

UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Ingegneria Industriale DII**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Integrazione delle movimentazioni del prodotto  
in linea di assemblaggio e nella logistica di  
stabilimento: studio di un carrello  
ergonomico/trainabile a gancio traino retrattile

**Relatore:**

Prof. Maurizio Faccio

**Laureando:**

Nicola Marcazzan

2083181

Anno Accademico 2023/2024



# Indice

Sommario .....	1
Capitolo 1 - Introduzione .....	3
Capitolo 2 - Letteratura .....	5
2.1 Treno logistico .....	5
2.1.1 Vantaggi del tugger train .....	7
2.1.2 Tipologie e scelta dei vagoni.....	8
2.1.3 Pianificazione dei percorsi.....	10
2.2 Flussi di materiale .....	13
2.2.1 Internal material flow .....	14
2.2.2 Interplant material flow .....	15
2.2.3 Difficoltà nella progettazione del material flow .....	16
2.3 Ergonomia.....	17
2.3.1 Equazione per il sollevamento NIOSH .....	20
Capitolo 3 – Modello .....	25
3.1 Movimentazione di serbatoi dei compressori .....	25
3.1.1 Scenario “As is”.....	27
3.1.2 Scenario gancio traino retrattile ed ergonomico.....	30
3.1.3 Confronto degli scenari .....	42
3.2 Trasporto delle basi dei compressori .....	44
3.2.1 Scenario “As is”.....	45
3.2.2 Scenario gancio traino senza internalizzazione.....	49
3.2.3 Scenario gancio traino con internalizzazione.....	52
3.2.4 Confronto degli scenari .....	54
3.3 Flussi di load unit non movimentabili manualmente.....	56
3.3.1 Scenario “As is”.....	57
3.3.2 Scenario magazzino carpenterie .....	58
3.3.3 Confronto degli scenari .....	60
3.4 Flussi di load uniti movimentabili manualmente .....	61
Capitolo 4 - Caso studio.....	65
4.1 Il gruppo Atlas Copco.....	65
4.2 Ceccato Aria Compressa: La storia .....	68
4.3 I prodotti.....	71

4.3.1 Compressori a vite.....	72
4.3.2 Essiccatori a refrigerazione.....	74
4.3.3 Filtri per l'aria .....	75
4.4 Stato attuale dello stabilimento produttivo.....	75
Capitolo 5 – Conclusione.....	79
Bibliografia.....	81

# Sommario

Il presente elaborato riassume l'esperienza di tirocinio svolta all'interno del team Inbound Logistics & Manufacturing Systems di Ceccato Aria Compressa, azienda situata a Montecchio Maggiore (VI), fornitore leader di soluzioni per il trattamento dell'aria in ambito industriale, dalla compressione all'essiccazione e al filtraggio. L'obiettivo del progetto riguarda l'ottimizzazione dei flussi di materiale diretti verso le linee, migliorandone la regolarità e riducendone i costi.

Per ottenere questo risultato sono stati studiati diversi elementi all'interno della macrocategoria dei flussi di materiale verso le linee. Inizialmente viene illustrata la progettazione di un gancio traino retrattile ed ergonomico per permettere di trainare i carrelli dei serbatoi tramite treno logistico invece che manualmente. Successivamente sono analizzate le basi dei compressori e la loro gestione per raggiungere le linee di assemblaggio con il problema del carrello elevatore frontale a forche (CEF) nella zona dell'accettazione. Infine, ci si è focalizzati sui flussi di lotti interi, suddivisi a loro volte in due tipi, prima quelli che richiedevano l'utilizzo del forklift, con l'intento di eliminarne la necessità nelle zone al di fuori dei magazzini, aumentando inoltre la sicurezza per gli operatori a piedi, e in seguito quelli contenuti in scatole movimentate manualmente dagli operatori logistici, con lo scopo di mantenere un livello di ergonomia all'interno degli standard prefissati dall'azienda.

Dopo un breve capitolo introduttivo, verranno illustrati, tratti dalla letteratura, dei concetti teorici legati all'elaborato proposto. Successivamente saranno riportati gli scenari per le diverse tipologie di flussi analizzate, messi poi a confronto, e una panoramica sul caso studio, per poi terminare con una conclusione ed elaborazione dei risultati ottenuti durante il progetto di tesi.



# Capitolo 1 - Introduzione

La maggior parte della metratura di Ceccato Aria Compressa è dedicata alle linee di assemblaggio, con limitati buffer per materiali ingombranti in testa ad esse e vari flowrack per i componenti di dimensioni minori lungo le linee, lasciando quindi poco spazio a magazzini per gestire le scorte. Per questo motivo la maggior parte dei materiali utilizzati nell'assemblaggio viene gestita da due magazzini esterni, indicati con il nome di 3PL (third party logistics), e risulta dunque fondamentale una gestione efficace dei flussi di materiali provenienti da essi, specialmente visto l'ingente volume di prodotti che circolano giornalmente all'interno dello stabilimento.

Il progetto di tesi è stato definito con l'obiettivo di rivedere e ottimizzare i flussi di materiale provenienti da 3PL, che vanno dalla zona dell'accettazione, ovvero dove vengono scaricati gli autoarticolati, alle linee produttive, cercando di ridurre i costi operativi e aumentare la sicurezza ed ergonomia per gli operatori. Di questi flussi ci si è focalizzati su tre macrocategorie, ognuna con le sue caratteristiche e criticità, e verrà presentato nel dettaglio il lavoro svolto e le varie possibilità per il futuro.

La prima categoria riguarda il movimento dei serbatoi per i compressori, nello specifico incentrata sulla progettazione di un gancio traino retrattile per permetterne il trasporto tramite treno logistico all'interno dello stabilimento, riducendo il carico di lavoro per gli operatori logistici delle linee e migliorandone la regolarità di asservimento, focalizzandosi inoltre sull'ergonomia del gancio, sia per la movimentazione che per il lavoro in linea di assemblaggio. Successivamente si sono analizzati i flussi per i quali viene utilizzato il carrello elevatore frontale nella zona dell'accettazione, un'area principalmente pedonale per cui il passaggio del forklift presenta un rischio di carichi sospesi per gli operatori a piedi, oltre ad un costo per utilizzarlo al di fuori delle sue aree di competenza, ovvero i magazzini. Questa macrocategoria a sua volta si suddivide in due, la prima riguarda la movimentazione delle basi dei compressori, valutando i possibili scenari, compreso l'utilizzo dello stesso gancio progettato nel punto precedente, per confrontare i tempi ed i conseguenti costi delle movimentazioni e scegliere l'opzione più conveniente, in accordo con i vincoli imposti, mentre la seconda riguarda lo spostamento di load unit non movimentabili manualmente, ovvero della dimensione di un pallet.

Infine, si è passati ad analizzare i flussi di load unit movimentabili manualmente, focalizzandosi sull'ergonomia per gli operatori che le maneggiano quotidianamente.

Per entrambi i tipi di flussi di UdC come prima cosa sono stati verificati i dati e parametri riportati a sistema e corrette le non conformità, per poi passare a valutare le possibilità di gestione.

# Capitolo 2 - Letteratura

In questo secondo capitolo vengono illustrati i concetti teorici relativi allo sviluppo del progetto. Inizialmente viene fornita una panoramica sul treno logistico e sui benefici che il suo utilizzo comporta in ambito industriale rispetto ad un tradizionale carrello elevatore. Successivamente vengono illustrati i flussi di materiale e l'ergonomia, argomenti inerenti alla seconda parte dell'elaborato.

## 2.1 Treno logistico

In ambito aziendale un treno logistico, o tugging train, è un veicolo principalmente a motore elettrico a cui vengono collegati dei vagoni per il trasporto orizzontale via terra di materiale all'interno di uno stabilimento produttivo. Proprio come un treno esegue delle fermate in punti designati dove, invece di far salire e scendere delle persone, deposita e raccoglie vagoni, portando i vuoti a rifornirsi e i pieni dove verranno consumati. Questa logica in ambito industriale è indicata col nome di "milkrun", o giro del latte, proprio come un lattaio che consegna il latte solo se è presente una bottiglia vuota davanti alla porta.

Dalla loro introduzione sono diventati un elemento fondamentale nell'intralogistica, permettendo un ciclo continuo di asservimento delle linee di produzione. Rispetto ai metodi precedenti, come i carrelli elevatori a forche e i transpallet, sono più veloci, sicuri e solitamente eseguono i loro giri ad intervalli regolari.



*Figura 2.1: Treno logistico utilizzato in Ceccato Aria Compressa*

La loro implementazione nella logistica interna di un sistema produttivo è dovuta alla grande efficienza nel processo di asservimento. Essa è ottenuta non solo agli elevati risparmi in termini sia di tempo che di denaro, ma anche alla sempre maggiore necessità di ricevere materiali e componenti in modalità just-in-time<sup>1</sup>. Un treno logistico può asservire diverse stazioni di lavoro, riducendo di conseguenza la necessità di ulteriori sistemi di material handling.

---

<sup>1</sup> Il “just-in-time”, spesso abbreviato con JIT, è una filosofia industriale che ha invertito il metodo tradizionale di produrre prodotti finiti per il magazzino in attesa di essere venduti (logica detta push), passando alla logica pull, ovvero producendo solo ciò che è stato già venduto o che si prevede di vendere in tempi brevi

### 2.1.1 Vantaggi del tugger train

Per essere più didascalici, l'utilizzo di un tugger train, rispetto al tradizionale forklift o al transpallet, offre numerosi vantaggi, tra essi possiamo trovare:

- Vantaggi economici, il treno logistico permette di trasportare alla produzione una maggior quantità di materiale con un numero inferiore di mezzi, e di conseguenza meno autisti, riducendo quindi i costi operativi
- Se confrontati con un carrello elevatore frontale risultano più economici e perciò vengono diminuiti anche i costi di acquisizione
- Il loro utilizzo permette in aggiunta di ridurre lo stock a inizio linea, diminuendo di conseguenza il capitale immobilizzato che può ora essere impiegato altrove
- Sicurezza, infatti grazie alle maggiori prestazioni di trasporto, tradotta in un minor numero di viaggi, viene ridotto il rischio di incidenti sul luogo di lavoro e di conseguenza il costo delle riparazioni non previste
- Ottimizzazione dello spazio, i treni logistici possono lavorare in spazi più ristretti, permettendo di adibire più superficie alla produzione riducendo i corridoi
- Inquinamento acustico, sono decisamente meno rumorosi dei carrelli elevatori
- Affidabilità, permettono di movimentare il materiale con maggiore regolarità, rispettando al meglio la cadenza delle linee di produzione in ottica just-in-time
- Versatilità, con il tugger train è possibile asservire diverse linee di assemblaggio e stazioni produttive, riducendo la necessità di ulteriori sistemi di material handling
- È inoltre possibile progettare il vagone ad hoc per lo scopo, modificando dimensioni, materiale e portata per adeguarsi perfettamente alle necessità, massimizzando così le prestazioni
- Ergonomia, potendo variare il tipo di vagoni trasportati in base alla situazione è possibile migliorare l'ergonomia del processo di trasporto dei materiali
- Comfort per l'operatore, nel caso di turni in cui il tugger train percorre distanze importanti, è possibile scegliere l'alternativa di una motrice con sedile, mentre per percorsi più brevi con elevata frequenza di uscite dell'autista si può optare per la più economica versione senza sedile

- Miglioramento continuo, grazie all'interesse sempre maggiore nell'argomento, gli avanzamenti tecnologici avvengono con elevata frequenza, vengono migliorati la capacità di carico e di trasporto, la maneggevolezza del treno logistico, l'autonomia grazie a batterie più efficienti

Ci sono però degli svantaggi nell'utilizzo del treno logistico da tenere in considerazione nel momento in cui si decide che metodo di material handling adottare, come per esempio:

- Minore flessibilità in termini di percorsi da seguire
- Dipendenza di svariate stazioni da un solo tugger train, nel caso avesse un problema esso si ripercuoterebbe su più punti
- Movimenti solo in avanti, un convenzionale treno logistico non è in grado di eseguire movimenti verticali e nemmeno all'indietro
- Pendenza, c'è un limite al grado di inclinazione che un tugger train è in grado di affrontare

Nel complesso il passaggio al tugger train comporta un elevato numero di vantaggi in svariati ambiti e un contenuto numero di aspetti negativi, motivo per cui un numero sempre maggiore di aziende sta adottando questa soluzione per la movimentazione di materiale all'interno dello stabilimento produttivo, limitando l'utilizzo dei carrelli elevatori a forche ai magazzini dove è necessaria la loro capacità di sollevare carichi per posizionarli nelle scaffalature. [1][2]

### 2.1.2 Tipologie e scelta dei vagoni

Un tugger train può essere costituito da vagoni di diversi tipi per incrementare le prestazioni, la sostenibilità e la continuità del flusso di materiali, la qualità e la sicurezza delle operazioni di trasporto.

La scelta dei sistemi logistici da collegare alla motrice dipende da vari fattori, i principali includono la quantità, la dimensione e la frequenza dei materiali e componenti alle linee di assemblaggio e alle stazioni di lavoro. Al contempo è necessario considerare le condizioni operative all'interno delle quali il treno logistico dovrà lavorare, come la distribuzione e

posizione dei punti di carico e scarico e i requisiti di performance. Questo è poi seguito da altri criteri come la potenza e l'efficienza della motrice e l'organizzazione dei percorsi.

Sono spesso usati dei sistemi standardizzati, che consistono in carrelli con diversi tipi di telaio per facilitare il trasporto di differenti materiali, semilavorati e componenti.

Tra i tipi di sistemi disponibili possiamo avere diversi concept:

- Il “trailer concept”, il più classico, dove le unità di carico (UdC, e.g. pallet) vengono portati alla linea direttamente sul carrello, questa variante è molto popolare grazie alla sua semplicità e ai costi di acquisto relativamente bassi
- Il “taxi concept”, nel quale le UdC sono trasportate su un carrello aggiuntivo che viene caricato sui vagoni del treno logistico
- Il “roller conveyor concept”, dove le UdC sono posizionate su rulli convogliatori installati direttamente sui vagoni, per questa tipologia saranno necessari anche dei rulli convogliatori in produzione dove le UdC verranno portate

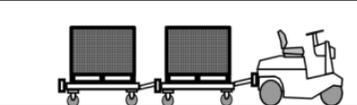
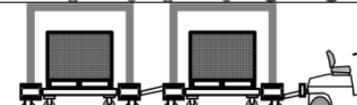
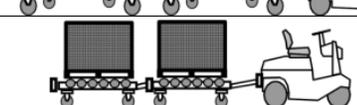
Concept name	Schematic representation (specific technical implementation)	Element used for production supply of the load carrier
Trailer concept		 Trailer itself
Taxi concept		 Additional trolley
Roller conveyor concept		 Permanently installed roller conveyor

Figura 2.2: Rappresentazione delle implementazioni tecniche dei principali concept di vagoni

Esistono innumerevoli versioni per i carrelli, oltre a quelle illustrate, rendendo la scelta del tuggy train più adatto alla situazione un problema complesso e attualmente non esiste un metodo per determinare univocamente la scelta esatta per il caso in esame.

Uno di questi criteri, spesso ignorato, è quello dell'ergonomia, nonostante sia un argomento su cui ci si sta focalizzando molto negli ultimi anni. Molteplici articoli sono stati scritti a riguardo del massimo peso movimentabile in condizioni di sicurezza tenendo in considerazione vari

fattori come la difficoltà di presa, la ripetitività del movimento ecc. ma solo raramente l'ergonomia viene considerata nel dimensionamento di un tugger train.

Gli studi effettuati da Kentuje, Kelterborn e Willibald sull'ergonomia dei tugger train, nello specifico sulla forza iniziale che è necessario applicare in funzione del peso e del tipo di vagone, mostrano il peso trainabile in sicurezza, secondo i limiti forniti dalla normativa ISO 11228-2 nei tre concept di vagone. Si sono poi dedicati allo studio della fattibilità economica delle varie soluzioni, per vedere se i vantaggi dal punto di vista dell'ergonomia fossero economicamente viabili. [3]

Ma il peso massimo trainabile dai vari concept di vagone non è l'unico fattore ergonomico da considerare nel dimensionamento di un tugger train, come vedremo in questo elaborato, infatti, vi sono altri elementi che influenzano l'ergonomia e di conseguenza lo sforzo fisico a cui sono soggetti gli operatori.

### 2.1.3 Pianificazione dei percorsi

La pianificazione dei percorsi ottimi di un sistema di asservimento come può essere il tugger train o una rete di trasporti via strada, rientra generalmente nella categoria del Vehicle Routing Problem (VRP), che si occupa di determinare il percorso da compiere andando a minimizzare vari obiettivi come il costo, la distanza percorsa o il tempo, partendo dalla determinazione del layout, se non già prestabilito, compreso di vincoli fisici e punti di carico-scarico del materiale, e dalle informazioni riguardanti i vari materiali dove devono essere portati, in che quantità e con che ritmo.

La necessità di risolvere il problema dei percorsi con diversi vincoli imposti dalla situazione ha fatto nascere diverse sottocategorie del VRP, che sono state suddivise in due cluster, il primo, dei problemi "relativamente semplici" comprende per esempio il VRP a flotta mista, a multi deposito, a consegna separata ecc. il secondo, dei "problemi complessi", include il VRP a multi viaggio con raccolta multi traffico e consegna tempificata e sincronizzata, ovvero una combinazione di più varianti del VRP meno complesse. [4]

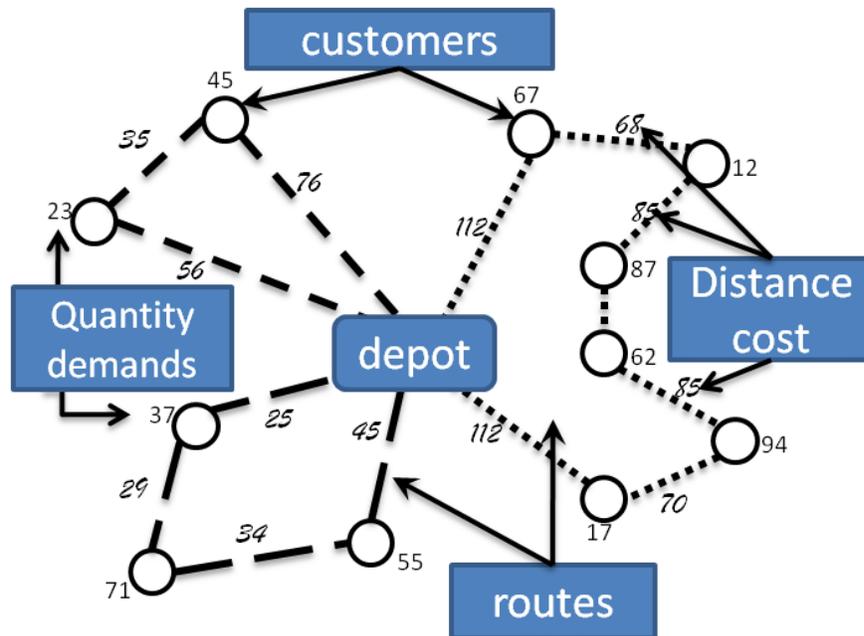


Figura 2.3: Rappresentazione schematica del Vehicle Routing Problem

Spesso i sistemi di tigger train sono pianificati a partire dalle richieste medie di trasporto e di conseguenza i percorsi e i tempi sono fissati per il lungo termine. Per questo motivo essi vengono indicati col nome di percorsi statici, utilizzati perché più semplici da ricavare. Ma le fluttuazioni di richieste di materiale, nel caso in cui i percorsi e i tempi siano stati pianificati statici, causano la necessità di portare un quantitativo diverso rispetto a quanto progettato basandosi su consumi costanti. Nel caso di picchi di richiesta, è da aspettarsi un ritardo nell'asservimento delle linee di assemblaggio o l'utilizzo di costosi trasporti speciali. Per evitare la necessità di trasporti speciali si può prevedere un aumento di capacità rispetto a quella calcolata inizialmente, ma questo comporta un basso livello di saturazione del tigger train nei periodi di basso consumo e un'efficienza subottimale del sistema. Un'altra sfida è che le variazioni del trasporto che ci si aspetta avere nel lungo termine richiedono una pianificazione non indifferente, per esempio è necessario determinare regolarmente se e come le richieste di trasporto cambieranno. In aggiunta vanno condotti dei controlli manuali per determinare se i percorsi e i tempi devono essere modificati a causa dei cambiamenti delle richieste. Quindi per quanto l'utilizzo dei percorsi statici sia comodo dal punto di vista computazionale, ha i suoi limiti nell'ambito pratico in quanto la realtà è in continua variazione.

Un metodo per affrontare le fluttuazioni nelle richieste di trasporto è la pianificazione dinamica dei percorsi. Il controllo dinamico dei sistemi di tugging train fornisce maggiore flessibilità attraverso percorsi variabili. Basandosi sui task di trasporto attuali e tenendo in considerazione lo stato del magazzino i tugging train, i percorsi, i tempi e l'allocazione delle risorse vengono determinati in maniera dinamica durante l'operazione.

Per questo scopo esistono software che mappano il carico dei vagoni del treno logistico, "prenotano" i vari tipi di vagoni con le loro capacità di carico e li assegnano al rispettivo percorso. Algoritmi per la ricerca dinamica dei percorsi vengono sviluppati e sono in continua evoluzione per l'implementazione dei sistemi di pianificazione dinamici. Inoltre, i software moderni permettono di ottimizzare il percorso in ottica just-in-time in modo che vengano approcciati solo i punti di carico-scarico dove è disponibile un'attività di trasporto. [5]

## 2.2 Flussi di materiale

Con flusso di materiale, o material flow, si intende il percorso seguito da materiali o prodotti dall'acquisto alla vendita. Esso include tutti i processi e le stazioni attraverso le quali il materiale transita, come la produzione, immagazzinamento, picking e distribuzione. In contrasto alla classica "logistica", interessata prevalentemente con la pianificazione e controllo di materiali e informazioni, il material flow si focalizza sull'implementazione tecnica e organizzativa.

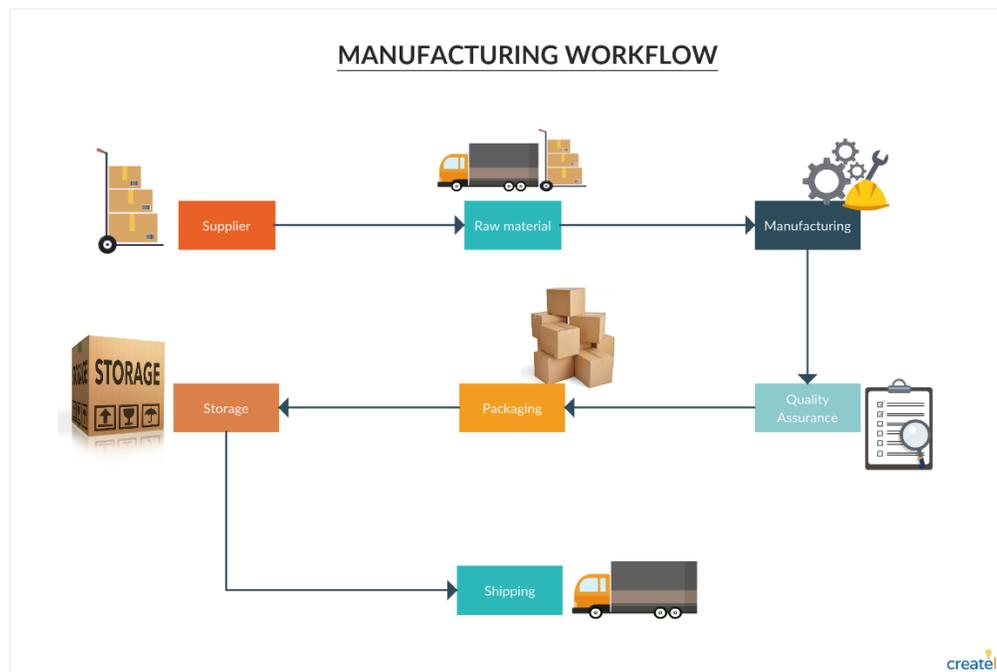


Figura 2.4: Rappresentazione del flusso di materiale dal fornitore al consumatore

Ci sono due tipologie di flusso di materiale, all'interno dello stabilimento e tra stabilimenti, tra i due quello che interessa questo progetto di tesi è il primo.

### 2.2.1 Internal material flow

Questa prima tipologia di flusso descrive il trasporto di beni all'interno di un'azienda, per esempio tra diverse stazioni produttive o tra una stazione e il magazzino. L'obiettivo in questo caso è di ottimizzare i processi logistici nello stabilimento, riducendo gli sprechi e migliorando l'utilizzo degli impianti di produzione e delle zone di stoccaggio.

Per quanto riguarda l'internal material flow ci sono vari fattori da tenere in considerazione per assicurare un'esecuzione efficiente ed efficace. Questi elementi includono:

- Pianificazione: una attenta progettazione dei percorsi è fondamentale per evitare colli di bottiglia e perdite di tempo, tradotte direttamente in sprechi dal punto di vista economico
- Organizzazione: è essenziale avere un'organizzazione dei flussi efficiente, essa include disporre in modo chiaro le responsabilità per la gestione dei magazzini e delle movimentazioni, così come un solido sistema informatico per il controllo dei materiali e dei loro movimenti
- Automazione: sfruttare tecnologie come i convogliatori, magazzini automatici o robot trasportatori può accelerare il processo e ridurre il rischio di errori
- Formazione: gli operatori devono essere istruiti in maniera appropriata per una corretta esecuzione del flusso di materiali, di particolare importanza sono gli aspetti della sicurezza, dell'ergonomia e della garanzia di qualità

## 2.2.2 Interplant material flow

In opposizione alla precedente, questa seconda tipologia consiste nel trasporto di beni tra diverse aziende, come dal produttore al consumatore. L'obiettivo in questo caso è di ottimizzare la supply chain<sup>2</sup> tra aziende e assicurare una fornitura priva di intoppi.

I fattori da considerare in questo contesto, per garantire l'efficace flusso di materiale, comprendono:

- **Coordinazione:** è molto importante avere un'ottima cooperazione tra le aziende e i fornitori coinvolti per essere in grado di gestire agevolmente le movimentazioni. Devono essere prontamente stabiliti accordi chiari e efficaci canali di comunicazione per evitare colli di bottiglia e ritardi
- **Standardizzazione:** definire uno standard per i processi e le interfacce aiuta a semplificare e a velocizzare i flussi, per esempio utilizzare lo stesso formato data e etichette per i beni
- **Monitoraggio:** avere sempre sotto controllo i flussi del materiale permette di individuare facilmente le interruzioni e i ritardi già nelle prime fasi del processo e di conseguenza di prendere contromisure
- **Sostenibilità:** aspetto cruciale da considerare anche nella definizione del material flow, per esempio utilizzando mezzi di trasporto più possibile ecologici ed evitando viaggi non strettamente necessari

---

<sup>2</sup> Per supply chain si intende il processo che permette di portare sul mercato un prodotto o servizio, trasferendolo dal fornitore fino al cliente. Si tratta di un processo complesso che coinvolge più figure professionali, attivando numerosi processi dell'ecosistema-impresa: dal flusso di materie prime legato ai processi di produzione, fino alla logistica distributiva che provvede a far arrivare il bene acquistato al cliente (<https://www.mecalux.it/blog/supply-chain-cos-e>)

### 2.2.3 Difficoltà nella progettazione del material flow

Il design di un flusso di materiali in produzione e logistica spesso comporta una sfida tutt'altro che semplice per le aziende, al centro della quale vi è il desiderio di garantire efficienza fisica ed economica senza perdere però di vista la qualità e la sostenibilità. Tra gli elementi da tenere a mente spiccano i limiti spaziali, le tecnologie disponibili, il numero di prodotti e il volume da trasportare.

Un'altra difficoltà consiste nel monitoraggio e ottimizzazione in tempo reale del flusso, per fare ciò è richiesto l'utilizzo di sistemi informatici adatti e tecnologie sensoristiche per mantenere tracciato e misurato il material flow. L'integrazione di sistemi automatici come robot o sistemi di trasporto driverless può contribuire.

In aggiunta a queste sfide di carattere tecnico, i fattori umani sono anch'essi di elevata importanza. Una forte cooperazione tra i vari dipartimenti e gli operatori è cruciale per mantenere il flusso efficiente, così come la formazione nell'utilizzo delle tecnologie sfruttate.

Le aziende che riescono a superare con successo queste sfide possono beneficiare di processi più snelli e di una maggiore produttività. [6]

## 2.3 Ergonomia

L'ergonomia (chiamata anche human factors/ergonomy – HFE) è una branca della scienza che si occupa di studiare il rapporto tra l'uomo e gli elementi di un determinato sistema ed è la professione che applica teoria, principi, dati e metodi per progettare con l'intento di ottimizzare il benessere umano e le prestazioni del sistema in generale. Nonostante l'etimologia del termine, dove “ergon” è una parola greca che significa lavoro, l'ergonomia non si applica solo al mondo del lavoro, ma riguarda diversi aspetti della vita dell'uomo, in particolare quelli in cui si pone fisicamente in relazione con oggetti e ambienti diversi.

Un oggetto o un prodotto viene definito ergonomico quando il suo utilizzo sarà facile e garantirà un adeguato livello di sicurezza, comfort, adattabilità ecc. L'obiettivo dell'ergonomia è preventivo, essa cerca di abbassare il rischio che si verifichi un danno alla salute umana.

In ambito lavorativo, il principale aspetto in cui viene applicata la disciplina, l'ergonomia si occupa di ottimizzare le interazioni sul posto di lavoro tra uomo, macchine e ambiente, cercando di minimizzare i rischi psicofisici per il lavoratore. Per migliorare le interazioni tra questi tre elementi l'ergonomia si collega a diversi ambiti, come la biomeccanica, psicologia, fisiologia, ingegneria e altri. Il rispetto delle norme ergonomiche sul posto di lavoro contribuisce ad aumentare la produttività e al contempo abbassare i rischi e, di conseguenza, i costi. [7]

Nella definizione di HFE sono presenti più ambiti:

- Ergonomia fisica, essa si interessa delle caratteristiche anatomiche, antropometriche, fisiologiche e biomeccaniche degli esseri umani collegate all'attività fisica. Queste includono la postura lavorativa, la movimentazione manuale, i movimenti ripetitivi, i disordini muscoloscheletrici relativi al lavoro, il layout del luogo di lavoro, la sicurezza e la salute
- Ergonomia cognitiva, si occupa dei processi mentali come percezione, memoria, ragionamento e risposte motorie e come esse influenzano le relazioni tra le persone e altri elementi del sistema. Fattori di rilievo comprendono il carico mentale, il prendere decisioni, la performance, l'interazione uomo-computer, l'affidabilità umana, lo stress lavorativo e la formazione

- Ergonomia organizzativa, concerne l'ottimizzazione dei sistemi sociotecnici, includendo la loro struttura organizzativa, politiche e processi. Vengono considerati come elementi di interesse la comunicazione, la gestione delle risorse, il work design, la scelta degli orari di lavoro, il lavoro di squadra, la partecipazione, le organizzazioni virtuali, il lavoro telematico e la qualità della gestione

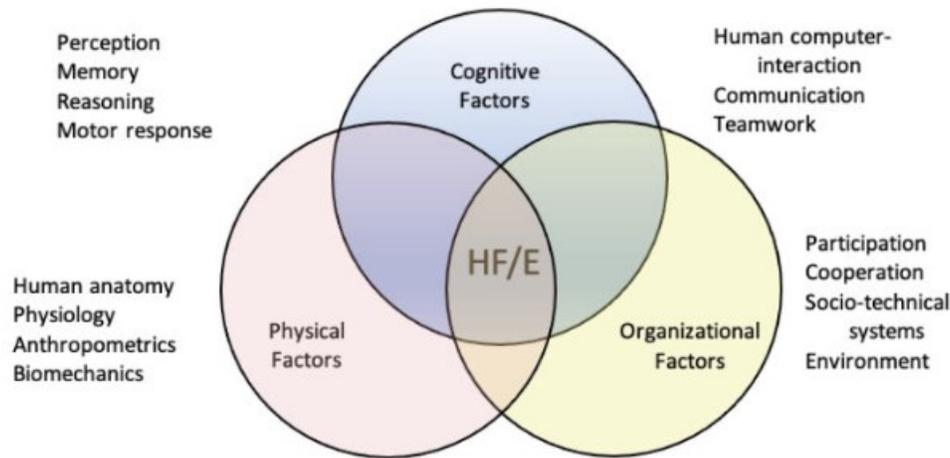


Figura 2.5: diagramma di Eulero-Venn degli ambiti dell'HFE

I principi dell'ergonomia, radicati in valori tecnico-sociali, si applicano nella progettazione di attività, incarichi, prodotti, ambienti, industrie e tipi di lavoro. I valori essenziali da cui sorgono i principi del HFE possono essere riassunti in:

- Esseri umani come risorse
- Tecnologia come uno strumento per assistere le persone
- Promozione della qualità della vita
- Rispetto per le differenze individuali
- Responsabilità per tutti gli stakeholders<sup>3</sup>

L'HFE comprende non solo la sicurezza e la salute fisica, ma anche gli aspetti cognitivi e psico-sociali di vivere e lavorare. Può inoltre concentrarsi sugli elementi microergonomici del design,

<sup>3</sup> Gli stakeholders sono tutti i soggetti, individui od organizzazioni, attivamente coinvolti in un'iniziativa economica (progetto, azienda), il cui interesse è negativamente o positivamente influenzato dal risultato dell'esecuzione, o dall'andamento, dell'iniziativa e le cui azione o reazione a sua volta influenza le fasi o il completamento di un progetto o il destino di un'organizzazione (<https://www.treccani.it/enciclopedia/stakeholder>)

come la definizione di procedure, del contesto, delle attrezzature e degli utensili utilizzati per eseguire un compito, così come sugli aspetti macroergonomici, i quali includono l'organizzazione del lavoro, i tipi di lavoro, la tecnologia utilizzata, i ruoli, la comunicazione e il feedback. Questi vari elementi non possono essere analizzati singolarmente, ma è necessaria una visione d'insieme del design dei prodotti e dei sistemi, considerando l'interrelazione tra persone, componenti tecnici e ambientali e i potenziali effetti di un cambio di design del sistema.

L'ergonomia contribuisce a realizzare sistemi sicuri e sostenibili attraverso una combinazione di tre drivers per l'innovazione:

1. L'HFE segue un processo step-by-step sistematico e iterativo
2. L'HFE è design-driven
3. L'HFE si concentra sull'ottimizzazione di due risultati strettamente collegati, prestazioni e benessere

I professionisti in ambito di ergonomia riconoscono la necessità della partecipazione di tutti i gruppi di stakeholders nella progettazione del sistema, la quale, senza prestare attenzione all'HFE, non potrà supportare la sostenibilità del lavoro, delle organizzazioni o delle società.

Gli stakeholders dell'HFE sono qualunque persona o gruppo che può influire o essere influenzato da una decisione di carattere ergonomico. Essi includono:

- Fattori d'influenza, ovvero le autorità competenti come i governi, organizzazioni a livello nazionale e regionali
- Decision makers, come i datori di lavoro o i manager, coloro che prendono decisioni sui requisiti per la progettazione del sistema, gli acquisti, l'implementazione e l'utilizzo
- Esperti del settore, come gli specialisti in ergonomia, ingegneri e psicologi professionisti, i quali contribuiscono al design appoggiandosi sui loro sfondi professionali
- Attori, quindi gli impiegati e gli operatori, gli usufruttori dei prodotti e dei servizi, coloro che sono parte del sistema e che sono direttamente o indirettamente influenzati dal suo design o che a loro volta possono influenzarne le prestazioni

L'ergonomia contribuisce simultaneamente alla salute economica di organizzazioni migliorando il benessere degli operatori, la capacità e la sostenibilità, massimizzando le prestazioni e riducendo costi diretti e indiretti relativi alle perdite di produttività, difetti qualitativi e turnover degli operatori. I luoghi di lavoro che sono progettati tenendo a mente i principi dell'ergonomia hanno maggiori prestazioni degli operatori e producono risultati migliori. [8]

### 2.3.1 Equazione per il sollevamento NIOSH

Per determinare il limite di peso consigliato per operazioni di movimentazione manuale, si può utilizzare la “Revised NIOSH lifting equation” (RNLE), che basandosi sulle condizioni di lavoro determina un fattore moltiplicativo per ridurre il valore della costante di peso.

L’equazione si presenta come:

$$CP \times FA \times FD \times FO \times FF \times FS \times FP = PR$$

Dove i parametri presenti sono:

- CP = costante di peso, valore di partenza ridotto dai successivi coefficienti moltiplicativi, diversificabile in base alla situazione considerata adottando per esempio la procedura suggerita dallo standard CEN 1005-2 e riassunta in Figura 2.6 per salvaguardare allo stesso modo la stessa proporzione di popolazione

Campo di applicazione	Costante di peso kg	Percentuale di Accettabilità (%)			Gruppi di popolazione	
		M	F	M		
Uso domestico	5	Dati non disponibili			Ragazzi e anziani	Popolazione Totale
	10	99	99	99	Popolazione domestica generale	
Uso professionale	15	95	90	99	Popolazione lavorativa generale inclusi giovani e anziani	Popolazione lavorativa generale
	25	85	70	90	Popolazione lavorativa adulta	
	30	Dati non disponibili			Popolazione lavorativa specializzata	Popolazione lavorativa specializzata in particolari circostanze
	35 40					

Figura 2.6: Costanti di peso e percentuali di accettabilità

- FA = fattore altezza, determinato a partire dalla distanza verticale tra le mani e il pavimento all’inizio del sollevamento (fattore A in Figura 2.8)
- FD = fattore dislocazione, ricavato dal movimento in verticale che il peso subisce durante il sollevamento (fattore B in Figura 2.8)
- FO = fattore orizzontale, calcolato sulla distanza orizzontale tra il punto medio tra le caviglie e la posizione delle mani mentre tengono l’oggetto (fattore C in Figura 2.8)

- FF = fattore frequenza, ottenuto da una tabella come quella mostrata in Figura 2.7 incrociando la frequenza di sollevamenti e la durata di un turno di lavoro continuativo (fattore F in Figura 2.8)

FREQUENZA AZIONI / MIN.	DURATA DEL LAVORO (CONTINUO)		
	< 8 ORE	< 2 ORE	< 1 ORA
0,2	0,85	0,95	1,00
0,5	0,81	0,92	0,97
1	0,75	0,88	0,94
2	0,65	0,84	0,91
3	0,55	0,79	0,88
4	0,45	0,72	0,84
5	0,35	0,60	0,80
6	0,27	0,50	0,75
7	0,22	0,42	0,70
8	0,18	0,35	0,60
9	0,15	0,30	0,52
10	0,13	0,26	0,45
11	0,00	0,23	0,41
12	0,00	0,21	0,37
13	0,00	0,00	0,34
14	0,00	0,00	0,31
15	0,00	0,00	0,28
>15	0,00	0,00	0,00

Figura 2.7: Fattore frequenza in funzione del numero di azioni e della durata del turno di lavoro

- FS = fattore asimmetria, determinato dalla dislocazione angolare del peso rispetto al piano sagittale del soggetto che esegue il sollevamento (fattore D in Figura 2.8)
- FP = fattore presa, basato sulla qualità della presa sull'oggetto da movimentare (fattore E in Figura 2.8)
- PR = peso raccomandato, il valore del peso sollevabile consigliato considerati i fattori precedentemente elencati nella situazione in esame

Il NIOSH nella sua proposta parte da un peso ideale di 23 kg, valido per entrambi i sessi, anche se chiaramente esso risulta meno cautelativo per il sesso femminile, si può in alternativa utilizzare lo standard indicato in Figura 2.5.

Una volta stabiliti i pesi ideali si pone l'attenzione ai fattori demoltiplicativi previsti, i quali assumeranno valori compresi tra 0 e 1. Nel caso in cui l'elemento di rischio potenziale

corrisponde ad una condizione ottimale il relativo fattore assume valore unitario e pertanto non porta ad alcuna diminuzione del peso ideale.

Quando l'elemento di rischio è presente, discostandosi dalla condizione ottimale, il fattore assumerà un valore minore di 1, sarà tanto più piccolo quanto è maggiore l'allontanamento dalla condizione ottimale, diminuendo di conseguenza il peso ideale iniziale.

In alcuni casi l'elemento di rischio è considerato estremo, portando il relativo fattore ad un valore nullo, indicando come ci si trovi in una condizione di assoluta inadeguatezza per via di quello specifico elemento.

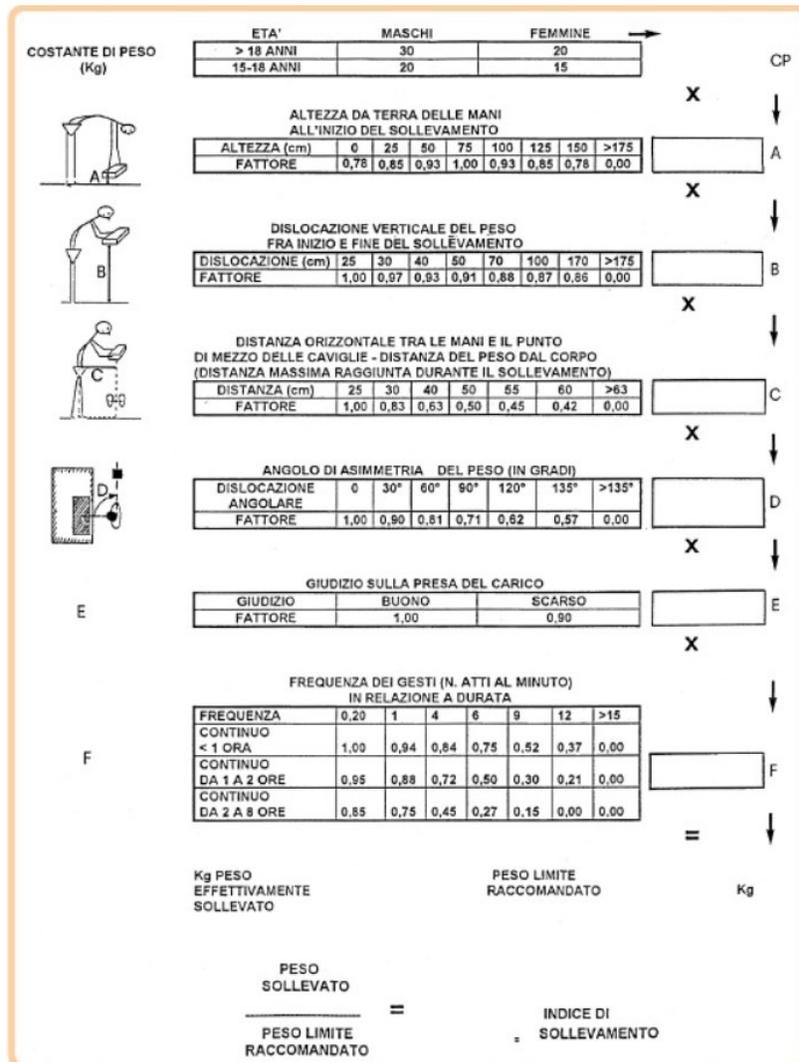


Figura 2.8: Schema esemplificativo per il calcolo del peso raccomandato tramite metodo NIOSH

Nello schema rappresentato in Figura 2.7 è rappresentato un esempio di uno schema di calcolo per la determinazione del peso raccomandato. Per ogni elemento di rischio sono forniti dei valori quantitativi e qualitativi (solo nel caso del giudizio sulla presa) che l'elemento può assumere e in corrispondenza viene fornito il relativo fattore demoltiplicativo. Tramite l'utilizzo della procedura indicata a tutti gli elementi considerati si determina il valore del peso raccomandato nel contesto esaminato. Successivamente si può passare a calcolare il rapporto tra il peso effettivamente sollevato nella condizione considerata e il peso limite determinato precedentemente per ottenere un indicatore sintetico del rischio. Nel caso in cui questo valore superi l'unità ci troviamo in una condizione di rischio reale.

Va precisato che la procedura di calcolo del peso limite raccomandato descritta è applicabile solo quando si verificano le seguenti condizioni:

- Sollevamento di carichi svolto in posizione in piedi, non seduta o inginocchiata, e in spazi non ristretti
- Sollevamento di carichi eseguito con due mani
- Adeguato attrito tra i piedi (suola) e il pavimento ( $\mu_s > 0,4$ )
- Gestii di sollevamento eseguiti non in modo brusco
- Carico non estremamente caldo, freddo, contaminato o con il contenuto instabile
- Condizioni microclimatiche favorevoli

Nel caso in cui gli operatori dovessero svolgere compiti diversificati di sollevamento l'analisi risulterà più articolata, nello specifico sarà richiesto calcolare gli indici di sollevamento per ciascuno dei compiti, ad eccezione della frequenza, per poi stimare un indice composto tenendo conto delle frequenze e durata del complesso dei compiti di sollevamento, nonché della loro effettiva combinazione e sequenza. In ogni caso l'indice composto sarà solitamente maggiore rispetto a quello del singolo compito più sovraccaricante.

Il metodo è adattabile a diversi sottoinsiemi della popolazione, come anziani o minori, attraverso la scelta del valore di peso ideale per tali gruppi. Inoltre, ai fattori precedentemente elencati possono esserne aggiunti altri elementi la cui considerazione risulta importante in determinati contesti applicativi. Ad essi corrisponderà un ulteriore fattore demoltiplicativo da applicare alla formula generale esposta, anche se la validità di questi suggerimenti è ancora oggetto di dibattito in letteratura. Questi suggerimenti includono per esempio un fattore di 0,6 nel caso di

sollevamenti eseguiti con un solo arto, 0,85 per sollevamenti eseguiti da due persone, considerando però come peso effettivamente sollevato la metà di quello reale, oppure un limite di 5 kg per frequenze di una volta ogni 5 minuti (diminuire il peso per frequenze maggiori) nel caso di sollevamenti svolti in posizione assisa e sul banco di lavoro.

Altri elementi come la postura sul luogo di lavoro sono studiati dall'ergonomia, che cerca di massimizzare il comfort per gli operatori, oltre che a ridurre i rischi di sviluppo nel tempo di problemi fisici. [9][10]

# Capitolo 3 – Modello

Nel seguente capitolo saranno illustrati nel dettaglio i modelli realizzati durante il percorso di tirocinio presso l'azienda di Ceccato Aria Compressa per la rivisitazione e ottimizzazione dei flussi di materiale provenienti da 3PL e diretti alle linee di assemblaggio, o, più precisamente, la componente interna allo stabilimento di queste movimentazioni, ovvero la tratta con partenza in accettazione, la zona delle baie di carico dove vengono scaricati gli autoarticolati, e arrivo nelle varie linee di cui lo stabilimento è composto.

I flussi su cui si è concentrato il progetto si possono suddividere in tre categorie:

- Le movimentazioni di serbatoi dei compressori
- I flussi che richiedono il forklift in accettazione, a loro volta suddivisi in:
  - o Le movimentazioni delle basi dei compressori
  - o I flussi di load unit non movimentabili a mano
- I flussi di load unit movimentabili a mano

Per queste macrocategorie verranno riportate informazioni per contestualizzare la situazione, con vincoli e obiettivi, e saranno quindi analizzati dei possibili scenari.

## 3.1 Movimentazione di serbatoi dei compressori

I vari compressori a vite che vengono realizzati all'interno dello stabilimento possono essere dotati di un serbatoio per l'accumulo dell'aria compressa, con capacità variabile da 200 a 500L e in caso sia presente il serbatoio essi vengono definiti "tank mounted". Questi serbatoi sono realizzati da un fornitore e inviati ad uno dei due 3PL, dove vengono montati i tappi. I serbatoi sono poi fissati sui rispettivi pallet e caricati su dei carrelli, infine, basandosi sulle sequenze produttive fornite quotidianamente, vengono inviati in Ceccato. Qui sono scaricati nella zona dell'accettazione e devono essere quindi trasportati in linea per fungere da base per la realizzazione dei compressori.

Vi sono due tipi di carrelli attualmente utilizzati per i serbatoi, in base alla linea in cui essi verranno utilizzati. Per i serbatoi inviati alle prime quattro linee dei compressori, indicate con L22 fino a L25, si utilizzano dei carrelli grigi, mentre per le successive tre linee, da L26 a L28, si utilizzano dei carrelli blu. I primi, studiati più in dettaglio in questo progetto, non sono attualmente dotati di un gancio per essere collegati al tugging train e sono quindi movimentati a mano, i secondi invece, di dimensioni e peso maggiore, sono già equipaggiati con un gancio per la movimentazione tramite treno logistico.

Si utilizzano due tipi diversi di carrelli per le dimensioni dei serbatoi posizionati su di essi, nelle linee L26, L27 e L28 si utilizzano serbatoi fino a 500L di capacità, essi sono di dimensioni considerevoli e per favorire l'ergonomia degli operatori durante l'assemblaggio dei compressori si utilizzano dei carrelli più bassi rispetto alla controparte grigia. Mediante l'utilizzo dei carrelli blu è possibile contenere maggiormente l'altezza della macchina e permettere le operazioni di assemblaggio anche per gli operatori meno alti.



*Figura 3.1: Serbatoio per compressore su carrello grigio*



*Figura 3.2: Serbatoio per compressore su carrello blu*

### 3.1.1 Scenario “As is”

Attualmente la movimentazione dei serbatoi dall'accettazione alle linee si svolge secondo la seguente procedura.

I carrelli grigi vengono spostati manualmente dagli operatori logistici per raggiungere i buffer delle linee, dove saranno poi gli operatori a prenderli in carico per eseguire le varie fasi di assemblaggio. I carrelli blu invece vengono portati nella stazione di carico del treno logistico, dove verranno collegati e trasportati da esso ai buffer presenti all'inizio delle linee in cui saranno utilizzati.

I consumi per le varie linee sono riportati nella Tabella 3.1.

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Consumi giornalieri medi	34,47287	6,403101	20,04651	7,860465	0,627907	5,124031	0,984496

Tabella 3.1: Consumi medi dei serbatoi suddivisi per linea

Le linee L22 e L23 hanno i rispettivi buffer per i serbatoi in fondo ad esse, per questo la distanza da percorrere è minima e non viene considerato il tempo necessario per portare i serbatoi ad inizio linea in quanto la gestione è la stessa per entrambi gli scenari e la movimentazione è affidata agli operatori delle linee, per le restanti linee i buffer si trovano all'inizio, motivo per cui la distanza è decisamente maggiore, come mostrato in Figura 3.3, dove sono rappresentati in giallo i percorsi eseguiti dall'operatore logistico a piedi, mentre in azzurro le parti effettuate con il tugger train.

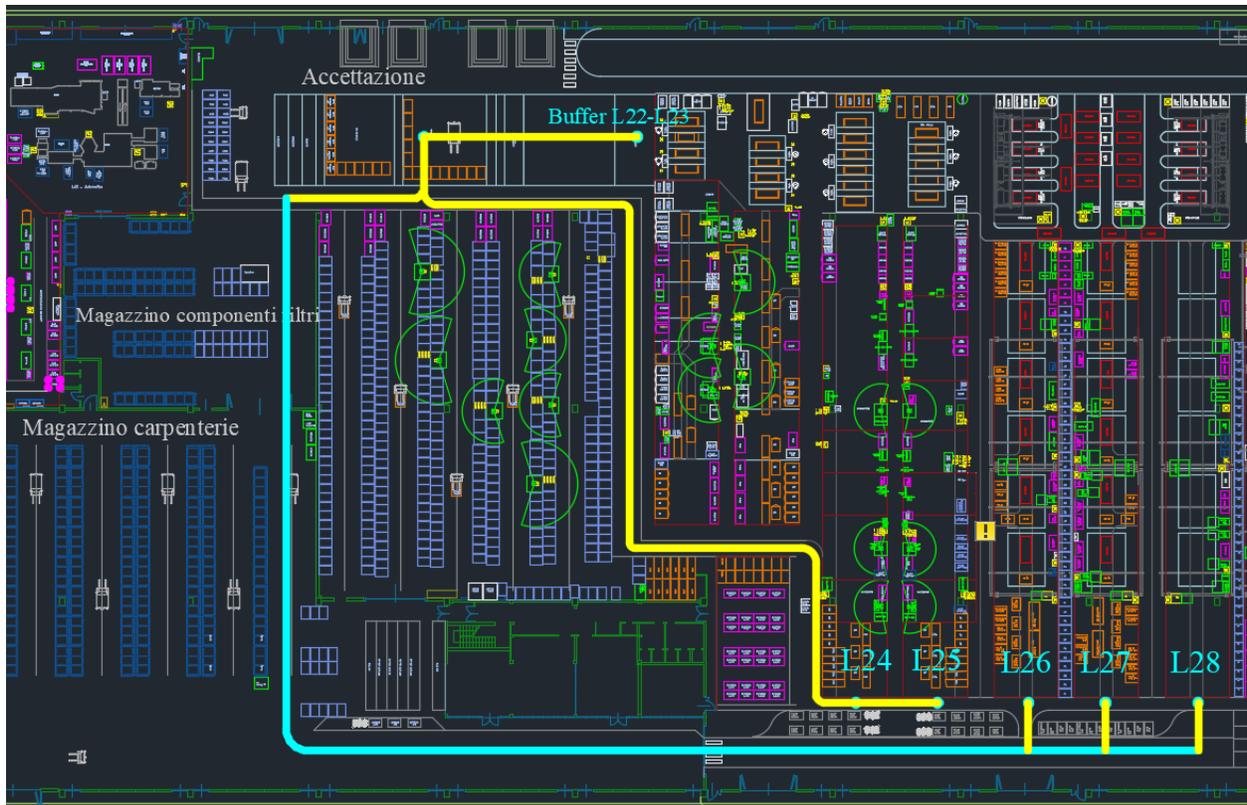


Figura 3.3: Rappresentazioni dei percorsi attuali dei serbatoi dei compressori

Nello specifico le distanze percorse per asservire i serbatoi a ogni linea sono le seguenti:

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Distanza a piedi [m]	19,6	19,6	91,1	98,7	22,6	22,6	22,6
Distanza col treno [m]	0	0	0	0	120,2	127,4	136,1

*Tabella 3.2: Distanze in metri percorse per trasportare i serbatoi alle linee*

In questo scenario attuale, considerando una velocità media dell'operatore a piedi di 1,4 m/s, di 0,55 m/s a piedi con un serbatoio, di 0,35 m/s a piedi con due serbatoi, di 2,2 m/s per le movimentazioni tramite tigger train, con un tempo di 23 s per collegare e scollegare i carrelli blu, si ottiene il tempo necessario giornalmente per asservire i serbatoi in linea.

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Consumi giornalieri medi	34,47287	6,403101	20,04651	7,860465	0,627907	5.124031	0.984496
Tempo di un giro [s]	49,63636	49,63636	230,7078	249,9545	89,03247	92.30519	96.25974
Tempo al giorno [s]	1711,108	317,8266	4624,886	1964,759	55,90411	472.9747	94.76734
Tempo totale limite superiore [s]			9242,226				
Tempo totale limite inferiore [s]			6416,92				

*Tabella 3.3: Tempo necessario per la movimentazione dei serbatoi nella situazione attuale*

Nella Tabella 3.3 sono indicati i secondi che ogni giorno vengono impiegati per il trasporto dei serbatoi, riportando sia il caso in cui le movimentazioni a mano siano eseguite un serbatoio per volta (limite superiore) sia a gruppi di due (limite inferiore), per quanto riguarda l'utilizzo del tigger train il caso inferiore è stato calcolato considerando di trasportare tre serbatoi per giro, il massimo per i carrelli blu. Il valore effettivo del tempo necessario giornalmente rientra all'interno dei due estremi calcolati, stimabile a circa metà dell'intervallo.

In entrambi i casi non sono considerati, in quanto non facilmente calcolabili, i ritardi causati da congestioni durante il tragitto, né le possibili inefficienze dovute ad affaticamento dell'operatore logistico o a eventuali interruzioni del trasporto per cause esterne. È da considerare che l'affaticamento è relativo alle sole operazioni manuali, non alla movimentazione tramite treno logistico, ulteriore fattore a favore dell'utilizzo del tigger train il più possibile.

### 3.1.2 Scenario gancio traino retrattile ed ergonomico

Una possibile variazione allo scenario attuale è quella di realizzare un gancio traino per i carrelli grigi, in modo da renderli a loro volta collegabili al treno logistico e trasportabili in questo modo alle linee di utilizzo. Per la progettazione del gancio è stato necessario partire da un'osservazione più approfondita sui carrelli e su quali serbatoi sono posizionati su di essi, per poi definire le varie caratteristiche del gancio traino in modo da rispettare i vincoli imposti dal sistema.

I carrelli sono formati da una sezione tubolare quadrata in acciaio di 3 cm di lato, la quale è utilizzata per realizzare un telaio rettangolare di 73x148 cm, rialzato da terra di 13 cm, in grado muoversi tramite ruote di 10 cm di diametro, le quali distano tra loro, misurando sul lato corto e nella condizione di curva, 42 cm. Nei lati lunghi sono presenti delle estensioni in lamiera per vincolare i movimenti laterali dei pallet caricati su di esso.



*Figura 3.4: Carrello grigio sul quale verrà montato il gancio traino*

Imbullonato al di sotto del lato corto posteriore è già presente un doppio perno a sezione quadrata di lato 1,5 cm e di 4 cm di altezza, il quale dista 2 cm dal suolo. Per motivi economici e di semplicità è stato deciso di non progettare un ulteriore perno di collegamento, in quanto

sarebbe poi necessaria la sua produzione, la rimozione del precedente e l'assemblaggio del nuovo per tutti i carrelli dei serbatoi, il che comporterebbe un notevole costo, ma di sfruttare quello attualmente presente, realizzato precedentemente per altri progetti.



*Figura 3.5: Dettaglio del perno attualmente montato sui carrelli*

Su questi carrelli vengono posizionati dei pallet di legno a cui sono fissati i serbatoi, il 3PL fornisce i serbatoi direttamente sul carrello e non è quindi necessaria alcuna azione su di essi. I pallet di legno in questione hanno due differenti dimensioni in base alla capienza e quindi ingombro del serbatoio montato su di essi, possono infatti essere di 73x148 cm, ovvero della dimensione del carrello e che quindi non soggetti a debordo, oppure di 73x198 cm e perciò di ben 50 cm più lunghi rispetto al carrello utilizzato per la loro movimentazione, introducendo un ulteriore vincolo alla progettazione del gancio traino. Per limitare la variabilità del debordo e poter determinare una lunghezza del gancio traino si è deciso di richiedere al 3PL di posizionare il pallet in modo da allineare i piedi col limite del carrello, così facendo esso si troverebbe a sporgere di 37 cm dal lato corto anteriore e i restanti 13 cm dal lato posteriore, così da avere sempre 50 cm di debordo complessivo tra due carrelli successivi, e non incappare in situazioni dove complessivamente i pallet fuoriescono dal carrello di 60 cm o anche più. I pallet hanno piedi alti 14 cm e assi spesse 2,5 cm. All'estremità del pallet è presente un'ulteriore asse trasversale fissata al di sotto delle assi longitudinali, riducendo la distanza tra il bordo superiore

del carrello e quello inferiore del pallet, diminuendo lo spazio disponibile per alloggiare il gancio mentre non si trova in funzione.



*Figura 3.6: Dettaglio del pallet posizionato sul carrello*

La presenza di pallet più lunghi rispetto al carrello è uno dei motivi principali per cui non si è optato per un gancio traino removibile. Nel caso di un gancio non fisso, non sarebbe stato necessario prevedere la retrattilità per la sicurezza degli operatori durante l'assemblaggio, in quanto rimuovendo direttamente il gancio non ci sarebbero stati rischi di colpirne la punta, ma la difficoltà di inserire un gancio removibile nel caso di pallet sporgenti non è certo indifferente. Questa difficoltà si traduce in maggior tempo per eseguire il collegamento tra carrelli e quindi in un costo, che con il tempo supera rapidamente l'investimento per realizzare il gancio fissato al carrello e retrattile. Inoltre, sarebbe necessario prevedere sia una locazione dove stoccare i ganchi non utilizzati in attesa dell'arrivo di carrelli sia un modo per riportarli dall'inizio della linea, dove vengono scollegati i serbatoi dal treno, all'accettazione, dove verranno agganciati.

I fattori da tenere in considerazione per lo sviluppo sono in primo luogo la solidità della struttura, che deve essere in grado di trainare più carrelli ognuno dei quali trasporta un pallet con un serbatoio fino a 500 L, che nonostante vuoti posseggono un peso considerevole.

Altro elemento importante è l'ergonomia, sia a livello del collegamento dei carrelli gli uni con gli altri, sia sul carrello stesso, considerando che il compressore viene assemblato direttamente sul serbatoio, è necessario che il gancio "a riposo" non crei un rischio per gli operatori che

lavorano attorno al carrello. Per questo secondo motivo il gancio è stato progettato per essere retrattile, in modo che una volta chiuso sia tutto coperto dal pallet, nel caso dei serbatoi più grandi, o comunque si trovi in verticale e perfettamente in vista nel caso dei serbatoi più piccoli, mentre per il primo è stato ideato per essere utilizzabile dagli operatori interamente coi piedi, così che non debbano chinarsi ogni volta per collegare e scollegare i carrelli tra loro o al tugging train.

Un altro fattore considerato è la necessità che il gancio una volta in funzione non si richiuda autonomamente, questo porterebbe, nel caso di frenata del treno logistico, allo scontro tra due pallet adiacenti con conseguente rischio di danni per i serbatoi.

Non è da ignorare la lunghezza del gancio aperto, che deve essere sufficiente per collegare due carrelli successivi e permettere un raggio di curvatura adeguato al percorso seguito dal tugging train, considerando il debordo dei pallet dei serbatoi più lunghi rispetto al carrello, senza però aumentare troppo con le dimensioni per riuscire a coprire interamente il gancio chiuso con il pallet sovrastante per le ragioni di sicurezza sopra descritte.

Si voleva inoltre un gancio che fosse in grado non solo di collegare i carrelli dei serbatoi tra loro, sfruttando il perno attualmente presente su di essi, ma anche con altri vagoni del tugging train, denominati “basi carrellate”, utilizzati in azienda, il cui perno ha dimensioni e posizione diverse rispetto a quello dei carrelli in esame.



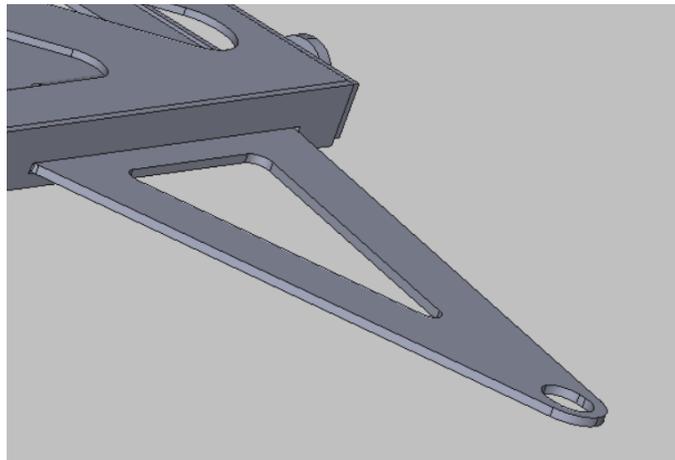
*Figura 3.7: Carrelli porta pallet chiamati in azienda “basi carrellate” collegati tra loro*

La progettazione del gancio traino è stata complessa in quanto esso doveva rispettare i numerosi vincoli sopraelencati, vedremo ora in modo più approfondito le scelte di design che sono state effettuate per soddisfare le varie richieste:

- Poter collegare i carrelli dei serbatoi tra loro, con altri carrelli presenti nello stabilimento e col treno logistico. Il gancio è dotato di un’asola alla sua estremità, con un diametro interno di 3 cm, all’interno della quale verrà alloggiato il perno dei carrelli o del treno logistico formando così il collegamento. Mentre il perno del tugger train utilizzato in produzione è mobile e dotato di mensole di appoggio permetterebbe il trasporto anche nel caso l’asola fosse fissa in orizzontale, il perno del carrello punta verso il basso, per questo si utilizza una molla torsionale per permettere al gancio traino di venire abbassato manualmente, posizionato al di sotto del perno e poi lasciato libero di risalire andando a incastrarsi col perno realizzando il collegamento



*Figura 3.8: Dettaglio dell'aggancio al treno logistico*

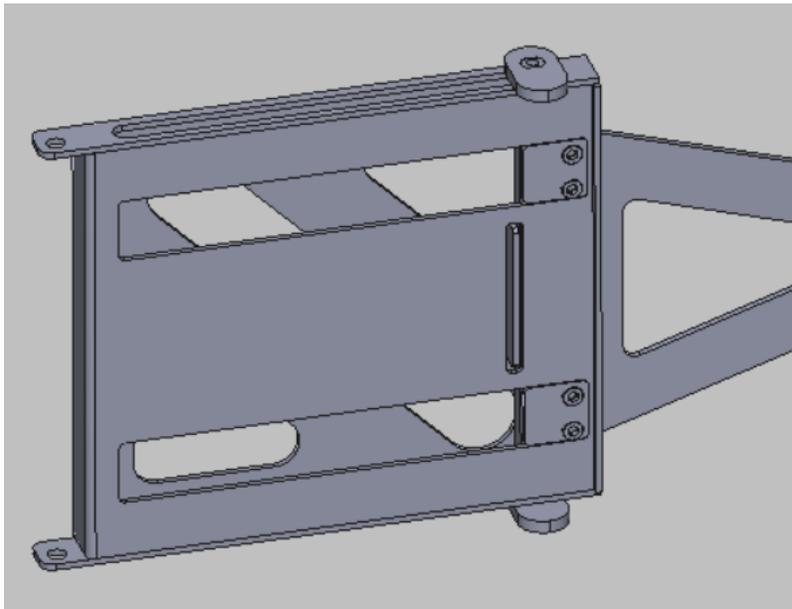


*Figura 3.9: Dettaglio dell'asola*

- Ergonomia e sicurezza durante il lavoro. Considerando che i compressori vengono assemblati direttamente sul serbatoio, ovviamente solo quelli che ne dispongono, e che il serbatoio rimane posizionato sul carrello durante tutta l'operazione di montaggio per permettere la movimentazione tra le varie fasi della linea, è fondamentale tenere in considerazione la sicurezza degli operatori mentre eseguono le loro mansioni. Per questo motivo si è progettato il gancio in modo da essere o perfettamente visibile o

completamente nascosto, in fase alla dimensione del pallet posizionato sul carrello. Nel caso dei serbatoi più piccoli, dove non vi è alcun debordo, grazie alla molla torsionale il gancio si troverebbe in verticale e quindi in piena vista, mentre per i serbatoi più grandi il gancio è stato ideato per essere retrattile, così che, una volta richiuso, si posizioni completamente all'interno dei limiti formati dal pallet sovrastante, così che non ci sia il rischio per l'operatore di colpire inavvertitamente con la gamba la punta del gancio. L'essere retrattile inoltre avvantaggia anche la situazione precedente, infatti il gancio si troverà comunque in verticale e quindi in piena vista, ma ad un'altezza minore, inferiore a quella della cima del serbatoio, migliorando l'ergonomia per l'operatore durante l'assemblaggio.

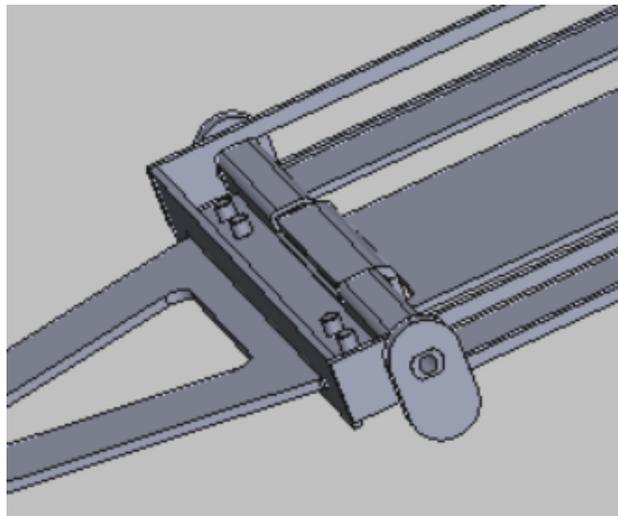
Per ottenere la caratteristica di essere retrattile, il gancio è stato progettato come assieme di più parti con possibilità di movimenti relativi tra loro. È composto da una struttura portante a forma di cassa, collegata al telaio del carrello frontalmente al lato corto mediante una flangia, e che ruota mediante la molla torsionale, e alloggiato al suo interno vi è il gancio vero e proprio, libero di scorrere entro i limiti imposti dalla cassa, guidato da due piccole flange che scorrono all'interno di apposite fessure nella parte inferiore della struttura portante.



*Figura 3.10: Dettaglio delle guide*

- Ergonomia del collegamento. Vista la limitata altezza da terra a cui si trova il gancio, si voleva fare in modo che gli operatori non dovessero chinarsi ogni volta per collegare e scollegare i carrelli, considerato anche l'elevato utilizzo, per questo il progetto è stato realizzato in modo che tutte le operazioni fossero eseguibili in maniera relativamente semplice tramite l'utilizzo dei piedi.

Per questo motivo la parte del gancio è stata ideata per avere all'estremità posteriore un cilindro libero di ruotare dai cui apici si estendono due manici, uno per lato, per non limitare l'operatore a doversi trovare da una parte specifica del carrello. La forma dei manici permette agli operatori di movimentare il gancio sfruttando semplicemente i piedi, spingendo rispettivamente sulla parte superiore del manico durante l'apertura e sul lembo inferiore durante la chiusura. Una volta raggiunta la massima estensione del gancio si sposta il piede sulla parte inferiore del manico per bloccare il gancio e per abbassarlo in modo da andare sopra il perno per collegarli.

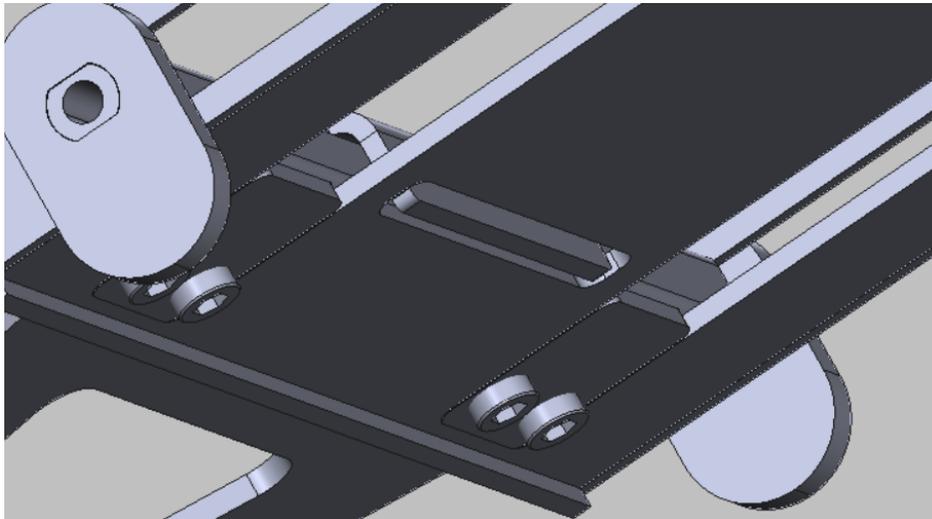


*Figura 3.11: Dettaglio della leva*

- Blocco del gancio per non chiudersi durante il trasporto. Siccome il gancio non è composto da un solo elemento fisso, ma da più parti mobili, era imperativo che una volta in funzione esso rimanesse bloccato come se fosse formato da un pezzo unico, altrimenti durante la movimentazione dei serbatoi, nello specifico nel caso di frenata, i carrelli si avvicinarebbero e i pallet sbatterebbero l'uno contro l'altro, un risultato chiaramente non

desiderato. Allo stesso modo una volta chiuso il gancio deve restare tale, specialmente nel caso dei pallet più lunghi dove rischierebbe di sporgere.

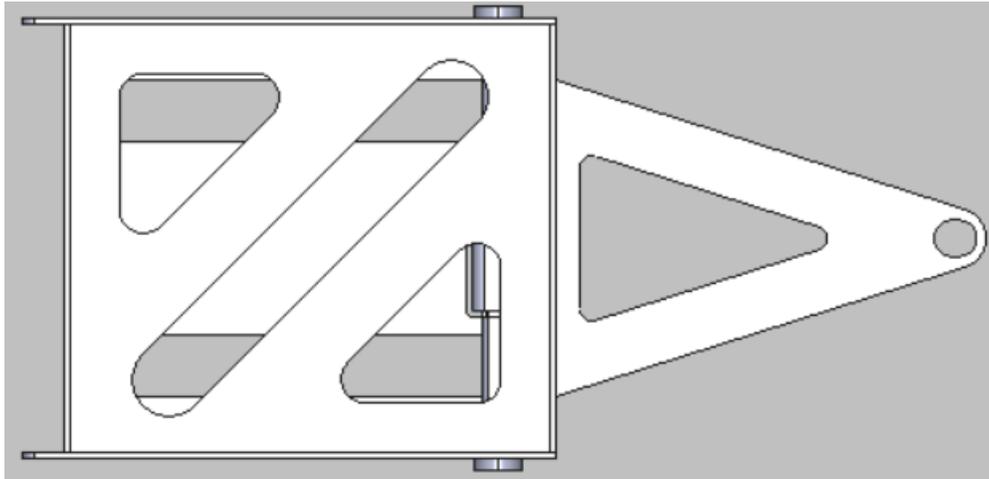
Anche questo punto è stato risolto grazie al cilindro mobile presente sul gancio, il quale si trova all'interno di un ulteriore cilindro, cavo e solidale al gancio, sul cilindro mobile è imbullonata una lamiera a forma di L. Arrivati alla massima estensione del gancio, ruotando il cilindro tramite il lembo inferiore del manico, questa lamiera andrà ad “addentare” la cassa portante impedendo al gancio di richiudersi durante il movimento, e premendo ulteriormente sul manico si andrà ad abbassare il gancio per inserire il perno. Per richiudere è sufficiente, una volta scollegati i carrelli, ruotare il cilindro in verso opposto per rimuovere il blocco della lamiera a L e successivamente far scorrere il gancio fino al fine corsa opposto. Il gancio chiuso viene mantenuto tale dalla forza di gravità, in quanto, sia nel caso di pallet corti che lunghi, la molla torsionale tende a farlo inclinare verso l'alto, inoltre nel caso dei serbatoi più capienti la struttura portante si troverà a contatto con la superficie inferiore del pallet, aggiungendo l'attrito ad impedire il movimento non intenzionale del gancio.



*Figura 3.12: Dettaglio del blocco a fine corsa*

- Lunghezza. Per essere in grado di collegare efficacemente due carrelli con pallet lungo, disposti in modo da avere il debordo costante di 37 e 13 cm rispettivamente nella parte anteriore e posteriore, è stata determinata la necessità di un gancio che permette ai due carrelli di essere distanti 72 cm tra loro. Al contempo per far sì che il gancio fosse

contenuto interamente al di sotto del pallet una volta chiuso, la sua lunghezza non poteva superare i 39,7 cm nella sua condizione di riposo. Considerando i vincoli dimensionali elencati, le misure adottate sono le seguenti: lunghezza della struttura portante di 38,5 cm e lunghezza del gancio di 36 cm non considerando la parte dei cilindri fisso e mobile.



*Figura 3.13: Rappresentazione del gancio nella sua lunghezza massima*

- Solidità della struttura. Come si intuisce dal nome, il gancio traino deve essere in grado di trainare più carrelli dei serbatoi contemporaneamente, e per fare questo necessita di un certo livello di solidità. Per ottenere questo risultato la struttura portante ha una larghezza di 52 cm, mentre la parte del gancio di 50 cm, il tutto realizzato in lamiera di acciaio con uno spessore di 0,5 cm. Per meglio distribuire lo sforzo, la sezione sulla quale avverrà il contatto tra i due elementi del gancio in fase di traino, simmetrica rispetto all'asse del gancio, è stata realizzata in modo da massimizzarne la larghezza, la quale ammonta a 11 cm.

La realizzazione del gancio permette di trasportare i serbatoi posizionati sui carrelli grigi mediante treno logistico, anche se questa possibilità verrebbe applicata solamente nel trasporto per le linee L24 e L25, in quanto le uniche che utilizzano questi carrelli e le cui distanze percorse sono di entità sufficiente a giustificare il collegamento al tugging train. Dalla Tabella 3.1 si può comunque evincere come queste due sole linee siano responsabili di un consumo di circa 28 serbatoi al giorno, quindi un numero di viaggi non irrisorio.

In questo scenario i nuovi percorsi seguiti dai serbatoi sono indicati in Figura 3.14, anche qui rappresentati in giallo i movimenti eseguiti dagli operatori a piedi e in azzurro gli spostamenti tramite treno logistico.

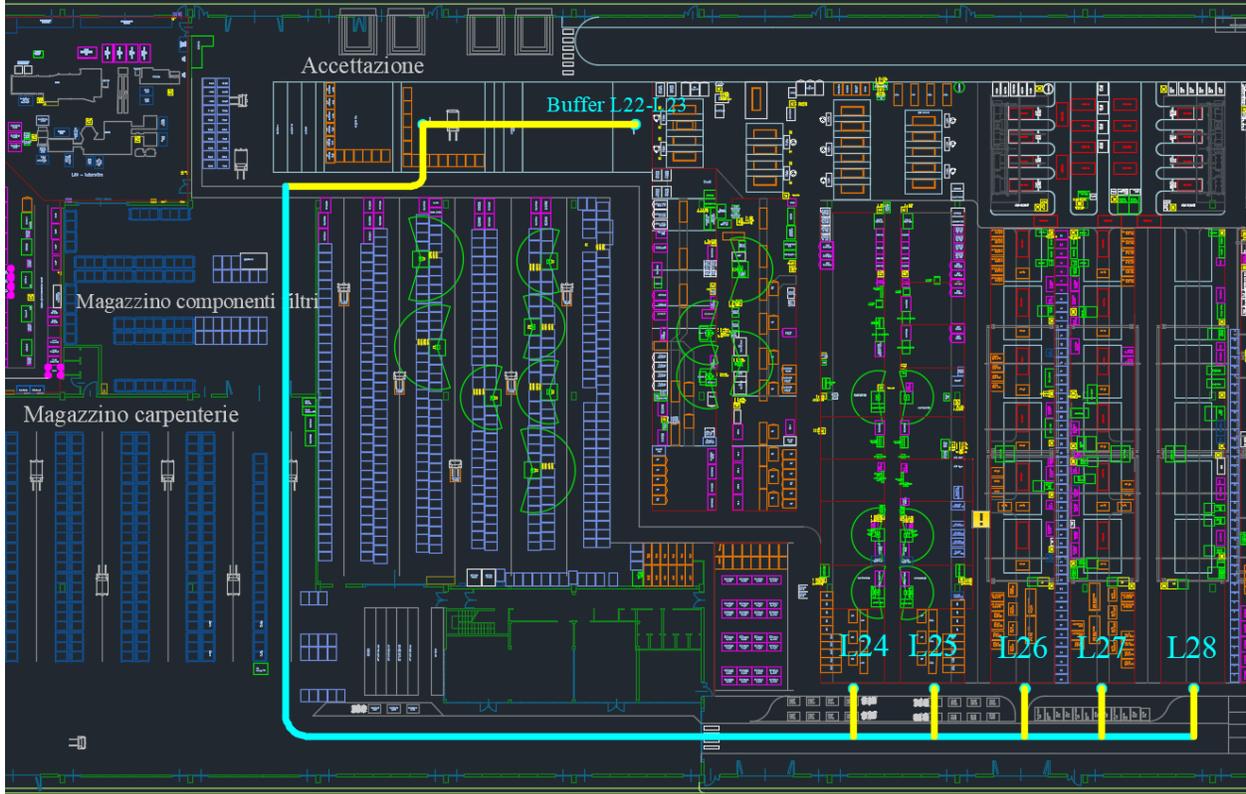


Figura 3.14: Rappresentazione dei percorsi dei serbatoi grazie al nuovo gancio traino

Le distanze ora percorse sarebbero:

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Distanza a piedi [m]	19,6	19,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6
Distanza col treno [m]	0	0	104,1	111,7	120,2	127,4	136,1

Tabella 3.4: Distanze in metri percorse per trasportare i serbatoi alle linee

In questo scenario alternativo, considerando le medesime velocità del precedente e un tempo di 33 s per collegare e scollegare i carrelli grigi, il tempo necessario per l'asservimento dei serbatoi in linea risulta indicato in Tabella 3.5.

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Consumi giornalieri medi	34,47287	6,403101	20,04651	7,860465	0,627907	5,124031	0.984496
Tempo di un giro [s]	49,63636	49,63636	91,71429	95,16883	90,23636	93,50909	97.46364
Tempo al giorno [s]	1711,108	317,8266	1838,551	748,0713	56,66004	479,1435	95.95257
Tempo totale limite superiore			5247,313				
Tempo totale limite inferiore			2789,3				

*Tabella 3.5: Tempo necessario per la movimentazione dei serbatoi mediante il nuovo gancio*

Con il carrello grigio, viste le dimensioni più contenute rispetto alla sua controparte blu, il quale misura 205x92 cm, è possibile trasportare fino a sei serbatoi in un giro mediante il tugger train. In questo caso il limite superiore è stato calcolato considerando di portare un serbatoio per volta, sia manualmente che tramite tugger train per entrambi i carrelli, mentre il limite inferiore è stato calcolato considerando di movimentare due serbatoi contemporaneamente nei tratti manuali, tre serbatoi posizionati su carrelli blu e sei posizionati su carrelli grigi per la movimentazione tramite treno logistico, anche in questo scenario il tempo reale ricadrà all'interno dell'intervallo indicato, mediamente nel mezzo.

Esattamente come per il caso attuale non è stato considerato il tempo perso a causa di congestioni durante il tragitto, così come le possibili inefficienze a cui gli operatori logistici possono essere soggetti. Bisogna però sottolineare come in questo scenario si riduce drasticamente l'affaticamento, in quanto le movimentazioni manuali si presentano in quantità decisamente minori rispetto a come avviene attualmente all'interno dello stabilimento.

### 3.1.3 Confronto degli scenari

Analizzati singolarmente i due scenari è possibile quindi fare un confronto.

Il dato più lampante è il tempo impiegato giornalmente per il trasporto dei serbatoi dall'accettazione alle linee di assemblaggio, considerando per entrambi gli scenari il valore medio tra il limite inferiore e superiore calcolati, si ha un tempo medio di 7829,57 secondi per lo scenario attuale, e di 4018,31 secondi per lo scenario in cui si implementa il nuovo gancio traino, per un risparmio in termini di tempo del 48,68%, un valore decisamente non irrilevante, inoltre il tempo per il secondo scenario è meno influenzato dall'affaticamento degli operatori e da congestioni durante il percorso, in quanto il tigger train transita in corridoi dedicati mentre le movimentazioni manuali avvengono in corridoi frequentati costantemente dagli operatori a piedi. Come accennato nelle righe precedenti il passaggio alla nuova gestione ha un'influenza positiva anche in termini di fatica e quindi di ergonomia, non sarà più necessario spostare manualmente carrelli dal peso non indifferente per lunghi tratti molteplici volte al giorno, sarà semplicemente necessario portarli nel punto di prelievo del treno e collegarli ad esso, senza nemmeno doversi piegare ma solamente con l'utilizzo dei piedi, grazie alle particolari caratteristiche di design del gancio traino. Gancio che non creerà problemi nemmeno durante l'assemblaggio in quanto è stato progettato tenendo a mente anche l'ergonomia degli operatori delle linee.

In più il passaggio al gancio traino porta una maggiore standardizzazione, invece di avere tre gestioni diverse, ovvero i serbatoi di L22 e L23 portati manualmente a fondo linea, quelli di L24 e L25 portati manualmente ad inizio linea passando per l'interno e quelli di L26, L27 e L28 portati tramite treno logistico, si avrebbero solo due gestioni, L22 e L23 portati manualmente nel buffer a fondo linea e tutti gli altri con il tigger train.

Scenario	As is	Gancio traino
Tempo medio [s]	7829,57	4018,31
Variabilità del tempo	Media	Ridotta
Ergonomia logistica	Sufficiente	Elevata
Ergonomia assemblaggio	Elevata	Elevata
Standardizzazione	Ridotta	Media

*Tabella 3.6: Sintesi del confronto tra scenari*

Basandosi sui risultati ottenuti e sui miglioramenti elencati in Tabella 3.6 l'azienda ha deciso di adottare lo scenario del gancio trattile ed ergonomico per la gestione e movimentazione dei serbatoi per i compressori. Sono quindi in produzione i ganci che verranno successivamente assemblati sui carrelli grigi utilizzati in azienda.

## 3.2 Trasporto delle basi dei compressori

Nel caso in cui i compressori non siano dotati di un serbatoio per l'accumulo di aria compressa, essi sono assemblati direttamente su di una lamiera identificata con il nome di base, e saranno definiti "floor mounted". Come per i serbatoi queste basi vengono prodotte dal fornitore ed inviate a uno dei 3PL, il quale le fissa ai relativi pallet e le invia in Ceccato seguendo le sequenze produttive.

Attualmente le basi non vengono caricate su dei carrelli direttamente dal 3PL, ma vengono impilate da 1 a 5 basi per la stessa linea e caricate così nell'autoarticolato, sarà poi in Ceccato dove verranno posizionate su carrelli per permetterne la movimentazione.

Considerando che circa metà dei compressori prodotti in Ceccato è munito di serbatoio, i consumi medi delle basi utilizzati nei calcoli sono gli stessi dei serbatoi considerati nel capitolo precedente.



*Figura 3.15: Base dei compressori montata sul suo pallet*

### 3.2.1 Scenario “As is”

Così come per i serbatoi, anche il trasporto delle basi segue procedure diverse in base alla loro destinazione. Per quanto riguarda le linee L22 e L23 le basi vengono portate all’inizio della rispettiva linea, ancora impilate nel caso lo fossero, mediante transpallet elettrico dagli operatori logistici, una volta raggiunta la destinazione saranno posizionate una ad una sui degli appositi carrelli, muniti di un supporto rialzabile per permettere alle basi di raggiungere un’altezza minima da terra di 80 cm, valore necessario per l’ergonomia degli operatori che dovranno eseguire le operazioni di assemblaggio dei compressori direttamente sulle basi.



*Figura 3.16: Carrelli per l’assemblaggio dei compressori sulle basi*



*Figura 3.17: Dettaglio di una base in lavorazione sul carrello da assemblaggio*

Per asservire le linee L24 e L25 le basi vengono posizionate in accettazione sulle basi carrellate mediante transpallet, le quali verranno quindi collegate al tigger train e portate così in linea. Una volta giunte a destinazione sono prelevate dalle basi carrellate e posizionate una ad una sui carrelli per l'assemblaggio, nuovamente tramite l'utilizzo di transpallet, che è quindi necessario avere a disposizione in linea.



*Figura 3.18: Basi per i compressori posizionate su basi carrellate per il tigger train*

Le basi destinate a L26, L27 e L28 vengono invece portate alle linee di destino tramite forklift, che le preleva impilate in accettazione e una volta giunto alla linea di assemblaggio le posiziona singolarmente sui carrelli per l'assemblaggio. Questa gestione è dovuta al fatto che le basi per queste linee sono di dimensioni troppo elevate (sono provviste di un pallet lungo fino a 2 metri) per poterle posizionare sulle basi carrellate, lunghe solo 125 cm, motivo per cui nello scenario attuale è necessario l'utilizzo del carrello elevatore frontale in accettazione, il quale comporta un pericolo per gli operatori a piedi in quanto essa è una zona pedonale, a differenza dei magazzini dove è previsto il passaggio del forklift.

Terminato l'assemblaggio e spostati i compressori per essere spediti, i carrelli vengono riportati manualmente all'inizio della linea dagli operatori logistici, per poter ricevere le successive basi e ricominciare il ciclo.

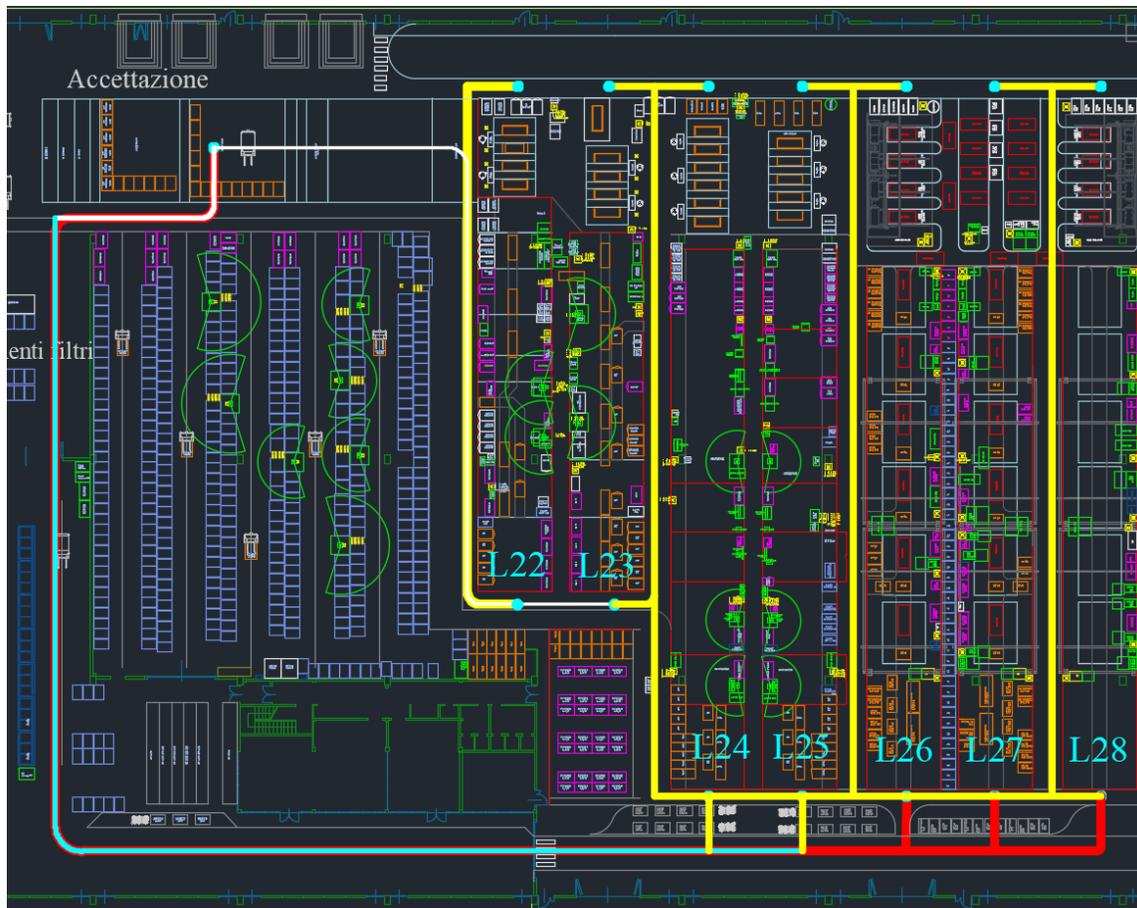


Figura 3.19: Rappresentazione degli attuali percorsi per la movimentazione delle basi

In Figura 3.19 sono rappresentati i percorsi nello scenario attuale, dove in giallo sono identificati i movimenti a piedi, principalmente per riportare i carrelli vuoti ad inizio linea, in bianco i movimenti tramite transpallet, in azzurro quelli con tugger train e in rosso gli spostamenti del CEF.

Nello specifico le distanze percorse sono le seguenti

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Distanza a piedi [m]	49	49	72,1	72,1	65,3	65,3	65,3
Distanza col treno [m]	0	0	104,1	111,7	0	0	0
Distanza col transpallet [m]	60,7	68,6	18,1	18,1	0	0	0
Distanza col forklift [m]	0	0	0	0	141,9	149,1	157,8

Tabella 3.7: Distanze percorse per le basi nello scenario attuale

Assumendo la velocità media del forklift di 2 m/s, di 2,2 m/s per il tugger train, di 1 m/s a piedi con un carrello, 0,66 m/s a piedi con due carrelli, di 0,8 m/s con il transpallet, con un tempo medio di 50 s per posizionare un pallet con il transpallet e di 30 s per posizionarlo tramite forklift, si ottengono i seguenti tempi.

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Consumi giornalieri medi	34,47287	6,403101	20,04651	7,860465	0,627907	5.124031	0.984496
Tempo di un giro [s]	250,75	270,5	311,9864	318,8955	237,2	244.4	253.1
Tempo al giorno [s]	8644,072	1732,039	6254,238	2506,667	148,9395	1252.313	249.176
Tempo totale limite superiore [s]			20787,44				
Tempo totale limite inferiore [s]			8961,486				

*Tabella 3.8: Tempo necessario per portare le basi nello scenario attuale*

Il limite superiore è stato calcolato considerando di portare una base alla volta in tutte le situazioni, mentre il limite inferiore è stato ricavato considerando le basi impilate a gruppi di cinque e di collegare sei basi carrellate al tugger train, il tempo reale è quindi compreso all'interno dell'intervallo. Come per i serbatoi non sono stati tenuti in considerazione eventuali ritardi dovuti a congestioni o ad altre inefficienze degli operatori logistici.

### 3.2.2 Scenario gancio traino senza internalizzazione

Una possibile alternativa allo scenario attuale per il trasporto delle basi dei compressori è quella di sfruttare il gancio traino progettato nella sezione dei serbatoi per rendere carrellabili anche i carrelli di assemblaggio delle basi (si potrebbe in caso pensare ad un nuovo carrello di assemblaggio progettato più ad hoc rispetto a quello attualmente utilizzato nello stabilimento). Si utilizzerebbe sempre il gancio progettato in precedenza, quindi retrattile, in quanto anche le basi hanno lo stesso vincolo di ergonomia per gli operatori della linea di assemblaggio. Gli operatori, infatti, devono realizzare i compressori direttamente sui carrelli, ed avere quindi un gancio che può richiudersi e rimanere al di sotto del pallet su cui sono posizionate le basi permette di svolgere le operazioni con minor rischio di infortunio. In questo modo in aggiunta non sarebbe necessario il passaggio sulle basi carrellate per trasportare le basi mediante treno logistico, ma basterebbe una sola movimentazione delle basi tramite forche, che siano di un transpallet o di un

carrello elevatore frontale. Inoltre, se queste movimentazioni avvenissero in una zona normalmente munita di questi strumenti per sollevare i pallet, si rimuoverebbe la necessità di avere strumenti di sollevamento a inizio linea.

Una prima versione alternativa sarebbe quella di mantenere la gestione delle basi presso il 3PL, scaricando quindi le basi impilate in accettazione, per poi posizionarle una alla volta sugli appositi carrelli di assemblaggio. Successivamente le basi destinate alle linee L22 e L23 vengono portate manualmente dagli operatori logistici ad inizio linea, mentre le restanti basi sono collegate al tugger train e portate così in linea. Al termine dell'assemblaggio i carrelli vuoti vengono riportati in accettazione dove verranno riempiti con le nuove basi.

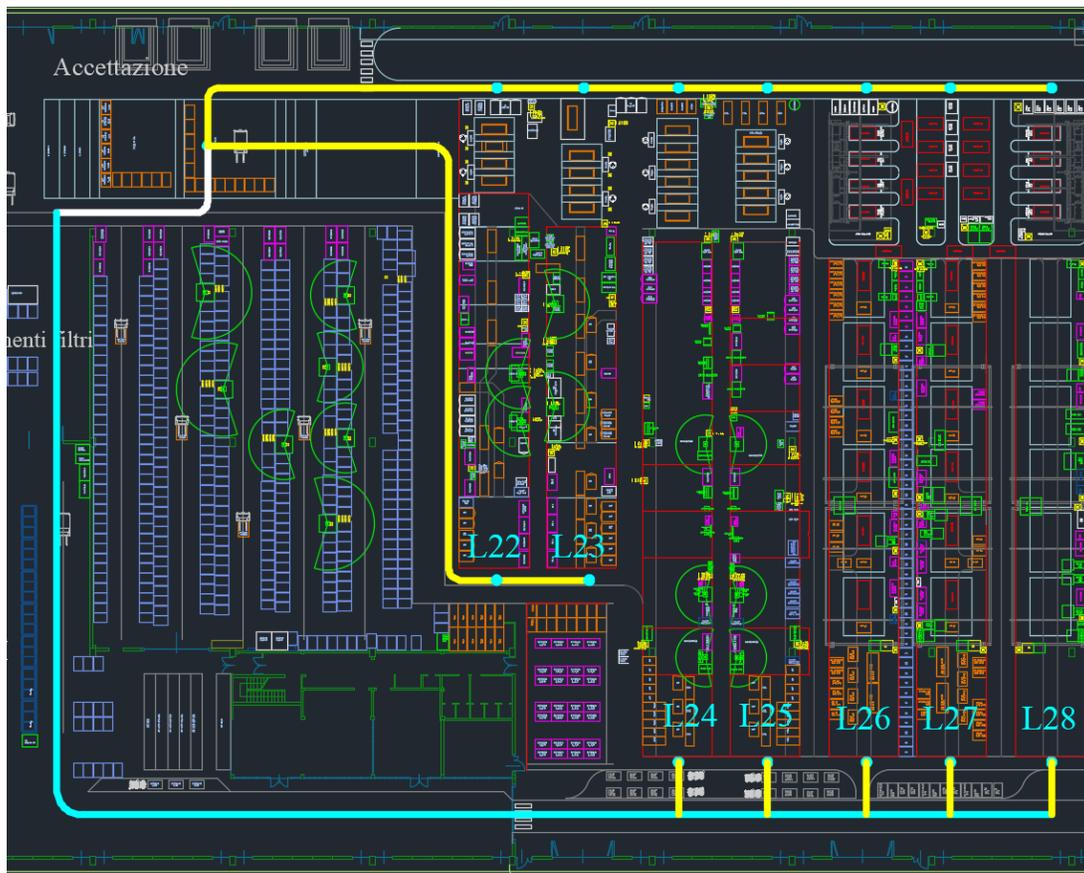


Figura 3.20: Percorsi delle basi nello scenario con il gancio traino per i carrelli di assemblaggio

Le distanze percorse in questo scenario sono le seguenti:

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Distanza a piedi [m]	108.8	124.1	68.1	75.7	84.2	91.4	100.1
Distanza col treno [m]	0	0	104.1	111.7	120.2	127.4	136.1
Distanza col transpallet [m]	0	0	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
Distanza col forklift [m]	0	0	0	0	0	0	0

*Tabella 3.9: Distanze percorse per le basi con il gancio traino*

Utilizzando gli stessi valori dello scenario precedente i tempi necessari mediamente per il trasporto delle basi dei compressori risulterebbero:

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Consumi giornalieri medi	34.47287	6.403101	20.04651	7.860465	0.627907	5.124031	0.984496
Tempo di un giro [s]	236.5143	262.7429	307.9864	322.4955	338.7227	352.4682	369.0773
Tempo al giorno [s]	8153.326	1682.369	6174.052	2534.964	212.6864	1806.058	363.3551
Tempo totale limite superiore [s]			20926.81				
Tempo totale limite inferiore [s]			8617.031				

*Tabella 3.10: Tempo necessario per portare le basi con il gancio traino*

Anche qui il limite superiore è calcolato considerando di portare una base per volta, mentre il limite inferiore considerando di collegare sei carrelli al tugger train e di movimentare due carrelli contemporaneamente per i tratti eseguiti a piedi e il tempo effettivo risulterà compreso tra i due estremi, sempre non considerando congestioni o inefficienze varie.

Oltre ai tempi è importante evidenziare come questo scenario migliori la standardizzazione dei processi rispetto a quello attuale, vi sono infatti solo due diversi tipi di gestione, L22 e L23 in un modo e le restanti linee in un altro, a differenza delle tre diverse modalità attuali. Inoltre, un aspetto importante è l'eliminazione dell'utilizzo del forklift nella zona dell'accettazione, un fattore a cui l'azienda è molto interessata, sia dati i suoi costi ma anche per la sicurezza per gli operatori a piedi. Concettualmente sarebbe possibile eliminare il CEF anche nello scenario attuale, ma trasportare le basi di L26, L27 e L28 con il transpallet risulterebbe in un consumo di tempo estremamente elevato e quindi non conveniente.

### 3.2.3 Scenario gancio traino con internalizzazione

Una seconda versione dello scenario in cui si utilizza il gancio traino retrattile sarebbe quella di internalizzare le basi dei compressori, ovvero non farle arrivare più dal fornitore al 3PL per poi farle spedire secondo richiesta, ma di riceverle direttamente dal fornitore e stoccarle nel magazzino carpenterie, in modo da ridurre i costi del magazzino esterno, sia in termini di spazio che di manodopera, i quali sono maggiori rispetto a quelli dell'azienda. In più avere le basi in un magazzino interno renderebbe più regolare la loro movimentazione, non dovendo più aspettare gli orari di consegna ma potendo inviare le basi in linea esattamente quando esse sono necessarie.

Le basi vengono quindi prelevate dagli scaffali in cui sono stoccate mediante forklift e portate ancora sovrapposte all'uscita del magazzino, dove verranno posizionate una ad una sul carrello d'assemblaggio, i quali verranno collegati al tugger train il quale porterà le basi in linea. Una volta terminata la macchina il carrello vuoto viene riportato manualmente ad inizio linea dove verrà collegato nuovamente al treno logistico di ritorno dalle linee, il quale porterà i vuoti in magazzino dove ricomincerà il ciclo. I percorsi in questo scenario sarebbero i seguenti:

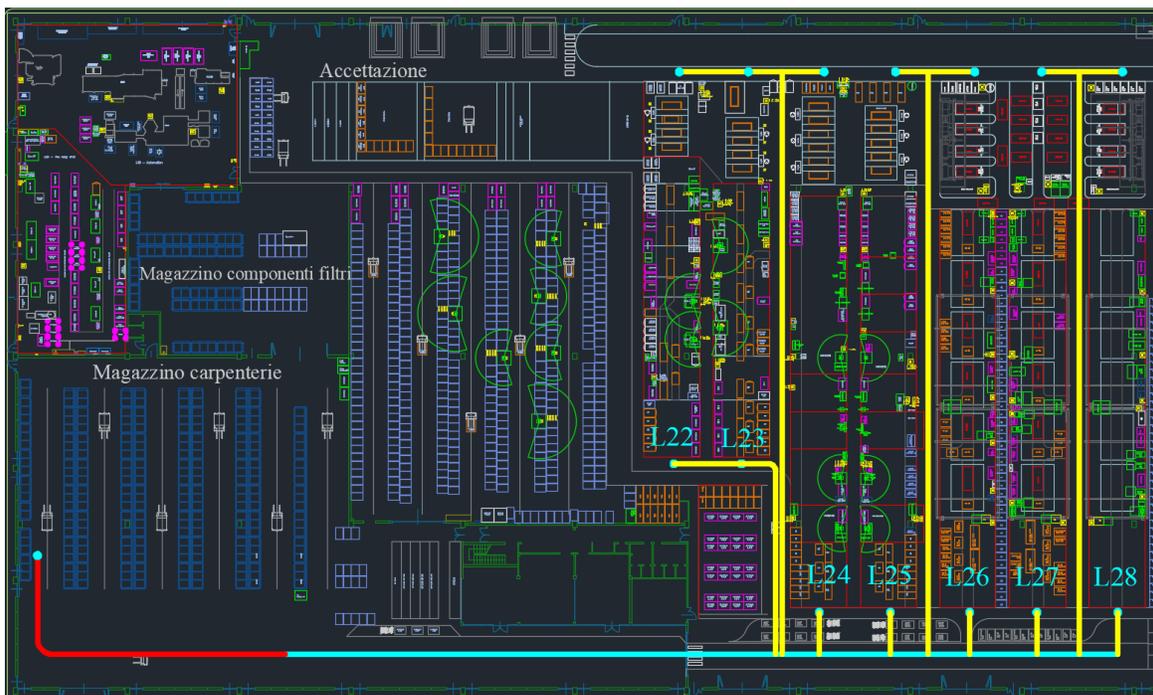


Figura 3.21: Percorsi delle basi con gancio traino ed internalizzazione

Le distanze percorse per questa possibilità risultano essere:

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Distanza a piedi [m]	108.8	124.1	68.1	75.7	84.2	91.4	100.1
Distanza col treno [m]	0	0	104.1	111.7	120.2	127.4	136.1
Distanza col transpallet [m]	0	0	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
Distanza col forklift [m]	0	0	0	0	0	0	0

*Tabella 3.11: Distanze percorse dalle basi nel caso di internalizzazione*

Mantenendo costanti i valori di velocità e di tempi fissi utilizzati per gli scenari precedenti il tempo che mediamente viene impiegato ogni giorno per asservire le linee risulta:

Linee	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28
Consumi giornalieri medi	34.47287	6.403101	20.04651	7.860465	0.627907	5.124031	0.984496
Tempo di un giro [s]	218.9182	204.5182	189.3	196.4091	204.1364	210.7818	218.6
Tempo al giorno [s]	7546.738	1309.551	3794.805	1543.867	128.1786	1080.053	215.2109
Tempo totale limite superiore [s]			15618.4				
Tempo totale limite inferiore [s]			8451.941				

*Tabella 3.12: Tempo per la movimentazione dalle basi nel caso di internalizzazione*

Anche in questo scenario il limite superiore rappresenta il caso peggiore, una base per volta, mentre quello inferiore è stato ricavato considerando di movimentare cinque basi impilate l'una sull'altra con il forklift, di collegare sei carrelli al tugger train e di movimentare manualmente due carrelli per volta, con il tempo effettivo all'interno dell'intervallo. Nuovamente non vengono considerate possibili congestioni o inefficienze.

Come per lo scenario precedente con questa nuova gestione si eliminerebbe il forklift dall'accettazione e si aumenterebbe la standardizzazione, ma in questo caso l'aumento sarebbe ancora maggiore, in quanto tutte le linee avrebbero la stessa gestione per quanto riguarda le basi dei compressori.

### 3.2.4 Confronto degli scenari

Passiamo ora ad un confronto degli scenari precedentemente proposti e analizzati.

Nuovamente l'elemento che salta più all'occhio è il tempo che viene impiegato mediamente ogni giorno per portare le basi dei compressori alle relative linee di assemblaggio, come per quanto riguarda i serbatoi confronteremo il valore intermedio tra i due limiti calcolati: per quanto riguarda lo scenario attuale si ottiene un tempo di 14874,46 secondi al giorno, 14771,92 secondi per lo scenario in cui si utilizza il gancio traino ma non si internalizzano le basi, e di 12035,17 secondi nel caso di internalizzazione. A differenza dei serbatoi non è il tempo il fattore discriminante in questi scenari, la prima alternativa proposta infatti ha un miglioramento di solo lo 0,69% rispetto allo scenario attuale, mentre l'internalizzazione porterebbe ad un risparmio in termini di tempo del 19,1% se confrontato con l'attuale, un miglioramento comunque non trascurabile.

Un elemento a favore degli scenari con il gancio traino è il fatto che la sua progettazione è già stata eseguita, perciò basterebbe semplicemente assemblarlo anche sui carrelli con rialzo utilizzati per le basi dei compressori.

In più passando al gancio traino si eliminerebbe il carrello elevatore in accettazione, o almeno la sua necessità per la movimentazione delle basi, uno dei vincoli principali imposti dall'azienda. Verrebbe inoltre eliminata la necessità di avere un transpallet a disposizione nelle linee L24 e L25 per spostare le basi dei compressori dalla base carrellata al carrello di assemblaggio.

Successivamente aumenterebbe la standardizzazione per la gestione delle basi, in particolare con l'internalizzazione, dove le basi di tutte le linee di assemblaggio avrebbero lo stesso metodo di movimentazione. Con l'internalizzazione si aumenterebbe inoltre la regolarità e si diminuirebbe l'effetto di un eventuale errore logistico che porta ad una richiesta di emergenza da parte di una linea rimasta senza basi, in quanto il tempo per portare una base dal magazzino alla linea è decisamente inferiore rispetto al tempo necessario per fare una richiesta al 3PL, attenderne il giro successivo, sempre che non l'abbiano già spedito, e poi portare la base in linea.

Scenario	As is	No internalizzazione	Internalizzazione
Tempo medio [s]	14874,46	14771,92	12035,17
Forklift in accettazione	Sì	No	No
Transpallet in linea	In L24 e L25	No	No
Standardizzazione	Ridotta	Media	Alta
Regolarità	Buona	Buona	Elevata
Tempo per SOS	Medio	Medio	Minimo

*Tabella 3.13: Sintesi del confronto degli scenari*

Dai risultati delle analisi e visto il desiderio dell'azienda di rimuovere il CEF dall'accettazione è stato deciso di adottare lo scenario dell'internalizzazione. Sono in atto i preparativi per modificare la gestione delle basi passando dallo stoccaggio in magazzino esterno a quello in magazzino carpenterie.

### 3.3 Flussi di load unit non movimentabili manualmente

Un altro tema trattato nel progetto di tesi è quello della rivisitazione dei flussi di load unit provenienti da 3PL e diretti in linea, suddivisi in due gruppi in base alle loro dimensioni, le load unit movimentabili manualmente e quelle che non lo sono.

Per quanto riguarda quelle non movimentabili, denominate in azienda come “non contenibili”, una volta scaricate dall’autoarticolato in accettazione è necessario dotarle di mobilità per essere trasportate a destinazione. Per la movimentazione si potrebbe utilizzare un transpallet o un carrello elevatore frontale, ma realisticamente portare le load unit una alla volta in questo modo sarebbe estremamente inefficiente, per questo si utilizzano le basi carrellate collegandole al treno logistico.

Queste load unit sono contenute in un pallet, con più o meno “ring”, delle assi di legno incernierate tra loro che trasformano un pallet in un cestone, e vengono chiamate Pn, con n il numero di ring sovrapposti. Attualmente vengono posizionate sui vagoni del tugger train tramite carrello elevatore frontale direttamente in accettazione.

La richiesta da parte dell’azienda è quella di eliminare la necessità del forklift in accettazione, e per ottenere questo risultato, oltre ad una modifica nella gestione delle basi dei compressori come illustrato nel capitolo precedente, è necessaria una rivisitazione di questi flussi di materiale.

Come prima cosa sono stati verificati i dati riportati a sistema riguardo a questi flussi, sono quindi stati filtrati tutti i flussi che appartengono alla categoria di lotto intero proveniente da 3PL alla linea e con imballo non contenibile. Da questa prima scrematura sono emersi 118 flussi che corrispondono ai criteri elencati.

Dopodiché è stato effettuato un controllo fisico per confermare quanto indicato a livello di sistema. Dal controllo è emerso come 12 di questi flussi siano di materiale movimentabile a mano essendo contenuto in scatole, e di conseguenza non compresi in questa trattazione, mentre 4 arrivano già su un carrello e non necessitano di alcuna azione per essere movimentabili.

Successivamente si è valutata la possibilità di modificare la gestione di questi materiali, nello specifico di passare a gestirli a kit; quindi, invece di richiedere al 3PL un lotto intero da gestire poi internamente, si può richiedere di prelevare un singolo pezzo, o di più nel caso la macchina

ne necessitasse più di uno, e di posizionarlo in un travelling kit. Così facendo il materiale arriverebbe già fornito di mobilità propria e si ridurrebbe il numero di UdC da carrellare in accettazione. Basandosi sul costo del picking<sup>4</sup> del magazzino esterno, valore da applicare al singolo pezzo pickettato, sul costo di spedizione di una load unit, favorendo quindi i lotti di dimensione elevata, e tenendo in considerazione che le dimensioni del componente che si vuole mettere a kit devono essere compatibili con il kitkart in cui esso verrà posizionato, sono stati selezionati 20 materiali a cui è stata cambiata la gestione, passando ad essere richiesti a kit, gestione che è più comoda per gli operatori in quanto si trovano i componenti necessari tutti assieme, oltre che più efficiente dal punto di vista dello spazio occupato dovendo tenere meno pallet di materiale in linea.

I restanti 82 flussi sono responsabili di un consumo medio giornaliero di circa 22 UdC, che vengono attualmente carrellate in accettazione mediante l'utilizzo del forklift.

### 3.3.1 Scenario “As is”

Nella situazione attuale gli 82 flussi di materiale a load unit non movimentabili manualmente vengono caricati sulle basi carrellate in accettazione mediante il forklift, in quanto il tempo necessario a carrellare le 22 UdC giornaliere con il transpallet sarebbe troppo elevato per giustificare la rimozione del CEF, considerando una media di 30 s per le operazioni con il carrello elevatore e di 50 s con il transpallet. Utilizzando questi valori, infatti, si ottiene che il tempo necessario a carrellare tutte queste load unit ammonta a 660 secondi al giorno nel caso dell'utilizzo del forklift, mentre ben 1100 secondi al giorno tramite transpallet. Inoltre, la movimentazione tramite transpallet risulta più scomoda e faticosa per gli operatori, specialmente se combinata al trasporto delle basi di L22 e L23 come attualmente avviene.

È anche per questo motivo, oltre alla gestione attuale delle basi, che il forklift è presente nella zona dell'accettazione per un tempo non irrisorio durante la giornata, il che comporta un rischio legato ai carichi sospesi per gli operatori a piedi, in quanto l'accettazione dovrebbe essere una

---

<sup>4</sup> Con picking si intende l'attività di selezione e prelievo parziale di materiali appartenenti a diverse UdC, che viene svolta in qualunque tipo di magazzino e si verifica ogni qualvolta sia necessario raggruppare componenti, prodotti o materiali (<https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/picking>)

zona pedonale, oltre al costo opportunità di avere il CEF impegnato al di fuori dei magazzini, ovvero le sue zone di competenza.

### 3.3.2 Scenario magazzino carpenterie

Una soluzione alternativa al problema di questi materiali è quella di cambiare la gestione ad alcuni di essi, in base alla loro rotazione all'interno dell'azienda. Nello specifico sono stati selezionati i 14 materiali (il 21,2% dei materiali considerati) per cui vengono consumati almeno 0,3 lotti al giorno in media, essi sono responsabili complessivamente di 17,2 UdC al giorno e quindi il 79,6% di tutte le movimentazioni di questa categoria, e gli sono stati assegnate delle campate in una corsia del magazzino carpenteria. Queste load unit, principalmente lotti di pompanti, vengono portate con il transpallet all'ingresso del magazzino dei componenti filtri, da lì verranno prelevate con il forklift e portate nelle loro ubicazioni all'interno del magazzino per le carpenterie per essere stoccate.

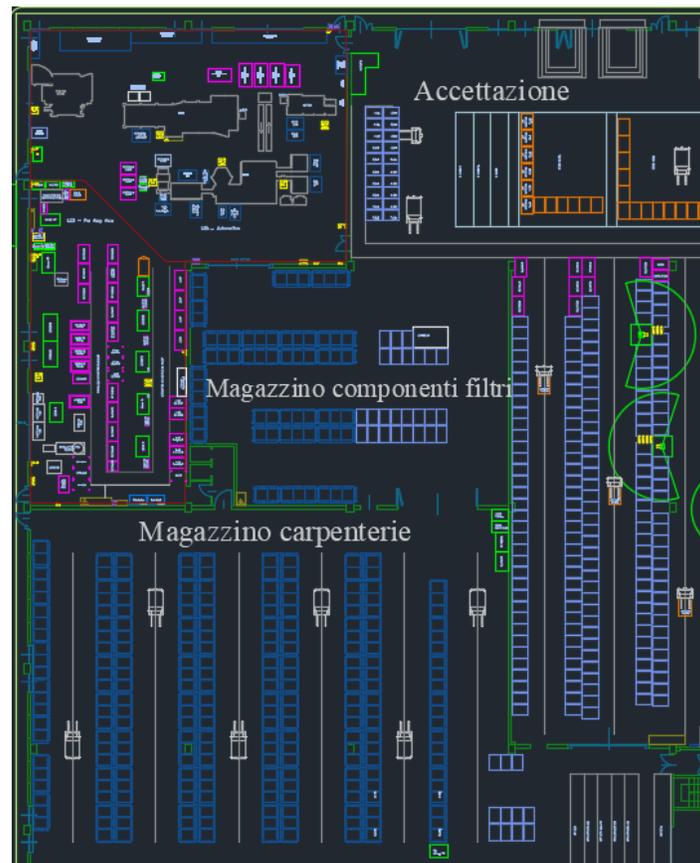


Figura 3.22: Rappresentazione di accettazione e magazzini interessati

Da qui verranno richiamate alle linee di assemblaggio, in base alla loro necessità, mediante i vari metodi logistici utilizzati nello stabilimento produttivo.

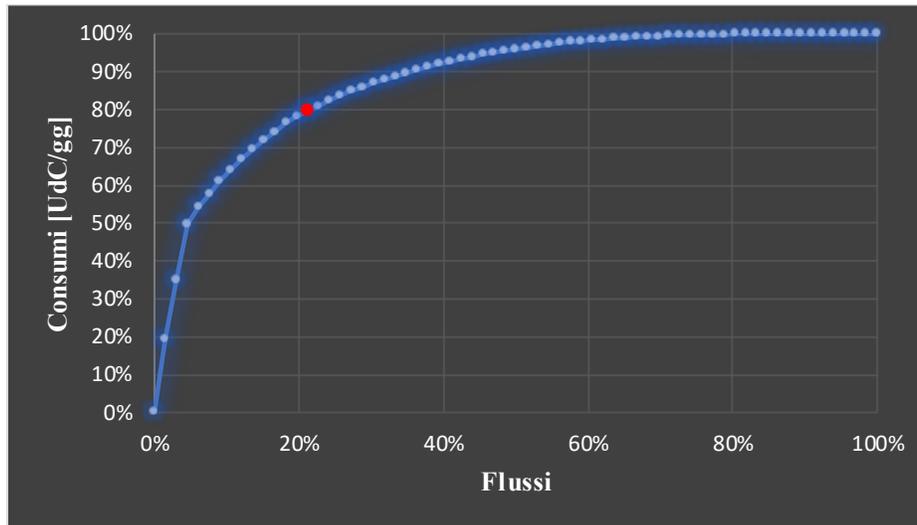


Figura 3.23: Cumulata percentuale dei consumi dovuti ai flussi di load unit non contenibili

Come si può vedere dalla Figura 3.23, nello specifico dal punto rosso, e dai numeri precedentemente riportati, il consumo di UdC in funzione dei vari materiali rientranti in questa categoria segue abbastanza fedelmente l'andamento 80-20 del Principio di Pareto<sup>5</sup>.

I restanti 52 flussi mantengono la gestione precedente, con la differenza che verranno posizionati sulla base carrellata con il transpallet elettrico e non con il forklift, per poi venire collegati al treno logistico e portati in linea. Il tempo per carrellare le UdC rimaste risulterà maggiore non utilizzando il CEF, ma per meno di cinque al giorno l'impatto è trascurabile rispetto all'eliminazione del forklift in accettazione considerando l'aumento della sicurezza e il risparmio di tempo per richiamare il carrello elevatore alle baie di carico.

Adottando questa soluzione, assieme al passaggio carrello con al gancio traino retrattile per le basi dei compressori, l'accettazione diverrebbe effettivamente una zona "forklift free", con un notevole aumento in termini di sicurezza per gli operatori a piedi, essendo questa una zona principalmente pedonale. Diminuirebbe il rischio legato alla movimentazione di carichi sospesi e si ridurrebbe il costo legato all'utilizzo del carrello elevatore, non dovendo più uscire dalle sue

---

<sup>5</sup> Il Principio di Pareto è un risultato di natura statistico-empirica che può essere riscontrato in molteplici sistemi complessi nei quali è presente una correlazione causa-effetto. Il principio, che prende il nome da Vilfredo Pareto, afferma che circa il 20% delle cause provoca circa l'80% degli effetti ([https://it.wikipedia.org/wiki/Principio\\_di\\_Pareto](https://it.wikipedia.org/wiki/Principio_di_Pareto))

zone di competenza, ovvero i magazzini, per andare a rendere mobili i pallet scaricati dagli autoarticolati.

### 3.3.3 Confronto degli scenari

Nello scenario in cui ad una parte dei materiali viene modificata la gestione passando per il magazzino carpenterie il tempo necessario a movimentare le load unit è maggiore rispetto al caso attuale. Sia per quanto riguarda i materiali che mantengono la stessa gestione ma vengono ora carrellati tramite transpallet, più lento rispetto al carrello elevatore a forche, sia per i lotti di pompanti che devono venire movimentati più volte, prima con il transpallet fino all'ingresso del magazzino dei componenti filtri, poi con il forklift che li porta in magazzino carpenterie per essere stoccati e poi nuovamente con il forklift per carregarli direttamente in magazzino. Questo aumento in termini di tempo è compensato però da due fattori. Il primo, nonché il motivo di questa analisi, è l'eliminazione del forklift in accettazione, risparmiando sul costo opportunità ed aumentando la sicurezza per gli operatori a piedi. In secondo luogo, vi è un vantaggio in termini di gestione della scorta per quanto riguarda i 14 materiali spostati in magazzino carpenterie. Avendo un posto in magazzino è possibile, infatti, tenere a scorta più di una load unit, senza occupare spazio a bordo linea o in accettazione, dove lo spazio è una risorsa limitata. Considerando inoltre la rotazione, in termini di lotti al giorno, di questi materiali ed il fatto che alcuni vengono utilizzati in linee diverse, avere più di un lotto di scorta è fondamentale perché non si fermino le linee nel caso in cui nello stesso momento vengano esauriti i lotti in due punti diversi dello stabilimento produttivo.

Scenari	As is	Magazzino carpenterie
Movimentazioni	Singola	Molteplici
Forklift in accettazione	Sì	No
Possibilità di scorta	Limitata	Elevata

*Tabella 3.14: Sintesi del confronto tra scenari*

Per i vantaggi sopra elencati l'azienda ha deciso di adottare lo scenario del magazzino carpenterie, per raggiungere il suo obiettivo di rendere la zona dell'accettazione un'area completamente pedonale.

### 3.4 Flussi di load uniti movimentabili manualmente

Come ultima tipologia di flussi considerati nel presente elaborato abbiamo le load unit, sempre provenienti da 3PL e dirette in linea, ma movimentabili manualmente; quindi, all'interno di un imballo detto "contenibile", che nel caso di Ceccato possono essere le scatole di cartone utilizzate dal fornitore o scatole di plastica blu, dette appunto bluebox.

Queste UdC vengono scaricate dagli autoarticolati dei 3PL in accettazione già posizionate su dei carrelli e per questo motivo non sono influenzate dai ragionamenti del capitolo precedente sull'eliminazione della necessità del forklift nella zona dell'accettazione. Vengono quindi movimentate all'interno dello stabilimento dagli operatori logistici durante il percorso del milkrun, dove posizionano le scatole contenenti i materiali necessari alle varie operazioni di assemblaggio negli appositi flowrack posizionati ai lati delle linee o in punti di disaccoppiamento designati.

Considerando che si trattano di movimentazioni manuali, l'ergonomia è un fattore fondamentale da considerare, per non trascurare lo sforzo fisico degli operatori e poter garantire loro un luogo di lavoro sicuro, limitando l'insorgenza di disordini muscoloscheletrici.

Come per il caso precedente si è eseguito un filtraggio a livello di sistema per identificare quali flussi andare a verificare fisicamente, sono state selezionate solo le UdC provenienti da 3PL e il cui peso complessivo a sistema risulta maggiore di 15 kg. Questa soglia è stata determinata utilizzando l'equazione per il sollevamento NIOSH illustrata nel Capitolo 2.3.1, partendo da una costante di peso di 23 kg e considerando i seguenti fattori moltiplicativi, basandosi sulla situazione più critica che un operatore può incontrare in azienda:

- FA = 0,93, con un'altezza del peso rispetto a terra all'inizio sollevamento compresa tra i 50 e i 100 cm, valori compatibili con le dimensioni del carrello del milkrun
- FD = 0,88, per una dislocazione verticale fino a 70 cm, un valore decisamente cautelativo considerando che solo il ripiano più alto e il più basso dei flowrack richiede una tale variazione verticale della posizione del carico, ma durante il turno vengono riforniti tutti i ripiani in modo mediamente uniforme, inoltre si è cercato di distribuire i materiali in modo che nei ripiani che necessitano maggiore movimento venissero posizionate le scatole più leggere

- FO = 1, la scatola viene tenuta dall'operatore più vicina possibile al corpo per ridurre lo sforzo necessario, non avendo dimensioni ingombranti le mani si troveranno a meno di 25 cm dal punto medio tra le caviglie
- FF = 0,88, considerando una frequenza di un'azione al minuto per una durata di lavoro inferiore alle due ore, le operazioni del milkrun, nello specifico le operazioni di movimentazione manuale delle scatole, occupano solo una piccola parte delle ore di lavoro dell'operatore logistico
- FS = 0,9, per un angolo di asimmetria fino a 30°, anche questo valore risulta cautelativo in quanto l'operatore cerca per quanto possibile di mantenere il carico parallelo al corpo durante il sollevamento
- FP = 1, le scatole di plastica utilizzate in azienda sono dotate di manici per migliorarne l'afferraggio e di conseguenza la presa del carico viene considerata in modo qualitativo come buona

Con questi fattori demoltiplicativi il limite di peso raccomandato risulta di 14,9 kg, arrotondato ai 15 kg utilizzati come filtro per identificare i flussi potenzialmente a rischio.

Sono 186 i flussi che a sistema risultavano con un imballo definito come contenibile, ovvero movimentabile a mano, ma con un peso complessivo superiore ai 15 kg; essi sono quindi stati controllati fisicamente per verificare quanto riportato, ovvero che il peso unitario del materiale, la dimensione del lotto e il tipo di imballo fossero corretti.

Dei flussi verificati solo 24 effettivamente superano la soglia limite imposta per l'ergonomia. I restanti 162 flussi erano principalmente sovrastimati in termini di peso unitario riportato e questo li portava a oltrepassare a sistema la barriera dei 15 kg. Per alcuni flussi invece il problema stava nel lotto indicato, maggiore rispetto a quanto fosse effettivamente all'interno dell'UdC, delle discrepanze dovute probabilmente ad un cambio di lotto non modificato correttamente a sistema; infine un flusso risultava fisicamente in un imballo non contenibile e quindi rientrante nella trattazione precedente dell'eliminazione dell'utilizzo del forklift in accettazione, e, visto il suo consumo irrisorio di 0,03 UdC al giorno, non ha avuto modifiche di gestione.

Sono stati infine modificati i parametri riportati a sistema in accordo con i dati ricavati dal controllo fisico.

In seguito al controllo fisico dei materiali a load unit movimentati a mano è necessario agire per rispettare i limiti ergonomici imposti dall'azienda. Il metodo che è stato scelto dall'azienda per rimediare al problema del peso è quello del repacking, inizialmente presso 3PL. Quindi le UdC una volta giunte dal fornitore al 3PL verrebbero aperte ed il contenuto ridistribuito in più load unit del tipo richiesto da Ceccato, sottolottizzando in modo da avere un peso inferiore al limite stabilito. Inizialmente questa azione verrebbe riservata ai 24 flussi confermati dal controllo fisico, ma in alternativa si potrebbe estendere il repacking ad un maggior numero di UdC, portando il peso limite al di sotto dei 15 kg per ridurre al minimo lo sforzo fisico degli operatori, permettendo movimentazioni anche in condizioni più critiche, come una maggiore dislocazione verticale o utilizzare una sola mano, senza comportare rischi per la salute.

Chiaramente ci sarebbero dei contro ad estendere il repacking oltre quanto strettamente necessario, essendo un'operazione che il 3PL deve eseguire la sottolottizzazione ha un suo costo, per questo bisogna valutare di eseguirla solo dove è effettivamente vantaggiosa. Inoltre, aumenterebbe la rotazione delle UdC all'interno dello stabilimento, avendo lotti di dimensioni minori ma mantenendo gli stessi consumi, e questo comporta un maggior numero di consegne da parte del 3PL, anch'esse con il loro costo, per cui al momento si è scelto di eseguire il repacking solo per i 24 flussi che superano la soglia dei 15 kg. In futuro si potrebbe pensare di ridurre la dimensione del lotto direttamente dal fornitore, così che non sia necessario richiedere la sottolottizzazione da parte del 3PL.



# Capitolo 4 - Caso studio

In questo capitolo viene fornita una rapida panoramica del gruppo multinazionale Atlas Copco e dell'azienda Ceccato Aria Compressa, dalla sua storia all'offerta dei prodotti. Successivamente verrà descritta la situazione attuale dello stabilimento produttivo, prestando particolare attenzione agli ambiti trattati da questo progetto, ovvero i flussi di materiale all'interno dell'azienda.

## 4.1 Il gruppo Atlas Copco



*Figura 4.1: Logo del gruppo Atlas Copco*

Fondato nel 1873 a Stoccolma, il gruppo Atlas Copco è una multinazionale leader a livello mondiale nella produzione di compressori d'aria, prodotti per il vuoto, utensili elettrici, sistemi di assemblaggi e attrezzature per ingegneria civile.

Attualmente il gruppo conta oltre 60000 dipendenti dislocati in più di 180 paesi nel mondo ed è in continua espansione, acquisendo costantemente nuove realtà industriali. Il gruppo offre ai suoi clienti migliaia di prodotti e servizi con un fatturato annuo di circa 10 miliardi di euro.

Il gruppo è suddiviso in 4 Business Areas (Figura 4.2):

1. Compressor Technique, si occupa della produzione di compressori d'aria, compressori a gas, espansori e sistemi per il trattamento dell'aria

2. Vacuum technique, addetta alla realizzazione di sistemi per il vuoto, per la gestione degli scarichi, valvole e altri servizi inerenti alle tecnologie del vuoto
3. Industrial technique, relativa alla produzione di utensili elettrici, sistemi industriali per l'assemblaggio, software e assistenza
4. Power technique, fornisce ai clienti soluzioni per energia, acqua e aria, attraverso compressori mobili, pompe, generatori e altri prodotti correlati



Figura 4.2: Le 4 Business Areas di Atlas Copco

Le diverse Business Areas si occupano di sviluppare tecnologie all'interno del loro ambito, per fare ciò sono a loro volta composte da divisioni, elencate nella Figura 4.2, le quali si occupano tutte le fasi del ciclo di vita dei prodotti del loro portafoglio, dalla progettazione alla vendita. Sono inoltre presenti delle divisioni di assistenza in ogni Business Area per garantire ai clienti il miglior supporto possibile per la tutela dei loro investimenti.

Ogni divisione produce e vende diversi marchi, per fornire ai clienti di tutto il mondo svariate alternative di prodotti per soddisfare le loro richieste, rifacendosi al motto "First in mind, First in choice", che rappresenta l'obiettivo del gruppo di mantenere elevati standard per essere la prima scelta per clienti e stakeholders.

L'azienda Ceccato Aria Compressa rientra nella divisione "Industrial Air" all'interno della Business Area "Compressor technique"

L'obiettivo del gruppo, guidato dai tre punti chiave di innovation, interaction e commitment, è di sviluppare idee e tecnologie che permettono ai clienti di crescere e di far progredire la società, creando un futuro migliore. Atlas Copco punta ad ottenere uno sviluppo sostenibile, profittevole e inclusivo, ricercando continuamente un impatto positivo sulla società e sull'ambiente, promuovendo inclusione e diversità.

Questo obiettivo si riflette nei prodotti che il gruppo offre, innovativi ed efficienti, studiati attentamente per essere durevoli e di conseguenza fonti di risparmio a lungo termine. Inoltre, è interesse del gruppo che tutte le persone vengano trattate con rispetto, che abbiano uguali opportunità e che lavorino in un ambiente sicuro.

Per quanto riguarda la sostenibilità, il gruppo Atlas Copco si focalizza su sei aree strategiche, sfruttando per ciascuna dei parametri per misurare in modo quantitativo il progresso verso gli obiettivi che il gruppo si è posto. Le sei aree sono:

1. People, mantenere un ambiente inclusivo che attiri persone e si assicuri che possano crescere e maturare
2. Ethics, fare in modo che oltre ai dipendenti anche fornitori e distributori rispettino un codice di condotta riguardante onestà, rispetto e integrità
3. Safety and wellbeing, rinforzare la cultura della sicurezza e prendersi cura sia della salute fisica che di quella psicologica
4. Products and service, rispettare le esigenze dei clienti, della società e del pianeta per un futuro più sostenibile, misurando e cercando di ridurre la carbon footprint<sup>6</sup> dei prodotti nel loro ciclo di vita
5. Climate and environment, utilizzare in modo più efficiente le risorse, limitando gli sprechi e le emissioni dirette e indirette, in conformità con i parametri per mantenere l'aumento di temperatura al di sotto dei 2 gradi
6. Finance, creare valore a lungo termine mantenendo la salvaguardia delle persone e del pianeta

---

<sup>6</sup> La carbon footprint, o impronta carbonica, è un indicatore utile ad esprimere il totale delle emissioni di gas ad effetto serra associate direttamente o indirettamente ad un prodotto/servizio o ad un'organizzazione. È espressa in tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente, assumendo come riferimento per tutti i gas serra l'effetto dell'anidride carbonica, assunto pari a uno (<https://www.insic.it>)

Inoltre, il gruppo segue il “The way we do things”, istituito negli anni '90, si tratta di una raccolta di linee guida, politiche e standard per il rispetto dei valori e delle convinzioni di Atlas Copco. Comprende anche svariati corsi di formazione per aggiornare costantemente il personale su come comportarsi all'interno del gruppo e ogni dipendente è tenuto a conoscere e rispettare le linee guida riportate.

## 4.2 Ceccato Aria Compressa: La storia

Fondata a Montecchio Maggiore in provincia di Vicenza il 29 settembre 1936 da Pietro Ceccato, l'azienda possiede una lunga e ricca storia di successo e innovazione nell'ambito dell'aria compressa. Nel corso degli anni ha operato in diversi ambiti, dal settore automobilistico e motociclistico al settore dei lavaggi automatici per i veicoli, rendendo il nome “Ceccato” riconosciuto in tutta Italia, per poi stabilirsi e affermarsi nell'ambito dei compressori a vite ed essiccatori, prodotti che ogni giorno escono dal suo stabilimento in grandi quantità.



*Figura 4.3: Pietro Ceccato, foto del 1950*

Il suo fondatore, un giovane e intraprendente cittadino di Montecchio Maggiore, ha svolto un ruolo cruciale nello sviluppo dell'azienda e nell'espansione della sua influenza, ormai sempre più radicata nella provincia di Vicenza e in Veneto più in generale. Laureato nel 1933 in Chimica e Farmaceutica all'Università di Padova, Pietro sceglie di non prendere in mano la farmacia di

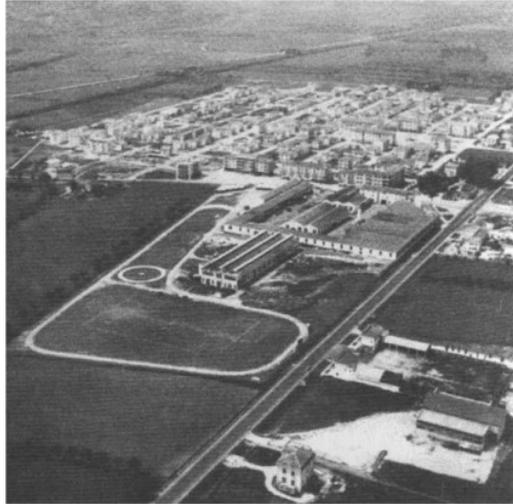
famiglia ma di dedicarsi all'imprenditorialità. Dopo aver iniziato vari progetti, nel 1936 acquista i primi 10000 m<sup>2</sup> di terreno sul crocevia di Alte, frazione di Montecchio Maggiore, sui quali sorgerà il suo primo capannone industriale per la produzione di compressori e di attrezzature per stazioni di servizio.

In seguito, nel 1938 fonda la sua prima società, la "F.I.P.A" (Fabbrica Italiana pistole e aerografi), che successivamente diverrà conosciuta col nome di "M.A.P.A" (Macchine e attrezzature per autofficina).

Sotto il brand "Ceccato" i prodotti dell'azienda si diffondono a macchia d'olio, acquisendo nuovi settori di mercato e radicandosi maggiormente nel territorio italiano, ma con lo scoppio della Seconda Guerra Mondiale lo sviluppo della società viene rallentato significativamente.

Al termine del conflitto, anche grazie alle grandi prospettive aperte dalla ricostruzione del paese, Pietro Ceccato sfrutta tutte le sue risorse per ricominciare la sua espansione, in questi anni infatti acquistò numerosi terreni per permettere sia l'espansione dell'azienda in sé sia la crescita della comunità di Alte, dove si producevano compressori, ponti sollevatori e accessori per officine. Fonda inoltre una scuola serale di disegno nelle aule della scuola elementare di Montecchio, atta a formare modellisti, falegnami, meccanici e tornitori per la sua azienda. Nel 1949 dichiara alla Camera di Commercio di produrre "Compressori, motocicli, ciclomotori, fonderia ghisa e metalli, stazioni di servizio, sollevatori e apparecchi per grassaggio".

L'anno seguente l'azienda avvia la produzione di ciclomotori, grande passione del fondatore. Vengono prodotte varie cilindrata, da 38cc fino a 125cc, e in pochi anni il marchio "Ceccato" parteciperà al giro d'Italia e a varie altre manifestazioni, contribuendo ad espandere ulteriormente il nome dell'azienda. In questo periodo la produzione cresce esponenzialmente, arrivando ad un picco annuale di oltre 8000 ciclomotori, 6500 compressori e 600 attrezzature per stazioni di servizio. Sono anche gli anni dello sviluppo della "cittadella del lavoro", che prevede di costruire case, strade, cinema, negozi e una stazione ferroviaria per il paese di Alte, che decide nel 1953 di premiare l'impegno dell'imprenditore aggiungendo il suo nome a quello del paese, tutt'oggi chiamato infatti Alte Ceccato.



*Figura 4.4: Vista aerea della “cittadella del Lavoro”, foto del 1957*

In seguito alla prematura morte del suo fondatore nel gennaio 1956, l’azienda viene rilevata dalle famiglie Dolcetta e Capra, continuando l’ampliamento dello stabilimento di Alte. Nel 1961, a causa dell’arrivo sul mercato di utilitarie economiche, si sospende la produzione di motociclette per concentrare le energie sui compressori d’aria e sulle attrezzature per stazioni di servizio, iniziando inoltre la produzione di impianti di lavaggio automatici per veicoli.

Negli anni ’70, grazie alla nascita di aziende specializzate nelle zone circostanti, la Ceccato passa da eseguire l’intera produzione a focalizzarsi sulla progettazione e sul solo assemblaggio dei suoi prodotti, introducendo i compressori silenziati e gli essiccatori d’aria. In questo settore l’azienda può vantarsi di un’ampia gamma di modelli di compressori, sia in tipologia che in potenza. Nel 1998 la divisione dei compressori e degli impianti industriali d’aria viene venduta alla multinazionale di origine svedese Atlas Copco, adottando il nome di “Ceccato Aria Compressa” che mantiene tutt’ora.



*Figura 4.5: Logo di Ceccato Aria Compressa*



*Figura 4.6: Vista aerea dello stabilimento di Ceccato Aria Compressa*

### 4.3 I prodotti

Attualmente l'azienda produce tre macro-famiglie di prodotti: compressori a vite, essiccatori a refrigerazione e filtri per l'aria. Va evidenziato il fatto che all'interno dello stabilimento vengono assemblati non solo prodotti di marchio "Atlas Copco", ma anche di molti altri marchi di proprietà del gruppo svedese, compreso lo stesso "Ceccato Aria Compressa", definiti "Brand portfolio"<sup>7</sup>, i quali compongono la maggior parte del fatturato dell'azienda, anche se il marchio Atlas Copco è singolarmente responsabile per circa il 30% di esso.

---

<sup>7</sup> Con il termine "Brand portfolio" ci si riferisce ad un ombrello sotto il quale tutti i marchi gestiti da una compagnia lavorano per coprire differenti segmenti di mercato. Questo permette alla dirigenza di controllare tutti i marchi con una prospettiva più ampia e di allocare al meglio le risorse al marchio che più ne necessita (<https://businessjargons.com>)

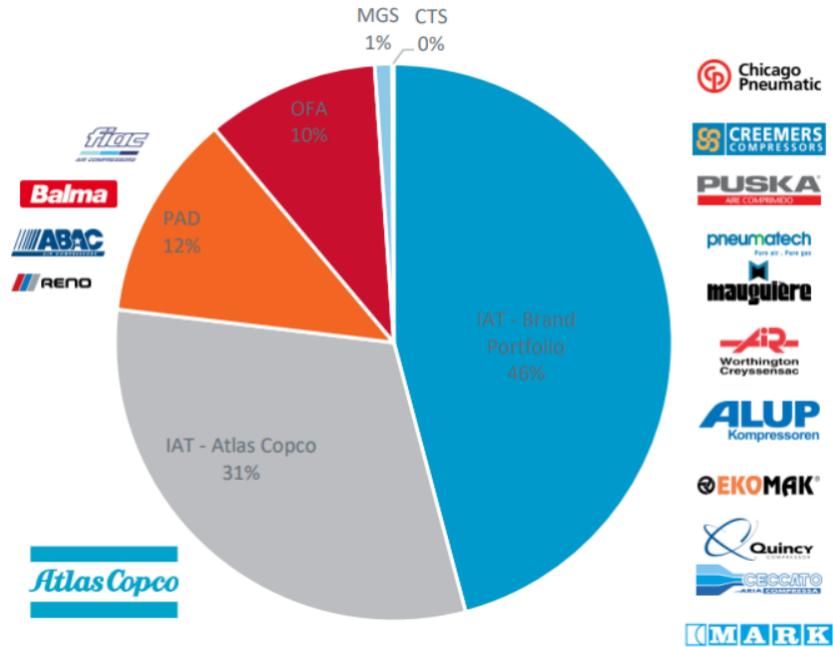


Figura 4.7: Fatturato di Ceccato Aria Compressa suddiviso per marchi prodotti

### 4.3.1 Compressori a vite

I compressori a vite sono la scelta ideale per applicazioni in cui si richiede un costante afflusso di aria compressa. Il componente principale è il pompante, all'interno del quale sono presenti due rotori elicoidali, uno dentato e uno a lobi, portati in contro rotazione l'uno con l'altro da un albero collegato ad un motore elettrico. La trasmissione è realizzata da un accoppiamento che può essere di tre tipi: a puleggia (belt), a ingranaggio (gear) o a giunto (direct). Con la rotazione dei rotori si riduce il volume disponibile all'aria generando la compressione, il tutto supportato dalla presenza dell'olio, fattore fondamentale in quanto svolge il ruolo di lubrificante, refrigerante e sigillante, poi opportunamente filtrato.

In Ceccato Aria Compressa si assemblano due tipologie di compressori a vite, possono infatti essere a velocità variabile, dove la velocità del motore elettrico è regolata automaticamente da un

inverter<sup>8</sup>, permettendo un notevole risparmio energetico e di fatto economico, o a velocità fissa, perfetti per le applicazioni dove non è richiesta variabilità di portata d'aria grazie alle loro dimensioni ridotte e efficienza energetica.



*Figura 4.8: Compressore a vite DRA 10-20CV IVR*

I compressori prodotti inoltre possono variare in potenza del motore elettrico, andando da un minimo di 2 CV fino ad un massimo di 45 CV, così come c'è un range di pressione dell'aria in uscita, arrivando fino a 13 bar. In più sono disponibili svariate opzioni di personalizzazione, come il serbatoio di accumulo per l'aria compressa fino a 500L, sul quale viene montata la macchina come in Figura 4.8, il sistema di energy recovery per preriscaldare l'aria in ingresso, un essiccatore per eliminare l'umidità dall'aria in uscita e molte altre.

Recentemente sono stati aggiunti anche i soffianti oil-free chiamati “blowers”, necessari per i settori dove è richiesto un rischio nullo di contaminazione attribuibile alla produzione dell'aria compressa.

---

<sup>8</sup> Un inverter è un dispositivo che permette di trasformare una corrente continua in corrente alternata, potendo inoltre variarne l'ampiezza e la frequenza tramite un trasformatore e un processo detto “pulse width manipulation” (<https://theengineeringmindset.com>)

### 4.3.2 Essiccatori a refrigerazione

Gli essiccatori a refrigerazione permettono la pulizia e la rimozione di gran parte dell'acqua presente nell'aria compressa. Operano raffreddando l'aria passante al loro interno fino al suo punto di rugiada<sup>9</sup>, così da far condensare l'acqua e poterla separare dall'aria.

Il processo avviene mediante un ciclo frigorifero di un fluido refrigerante ecocompatibile come R513A, R410A e R452A. L'essiccazione dell'aria è un'azione fondamentale per evitare problemi di corrosione, ruggine, contaminazione e perdite nella rete di aria compressa.



Figura 4.9: Essiccatore a refrigerazione CDX 41

L'utilizzo degli essiccatori permette quindi di evitare interventi di assistenza e di allungare la vita all'intero sistema, oltre a migliorare la qualità del prodotto finito. Tutti gli essiccatori prodotti in azienda sono dotati di sensori elettronici che permettono di controllare lo scarico della condensa per limitare sprechi di aria compressa e portando dunque ad un risparmio energetico ed economico non indifferente.

---

<sup>9</sup> Il punto di rugiada è un particolare stato termodinamico (rappresentato da temperatura e pressione) in corrispondenza del quale una miscela bifase liquido-vapore diventa satura di vapore, nello specifico vapore acqueo, il quale condensa formando la rugiada

### 4.3.3 Filtri per l'aria

I filtri per l'aria sono fondamentali per l'impianto di aria compressa in quanto sono responsabili della purificazione sia dell'aria atmosferica in aspirazione (rimuovendo impurità come le polveri), sia di quella compressa in mandata (rimuovendo olio e altri contaminanti). Gli agenti inquinanti possono interagire tra loro dando vita ad emulsioni corrosive che possono rovinare i vari elementi che compongono l'impianto. Questi filtri sono compatibili con qualunque tecnologia di compressione dell'aria, sono facilmente mantenibili e garantiscono una maggiore qualità del prodotto finale.

L'azienda produce un'ampia gamma di filtri suddivisi in base al tipo di impianto e alla posizione dove verranno montati. Possono essere assemblati a monte del compressore per purificare l'aria in aspirazione, tra il compressore e l'essiccatore se presente oppure a monte del sistema per purificare l'aria compressa in mandata.



*Figura 4.10: Filtri per l'aria*

## 4.4 Stato attuale dello stabilimento produttivo

Lo stabilimento produttivo di Ceccato Aria compressa è attualmente composto da:

- 10 linee di assemblaggio per gli essiccatori a refrigerazione
- 8 linee di assemblaggio per i compressori a vite
- 1 linea di assemblaggio per i semilavorati per le precedenti linee
- 1 reparto semi-automatizzato per i filtri per l'aria
- 1 magazzino per le carpenterie
- 1 magazzino per i componenti dei filtri
- 1 magazzino per gli essiccatori che verranno in breve tempo montati sui compressori
- 1 supermarket per il picking dei componenti per gli essiccatori

Il materiale può arrivare in azienda o direttamente dal fornitore o dai 3PL, che fungono da ulteriore magazzino, ed entrambe le tipologie di flusso possono essere dirette o verso uno dei buffer sopraelencati o direttamente in una linea di assemblaggio.

Le UdC che contengono i materiali e permettono la loro movimentazione non sono tutte dello stesso tipo, oltre a variare per dimensione e peso vi sono tre tipologie principalmente usate in Ceccato:

1. Load unit, UdC contenenti un lotto dello stesso componente



Figura 4.11: Esempio di UdC monocomponente “non contenibili” – pallet su base carrellata



*Figura 4.12: Esempio di UdC monocomponente “contenibili” – blue box su flowrack*

2. Travelling kit, chiamato semplicemente kit, UdC che si spostano lungo la linea al cui interno sono presenti i componenti necessari per l’assemblaggio di una macchina o parte di essa



*Figura 4.13: Esempio di kit con i componenti per assemblare parte di una macchina*

3. Kit stazionari, chiamati sequenze, UdC contenenti i materiali utilizzati in una singola fase di assemblaggio, ma per più macchine successive



*Figura 4.14: Esempio di sequenza di quadri elettrici*

Per realizzare le numerose macchine prodotte ogni giorno all'interno dello stabilimento produttivo di Ceccato Aria Compressa si assemblano componenti presi da tutti i tipi di UdC sopraelencate, ognuno portato in linea con il metodo più opportuno basandosi su dimensione, peso, costo, fragilità dei singoli materiali.

## Capitolo 5 – Conclusione

Nel presente elaborato ci si è posti l'obiettivo di razionalizzare ed efficientare i flussi logistici provenienti dall'accettazione alle linee produttive nelle loro varie sfaccettature, cercando di rispondere alle esigenze di Ceccato Aria Compresa.

In primis la progettazione e realizzazione di un gancio traino, sottoposto ad una serie di vincoli, per poter movimentare i serbatoi tramite treno logistico. In questo modo è stato possibile sollevare gli operatori logistici dall'oneroso compito del trasporto manuale dei serbatoi, lavoro che li occupava per non poco tempo durante la giornata lavorativa e che quindi toglieva spazio ai loro compiti principali. Visti i valori ed i risparmi in termini di tempo calcolati, il progetto è confermato e sono in costruzione i ganci per i carrelli dei serbatoi attualmente utilizzati.

Successivamente il desiderio di rimozione del carrello elevatore frontale in accettazione, suddiviso in due step. Prima modificando la gestione delle basi dei compressori, approfittando del gancio progettato nel punto precedente per rendere trainabili anche i carrelli per l'assemblaggio, con lo scenario dell'internalizzazione delle basi in magazzino carpenterie come più interessante, visti i tempi più ridotti e la maggiore standardizzazione, oltre che maggiore regolarità di asservimento e rapidità nel rispondere ad un'emergenza. Come secondo step la rivisitazione dei flussi di load unit non movimentabili manualmente, dove i materiali più utilizzati sono stati spostati anch'essi in magazzino carpenterie. Nella pratica questo cambio di gestione è già stato effettuato, riscontrando i vantaggi riportati, mentre per quanto riguarda le basi il passaggio di gestione avverrà una volta che saranno stati realizzati i ganci e ultimati i preparativi per internalizzare le basi.

Infine, una rivisitazione dei flussi di load unit movimentabili a mano, per garantire l'ergonomia per gli operatori che si occupano del milkrun, andando prima a verificare quanto riportato a sistema e poi ad agire dove effettivamente necessario. L'azienda si è già mobilitata e ora il repacking viene effettuato per tutti i flussi che lo necessitano.



# Bibliografia

- [1] Vojtěch Kolář. “Logistics trains make production more efficient”, *Logistika*  
[Logistic trains make production more efficient | Ekonom.cz: Website of the weekly EKONOM](#)
- [2] Strnad David, Fedorko Gabriel and Dribnak Juraj. "Implementation of the logistics train in the intralogistics system: A case study" *Open Engineering*, vol. 11, no. 1, 2021
- [3] Keuntje Christopher, Kelterborn Michael, Günthner Willibald A. “Considering Ergonomics in the Planning of Tugger Train Systems for Production Supply” *MATEC Web of Conferences*, vol. 95, 2017  
[Considering Ergonomics in the Planning of Tugger Train Systems for Production Supply \(matec-conferences.org\)](#)
- [4] Facchini Francesco, Mossa Giorgio, De Tullio Simona, “A Milk-run routing and Scheduling model for a Smart Manufacturing System”, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, p. 1122 – 1127, 2022
- [5] [Tugger train systems in warehouses](#)  [the future is autonomous \(flexus.de\)](#)
- [6] Weiß Karsten. “Material flow in production and logistics”, 2023 [Material flow in production and logistics - Definition & all you need to know \(beewatec.com\)](#)
- [7] S. Snook, V.M. Ciriello. “Ergonomics”, 34, 9, (1991)
- [8] [“What Is Ergonomics \(HFE\)?” | International Ergonomics Association \(iea.cc\)](#)
- [9] [3.7.4.1 Il metodo NIOSH - Metalmeccanica - Metalmeccanica \(impresasicura.org\)](#)
- [10] F. Caputo, A. Greco, M. Fera, R. Macchiaroli. “Workplace design ergonomic validation based on multiple human factors assessment methods and simulation” *Production & manufacturing research*, vol. 7, 2019