuale, in cui scorrono solo i

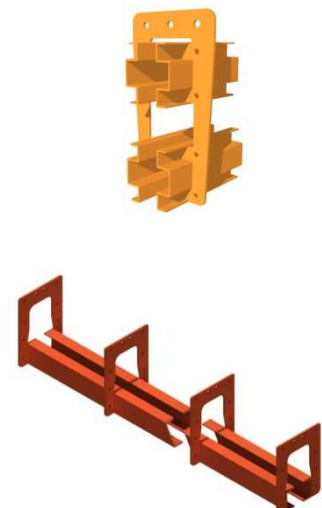
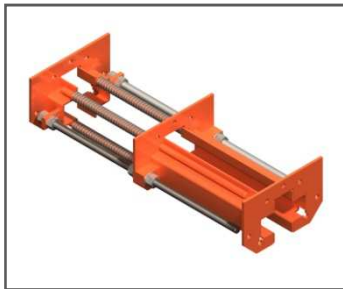


Figura 1.4 – Esempio di binario birotaia (sopra) e binario Free per il solo passaggio dei carrelli

carrelli ma non passa catena. (Fig. 1.4) Oppure ancora binario dove scorre solo catena ma non passano carrelli. Per il funzionamento del sistema la catena deve potersi chiudere in un loop completo. Nei sistemi birotaia nei tratti dove non è richiesto il passaggio dei carrelli ma è necessario chiudere la catena vengono utilizzati tratti di convogliatore monorotaia. Questi rami di servizio vengono chiamati **ritorni catena**.

A completamento del sistema monorotaia o birotaia esistono altri elementi necessari per facilitare il montaggio e la manutenzione dell'impianto. Il binario *ISPEZIONE*, un binario particolare con apertura laterale, per avere accesso ai carrelli e alla catena per inserire ed estrarre i carrelli nel sistema, e per facilitare gli interventi di manutenzione. Il binario *TENDITORE* (Fig 1.5) utilizzato per mantenere il corretto stato di tensione della catena all'interno del binario, è composto di una parte fissa e di una parte mobile



che può essere estesa entro un certo range: una catena poco tesa tende a “saltare” e a causare un movimento oscillatorio e a scatti delle unità di trasporto, mentre una catena troppo tesa sovraccarica il gruppo di traino ed usura in maniera non uniforme le curve.

Figura 1.5 – Binario tenditore per il tensionamento della catena.

1.5.3 Curve

Le curve sono sostanzialmente elementi di binario curvi. (Fig. 1.6) Vengono utilizzate per raccordare tratti rettilinei e completare percorsi complessi. Curve verticali vengono impiegate per superare dislivelli in altezza, ad esempio per spostare unità di trasporto tra diversi piani del fabbricato, o per evitare ostacoli.

Dimensionamento delle curve: Le curve si realizzano per calandratura del profilo ed il raggio di curvatura è strettamente legato al passo della catena. Un raggio di curvatura minore permette l'impiego delle curve in spazi ristretti e la possibilità di cambiare direzione in maniera più compatta.

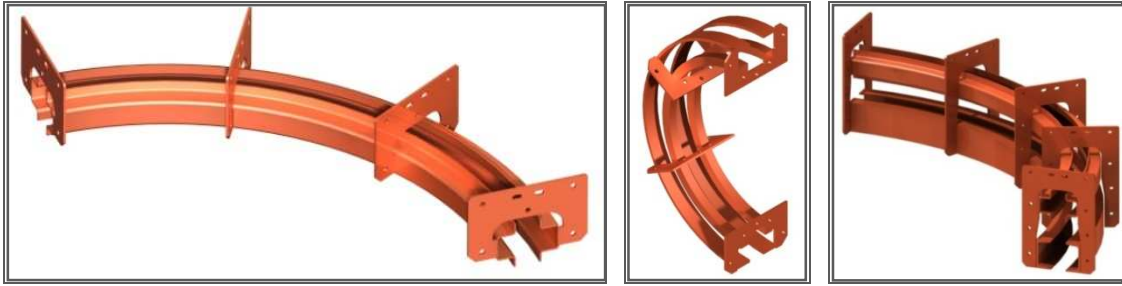


Figura 1.6 – *Diversi tipi di curve: (da sinistra) curva orizzontale e verticale monorotaia, curva orizzontale birotaia.*

Questo parametro tuttavia ha un limite inferiore: per valori troppo bassi le maglie della catena presenterebbero interferenza con la profilatura interna della curva. Per cui per poter diminuire il raggio di curvatura, orizzontale o verticale, è necessario diminuire il passo della catena, ma questo comporta un aumento dei costi: a parità di lunghezza infatti, un passo minore corrisponde ad un maggior numero di cuscinetti.

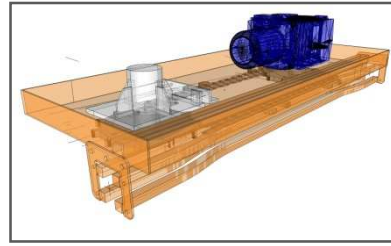
Altri importanti parametri che sono influenzati dal raggio delle curve sono: il **massimo ingombro delle UdT** trasportate ed il **passo di trascinamento**, che vedremo più avanti nella sezione degli attacchi alla catena.

1.5.4 Gruppo traino

Il gruppo traino è l'elemento motore dell'intero sistema. Si occupa di imprimere la trazione alla catena all'interno del binario. Deve sopportare il tiro dovuto a due componenti: l'attrito dell'intera catena all'interno del binario (funzione della lunghezza della catena e del numero di curve), e il tiro dovuto ai carichi trasportati. Ce ne sono diversi tipi a seconda delle dimensioni dell'impianto e dei carichi che devono sopportare. Cambia la forma costruttiva ma alla base vi è sempre un motore elettrico con applicata una trasmissione di riduzione (oppure direttamente un motoriduttore) ed un dispositivo di sicurezza che può essere una frizione o un limitatore di coppia o un giunto idrodinamico.

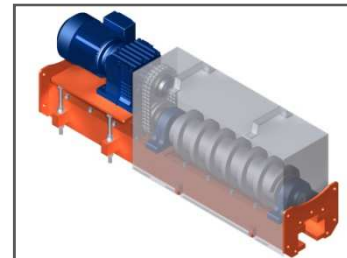
I principali gruppi traino si dividono nelle seguenti famiglie:

a caterpillar: Traino per impianti con carichi pesanti e per catene molto lunghe (fino a 350/400 m, per tiri fino a circa 10000 N). Il motoriduttore trasmette il moto ad una catena a bordo del gruppo. Su questa catena chiamata caterpillar sono saldati al passo della



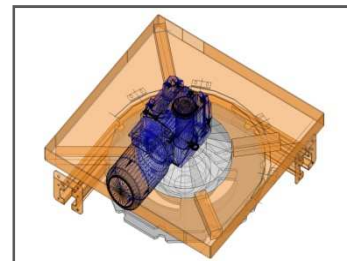
catena biplanare dei denti di spinta. Quando la catena biplanare scorre all'interno del binario di traino, i denti della catena caterpillar che è montata parallelamente al binario si inseriscono tra un passo e l'altro per un tratto rettilineo e vi imprimono il moto. Di solito il contatto avviene almeno su due passi di catena. Il nome deriva dal fatto che il principio di funzionamento è quello di un cingolato. Il dispositivo di sicurezza viene montato sull'albero di trazione della catena caterpillar, collegato al motoriduttore.

elicoidale: Traino per impianti medio-pesanti e per catene non troppo lunghe (fino circa 5000 N di tiro), rispetto al tipo a caterpillar è meno costoso e più compatto. E' composto da una vite senza fine **rinvitata** su motoriduttore e montata sopra il binario di traino, ad esso parallela. Le superfici elicoidali della vite spingono



direttamente i cuscinetti della catena biplanare che scorre all'interno del binario di traino. Il dispositivo di sicurezza viene montato tra il motore e la trasmissione alla vite senza fine.

angolare – a ruota: Traino per impianti medio piccoli e per catene corte (fino circa 2000 N di tiro), è formato da una ruota dentata speciale, montata parallela al piano di scorrimento della catena, calettata sul motoriduttore. Il binario di traino è sagomato a curva in modo da passare esternamente alla ruota, che ingrana direttamente la catena tra un passo e l'altro oppure sui cuscinetti.



1.5.5 Attacchi alla catena

Nei sistemi monorotaia gli attacchi alla catena vengono utilizzati per ancorare le UdT di trasporto al dispositivo di trazione. Gli attacchi possono essere di tipo fisso, oppure provvisti di snodo per mantenere il pezzo verticale anche nei tratti di salita, singoli o doppi, rotanti in quei casi in cui il processo produttivo richieda oltre allo spostamento lungo il percorso del convogliatore, anche la rotazione del pezzo attorno all'asse verticale. (Fig. 1.7)

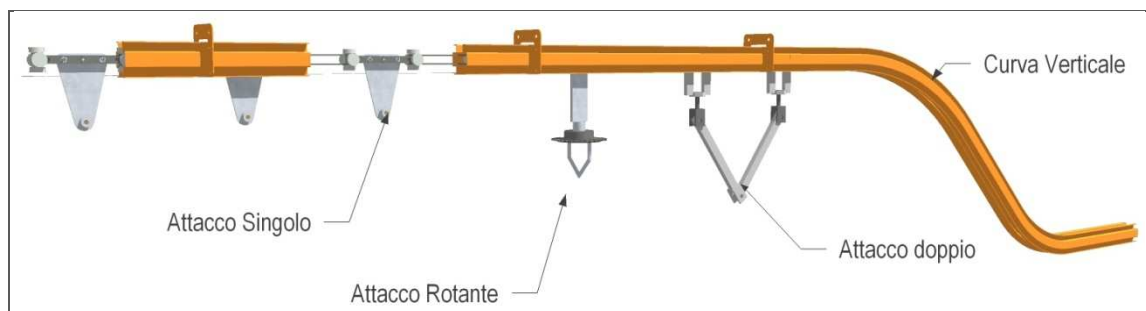


Figura 1.7 – *Diversi tipi di attacchi alla catena per un sistema monorotaia.*

1.5.6 Ganci di trascinamento

Nei sistemi birotaia invece degli attacchi trovano posto i ganci di trascinamento, dispositivi mobili che servono per agganciare e sganciare i trolley dei carrelli. (Fig. 1.8) Attacchi e ganci vengono fissati alle maglie verticali della catena ad una distanza multipla del passo di catena chiamata **passo di trascinamento**. In generale il passo di trascinamento rappresenta la distanza tra un carrello e l'altro in movimento, lungo la linea di trasporto. Nella progettazione di un impianto questo parametro è fisso, e in genere va minimizzato, compatibilmente con le dimensioni delle UdT, in modo da ottimizzare gli spazi e la capacità della linea.

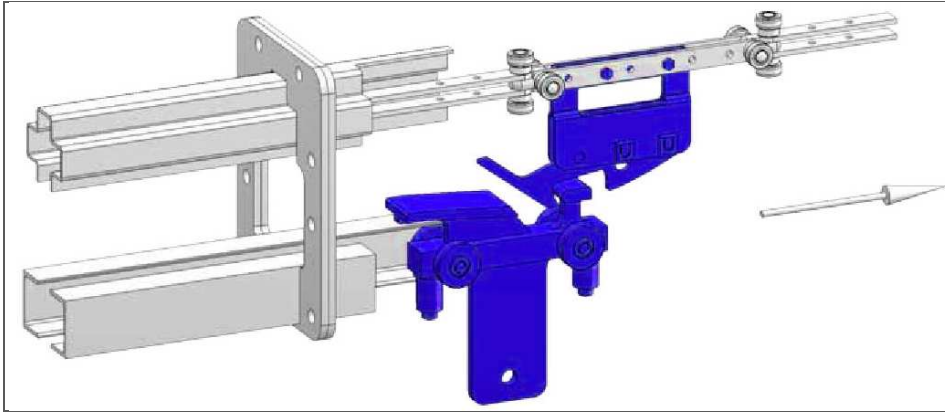


Figura 1.8 – Trolley ingaggiato dal gancio di trascinamento.

1.5.7 Trolley e carrelli

Spesso trolley e carrello vengono considerati la stessa cosa. Più precisamente il trolley è il dispositivo che permette l'aggancio alla catena e lo sgancio per l'accumulo in linea, mentre il carrello è l'UdT di trasporto vera e propria, e può essere a sua volta formata da un trolley singolo, o più trolley connessi insieme da una barra di collegamento. Ogni trolley è formato da un blocco principale e due o più cuscinetti che scorrono nella rotaia inferiore del binario birotaia. Per assolvere alla loro funzione è necessario che il trolley anteriore e posteriore che compongono un carrello siano diversi tra loro. È necessario infatti che il carrello anteriore abbia una *testa* e il trolley posteriore una *coda*. (Fig. 1.9) Quando un carrello è formato da singolo trolley, questo possiede sia testa sia coda nello stesso corpo.



Figura 1.9 – (da sinistra) Trolley anteriore con testa, trolley centrale e trolley posteriore con coda.

Accumulo

Un'altra fondamentale caratteristica del sistema birotaia è la possibilità di accumulo: la particolare costruzione dei trolley fa sì che se un carrello lungo il percorso incontra un altro carrello fermo, quando i due si trovano in prossimità il carrello posteriore viene sganciato dalla catena e si accoda al carrello che lo precede. In questo modo è possibile accumulare più carrelli in buffer in maniera automatica. Esistono due sistemi fondamentali di aggancio/sgancio, a seconda che il meccanismo di sgancio sia a bordo del trolley o viceversa del gancio di trascinamento.

Nel primo caso un sistema di camme e leverismi a bordo del carrello viene azionato (abbassato) dal mutuo accoppiamento del trolley anteriore di un carrello con il trolley posteriore del carrello che lo precede, e il gancio di trascinamento, di tipo fisso, viene sganciato ed il carrello abbandonato. (Fig. 1.10a)

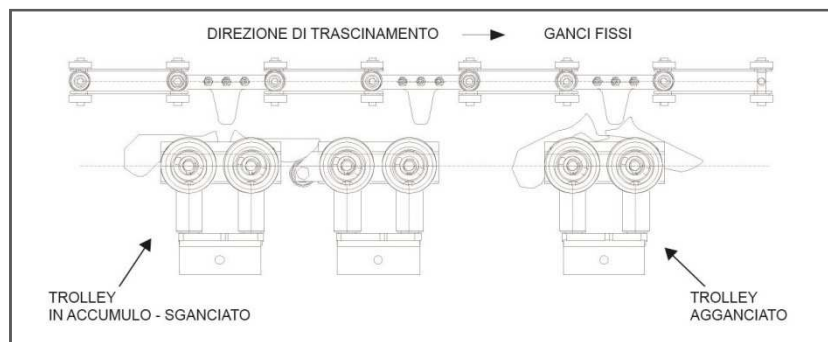


Figura 1.10a – Schema di ingaggio e sgancio del trolley di prima specie.

Con il secondo sistema invece, il meccanismo di sgancio è parte integrante del gancio di trascinamento, che viene ingaggiato o rilasciato a seconda che il trolley sia libero o in accumulo. Lo spessore generato dalla coppia testa-coda di due carrelli in accumulo non permette al gancio di richiudersi nella posizione di aggancio. (Fig. 1.10b)

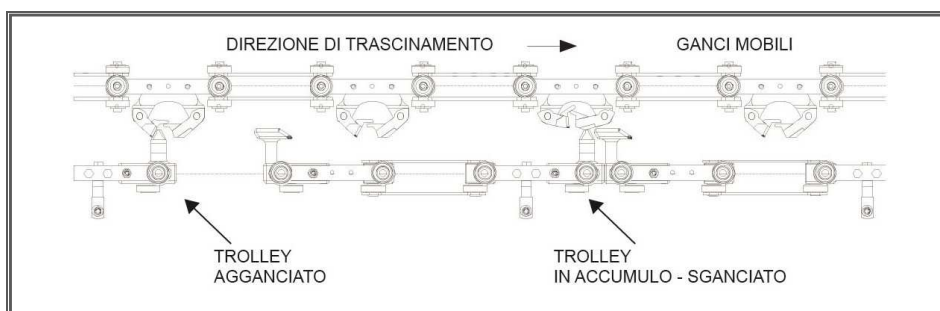


Figura 1.10b – Schema di ingaggio e sgancio del trolley di seconda specie.

Definito il concetto di accumulo, è possibile quindi distinguere dal passo di trascinamento il **passo di accumulo**, che è la distanza tra due carrelli fermi in posizione di buffer. Questa distanza viene calcolata in fase di progetto in funzione delle dimensioni di ingombro dei prodotti trasportati e del passo di trascinamento dei denti sulla catena.

1.5.8 Bilancelle e telai porta-pezzi

Con bilancella si definisce in genere la struttura o telaio su cui viene alloggiato uno o più articoli da trasportare. Questo telaio viene fissato in maniera solidale al convogliatore aereo (agli attacchi catena o ai carrelli birotaia) e ne diventa parte integrante. La bilancella può assumere le forme più disparate a seconda del prodotto che deve trasportare. Può ridursi ad un semplice gancio per prodotti singoli appesi, o essere un telaio complesso per minuterie o ancora una cesta che può accogliere diverse tipologie di prodotti. (Fig. 1.11)



Il tipo di bilancella dipende da:

- dimensioni, forma, caratteristiche fisiche e quantità del prodotto da trasportare
- sistema di deposito e prelievo del prodotto sul convogliatore
- processo produttivo richiesto

Figura 1.11 – Cesta a quattro ripiani
per convogliatore aereo monorotaia

1.5.9 Altri componenti

Nell'ambito dei convogliatori aerei birotaia esistono diversi altri componenti necessari alla realizzazione di un impianto.

Scambi

Gli scambi sono dispositivi meccanici che permettono la deviazione su percorsi diversi. Il principio di funzionamento è il medesimo degli scambi ferroviari: i carrelli vengono deviati su linee diverse (rami) tramite una guida mobile (ago) all'interno dello scambio che collega un ramo o l'altro con il tratto di provenienza. L'ago deviatore viene solitamente attuato da cilindri pneumatici comandati da elettrovalvola o tramite meccanismo a leva e molla. Una volta deviati i carrelli, il nuovo percorso può essere un tratto senza catena a movimentazione manuale, oppure con catena di trazione. (Fig.1.12) Un particolare dispositivo è chiamato *scambio catene*: questo componente, invece di deviare i carrelli, permette il cambio della catena che traina i carrelli. (Fig.1.13)

La classificazione dei dispositivi può essere in relazione alla direzione dei carrelli rispetto allo scambio: scambi di unione quando i carrelli convergono da due rami in un unico tratto, scambi di divisione se viceversa. Una differente classificazione è quella relativa al tipo di azionamento: uno scambio si dice *folle* (o auto-attuato) se l'azionamento viene ad opera stessa del carrello tramite passaggio attraverso lo scambio; scambio *manuale* e scambio *automatico* quando l'azionamento avviene per mezzo di un comando esterno da parte di un operatore o tramite programma di controllo esterno.

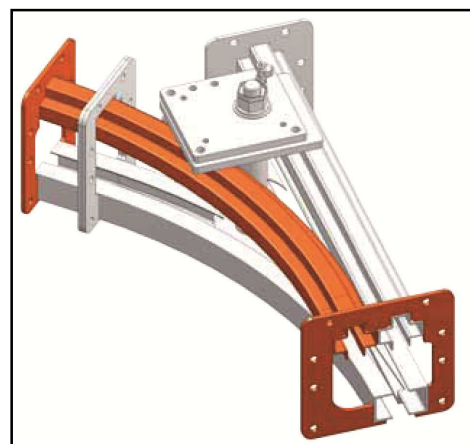


Figura 1.12 – Scambio a linee ravvicinate

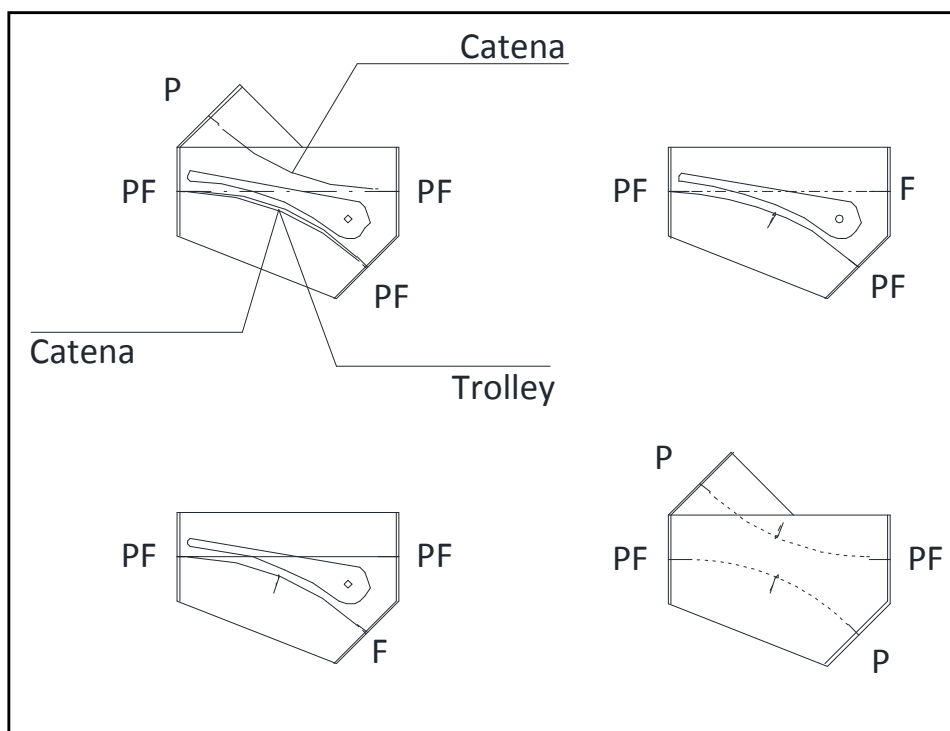


Figura 1.13 – Diversi tipi di scambio

Stazioni di arresto

Le stazioni di arresto, chiamate anche *blocchi* o *stoppers*, vengono posizionate lungo il layout dell'impianto, nei punti dove è necessario fermare il passaggio di carrelli. (Fig.1.14) L'arresto dei carrelli avviene grazie ad una camma che agisce a ridosso del binario all'altezza del passaggio dei trolley. L'azionamento della camma riproduce insieme al carrello che sopraggiunge una situazione di accumulo. Di conseguenza il gancio di trascinamento perde il trolley e il carrello si arresta.

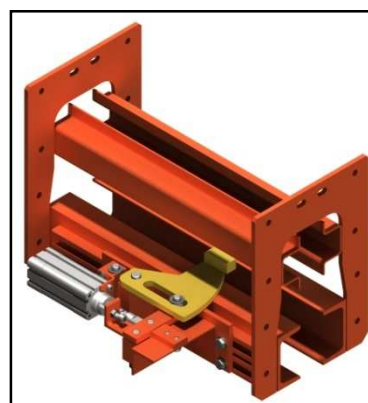


Figura 1.14 – Stazione di arresto

Le circostanze in cui tale evento si verifica sono molteplici. Oltre alle situazioni in cui il carrello deve essere fermo per consentire lo svolgimento del processo produttivo, i blocchi risultano essenziali per la gestione del traffico di carrelli, per gestire le cadenze di flusso e i diritti di precedenza su percorsi convergenti.

Un tipo particolare di blocco chiamato *antiritorno* impedisce che le unità di trasporto possano spostarsi in senso inverso al senso di marcia, sganciati dalla catena di trazione. Questa situazione, che si verifica perché la stazione di arresto agisce soltanto dal lato frontale del carrello, è causata dalle interazioni sul prodotto trasportato con il processo produttivo. La necessità di mantenere un carrello fermo in posizione si fa ancora più cruciale quando si implementano sistemi di conteggio o controlli di presenza in posizione.

Sezioni mobili

Una sezione mobile di convogliatore permette la temporanea rimozione di un tratto di binario free in cui transitano carrelli. L'impiego più frequente è quello di convogliatori che collegano locali separati e che per ragioni diverse richiedano compartimentazione. Questi componenti rientrano quindi nell'ambito delle misure di sicurezza necessarie a mantenere gli impianti entro i requisiti previsti a norma di legge. Il caso più diffuso è quello in cui l'ambiente di lavoro in cui il convogliatore è installato presenta un carico di incendio elevato e richiede l'utilizzo di porte automatiche tagliafuoco.

La sezione mobile è formata da una parte fissa che fa da supporto e da un settore mobile che viene azionato automaticamente dal sistema di allarme antincendio.

Per garantirne il funzionamento in ogni eventualità, l'attuazione vera e propria del meccanismo deve essere indipendente dall'impianto elettrico o pneumatico. Per ottenere questo risultato si utilizza un sistema *a rilascio*: nel normale funzionamento il settore è mantenuto in posizione di chiusura contro una forza respingente (una molla caricata o un leverismo rinviato su un grave sospeso). All'attivazione dell'allarme o in caso di totale blackout il dispositivo viene rilasciato, e l'energia immagazzinata spesa per aprire il settore.

Capitolo 2

Metodologie applicative per magazzini intensivi

2.1 Magazzini intensivi su convogliatori aerei

Un magazzino intensivo è costituito da uno o più convogliatori aerei monorotaia. Alla catena del trasportatore sono fissati a passo dei contenitori appositi, chiamati *ceste*, con pareti laterali, ripiani ed apertura frontale, dove vengono riposti i prodotti da allocare a magazzino. I prodotti per cui è indicato questo tipo di impianto sono tutti quelli che vengono normalmente riposti all'interno di un qualsiasi scaffale, sciolti o inscatolati, non pallettizzati. Per quanto riguarda l'ingombro massimo, si parla di volumi di norma al di sotto dei 500 litri ($0,05 \text{ m}^3$) per UdT di trasporto, ma il convogliatore può essere studiato per articoli di dimensioni maggiori. Vi è invece un vincolo sul peso totale che può essere trasportato, legato al carico massimo che può sostenere la catena di trazione del convogliatore aereo. In genere una cesta piena non supera complessivamente i 60 kg di peso.

Le ceste sono in rete metallica elettrosaldata, e presentano più ripiani per la suddivisione discreta dello spazio di allocazione. La distanza tra una cesta e l'altra e la dimensione delle ceste sono studiate in modo da massimizzare il volume totale usufruibile di magazzino. Il convogliatore aereo si involupa in linee parallele e perpendicolari in modo da riempire tutto lo spazio a disposizione adibito a magazzino. (Fig. 2.1)

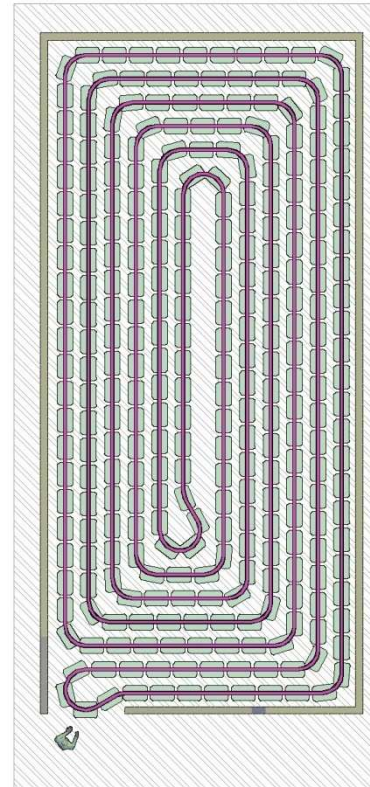
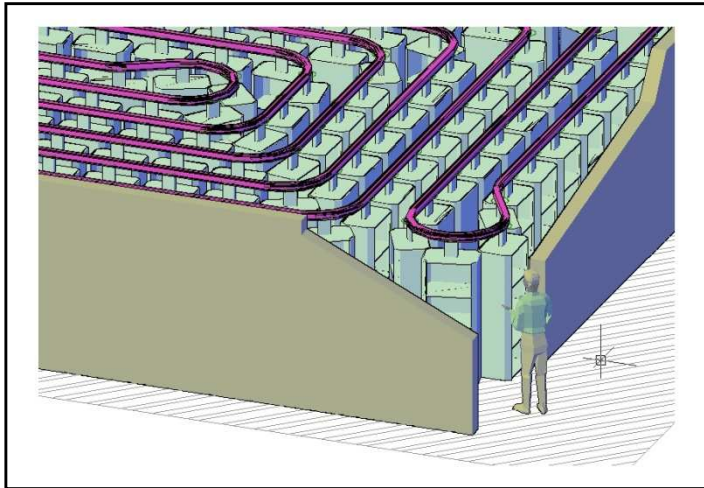


Figura 2.1 – In alto: magazzino intensivo a ceste;
a destra: vista dall'alto.

La prima grande differenza rispetto ad un magazzino tradizionale a scaffali risiede nel concetto di movimento del convogliatore aereo. Le locazioni di magazzino degli scaffali sono sostituite dalle ceste. Se in un tradizionale magazzino statico l'operatore deve muoversi all'interno delle scaffalature per raggiungere le locazioni dei prodotti, nel magazzino intensivo è il convogliatore aereo a spostare le ceste e a portarle ad un unico fronte di lavoro dove si trova l'operatore, chiamato **baia di carico**. Questo genere di macchina viene chiamata anche **carosello**, poiché le ceste scorrono in successione davanti all'operatore finché non viene presentata in baia la cesta con gli articoli richiesti.

I principali vantaggi derivanti dall'utilizzo di questi impianti sono:

- + **Saturazione dello spazio disponibile:** La funzionalità del convogliatore rende superflui tutti gli spazi necessari all'accesso al magazzino, come le corsie tra uno scaffale e l'altro. L'interfaccia con l'operatore è confinata ad una unica zona delimitata. Tutto il resto dello spazio di magazzino è destinato ai prodotti da immagazzinare nel magazzino intensivo.

- + **Riduzione del personale preposto alle operazioni di picking:**
- + **Riduzione dei costi relativi ai servizi come luce e impianti di climatizzazione:** la gran parte del volume di magazzino effettivo resta interdetto agli operatori per cui è possibile ridurre i costi di gestione climatizzando e illuminando soltanto la zona di lavoro dove permangono gli operatori.
- + **Sfruttamento di zone limite del magazzino:** Curve verticali e tratti in salita del convogliatore aereo permettono lo sviluppo del magazzino intensivo su più piani in altezza. Si riescono a raggiungere i livelli più alti dell'edificio, oppure è possibile saturare solo la parte superiore dello stabile e lasciare libero lo spazio a terra per le operazioni ausiliarie di magazzino, ricevimento e spedizione.
- + **Gestione automatizzata del magazzino:** Possibilità di ricerca automatica delle locazioni di magazzino tramite liste di prelievo, integrata con sistema gestionale informatico. Allocazione intelligente dello spazio in funzione delle richieste di distribuzione tramite liste di deposito. Gestione della sicurezza tramite controllo degli "accessi" al magazzino e dei prelievi.

Gli aspetti negativi legati ai magazzini intensivi sono:

- **Maggiore investimento iniziale rispetto ad un magazzino tradizionale:** Paragonato ad un magazzino a scaffale statico, tutta la struttura meccanica di un magazzino intensivo, il montaggio e l'applicazione software di gestione dello stesso necessita di costi iniziali molto maggiori.
- **Manutenzione dei convogliatori:** Di norma localizzata in uno/due interventi annuali di manutenzione ordinaria che prevedono la lubrificazione delle catene, la sostituzione delle parti usurate/danneggiate e la verifica generale del sistema.
- **Non idoneo a prodotti pesanti:** Pur essendo il magazzino intensivo una macchina ad alto grado di personalizzazione secondo le necessità del committente, il tipo di impianto non è adatto per trasporto e allocazione di carichi pesanti: i convogliatori aerei che formano il magazzino di norma hanno catene piuttosto lunghe, e di conseguenza le UdT non devono superare nel totale il carico sostenibile di tiro.

2.2 Progettazione del magazzino

2.2.1 Dimensionamento

La fase iniziale della progettazione del magazzino è l'analisi dello spazio a disposizione destinato alle macchine che lo compongono. Solitamente viene utilizzata un'area che interessa diversi piani in verticale, per cui il magazzino si sviluppa su più livelli in altezza.

Il progetto si esegue con disegno tecnico a CAD delle macchine, partendo dalla pianta del fabbricato e dei layout di impianto esistenti, ed eventualmente dai rilievi, eseguiti in loco, di eventuali ingombri non presenti a disegno. Una volta definito lo spazio disponibile, i limiti sostanziali che vincolano il progetto sono di due tipi

- Vincoli di interferenza: tengono conto degli ingombri di convogliatori, carpenterie di sostegno e impianti esistenti, fabbricato.
- Vincoli di macchina: connessi con le caratteristiche dei convogliatori.

In questa sede vengono analizzati cinque magazzini sviluppati su un unico livello, diversi per estensione e numero di macchine, dato uno stesso spazio a disposizione. L'area in esame misura 400 m². Le macchine considerate sono tra loro omogenee e saturano tutto lo spazio disponibile. Ogni macchina è costituita da un convogliatore aereo monorotaia indipendente, attrezzato con ceste. A parità di spazio a disposizione quindi, un maggiore numerosità di macchine corrisponde a catene più corte. I vincoli imposti dal convogliatore sono riassunti nella tabella seguente.

Vincolo	u.m.	Valore
Lunghezza massima catena	m	~ 300
Raggio minimo curve	mm	600
Passo attacchi ceste	mm	800
Dimensione ceste	mm	450 x 600 x (H) 1650

Tabella 2.1 – Vincoli tecnici legati al convogliatore utilizzato.

La lunghezza massima consentita per la catena delle macchine è legata al tiro massimo sostenibile.

Il tiro massimo sulla catena è funzione della grandezza del magazzino e del peso caricato su tutte le ceste secondo la formula

$$T = K_r (P_c \cdot S v_c + P_{udc} \cdot n_{udc}) \quad [\text{kgf}] \quad (2.1)$$

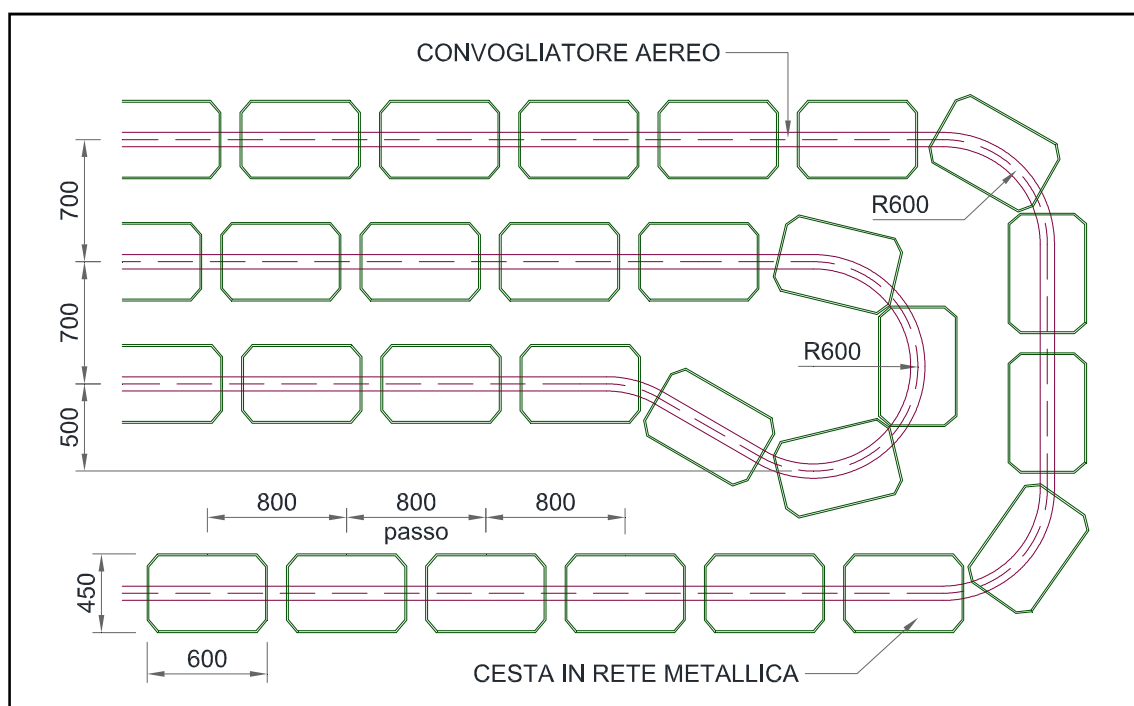


Figura 2.2 – Dimensioni principali convogliatore aereo e ceste.

dove P_c e P_{UdT} sono rispettivamente il peso di un metro di catena (kg_f/m) e il peso di una cesta, somma della struttura della cesta e del peso ammissibile dichiarato; Sv_c è lo sviluppo totale in metri di catena di un singolo convogliatore aereo e n_{UdT} il numero di ceste agganciate al singolo convogliatore. Viene utilizzato un coefficiente correttivo di rotolamento $K_r = 0.05$ dovuto all'attrito ridotto sui cuscinetti di catena. Qualora fossero presenti tratti di salita e discesa del convogliatore bisognerebbe tenerne conto nel calcolo del tiro. Il valore di T non deve superare quello imposto dalla resistenza dei componenti più sollecitati, che nel caso di queste macchine sono nel gruppo di trazione.

Il raggio di curvatura e la distanza tra due ceste lungo la catena dipendono dalle dimensioni della cesta e dalla catena utilizzata. (Fig. 2.2)

Le caratteristiche delle cinque configurazioni analizzate sono elencate in tabella 2.2, nelle figure 2.3 – 2.7 sono schematizzati i magazzini e le baie di picking.

	u.m.	A	B	C	D	E
macchine	n°	2	3	4	5	6
sviluppo singola catena	m	257.6	168.8	119.2	95.2	79.2
sviluppo totale	m	515.2	506.4	476.8	476	475.2
ceste singola macchina	n°	322	211	149	119	99
ceste totali	n°	644	633	596	595	594

Tabella 2.2 – Caratteristiche delle macchine analizzate.

Come si può notare in tabella, la capacità complessiva del magazzino ha un andamento decrescente (seppur lievemente) con il numero di macchine. Questo accade perché ogni ulteriore catena richiede spazio aggiuntivo per potersi richiudere in anello completo.

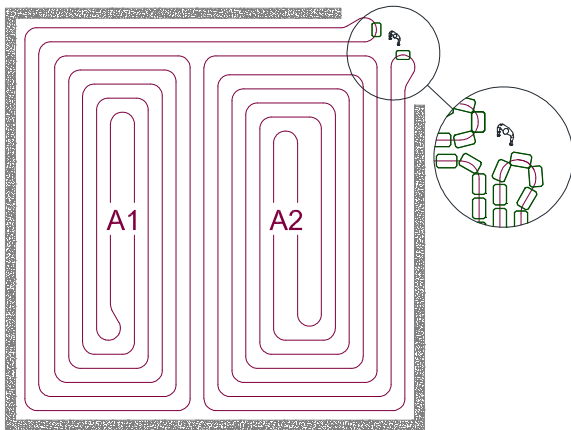


Figura 2.3 – Magazzino vers. A, 2 macchine
e particolare baia di prelievo

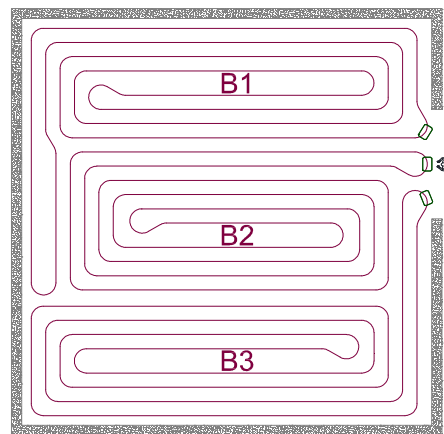


Figura 2.4 – Magazzino vers. B, 3 macchine

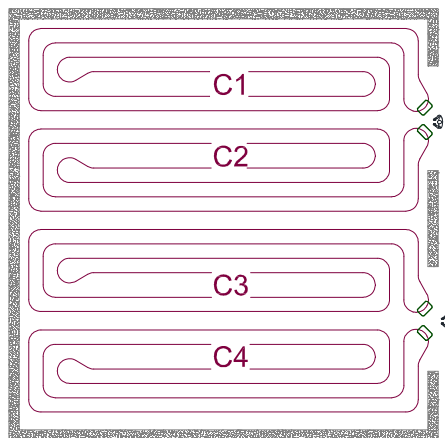


Figura 2.5 – Magazzino vers. C, 4 macchine

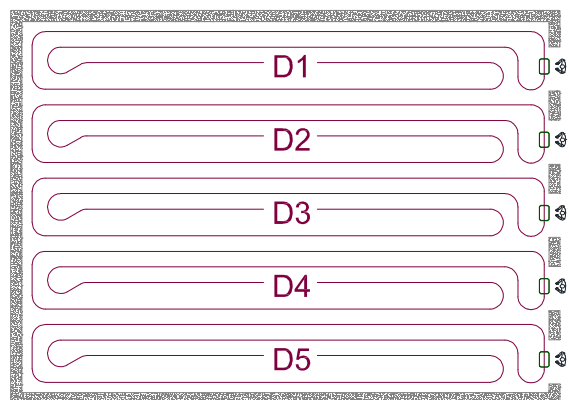


Figura 2.6 – Magazzino vers. D, 5 macchine

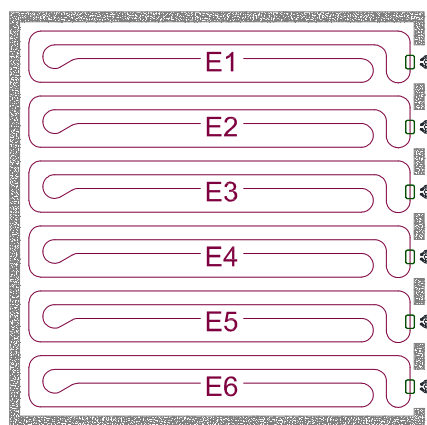


Figura 2.7 – Magazzino vers. E- 6 macchine

2.2.2 Funzionamento dei magazzini intensivi

Il funzionamento del magazzino intensivo avviene grazie alla movimentazione delle unità di trasporto, le ceste. Queste vengono mosse simultaneamente dalla catena a cui sono solidamente agganciate, lungo il percorso del convogliatore aereo fino alla baia di deposito/prelievo, in modo che la cesta richiesta sia disponibile all'operatore per le operazioni di prelievo o deposito dei prodotti. Ogni cesta è una unità di allocazione ed è univocamente identificabile tramite numerazione progressiva.

L'azionamento elettrico e il conseguente spostamento della catena può avvenire secondo tre tipi di logica:

- Manuale a vista
- Per ricerca automatica
- Tramite lista

Nel primo caso l'operatore che necessita di una locazione di magazzino, esegue il comando di marcia avanti (o indietro) e ne arresta il moto quando verifica la presenza della cesta in baia. In questo caso è necessaria la presenza costante dell'operatore sul fronte di carico/scarico.

Con la *ricerca automatica* l'operatore digita su un pannello operativo il numero della cesta richiesta. Il software di automazione a bordo del plc della macchina, tramite un sistema di controllo ad encoder, esegue il conteggio necessario a spostare i metri di catena che separano la cesta presente in baia da quella richiesta, nel tragitto più breve. Il sistema gestisce in maniera autonoma il *percorso migliore*. Decide cioè il senso di marcia della catena del convogliatore in funzione della distanza minore da percorrere. (Fig. 2.8). Questo tipo di funzionamento non richiede il presidio costante dell'operatore, ma solo durante le effettive fasi di prelievo e deposito, e per la richiesta della locazione. In tal modo è possibile operare simultaneamente su macchine diverse, sfruttando la sovrapposizione dei tempi di ciclo tra una locazione richiesta e la seguente.

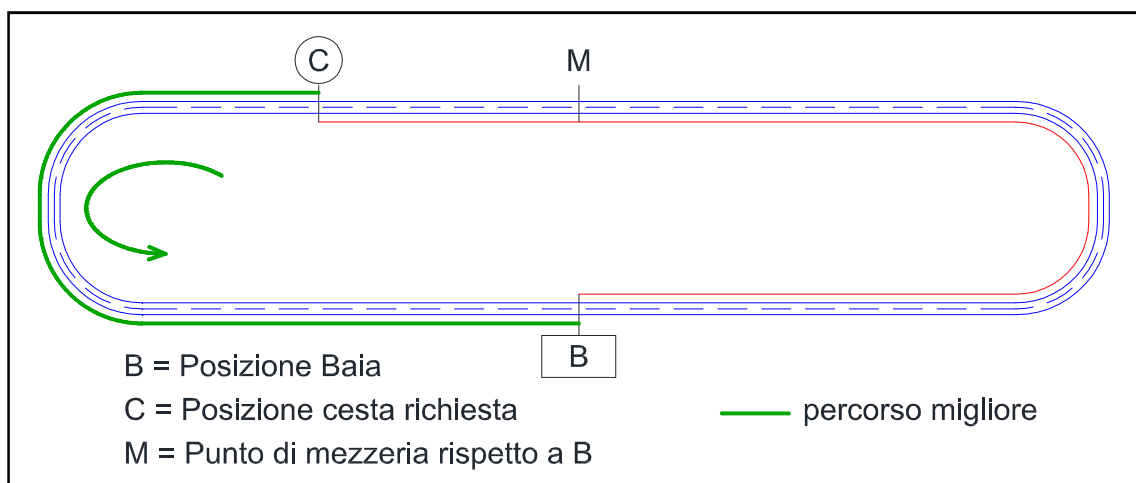


Figura 2.8 – Logica di movimento delle locazioni di magazzino.

L'azionamento tramite *lista* si basa sullo stesso principio della ricerca automatica di cui condivide la logica di funzionamento, ma a maggior grado di automazione. Un sistema elettronico di controllo si occupa di movimentare le diverse locazioni di magazzino secondo una lista di indirizzi che rappresenta un ordine di prelievo o di deposito o un mix dei due. Per una lista data, l'algoritmo di ricerca sceglie di volta in volta l'elemento che si trova più vicino, in un senso di marcia o l'altro, alla posizione iniziale. In questo caso l'attività dell'operatore si limita alla trasmissione dei consensi di avvio macchina, per confermare l'avvenuta operazione di picking. Questa applicazione si presta all'integrazione con i sistemi ERP di magazzino che si occupano della gestione contabile e fisica del magazzino. Le liste di prelievo sono in forma di basi dati. In questo modo il lancio delle query di prelievo viene gestito esclusivamente su piattaforma software.

L'utilizzo di più macchine gestite simultaneamente dallo stesso sistema di ricerca per lista consente di ridurre drasticamente i tempi di accesso alle locazioni di magazzino sfruttando la sovrapposizione dei tempi ciclo macchina.

Per approfondimenti sull'*organizzazione del magazzino* si rimanda al capitolo relativo (§2.4.3)

2.3 Funzione di costo

2.3.1 Famiglie di costo

I convogliatori, come tutte le attrezzature e dispositivi di movimentazione non aggiungono valore ai prodotti o semilavorati o qualsivoglia parte trasportata. Non cambiano la forma, o modificano in alcun modo il prodotto. Rendono possibile sostanzialmente un servizio e come tale hanno un loro peso nell'ambito dei costi generali.

Lo studio della funzione di costo ha portato alla sintesi delle voci di costo principali che partecipano al costo totale necessario per le configurazioni di macchine della simulazione.

Una prima suddivisione può essere fatta per tipologia di componente installato. In questo caso si distinguono le voci per fornitura di parte meccanica, parte elettrica e sw, struttura di sostegno, montaggio e test della macchina. Questi costi potrebbero a loro volta essere riclassificati in costi di progettazione, produzione e installazione.

Al fine di ottenere una funzione rilevante dal punto di vista applicativo per il calcolo del costo totale di un magazzino intensivo, sono state raggruppate ed isolate tutte le voci di costo significative in 3 famiglie di appartenenza:

- C_f costi fissi, indipendenti dalla grandezza dell'impianto
- C_{ci} costi legati al tipo e numerosità di alcuni componenti
- C_v costi che variano linearmente con la dimensione della macchina (lunghezza della catena)

2.3.2 Analisi di costo

Qualsiasi voce di costo può essere ridotta ad una delle tre categorie sopra menzionate. Le singole voci di costo sono riassunte di seguito (Tab. 2.3)

Nei costi fissi C_f troviamo tutti i costi che vengono imputati una sola volta per macchina e che sono indipendenti dalla dimensione e dalla forma del magazzino. Di questa specie fanno parte i gruppi meccanici del traino e dei componenti ausiliari, l'hardware elettrico o i costi di licenza software per il programma di automazione.

	Tipi di costi	Voci di costo
C_f	Costi fissi	gruppo traino – gruppo tensione - ispezione impianto elettrico montaggio gruppi meccanici fissi montaggio impianto elettrico licenze software
C_{ci}	Costi componenti	curve di binario orizzontali e verticali ancoraggi speciali
C_v	Costi variabili	catena biplanare binario monorotaia rettilineo ceste - attacchi alla catena carpenteria di sostegno montaggio convogliatore aereo montaggio carpenterie di sostegno

Tabella 2.3 – Famiglie e voci di costo.

Ai costi C_{ci} appartengono i costi dei componenti che variano in funzione della particolare forma del magazzino, e che è necessario enumerare di volta in volta. Nella pratica, quando si costituisce la quotazione per questo tipo di macchine, la numerosità

di costi di questo tipo è piuttosto elevata. Nello svolgimento di questa analisi ove possibile questi costi sono stati convertiti nelle altre due tipologie di costi fissi o variabili linearmente.

Alla famiglia di costi variabili C_v appartengono tutte quelle voci che sono direttamente proporzionali alla dimensione dell'impianto. Ne sono un esempio il costo della catena appunto, o il costo dei binari rettilinei. A questa famiglia vengono aggiunti anche tutti quei costi desunti empiricamente ed assimilati ad una funzione della dimensione dell'impianto. Il costo relativo al montaggio dei componenti meccanici ad esempio si divide in una parte di costi fissi, ed una parte proporzionale alla lunghezza della catena che si può esprimere tramite un coefficiente di conversione orario, da moltiplicare per il costo orario della manodopera.

E' stato studiato l'andamento dei costi in funzione delle 5 simulazioni di magazzino analizzate.

I costi fissi possono essere visti come una base di partenza per la valutazione economica di qualsiasi magazzino intensivo a prescindere da quale sia la sua estensione o la sua forma. Essi sono direttamente legati al numero delle macchine per cui i punti che ne rappresentano l'andamento giacciono su una retta. (Fig. 2.9)

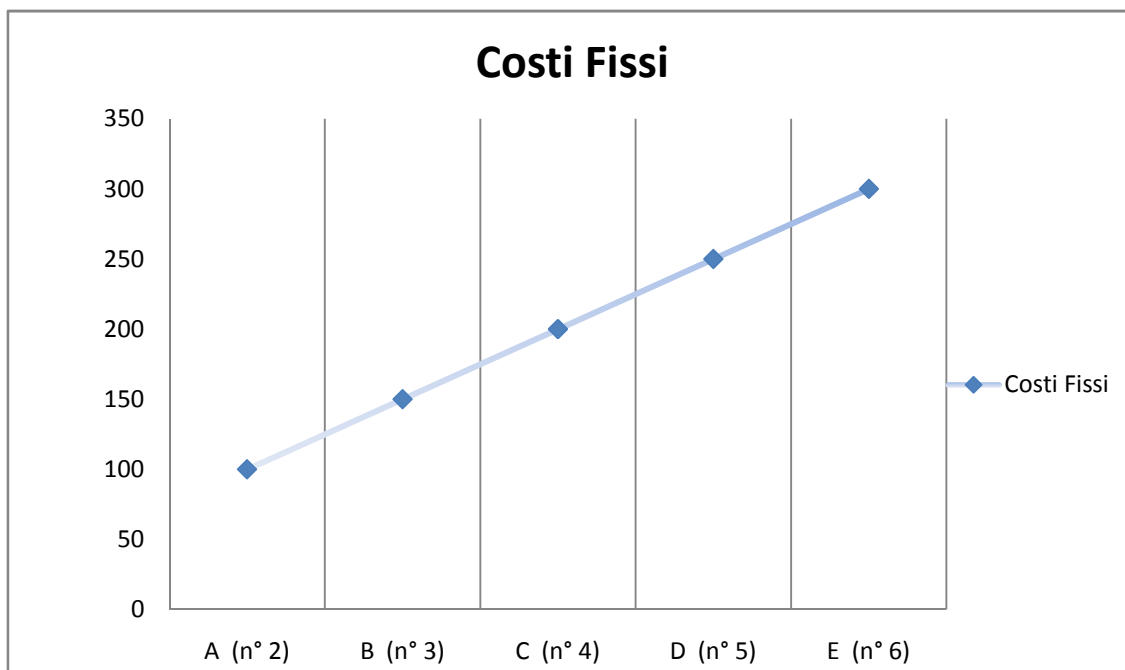


Figura 2.9 – Curva dei costi fissi.

I costi componenti sono quelli legati al numero delle curve orizzontali.(Fig. 2.10) Questo componente non può essere parametrizzato perché dipende dalla forma del magazzino (che a sua volta dipende da forma e dimensione della spazio a disposizione). Come si vedrà più oltre, il contributo di questi costi è modesto se rapportato alle altre due tipologie. Nei casi in esame si può notare una certa linearità per le versioni di magazzino che hanno lo stesso rapporto tra larghezza e lunghezza (Fig 2.3) mentre presenta un andamento diverso per la versione di magazzino D che ha forma diversa rispetto alle altre versioni. In ascissa del grafico è riportato il numero di curve per ogni simulazione.

In questa analisi diversi elementi che in genere rappresentano voci di costo a sé sono stati ridotti a costi variabili in modo da rendere più immediato e funzionale il risultato della metodologia. Nonostante fosse possibile in buona approssimazione riportare anche il costo delle curve alla dimensione dei magazzini, si è preferito mantenerlo separato, per evidenziare la dipendenza della voce dalla forma del magazzino.

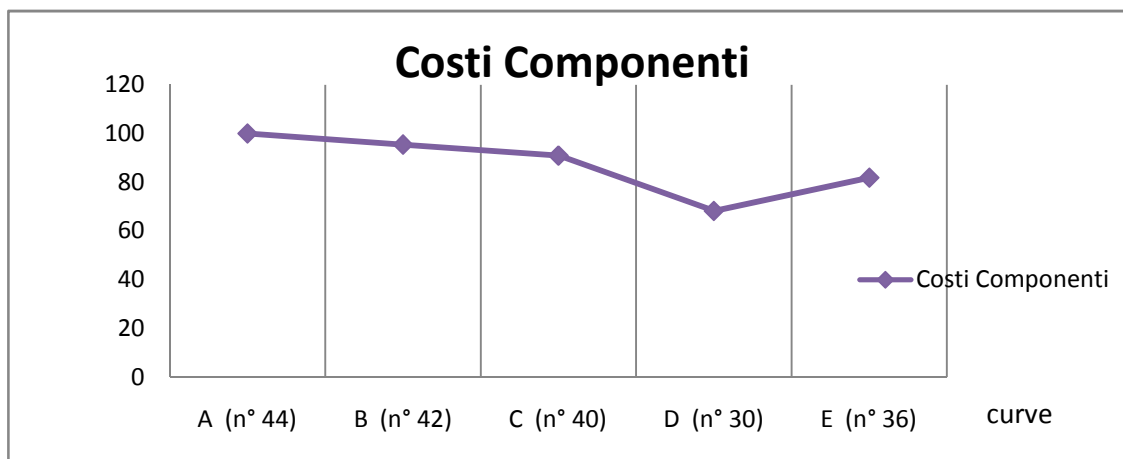


Figura 2.10 – Curva dei costi componenti: curve orizzontali.

Il costo delle ceste e degli attacchi di fissaggio alla catena è stato riferito al metro lineare tramite un coefficiente pari al passo di trascinamento, espresso in metri. Il costo per le carpenterie e le strutture di sostegno si può anch'esso ridurre ad un costo per unità di lunghezza in quanto la portata richiesta che determina la maggiore rigidità delle strutture di cui un maggior costo, risulta omogenea su tutti i tratti di linea del convogliatore aereo e può essere riferita ad una porzione unitaria dello stesso. Eccezion fatta per la struttura di sostegno del gruppo traino, che richiede una valutazione a parte, e viene conteggiata tra i costi fissi. Il montaggio delle strutture di sostegno e dei convogliatori aerei può similmente essere valutato come la frazione oraria necessaria ad installare una porzione di impianto, e quindi riferita all'unità di lunghezza.

All'aumentare del numero delle macchine, dalla versione A alla versione E, diminuisce complessivamente la lunghezza totale delle catene e di conseguenza i costi variabili.

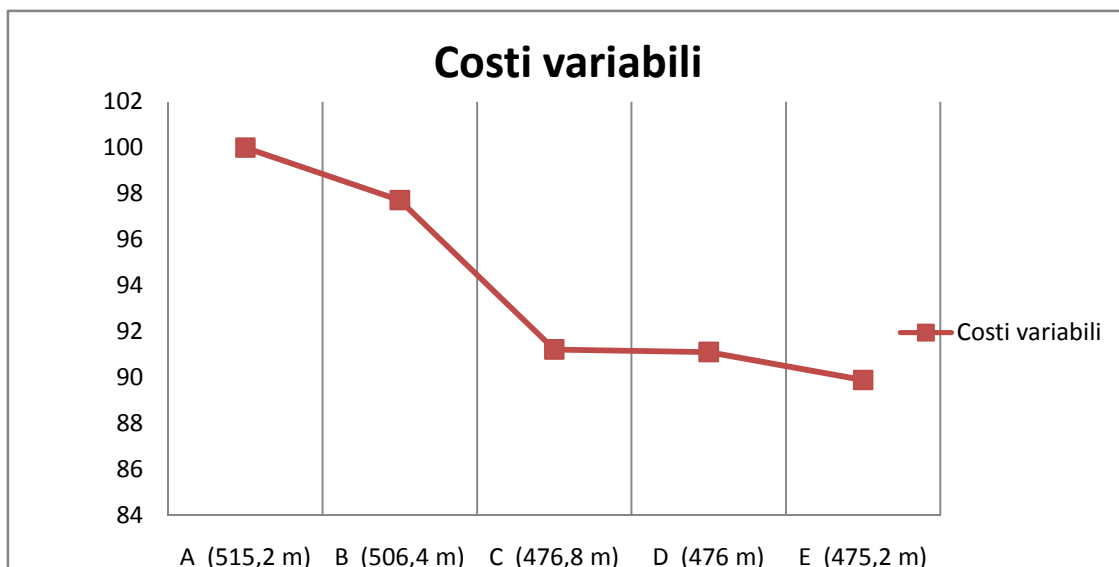


Figura 2.11 – *Curva dei costi variabili.*

La somma delle curve sopra riportate è disegnata nel grafico sottostante che riporta i costi totali (Fig. 2.12): si può notare che il contributo maggiore è dato dai costi fissi, che determinano l'andamento della curva crescente con il numero di macchine installate. L'andamento decrescente della curva dei costi variabili, che segue l'andamento della dimensione dei magazzini, diminuisce la pendenza dei costi totali. Questo contributo diviene trascurabile quanto più si riesce a mantenere costante la dimensione totale del magazzino.

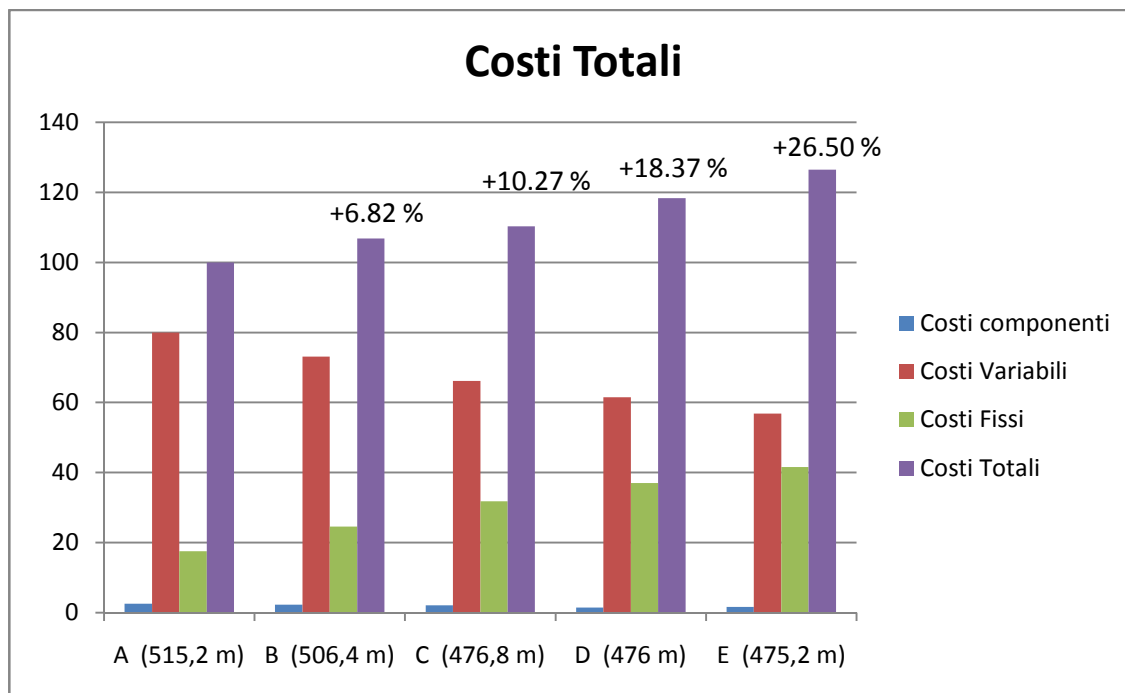


Figura 2.12 – Istogramma dei costi totali.

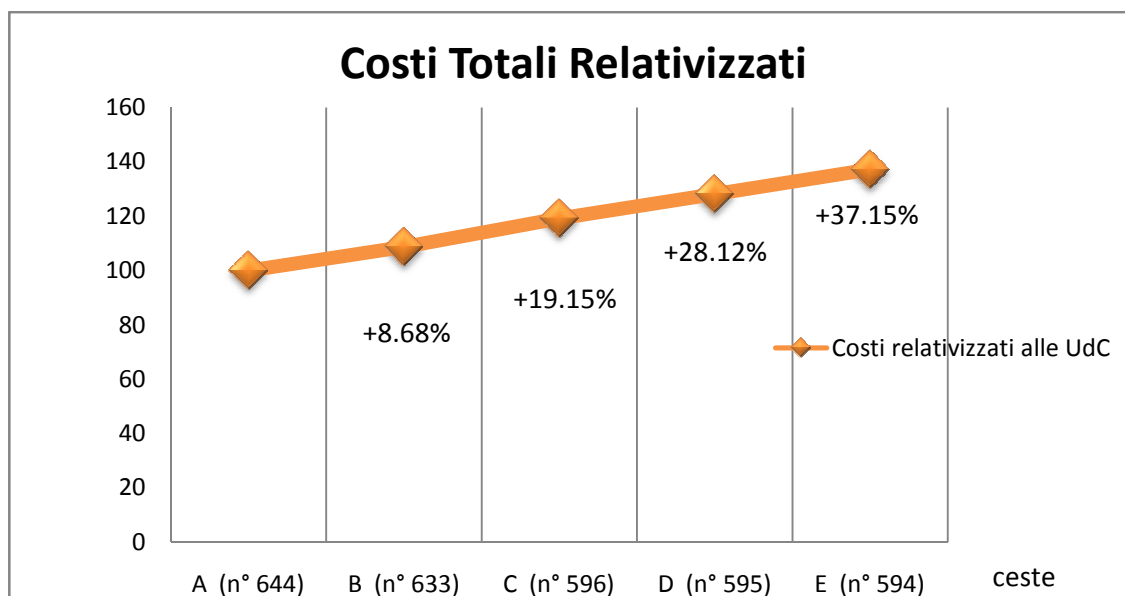


Figura 2.13 – Curva dei costi totali relativizzati alla singola unità di trasporto/carico.

Nel grafico successivo (Fig. 2.13) è mostrato invece il costo relativizzato alla singola unità di trasporto. È possibile notare come varia il costo unitario di ogni locazione di magazzino, a partire da una configurazione estesa a due macchine, fino alla

configurazione a 6 convogliatori. Sotto la curva è indicato l'aumento percentuale del costo unitario della configurazione in oggetto, rispetto alla configurazione più economica (A).

A parità quindi di spazio utilizzato, aumentando il numero di macchine installate aumenta il costo totale del magazzino e diminuisce la capacità totale in termini di locazioni disponibili. Aumentano invece, e vedremo come, le performance di prelievo in termini di pezzi prelevati nell'unità di tempo.

Nell'ipotesi invece di non aver vincoli di spazio, e riportando tutti i magazzini esaminati alla stessa dimensione totale, la curva dei costi variabili diventa invariante ed il solo contributo all'andamento del costo totale sarà dato dai costi fissi e (marginalmente) dai costi componenti.

L'espressione generica per la valutazione del costo totale di una macchina assume questa forma:

$$C_T = C_f + \sum_i (C_{c_i} \cdot x_i) + C_v \cdot Sv_c \quad [\$] \quad (2.2)$$

dove Sv_c indica lo sviluppo in metri di catena mentre x_i esprime la numerosità del componente i -esimo significativo, preso in considerazione nella computazione del costo totale.

Dato il modesto contributo dei costi componenti al costo totale di un magazzino, essi possono in questa sede essere assimilati a costi variabili. Questa situazione si verifica solo per macchine omogenee con alto grado di similarità. In genere invece nelle valutazioni di costi nell'ambito dei convogliatori aerei, i costi componenti sono una voce cospicua per numerosità e peso, e dipendono dallo specifico layout di impianto.

2.4 Studio delle performance

Lo studio delle prestazioni dei magazzini intensivi oggetto di questa analisi è stato svolto eseguendo simulazioni di funzionamento per valutare i tempi ciclo in funzione delle variabili di maggior interesse.

Come ambito di indagine si è considerato lo studio del solo picking a magazzino, ovvero l'attività di prelievo di oggetti dalle ceste. Come si vedrà oltre, il caso del deposito a magazzino, fase speculare a quella del picking, può essere comunque ricondotta a quella del prelievo e condividerne le performance.

Il prelievo avviene secondo una lista detta *picking list*, che contiene il tipo e la numerosità degli articoli da prelevare, e l'ordine di prelievo.

Quando ad esempio l'operatore deve eseguire un prelievo di due prodotti e questi non si trovano nella stessa locazione, dovranno essere eseguite in serie due operazioni distinte.

L'ordine di prelievo viene generato dal sistema attraverso l'utilizzo razionale della mappatura del magazzino. Tutti i prelievi sono riordinati secondo il prossimo tragitto migliore. Vengono quindi assegnati, all'interno dello stesso ordine, livelli di priorità di prelievo che ottimizzano il tempo di evasione picking.

2.4.1 Il tempo ciclo

Per *tempo ciclo* in questa sede si intende il tempo che intercorre tra l'istante in cui viene eseguita la richiesta di una specifica locazione di magazzino e il momento in cui la cesta è resa disponibile nella baia di prelievo perché l'articolo che contiene possa essere prelevato dall'operatore.

Il tempo necessario a compiere un ciclo di prelievo è funzione della posizione relativa della UdT richiesta rispetto alla baia di prelievo, lungo il percorso migliore compiuto dal convogliatore. In questo tipo di magazzino, poiché vengono utilizzati entrambi i sensi

di marcia, questa distanza sarà sempre minore della mezza lunghezza della catena della singola macchina. Il punto medio dell'anello di catena rispetto alla baia viene indicato con **M** e rappresenta quindi il punto più distante dalla baia.

Si noti che lo spostamento del magazzino avviene in maniera globale e simultanea. Questo significa che se in baia ad esempio è presente la cesta 001, e viene richiamata la posizione di magazzino più

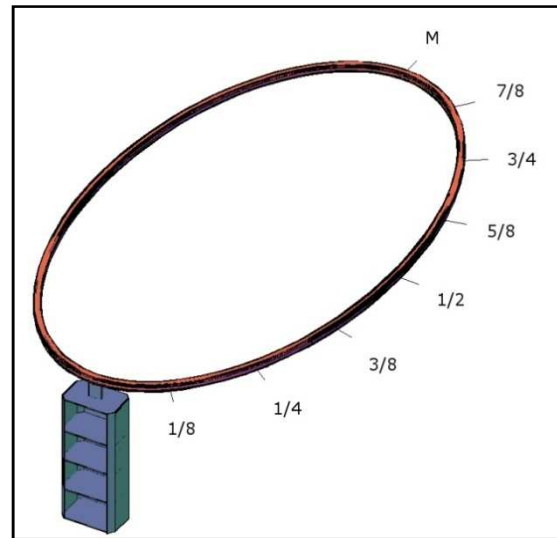


Figura 2.14 – Frazionamento del magazzino.

lontana rispetto alla baia, quando la cesta richiesta avrà raggiunto l'operatore, nella posizione più lontana sarà presente la cesta 001. Per questo motivo ogni prelievo è sequenziale e la distanza della cesta in arrivo è sempre relativa al prelievo precedente. Questa caratteristica può essere paragonata al caso in cui un operatore effettua diversi prelievi in un magazzino statico a più scaffalature: il tragitto per raggiungere il prelievo seguente dipende dalla posizione attuale.

Per analizzare l'andamento delle prestazioni, la simulazione è stata eseguita prendendo come campioni dei punti noti, corrispondenti ad intervalli costanti, in cui è stata suddivisa di volta in volta la catena delle diverse macchine. L'intervallo di interesse è stato scelto pari ad un multiplo dell'ottava parte della distanza tra la baia di prelievo e la posizione più lontana. (Fig. 2.14) Vengono così prese in considerazione sia le posizioni di magazzino più lontane sia le più prossime al punto di picking.

Il calcolo dei tempi ciclo di macchina è stato eseguito per mezzo dei seguenti valori noti: La velocità massima V_{max} del convogliatore aereo per questo utilizzo si attesta a circa 18 metri al minuto ovvero 0.3 m/s. Per muovere la catena, il gruppo traino che è comandato da regolatore di frequenza, aumenta la velocità da 0 a V_{max} e la decelera nuovamente a 0 quando la cesta richiesta è sulla baia di prelievo. Le rampe di

accelerazione e di decelerazione si possono ritenere lineari con accelerazione costante pari a 0.15 m/s^2 .

Dalle equazioni che descrivono il moto uniformemente accelerato

$$v = at + v_0 \quad [\text{m/s}] \quad (2.3)$$

$$s = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + s_0 \quad [\text{m}]$$

con le condizioni iniziali date si trova che sono necessari $t_1 = 2 \text{ s}$ e $s_1 = 300 \text{ mm}$ di spazio per raggiungere la velocità massima, e lo stesso tempo e spazio per fermare il convogliatore, ad ogni ciclo di prelievo.

Indicata con d la distanza, lungo il percorso del convogliatore, che separa la baia di prelievo dalla posizione di magazzino che si vuole richiamare, il tempo ciclo è dato da

$$t_c = 2t_1 + \frac{d - 2s_1}{V_{\max}} \quad [\text{s}] \quad (2.4)$$

A parità di peso delle unità di trasporto, macchine con lunghezza diversa hanno requisiti di potenza differenti. In linea di principio quindi sarebbe possibile a parità di potenza erogata dal motore, aumentare la velocità delle macchine di taglia inferiore rispetto a quelle con catene più lunghe. Nella pratica invece la velocità non viene innalzata oltre il valore V_{\max} che viene mantenuto costante per tutte le macchine. La ragione di ciò risiede nel fatto che oltre tale valore di velocità si generano forti vibrazioni, tra i cuscinetti della catena e i binari di contenimento, il cui risultato è una eccessiva usura delle curve di binario (tratti maggiormente sollecitati) e soprattutto forte inquinamento acustico. Per aumentare la velocità di soglia è comunque possibile limitare le vibrazioni utilizzando catene con cuscinetti rivestiti in materiale plastico ad elevate prestazioni che tuttavia aumentano considerevolmente il costo della macchina.

Riscrivendo la (2.4) come

$$t_c = \frac{d}{V_{\max}} + 2 \left(t_1 - \frac{s_1}{V_{\max}} \right) \quad [\text{s}] \quad (2.5)$$

e considerando che V_{\max} , t_1 e s_1 per macchine omogenee sono costanti, si vede come il tempo ciclo dipenda soltanto dalla distanza d .

$$t_c = \frac{d}{V_{\max}} + K_t \quad [\text{s}] \quad (2.6)$$

Con la costante di tempo $K_t = 2 \text{ s}$

Ad esempio il tempo richiesto per spostare in baia la cesta più prossima a quella presente ($d = 800 \text{ mm}$) sarà pari a $t_c = 4.667 \text{ s}$.

Nelle seguente tabella sono elencati i diversi tempi ciclo calcolati per singola macchina e riferiti alle posizioni intermedie lungo la catena (vedi Fig. 2.14).

Posizione raggiunta	A – 257.6 m	B – 168.8 m	C – 119.2 m	D – 95.2 m	E – 79.2 m
M	7m, 11s	4m, 43s	3m, 21s	2m, 41s	2m, 14s
7/8	6m, 18s	4m, 8s	2m, 56s	2m, 21s	1m, 58s
3/4	5m, 24s	3m, 33s	2m, 31s	2m, 1s	1m, 41s
5/8	4m, 30s	2m, 58s	2m, 6s	1m, 41s	1m, 25s
1/2	3m, 37s	2m, 23s	1m, 41s	1m, 21s	1m, 8s
3/8	2m, 43s	1m, 48s	1m, 17s	1m, 1s	0m, 52s
1/4	1m, 49s	1m, 12s	0m, 52s	0m, 42s	0m, 35s
1/8	0m, 56s	0m, 37s	0m, 27s	0m, 22s	0m, 19s

Tabella 2.4 – Tempi calcolati riferiti alle posizioni intermedie di macchina.

Nel grafico riportato oltre (Fig. 2.15) si può notare come varia, in funzione della lunghezza, il tempo di accesso a posizioni via via più distanti dalla baia di prelievo. Linee parallele all'asse orizzontale rappresentano, tra macchine di diversa dimensione, prestazioni equivalenti. Se ne deduce che nell'utilizzo della singola macchina conviene, all'aumentare della dimensione, raggruppare in zone contigue gli elementi a più alto tasso di prelievo.

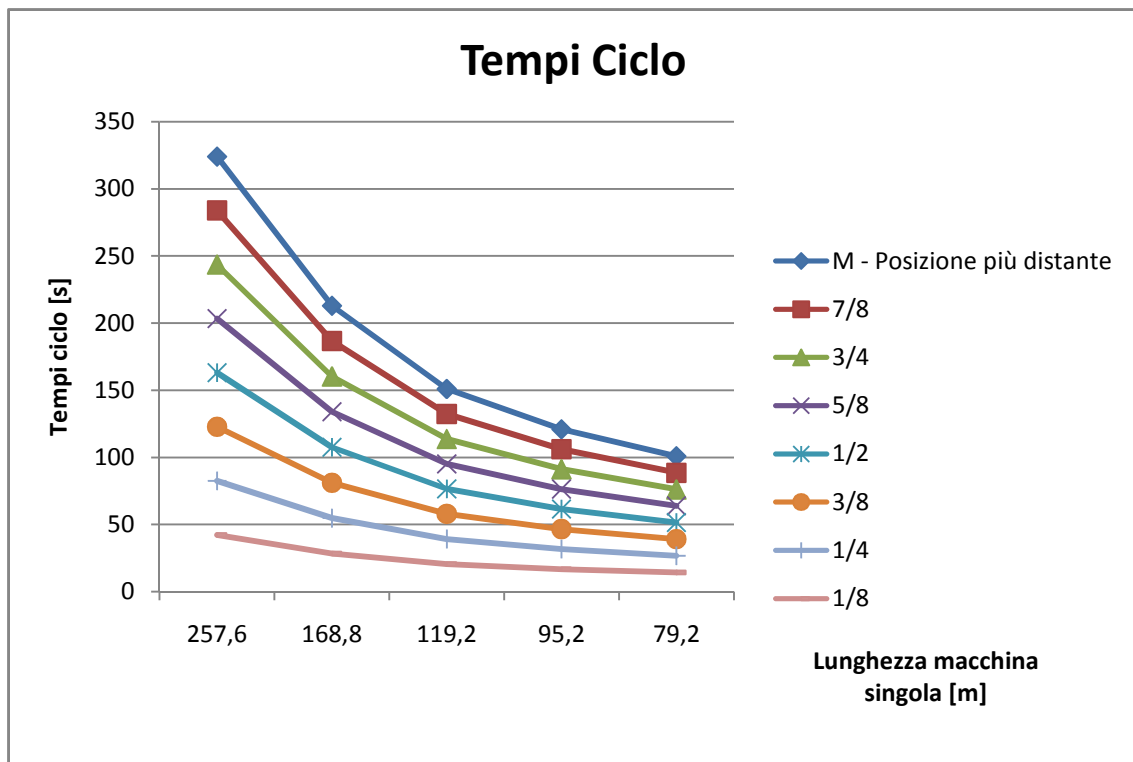


Figura 2.15 – Curve dei tempi ciclo per posizioni definite, macchine singole.

2.4.2 Organizzazione del magazzino

Per meglio comprendere l'ambito di questa analisi è necessario fare un ulteriore chiarimento riguardo le logiche che governano il magazzino.

A prescindere dalla tipologia e quantità di articoli che entrano ed escono da un magazzino, o da quali che siano la provenienza o la destinazione, si possono in ogni caso distinguere per ogni magazzino tre fasi principali di operatività. Queste fasi sono il

ricevimento, lo stoccaggio e la distribuzione, e identificano rispettivamente l'ingresso, la permanenza, e l'uscita della merce dal magazzino.

Esistono due fondamentali categorie per la gestione degli approvvigionamenti e dello stoccaggio della merce:

- per articolo
- per cliente

In un magazzino organizzato per articolo tutti gli item, o codici, uguali o della stessa famiglia sono raggruppati in zone contigue del magazzino.

In un magazzino ordinato per cliente invece gli articoli vengono stoccati o *messi a dimora* secondo un criterio dato da una lista chiamata ordine cliente o *order list*.

Nell'ordine cliente sono elencati tutti gli articoli che condividono una destinazione comune. All'interno dell'ordine cliente sono presenti le *righe ordine* in cui per ogni item viene definito assortimento e numerosità degli articoli.

La sostanziale differenza tra le due tipologie risiede nel momento in cui vengono organizzati gli articoli che devono essere distribuiti.

Anche i magazzini intensivi possono essere organizzati sia per cliente sia per articolo.

Nella simulazione seguente verranno valutate entrambe le tipologie di organizzazione per poter indagare quale metodologia sia preferibile secondo i contesti di utilizzo.

Deposito a magazzino

Il deposito a magazzino è la fase speculare al prelievo e determina l'ingresso fisico dei materiali perché possano essere messi a dimora. Nell'utilizzo di magazzini intensivi questa fase è cruciale perché determina l'ordine in cui gli articoli sono disposti nelle locazioni, e di conseguenza l'impiego del magazzino in un modo o nell'altro. Similmente al prelievo, questa fase avviene in momenti diversi, secondo i criteri di approvvigionamento e rotazione dei prodotti che vengono gestiti a livello superiore.

2.5 La simulazione

2.5.1 Ipotesi iniziali

Per poter effettuare una comparazione oggettiva tra le diverse versioni di magazzino oggetto di questa analisi è necessario specificare alcune premesse:

- Nelle cinque varianti considerate le macchine avranno complessivamente la medesima capacità (numero totale di ceste). Verrà considerata quindi la minore delle capacità totali delle cinque (variante E – n° 594 ceste) e applicata alle altre versioni. Questa ipotesi è del tutto verosimile se si considera di stoccare nei cinque magazzini gli stessi articoli per genere e quantità.
- Il numero totale di ceste viene arrotondato a 600 unità, in modo da ottenere quantità intere di locazioni di magazzino su ogni macchina.
- I magazzini sono considerati a capacità infinita, il prelievo di un articolo da magazzino non ne esaurisce la giacenza.
- Ogni unità di trasporto contiene un articolo diverso.
- Un picking singolo completo viene considerato dal momento in cui la locazione di magazzino è disponibile in baia a quando viene eseguita una nuova chiamata. Include le fasi di riconoscimento, prelievo e consenso alla prossima operazione. Viene chiamato tempo di picking, indicato con t_p e in questa analisi si considera costante e pari a

$$t_p = 5 \text{ s}$$

- Nell'utilizzo simultaneo di più macchine, bisogna considerare il tempo necessario all'operatore per spostarsi fisicamente tra le diverse baie di carico. Questo periodo si definisce tempo di spostamento e si indica con t_s . Per i magazzini con baie contigue si è considerato nullo (varianti A e B). Per le altre versioni ci si è attenuti alle seguenti tempistiche: (cfr. figure 2.3 e seg.)

$$\text{tra ognuna delle } C_i, D_i \text{ e } E_i \quad t_s = 2 \text{ s}$$

2.5.2 Magazzino organizzato per articolo

Come premesso nel magazzino organizzato per articolo, ad ogni codice corrisponde una locazione di magazzino. Si considera che la suddivisione dei codici da prelevare nel magazzino sia casuale ed equamente ripartita.

Poiché il tempo ciclo è dipendente solo dalla distanza è possibile prendere come tempo di riferimento il tempo ciclo medio

$$t_{cm} = \frac{d_{0.25}}{V_{\max}} + K_t \quad [s] \quad (2.7)$$

dove $d_{0.25}$ è la quarta parte dello sviluppo totale di catena della singola macchina, ovvero metà della distanza che separa il punto più distante dalla baia di prelievo.

Per il calcolo dei tempi ciclo totali data una serie di prelievi conseguenti da effettuare su un numero n_m di macchine a disposizione che lavorano contemporaneamente, si è considerato che un qualsiasi numero di prelievi p può essere suddiviso in un parte discreta che sarà equamente spartita tra le macchine, e in una parte discreta restante che verrà riferita alle macchine in maniera non ripartita.

Per poter avere un termine valido di ripartizione che sia indipendente dal singolo caso esaminato, si prende come riferimento il caso di perfetta ripartizione che si ha quando il numero dei prelievi è uguale al numero delle macchine utilizzate contemporaneamente.

$$t_{pm} = \left(\frac{t_{cm}}{n_m} + t_p + t_s \right) p \quad \text{con } p = n_m \quad [s] \quad (2.8)$$

Per ovviare al problema che sorge per il fatto che i prelievi non sono divisibili si è utilizzata la funzione $\lfloor x \rfloor$ parte intera di un numero e la funzione $R(x)$ definita come il resto con x il rapporto tra due numeri interi.

Per poter estendere la validità della formula anche ai casi in cui il numero di prelievi è inferiore al numero delle macchine, viene valutato il tempo necessario al prelievo (intero) successivo, decurtato del tempo calcolato come parte del resto. Di seguito la formula ottenuta

$$t_{tot} = \left(\left\lfloor \frac{p}{n_m} \right\rfloor + 1 \right) \cdot t_{pm} - \left[n_m - R \left(\frac{p}{n_m} \right) \right] (t_p + t_s) \quad [s] \quad (2.8)$$

Vengono simulati, per ogni versione di magazzino, i tempi di prelievo per ordini con numero crescente di item.

Considerando l'utilizzo simultaneo di più macchine, è necessario tener presente che la riduzione dei tempi totali di prelievo è legata, oltre che alla dimensione delle macchine, al numero di macchine che vengono utilizzate insieme. Questo significa che il tempo necessario per eseguire 3 prelievi su un magazzino ad esempio di 2 macchine sarà molto simile a quello necessario per eseguire 4 prelievi, a condizione che i tempi di picking t_p e di spostamento t_s si possano ritenere trascurabili. In figura 2.16 si vede come variano i tempi totali di prelievo per ordini di bassa numerosità, (da uno a sei prelievi) tra le 5 versioni di magazzino. La caratteristica forma a gradini delle curve dei tempi totali tende ad attenuarsi per ordini con numerosità via via superiori fino ad assumere la forma della curva del tempo di prelievo medio T_{pm} . (2.8)

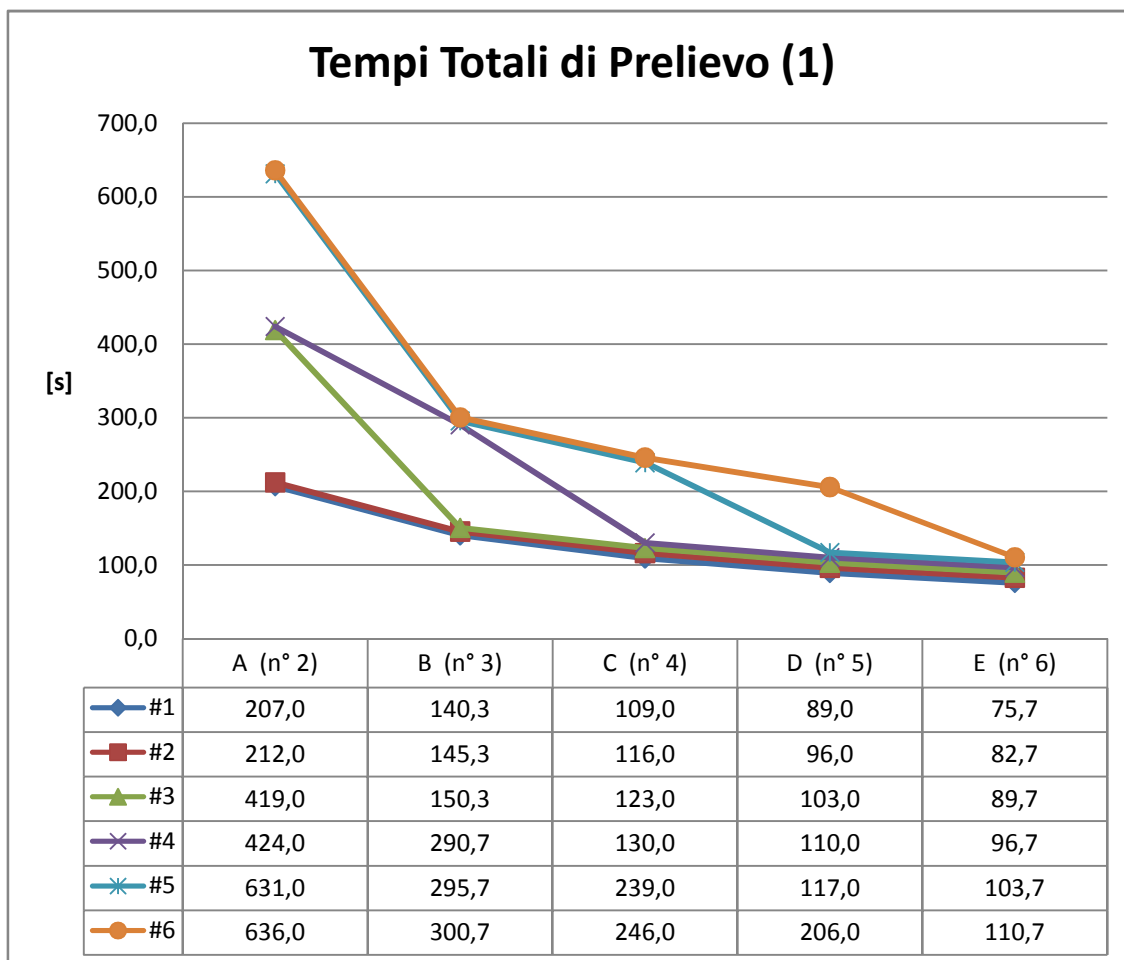


Figura 2.16 – Tempi totali di prelievo combinato per ordini con bassa numerosità.

Nella figura 2.17 invece sono rappresentati gli andamenti per ordini ad alta numerosità (da 10 a 150 prelievi). L'andamento indica l'aumento delle performance dovuto all'impiego concomitante di un numero crescente di macchine.

Deposito a magazzino

Nel magazzino per articolo il deposito degli item nelle locazioni avviene secondo una suddivisione e assegnazione delle aree agli articoli. Il magazzino viene così mappato e ad ogni locazione corrisponde un codice identificativo. Per questa ragione non è necessario dare un qualsiasi ordinamento concettuale a locazioni fisicamente contigue. La performance legata a questa fase si può quindi ricondurre al caso del prelievo appena analizzato. La possibilità di inserire gli articoli in maniera randomizzata

permette di raggiungere il massimo grado di saturazione del magazzino ma genera un peggioramento dei tempi di prelievo se paragonato al magazzino ordinato per cliente.

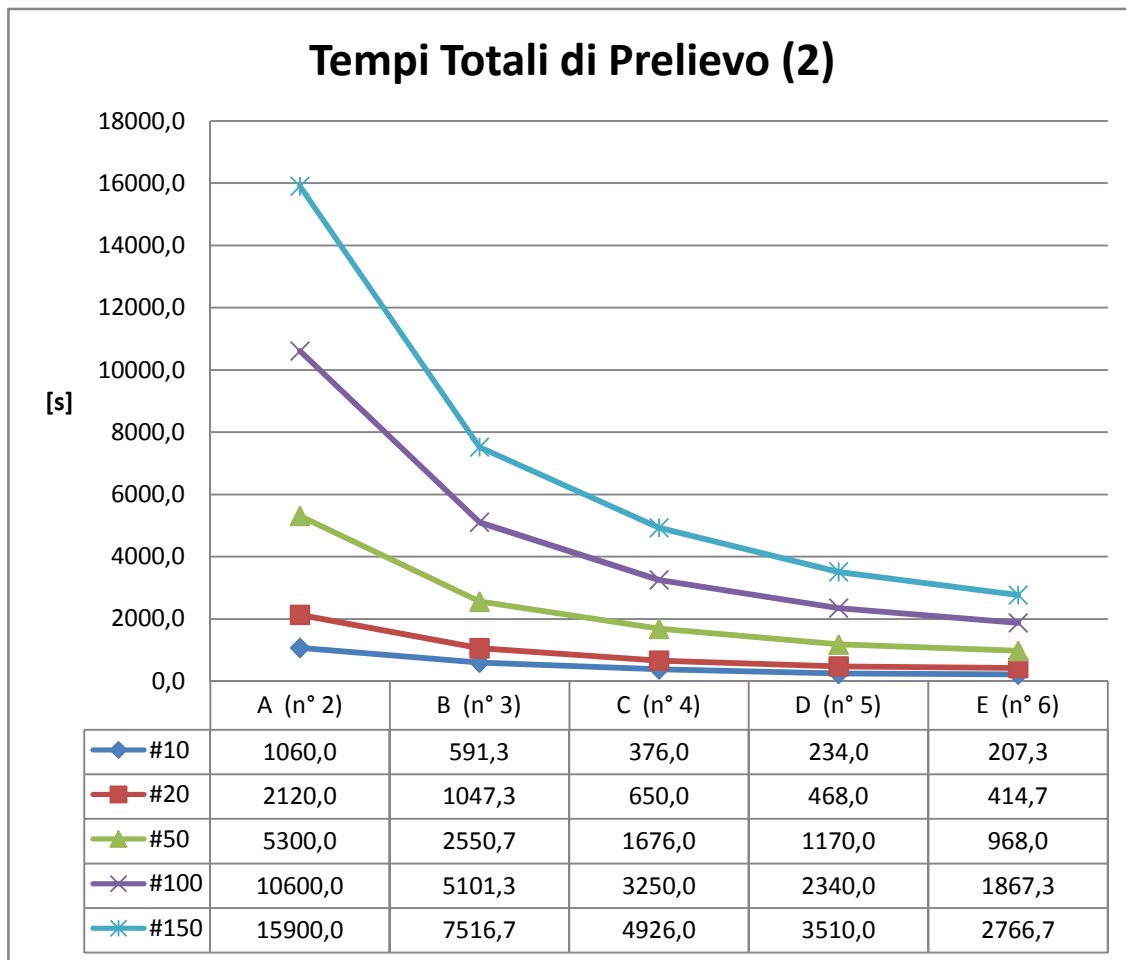


Figura 2.17 – Tempi totali di prelievo combinato per ordini con ad alta numerosità.

2.5.3 Magazzino organizzato per cliente

L'ordinamento del magazzino per cliente si traduce in una suddivisione dello spazio di magazzino in zone contigue in cui sono distribuiti tutti i codici destinati allo stesso cliente. Una volta raggiunta la prima posizione corrispondente all'inizio dell'ordine, tutti i prelievi successivi verranno eseguiti su locazioni confinanti. Per tal motivo il tempo necessario ad evadere un ordine cliente avrà andamento lineare con la grandezza dell'ordine.

Si può ipotizzare che il magazzino sia saturo e che ad ogni cliente sia stata assegnata la stessa quantità di posizioni di magazzino. In tal caso, preso n_c il numero di ceste per ogni cliente, corrispondente al numero di articoli assegnati, il tempo necessario a evadere un ordine cliente completo su una singola macchina sarà

$$t_e = t_{cm} + n_c \cdot t_{cesta} \quad [s] \quad (2.9)$$

dove t_{cm} è il tempo ciclo medio per macchina calcolato nella (2.7) necessario ad arrivare all'inizio della riga ordine, e t_{cesta} il tempo necessario a spostare una locazione di magazzino, che è costante e non dipende dalla dimensione della macchina. L'andamento dei tempi in funzione del numero codice per ordini è una retta, ed è invariante a tutte le versioni di magazzino esaminate.

Nell'ipotesi di utilizzare in maniera combinata le macchine, esistono due possibilità di impiego dei magazzini ordinati per cliente: la prima prevede di prelevare nello stesso momento ordini di clienti diversi, allocati in macchine diverse. In questo caso si lavora su un numero di ordini di solito pari al numero delle macchine. Il secondo caso è quello in cui il totale numero di ceste assegnate ad uno stesso cliente venga equamente ripartito tra tutte le macchine disponibili. Per poter implementare questo utilizzo è necessario che la pianificazione della ripartizione venga fatta in precedenza, durante la fase di ingresso a magazzino.

In entrambi i casi il tempo di evasione ordine per utilizzo combinato si ricava dividendo la (2.9) per il numero di macchine di magazzino

$$t_{ec} = \frac{t_{cm} + n_c \cdot t_{cesta}}{n_m} \quad [s] \quad (2.10)$$

Di seguito l'andamento, nel caso di ciclo combinato, dei tempi totali in funzione della dimensione dell'ordine cliente (Fig.2.18) e il confronto tra versioni diverse di magazzino a parità di dimensione ordine (Fig. 2.19)

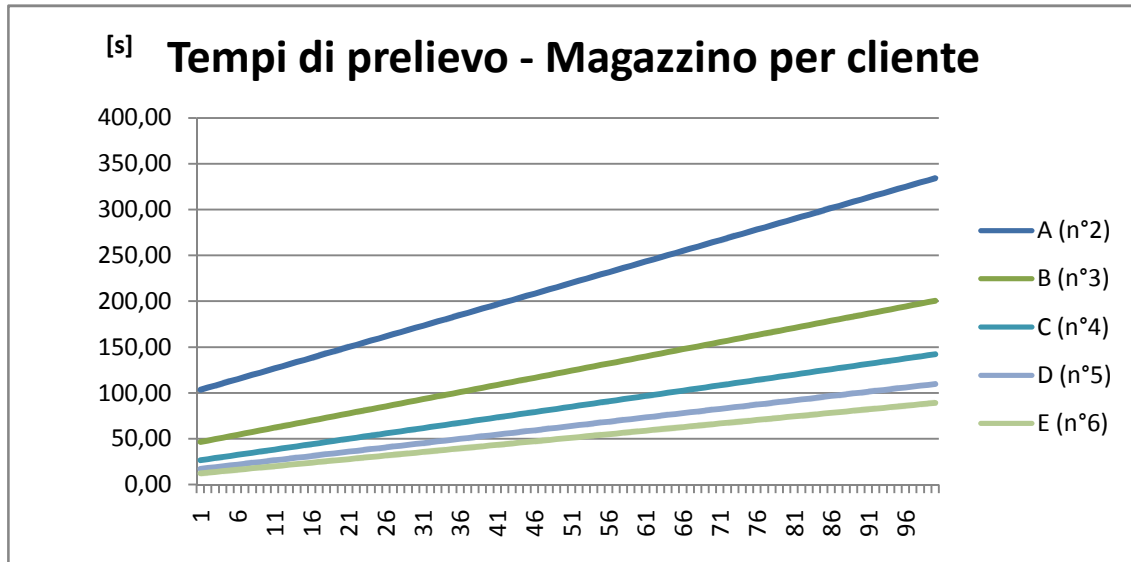


Figura 2.18 – Tempi totali di prelievo combinato per ordini con ad alta numerosità.

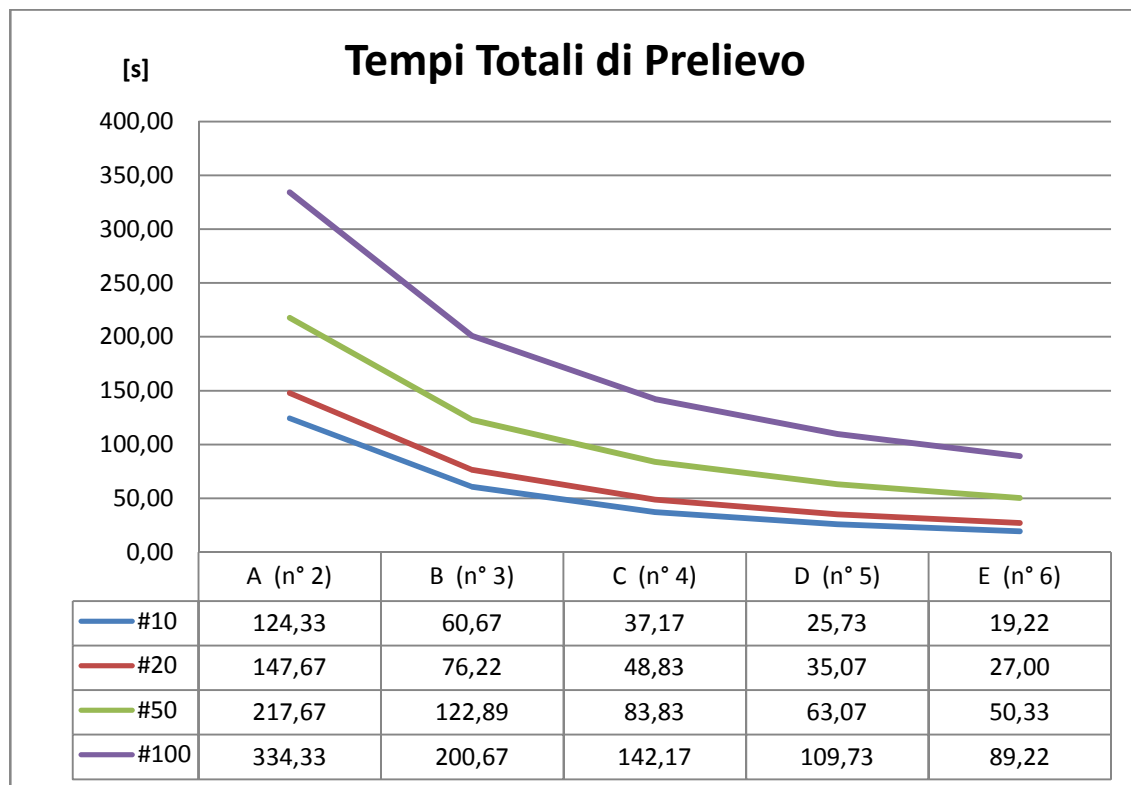


Figura 2.19 – Tempi totali di prelievo combinato per magazzini ordinati per cliente.

Si può notare come i tempi ottenuti siano drasticamente inferiori a quelli rilevati nei magazzini organizzati per articolo. La grande differenza consiste nel tipo di movimento effettuato. La possibilità di generare movimenti sequenziali, quali sarebbero quelli ordinati di un magazzino cliente, invece dei movimenti random, tipici di un magazzino organizzato per articolo, consente di ridurre notevolmente i tempi complessivi di prelievo.

Deposito a magazzino

Nel magazzino per cliente il deposito viene eseguito su zone contigue preassegnate. E' necessario quindi poter stabilire a priori la dimensione dell'ordine cliente in termini di posizioni di magazzino. In questo modo è possibile usufruire dei vantaggi di una posizione uniformemente sequenziale dei codici ordine. Questo comunque è un caso ottimale che nella pratica di rado si riesce a riprodurre per le seguenti ragioni:

- il deposito dello stesso ordine cliente avviene spesso in momenti separati perché legato all'effettivo arrivo della merce
- non è possibile definire in maniera univoca lo spazio totale da assegnare ad un ordine
- non vi è sufficiente spazio per inserire l'intero ordine in un magazzino già parzialmente occupato

E' possibile prevenire questi inconvenienti tramite gli approcci seguenti:

- si organizzano gli ordini cliente prevedendo un delta di spazio ulteriore a monte e a valle di ogni ordine, con particolare riguardo ai casi con grado maggiore di variabilità.
- Si definiscono delle zone limite destinate agli ordini extra. Queste zone, ognuna delle quali è formata da più posizioni contigue, vengono uniformemente distribuite in tutto il magazzino. Durante la normale assegnazione l'accesso a queste aree è precluso. Di fatto il risultato che si ottiene è un magazzino suddiviso in cluster di ordini, separato da aree vuote. Quando sopraggiunge un

aggiornamento di un ordine è possibile inserirlo nell'area vuota più vicina ad uno dei cluster dell'ordine.

Dal punto di vista delle performance, rispetto all'organizzazione canonica per ordine cliente, vi è un aumento della percentuale di saturazione ottenibile ed un decadimento delle performance legato alla dimensione degli intervalli tra cluster consecutivi.

Conclusioni

I convogliatori aerei a catena trovano la grande parte del loro impiego nei sistemi di trasporto interno, e all'interno di questo ambito sono da considerarsi sistemi rigidi, sia dal punto di vista strutturale, sia per quanto concerne l'ambito di utilizzo, una volta che questo sia definito.

Esiste però una applicazione, legata al contesto della logistica distributiva, per cui queste considerazioni vengono in parte rovesciate, il caso dei magazzini intensivi. Nella fattispecie, il magazzino a cestoni su convogliatore aereo si presenta come una soluzione che si adatta a diversi contesti di utilizzo e per un'ampia varietà di prodotti, con molteplici possibilità di configurazione anche a livello organizzativo.

Il lavoro eseguito è stato indirizzato all'analisi dei costi di questo genere di macchine, con focus particolare ad indicare una formulazione compatta per la stima dei costi rilevanti e totali, data la potenzialità richiesta in termini di spazio disponibile e performance di prelievo.

In seconda analisi si è raggiunta una enunciazione per il calcolo del tempo necessario a eseguire un numero dato di prelievi su un magazzino di n macchine, nei due casi di magazzino organizzato per articolo o per ordine cliente.

I risultati per entrambe le analisi sono riportati su simulazioni comparative di 5 diverse versioni di magazzino, caratterizzate dalla stessa dimensione complessiva, e numero crescente di macchine.

Bibliografia

1. Pareschi, Persona, Ferrari, Regattieri – “Logistica integrata e flessibile per i sistemi produttivi dell’industria e del terziario”, Esculapio, 2002
2. Tompkins, White, Bozer, Tanchoco - “Facilities planning”, Wiley, 2010.
3. McGuire P. – “Conveyors: application, selection and integration”, CRC Press, 2010.
4. Jackson, Shaw – “The fashion handbook”, Routledge, 2006.
5. Maraschi E. – “Material handling”, Consulman, 2011
6. Arora, Shinde – “Aspect of material handling”, Laxmi Publications, 2007.