

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Dimensionamento di un sistema di AGV per l'alimentazione di linee di produzione



Relatore

Prof.ssa Anna Cagliano

Correlatore

Ing. Fabrizio Allais

Candidata

Carlotta Bernardi

Ottobre 2019

Sommario

INTRODUZIONE	i
1. INQUADRAMENTO TEORICO	1
1.1 L'INTRALOGISTICA E IL MATERIAL HANDLING	1
1.2 IL TUGGER TRAIN.....	4
1.3 I SISTEMI A GUIDA AUTOMATIZZATA.....	7
1.3.1 Diverse tipologie di AGV.....	9
1.3.2 Tipologie dei sistemi di guida	11
1.3.3 Vantaggi derivanti dall'utilizzo di un AGV	16
1.4 ANALISI DELLA LETTERATURA	17
1.4.1 Tugger Train	17
1.4.2 Automated Guided Vehicle	19
1.4.3 Applicazione degli AGV.....	20
1.5 RESEARCH GAP	29
2. DESCRIZIONE DELL'AZIENDA	31
2.1 Storia dell'azienda	31
2.2 Descrizione generale dello stabilimento.....	32
3. L'ASSERVIMENTO DELLE LINEE PRODUTTIVE.....	34
3.1 IL METODO DI APPROVVIGIONAMENTO DELLE LINEE DI PRODUZIONE.....	37
3.1.1 Analisi del metodo e delle sue criticità	37
3.1.2 Possibili opzioni di miglioramento	38
3.2 IL NUOVO METODO DI ASSERVIMENTO DI MATERIALE DELLA LINEA 1	39
3.2.1 Frequenza di rifornimento delle linee e dimensionamento dei carrelli utilizzati	45
3.2.2 Rispetto dell'ergonomia nell'ubicazione e nel dimensionamento dei carrelli.....	60
3.3 ANALISI DEI SISTEMI DI REINTEGRO DELLE SCORTE PRESSO LE LINEE DI PRODUZIONE ..	62
3.3.1 Implementazione degli AGV.....	62
3.3.2 Flotta	67
3.3.3 Benefici e problemi	72

3.4 MODIFICHE APPORTATE AL SISTEMA ESISTENTE.....	74
3.4.1 In linea	74
3.4.2 In magazzino.....	77
4. L'AMPLIAMENTO DEL BUSINESS: IL FLUSSO FUTURO.....	85
4.1 NECESSITÀ DI NUOVE LINEE PRODUTTIVE	85
4.1.1 Analisi dei volumi attuali e previsione dei volumi futuri.....	85
4.1.2 Implicazioni derivanti dall'ampliamento del business dell'e-WP	90
4.2 IL LAYOUT ATTUALE DEL MAGAZZINO	92
4.2.1 Analisi magazzino dedicato ai componenti.....	92
4.2.2 Analisi magazzino dedicato al prodotto finito	100
4.2.3 Problematiche derivanti dal nuovo flusso produttivo	105
4.3 NECESSITA' DI UN NUOVO LAYOUT PER IL MAGAZZINO	109
4.3.1 Valutazione degli scenari possibili per il nuovo layout	112
4.3.2 Analisi degli investimenti legati agli scenari.....	124
4.4 IMPLEMENTAZIONI DEL SERVIZIO LEGATO ALL'AGV	128
5. CONCLUSIONI	130
5.1 Benefici apportati all'azienda dal lavoro svolto	130
5.2 Limitazioni del lavoro svolto	131
5.3 Possibili sviluppi futuri	133
Bibliografia	134
Sitografia	138

INTRODUZIONE

In un mondo in cui si va sempre più verso la digitalizzazione e l'industria 4.0, le aziende devono cercare di innovarsi costantemente e di focalizzare la propria attenzione sull'automatizzazione dei processi produttivi, ma anche dei processi logistici. Queste innovazioni devono portare soprattutto a miglioramenti in termini di efficienza, ma anche ad un risparmio economico in termini di costi del personale.

L'obiettivo dell'elaborato è quello di analizzare il processo di approvvigionamento del materiale delle linee produttive in un'azienda e l'implementazione di un sistema che utilizzi sistemi a guida autonoma. Nello specifico, si cerca di mettere in luce i vantaggi e gli svantaggi legati all'utilizzo di Automated Guided Vehicle (AGV) a supporto di Tugger Train. Inoltre, si vuole porre una certa attenzione alle modifiche che sono state apportate sia al layout sia alle mansioni del personale con l'introduzione di questo sistema di movimentazione.

La tesi è suddivisa in cinque capitoli. Il primo capitolo è prettamente teorico ed esamina i vari sistemi di movimentazione interna del materiale. Durante l'analisi della letteratura viene posta maggiore attenzione sugli AGV, poiché l'obiettivo è quello di capire come questo tipo di robot possa integrarsi al meglio in ambienti lavorativi dinamici e quali siano i vantaggi e le criticità che possono apportare ad una realtà aziendale. Ciò che si vuole evidenziare è come sia possibile utilizzare questi mezzi non solo per il trasporto del materiale all'interno dei magazzini, ma anche per l'asservimento delle linee produttive. Questo è anche il gap di ricerca che si vuole contribuire a colmare con il presente elaborato. La letteratura, infatti, riporta prevalentemente articoli scientifici riguardanti l'applicazione di AGV all'interno dei magazzini. Questa tesi si focalizza, invece, sull'utilizzo di tali mezzi per il trasporto del materiale in linea.

Dopo aver esaminato le varie tipologie di mezzi che possono essere impiegate, si analizza il caso studio di un'azienda operante nel settore dell'autoveicolo, la cui breve descrizione viene riportata nel secondo capitolo. Si vuole passare da un sistema in cui è un operatore preposto della linea che si reca in magazzino a recuperare il materiale di cui necessita a uno in cui il materiale viene riposto su carrelli che vengono trasportati nei pressi della linea produttiva da un AGV.

Nel terzo capitolo si analizza la situazione precedente all'inserimento dell'AGV e si calcola la frequenza con la quale si deve approvvigionare la linea produttiva con l'introduzione del nuovo sistema di movimentazione. Per raggiungere lo scopo prefissato, sono state apportate delle modifiche al layout dell'area in cui il robot deve operare e agli orari di lavoro degli operatori del

magazzino, per fare in modo che il servizio di asservimento delle linee sia assicurato per due turni lavorativi completi.

Sono state discusse, inoltre, le eventuali modifiche da apportare nel caso di ampliamento del business produttivo e come integrare al meglio il nuovo sistema di approvvigionamento del materiale con le modifiche del layout e crescenti volumi produttivi. Nel quarto capitolo viene dedicato un intero paragrafo alla necessità di un nuovo layout per il magazzino: vengono supposti due possibili scenari futuri, nei quali vengono analizzati i posti pallet a disposizione e l'ubicazione dei materiali e del prodotto finito rispetto alla configurazione attuale. In queste opzioni si deve anche tenere conto dell'implementazione del servizio legato all'AGV.

Dall'analisi della letteratura e dal caso studio analizzato, si può giungere alla conclusione che gli AGV conferiscono maggiore efficienza al processo e riducono i costi legati al personale, in quanto possono andare a sostituire un'operazione svolta da un operatore. Questi ultimi, dunque, possono dedicarsi ad operazioni con un maggiore valore aggiunto. Le considerazioni a cui si è giunti non riguardano solo l'utilizzo degli AGV nei processi di asservimento delle linee produttive, di cui si hanno poche tracce nella letteratura, ma possono essere estese anche all'impiego di questi sistemi di movimentazione del materiale all'interno del magazzino.

Nell'ultimo capitolo, il quinto, sono presenti le conclusioni. Vengono esaminati i benefici apportati dal sistema a guida automatizzata all'interno dell'azienda in cui è svolto il lavoro, quali la riduzione del tempo perso e una maggiore sincronizzazione tra le varie attività. Inoltre, vengono considerate le limitazioni che questo metodo presenta attualmente, come ad esempio la mancanza di personale di magazzino per assicurare la copertura durante il turno notturno, e gli eventuali passi futuri che l'impresa potrebbe compiere. Tra questi è possibile citare la modifica della zona in cui si ha l'incrocio dei flussi produttivi in modo da renderla il più possibile separati per evitare che il robot, durante il transito, perda la geolocalizzazione e l'estensione della copertura del servizio anche al turno di notte.

1. INQUADRAMENTO TEORICO

Nel primo capitolo vengono analizzati i sistemi per l'approvvigionamento di una linea produttiva. Si deve effettuare questo studio poiché l'obiettivo dell'azienda è quello di inserire un sistema di movimentazione automatizzato per il trasporto del materiale in linea, mettendo in luce i pro e i contro delle varie possibilità e le modifiche al layout e alle mansioni del personale che devono essere apportate. Dopo aver definito che cosa si intenda per intralogistica, vengono esaminate le differenti tecniche impiegate per la movimentazione del materiale, i mezzi di trasporto che possono essere utilizzati per portare il materiale dal magazzino alla linea e le attuali applicazioni dei sistemi a guida automatica.

1.1 L'INTRALOGISTICA E IL MATERIAL HANDLING

L'intralogistica è il termine che è stato coniato per indicare l'organizzazione, l'esecuzione e l'ottimizzazione della movimentazione del materiale all'interno di un'azienda. È stato delineato per distinguerlo dal concetto più ampio di logistica, che si occupa del trasporto merci al di fuori dello stabilimento [1]. In un mondo in cui si va verso l'Industria 4.0 e l'automazione, introdurre dei sistemi automatici innovativi ed efficienti deve essere all'ordine del giorno. Questo nuovo sistema rappresenta un cambiamento significativo non solo sul piano tecnologico, ma anche nelle modalità di lavoro (Giannini, 2017). L'industria 4.0 dovrebbe avere un impatto rilevante sulle prestazioni della logistica legata alla produzione (Nagy, Illés & Bányai, 2018).

Il lavoro svolto pone l'attenzione sul Material Handling. Con il termine Material Handling (MH) s'intende la movimentazione del materiale e tutto ciò che ne deriva, come le scaffalature, i carrelli elevatori, ma anche gli stessi sistemi di movimentazione. Il suo scopo è quello di rendere disponibile, attraverso l'impiego di opportuni metodi e strumenti, la giusta quantità del materiale corretto nel posto giusto, rispettando i tempi, le sequenze e le condizioni richieste [2]. È importante che queste operazioni siano pianificate e organizzate al fine di minimizzare il più possibile i costi. Il MH, infatti, può incidere dal 10% all'80% dei costi totali della logistica e la maggioranza di questi costi è relativa allo spazio, al lavoro, al magazzino e agli sprechi (Pavini, 2011). Il tempo legato a questa attività corrisponde all'incirca all'87% del tempo di produzione (Saffar, Zamberi & Fairu, 2017). L'inserimento di sistemi di movimentazione automatizzati permette una riduzione della manodopera e la riduzione di uno degli sprechi (muda) della logica Lean, il trasporto (Rafele, 2018). I principi base su cui si fonda il concetto di Lean sono l'eliminazione degli sprechi, il miglioramento e l'aumento del valore e la soddisfazione del cliente (Yadav, Jain, Mittal, Panwar & Lyons, 2019). Alla base di questa logica vi è il concetto di "snello"

che pone l'attenzione sul continuo miglioramento dei sistemi produttivi. Gli obiettivi principali sono: avere strutture organizzative più flessibili in cui l'uso delle tecnologie è meglio integrato con l'attività umana e avere un'attiva e intelligente partecipazione delle persone al processo produttivo (Rafele, 2018). Inoltre, una soluzione efficace ed efficiente per il MH può ridurre i costi operativi dal 15 al 30 per cento (Ferreira & Gorlach, 2016).

I sistemi di movimentazione svolgono un ruolo sempre più importante negli ambienti industriali e devono garantire la consegna del materiale alle linee di produzione nel minor tempo possibile (Ferreira & Gorlach, 2016). Il sistema tradizionale di movimentazione dei materiali richiede che un addetto sia coinvolto nel trasporto di materiali tra le varie stazioni (Valmiki et al., 2018).

Tra i principali mezzi di movimentazione che collegano il magazzino e le linee produttive, è possibile trovare i carrelli elevatori, i transpallet manuali o elettrici, i Tugger Train o i sistemi a guida automatizzata e autonoma (Automated Guided Vehicle, AGV). Dal momento che si va verso un mondo in cui l'automazione deve avere la priorità sulle scelte che devono essere prese, si deve cercare di ridurre il più possibile il trasporto per mezzo dei transpallet o dei carrelli elevatori (Nagy, Illés & Bányai, 2018). L'approccio più comune è quello che prevede l'utilizzo di quest'ultimo mezzo per lo spostamento di materiale. La limitazione del carrello elevatore è data dal fatto che possa trasportare un solo carico durante un viaggio e quindi le stazioni lavorative possono essere alimentate una alla volta (Alnahhal & Noche, 2013).

Nelle Figure dalla 1.1 alla 1.4 è possibile prendere visione dei mezzi di movimentazione, in ordine del carrello elevatore, transpallet elettrico, Tugger Train e AGV.



Figura 1.1: Carrello elevatore [3]



Figura 1.2: Transpallet elettrico [4]



Figura 1.3: Tugger Train [5]



Figura 1.4: AGV [6]

Per effettuare il cambio di visione, si devono inserire dei nuovi mezzi di trasporto che sostituiscano i transpallet e i carrelli elevatori. Si può optare per sistemi che utilizzano Tugger Train a guida manuale o automatica oppure per sistemi a guida automatizzata, gli AGV (Giannini, 2017). Si deve andare sempre più verso l'interconnettività, termine che indica una maggiore condivisione di informazioni necessarie anche per conoscere la destinazione delle merci da movimentare, e l'automatizzazione, che rappresenta l'evoluzione della robotica e della capacità di adattamento all'ambiente circostante (Giannini, 2017).

Un ulteriore motivo per sostituire il carrello elevatore nel trasporto del materiale è dovuto agli incidenti che possono accadere. Nel 2015, per esempio, circa 100 persone negli Stati Uniti sono rimaste coinvolte in incidenti che vedono come protagonista proprio il carrello elevatore. Il 35% degli incidenti ha provocato lesioni mortali [7]. Nel 2016, l'Occupational Health and Safety Administration (OSHA) ha riportato che gli incidenti avvenuti con il carrello elevatore sono stati fatali in circa 85 casi e circa 34900 infortuni avvengono ogni anno negli Stati Uniti [8]. Statisticamente l'11% di tutti i carrelli elevatori è coinvolto in un incidente durante il suo utilizzo [9]. Inserire un nuovo sistema di movimentazione diventa indispensabile per migliorare la sicurezza dell'azienda.

Nei paragrafi successivi verranno analizzati i due sistemi separatamente, mettendo in luce i pro e i contro.

1.2 IL TUGGER TRAIN

Il Tugger Train è un sistema di movimentazione composto da una motrice e uno o più carrelli agganciati per mezzo di una barra di traino. Con questo mezzo è possibile trasportare un gran numero di componenti in un solo viaggio ed è possibile effettuare consegne multiple impiegando meno tempo per trasportare i vari codici, anche in stazioni produttive differenti (Graf, Hinckeldeyn & Kreutzfeldt, 2013).

I carrelli sono collegati a livello del suolo ed hanno delle ruote per mezzo delle quali possono muoversi e di conseguenza trasportare materiale tra due poli logistici mentre vengono trainati da un veicolo rimorchiatore. I carrelli trainabili dalla motrice sono, inoltre, personalizzabili e quindi è possibile portare una grande varietà di carichi.

L'implementazione di sistemi che utilizzano più carrelli può ottimizzare il flusso di materiale diminuendo le inefficienze di consegna (Alnahhal & Noche, 2013). Il percorso che il Tugger Train deve effettuare viene stabilito precedentemente e permette di standardizzare il processo di movimentazione dei materiali e di ridurre il traffico che si può avere nei pressi delle linee [7].

I Tugger Trains viaggiano continuamente e si spostano per mezzo di percorsi stabiliti fermandosi nelle varie stazioni dove devono depositare il materiale necessario per la produzione (Keuntje, Kelterborn & Günthner, 2017). Ciò permette il rifornimento del materiale con una maggiore frequenza e la sincronizzazione tra il flusso di materiali e il ciclo di produzione (Keuntje, Kelterborn & Günthner, 2017). L'operatore addetto alla guida del veicolo, dopo aver recuperato i carrelli con il materiale nel magazzino, raggiunge le stazioni lavorative seguendo un percorso predefinito, come un bus con le varie fermate (Emde & Boysen, 2012). Quando il Tugger arriva in una stazione in cui deve essere consegnato del materiale, il guidatore ferma il mezzo, scarica il materiale in linea e recupera le cassette vuote. Questa tipologia di mezzo è semplice da utilizzare e può movimentare la quantità necessaria di componenti riducendo il materiale in eccesso nell'area di lavoro (Emde & Boysen, 2012).

L'introduzione del Tugger Train non deve incidere molto nel layout del magazzino, infatti l'obiettivo che ci si deve porre è quello di utilizzare il minor spazio possibile durante le manovre (Graf, Hinckeldeyn & Kreutzfeldt, 2013). Per far ciò si deve avere una grande stabilità durante la movimentazione e il raggio di sterzata deve essere minimo (Graf, Hinckeldeyn & Kreutzfeldt, 2013).

Ci sono due tipologie di Tugger Train:

- “Tongue and Hitch System”: sistema che prevede l’utilizzo di carrelli con quattro ruote che possono avere un’altezza da terra esigua in modo tale da movimentare carichi alti e dunque riuscire a portare una maggior quantità di materiale aumentando l’efficienza e la produttività [10]. Le ruote permettono ai carrelli di muoversi agevolmente in qualunque direzione e consentono all’operatore di poterli ruotare senza grossi problemi e senza compiere grandi sforzi. Per posizionare correttamente il carrello nei pressi della postazione di lavoro, può essere necessaria la rotazione di 90° [10].
- “Mother - Daughter System”: sistema che prevede l’utilizzo di carrelli con due sole ruote fisse. Questi carrelli, che possono anche essere chiamati dolly, sono meno flessibili di quelli del sistema precedente, poiché permettono l’accesso del materiale da un lato soltanto e può essere necessaria la rotazione di 180° del carrello per poterlo posizionare correttamente nei pressi della postazione di lavoro [10]. È una soluzione con cui è possibile posizionare carrelli più piccoli all’interno di un telaio più grande per un uso più efficiente [11]. Il vantaggio di questo sistema è che gli operatori possono lasciare i carrelli secondari (figli) in diverse stazioni di lavoro o di assemblaggio [11]. Un carrello madre può adattarsi a più tipologie di carrelli figli consentendo una maggiore flessibilità per ogni consegna [9].

Nelle Figure 1.5 e 1.6 è possibile prendere visione dei due sistemi.



Figura 1.5: Sistema Tongue and Hitch [12]



Figura 1.6: Sistema Mother-Daughter [13]

Nella Figura 1.7 è riportato il metodo di rilascio del carrello nei due sistemi.

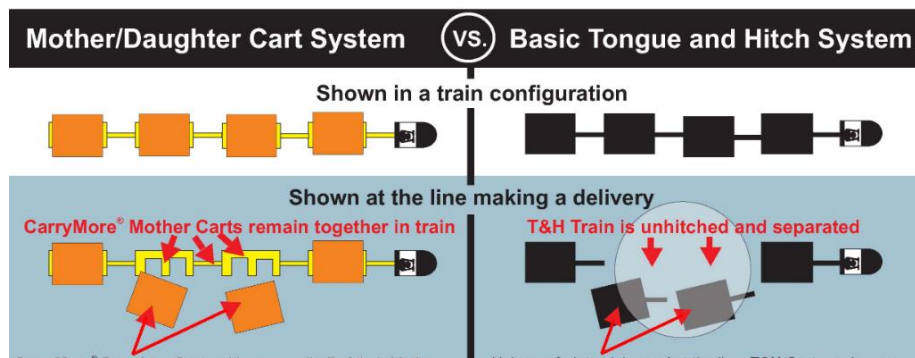


Figura 1.7: Sistema di rilascio dei carrelli [9]

A sinistra della Figura 1.7 è riportato il metodo di rilascio dei carrelli del sistema Mother – Daughter: i carrelli carichi di merce vengono staccati dal carrello madre, mentre questo rimane agganciato agli altri carrelli per tutto il tempo della navigazione. Il carrello figlio viene facilmente spinto nell'apposita area in cui deve essere depositato [9]. Il tempo per effettuare questa operazione richiede solo pochi secondi. A destra, invece, è riportato il sistema Tongue and Hitch: i carrelli vengono rimossi dal treno e portati, a spinta, nelle vicinanze della linea. I vari carrelli del treno devono essere riconnessi manualmente prima di recarsi in una nuova stazione [9]. Al contrario della configurazione precedente in cui un sistema a gravità facilita la discesa dei carrelli figli da quelli madre, in questo caso i carrelli devono essere spinti manualmente. L'operazione di sgancio e riaggancio dei carrelli può richiedere svariati minuti [9].

Entrambi i sistemi prevedono che vi sia una motrice a trainare i carrelli, che può essere a guida manuale o automatica. Nel primo caso si necessita di un operatore che effettui i giri di approvvigionamento del materiale. Egli potrebbe anche occuparsi dello sgancio dei vari carrelli, mentre nel secondo caso, non essendo presente un guidatore, è l'operatore della linea che deve sganciare il carrello o prelevare il materiale di cui necessita [14]. In quest'ultimo caso deve esserci un'ottima sincronizzazione tra uomo e macchina perché il Tugger Train non può sostare per troppo tempo nei pressi di una linea in quanto ha più aree da raggiungere, quindi l'operatore deve conoscere gli orari in cui transita il treno per essere disponibile per sganciare il carrello. Non sempre si opta per la guida automatica a causa delle esigenze dell'operatore umano per operazioni come il carico o lo scarico di container che sono difficili e costosi da automatizzare [14]. I Tugger Train a guida automatica si pongono l'obiettivo di rendere i processi logistici più automatizzati e rendere la fornitura del materiale ancora più efficiente ed economica [15]. In questi sistemi è possibile che anche il carico e scarico dei vari carrelli trainati sia automatizzato [15]. Questa tipologia di veicolo viene analizzata nello specifico nel Paragrafo 1.3.1, poiché

questi veicoli risultano molto simili agli AGV Towing Vehicle. La differenza tra le due tipologie risiede nel fatto che il Towing Vehicle può spostarsi esclusivamente in maniera automatizzata, mentre l'Automated Tugger Train può essere guidato anche da un operatore.

Nella Figura 1.8 viene riportata un'immagine relativa ad una motrice a guida manuale, mentre nella 1.9 una a guida automatizzata.



Figura 1.8: Tugger Train a guida manuale [16]



Figura 1.9: Tugger Train a guida automatizzata [17]

Il Tugger Train presenta un aspetto negativo: nel caso in cui si adotti un sistema in cui debbano essere depositati interi carrelli in determinate postazioni piuttosto che solo alcuni articoli caricati, ogni qualvolta debba essere rilasciato un carrello, l'operatore che guida la motrice deve scendere, sganciare il carrello e depositarlo nell'area di sosta prestabilita. In caso alternativo, un operatore della linea deve recarsi nei pressi del corridoio in cui transita il Tugger Train e, dopo che questo si sarà fermato, prelevare il materiale che necessita o sganciare il carrello e trainarlo all'interno della postazione. Questa operazione determina una perdita di tempo e la necessità di avere elevata sincronizzazione tra le varie operazioni, cosa non così facile da ottenere.

1.3 I SISTEMI A GUIDA AUTOMATIZZATA

Il termine Automated Guided Vehicle (AGV) è usato per indicare tutti i sistemi di trasporto in grado di funzionare senza un conducente. Vengono utilizzati questi veicoli automatizzati per aumentare l'efficienza e ridurre le spese generali, ottimizzando il tempo lavorativo del personale. Gli AGV sono dei robot controllati da computer che si muovono grazie a delle ruote lungo il pavimento e non vi è necessità di un guidatore (Wenbin, Yuxin Li & Yuhui, 2019). La storia degli AGV può essere suddivisa in quattro epoche, in base alla tecnologia disponibile. Inizialmente si pensava che gli AGV avrebbero sostituito l'autista di un veicolo per il trasporto dei beni utilizzando l'automazione (Neradilová & Fedorko, 2016). Questi mezzi hanno rimpiazzato inizialmente semplici attività logistiche, come il trasferimento di materiale tra due linee produttive, e attualmente sostituiscono le operazioni di Material Handlig effettuate dagli

operatori e trasportano il materiale direttamente nel luogo in cui deve essere utilizzato (Fedorko, Honus & Salai, 2017). Il trasporto di materiali in linea corrisponde alla quarta epoca e l'evoluzione della tecnologia ha permesso a questi veicoli di poter prendere delle decisioni in modo autonomo durante la navigazione, di rilevare gli ostacoli e di selezionare un percorso alternativo grazie ai sistemi di controllo integrati (Neradilová & Fedorko, 2016). Gli utilizzi principali che vengono fatti riguardano il trasporto dei materiali nelle aree di stoccaggio, il supporto per le spedizioni just in time, la consegna dei componenti work – in – progress alle linee di produzione e il trasporto dei prodotti finiti nelle aree di spedizione [18]. Tutte queste operazioni hanno in comune il trasporto e la movimentazione.

I sistemi a guida automatizzata comprendono tutta una serie di robot che sono in grado di muoversi all'interno di una certa zona semplicemente utilizzando dei sensori o delle bande magnetiche. Se gli AGV vanno a sostituire una mansione svolta da un carrello elevatore con operatore, il costo medio annuale per l'utilizzo degli AGV è circa 1/3 del costo annuale medio per l'utilizzo dei carrelli elevatori [19]. Questo confronto è stato effettuato tra due carrelli elevatori con operatori, che viaggiano ad una velocità media di 5 km/h, e cinque AGV, che viaggiano a una velocità media di 2 km/h [19]. Se, invece, gli AGV sostituiscono o vanno a riallocare le attività degli operatori, è possibile ridurre i costi del lavoro ed aumentare la produttività, poiché il personale necessita di pause mentre i mezzi a guida autonoma no [18]. Un robot mobile è un piccolo robot attrezzabile e configurabile, in grado di spostarsi autonomamente all'interno di un'area definita e di trasportare carichi e portare a termine una serie di operazioni [20]. È in grado di muoversi agevolmente tra le corsie e le linee produttive in totale sicurezza, dal momento che è in grado di individuare ostacoli e di fermarsi, evitando collisioni [20]. L'utilizzo di questo robot deve essere in collaborazione con un operatore, cosicché quest'ultimo possa occuparsi di mansioni a maggior valore aggiunto, come la produzione, invece di dedicare il proprio tempo al trasporto di materiale. Il trasporto, come già detto nel paragrafo 1.1, è una delle voci di maggior spreco in ambiente logistico e può essere ridotto grazie a questi robot poiché sono in grado di individuare il percorso più breve da compiere per raggiungere la postazione indicata e, nel caso quel percorso non sia utilizzabile a causa di un ostacolo, ricercano il modo per portare a termine la missione ricalcolando il tragitto.

È possibile avere più di un mezzo all'interno di una stessa area e può esserci più di una tipologia tra questi. Ciò è possibile grazie all'utilizzo della flotta, che è formata dall'insieme dei veicoli e, grazie ad un software, è possibile connettere questi AGV tra loro in modo tale che possano scambiarsi informazioni riguardanti la posizione e le missioni prese in carico. Con l'utilizzo della flotta l'efficienza aumenta perché si ha un numero maggiore di robot disponibili per adempiere

ai compiti di trasporto e il tempo di attesa viene ridotto notevolmente. Questi veicoli permettono, inoltre, di risparmiare energia, riducendo il tempo di ricarica e massimizzando la flessibilità nelle operazioni (Micieta, Zavodska, Rakyta & Binasova, 2015).

1.3.1 Diverse tipologie di AGV

Tra i vari articoli relativi ai robot a guida autonoma, si possono trovare quelli che fanno un'introduzione sull'argomento e presentano le differenze tra le varie tipologie di AGV che si possono trovare sul mercato. Per arrivare ad avere un processo sempre più efficiente a livello di costi e tempi, si deve andare verso il Flexible Manufacturing System (Lynch et al., 2018). È un metodo che prevede l'utilizzo di un sistema di produzione dotato della capacità di realizzare prodotti differenti, adattandosi alle variazioni del prodotto da realizzare [21]. L'utilizzo degli AGV permette di avere una linea produttiva più flessibile e snella poiché ammette gli spostamenti del materiale senza l'impiego dell'uomo (Lynch et al., 2018).

Vi sono quattro differenti tipi di AGV che si discostano sia per il metodo di navigazione che per la tipologia di sensori:

- Towing Vehicle: questi AGV possono trainare dei carrelli carichi di materiale nei vari punti di destinazione, quindi possono essere considerati dei Tugger Train a guida automatizzata. Sono utilizzati tipicamente per applicazioni di processi produttivi (Lynch et al., 2018) (Figura 1.10).
- Unit Load Vehicle: la parte superiore del mezzo è equipaggiata con un sistema che, sollevandosi e abbassandosi secondo necessità, gli permette di caricare e scaricare il carico (Lynch et al., 2018). Questo tipo di AGV è adatto per carichi medio piccoli ed è spesso utilizzato per rendere flessibile una linea produttiva (Lynch et al., 2018). La navigazione di questa tipologia di mezzo può essere monodirezionale o bidirezionale. Nella Figura 1.11 è riportato un Unit Load Vehicle bidirezionale.
- Pallet Truck: questi AGV sono simili ad un transpallet, ma posseggono un sistema automatizzato per il sollevamento delle pedane. Viene, dunque, eliminata la parte umana dal trasporto dei pallet. I Pallet Truck sono utilizzati per sollevare e spostare carichi all'esterno di una fabbrica o all'interno di un magazzino (Lynch et al., 2018) (Figura 1.12).
- Forklift: simile al carrello elevatore azionato dall'uomo, ma con un sistema automatizzato che alza o abbassa le forche e carica o scarica il carico in luoghi prestabiliti. Può stoccare i carichi anche sui piani più elevati, infatti può ubicare i pallet

anche sui ripiani di uno scaffale. L'impiego maggiore dei Forklift si trova in magazzino o nelle aree di carico e scarico della merce dai camion (Lynch et al., 2018) (Figura 1.13).



Figura 1.10: Towing Vehicle [22]



Figura 1.11: Unit Load Vehicle [23]



Figura 1.12: Pallet Truck AGV [24]



Figura 1.13: Forklift AGV [25]

I due mezzi più utilizzati sono i Towing Vehicles e gli Unit Load Vehicles. Un esempio di veicolo Unit Load è rappresentato da Kiva, il robot utilizzato da Amazon trattato nel paragrafo 1.4. Tra gli Unit Load Vehicles sono presenti anche i Light Load, che sono stati disegnati per il sollevamento e il trasporto di piccoli carichi (solitamente trasportano fino ad un massimo di 200 kg) (Ferrari, 2018).

Il tipo di robot e i sensori utilizzati dipendono dall'ambiente in cui questi devono lavorare. Si deve tenere in considerazione l'area in cui l'AGV deve operare, lo spazio in condivisione con altri utenti come altri mezzi o personale, la dinamicità o la staticità dell'ambiente (Lynch et al., 2018).

1.3.2 Tipologie dei sistemi di guida

Gli AGV, oltre a differenziarsi per le caratteristiche tecniche e il metodo di carico e scarico del materiale, si contraddistinguono per il metodo di navigazione adottato (Lynch et al., 2018):

- Laser guidance: è il metodo più versatile anche se prevede un investimento iniziale superiore agli altri. La navigazione avviene per mezzo di laser e GPS, in modo che il robot sia in grado di comunicare con gli altri e abbia alcune semplici regole legate al traffico (Fedorko, Honus & Salai, 2017). Ogni veicolo è equipaggiato da un Navigation Laser posizionato sulla superficie superiore del mezzo, che interagisce con i vari bersagli posizionati nell'area di lavoro degli AGV [26]. Il dispositivo invia vettori laser rotanti a 360°, che impattano contro i bersagli riflettenti che sono ubicati in zone fisse del layout [26]. Grazie a questo sistema, il veicolo calcola la sua posizione all'interno dell'area seguendo un complesso algoritmo [26]. I vantaggi legati a questo metodo di navigazione riguardano la facilità di installazione, che non è invasiva in quanto richiede solo il piazzamento dei bersagli riflettenti e la maggior parte del lavoro viene effettuata in ufficio senza intervenire sulla pavimentazione o sul layout [27], la velocità che i mezzi possono raggiungere e l'assenza di costi dovuti al mantenimento dell'installazione [26]. Il maggior svantaggio del sistema è l'obbligo di dover contattare i fornitori ogniqualvolta si decida di aggiungere un percorso a quelli preesistenti [26] (Figura 1.14).
- Line Following guidance, in cui il robot segue dei percorsi prestabiliti. Viene fissato al suolo un nastro che l'AGV deve seguire per potersi spostare e orientarsi. I nastri possono essere magnetici. Questa navigazione consente al veicolo di spostarsi seguendo un filo posato sul pavimento o immediatamente sotto, che viene percorso da un segnale elettrico ad una determinata frequenza [27]. Attorno alla linea si genera un campo magnetico che interagisce con i sensori presenti sul veicolo. Se questo è perfettamente centrato sulla pista, la tensione uguaglia quella prodotta dal campo magnetico della linea, invece se è differente, un segnale diretto al computer di bordo indica che si deve intervenire sulla traiettoria riequilibrando i valori di tensione [27]. Per avere percorsi differenti è sufficiente utilizzare frequenze diverse [27]. Il sistema "a filo guida" è utile in ambienti sporchi che rendono difficoltoso l'uso di sistemi ottici [27]. Lo svantaggio principale di questo sistema è legato all'onerosità dell'aggiunta di un percorso, poiché richiede il taglio e il successivo risanamento del pavimento per l'inserimento del filo [27] (Figura 1.15).
- Magnetic Spot guidance, in cui il robot segue delle linee magnetiche ma può anche navigare in un'area in cui non sono presenti e semplicemente orientarsi con dei punti di

riferimento. Questa è la prima tipologia di AGV che è stata utilizzata (Fedorko, Honus, & Salai, 2017). I veicoli che utilizzano questo metodo di navigazione sono equipaggiati con sensori magnetici e seguono un percorso predefinito realizzato con un nastro magnetico [26]. Gli spot magnetici, che il veicolo è in grado di rilevare e seguire, sono collocati nel pavimento [27]. È possibile individuare le differenti posizioni sfruttando le diverse polarità dei magneti [27]. I vantaggi legati alla navigazione a spot magnetico sono il veloce avvio dei lavori, l'assenza di installazione di strutture aggiuntive e l'agevole aggiornamento di un percorso [27]. Questo sistema è indicato per i tragitti esterni [27] (Figura 1.16).

- Barcode guidance, dove dei codici a barre o dei QR code possono essere posizionati a terra o sui muri per permettere al robot di orientarsi. Il robot ricerca questi codici per mezzo di laser scanner e individua la sua posizione rispetto all'ambiente che lo circonda. L'AGV ottiene le istruzioni per la movimentazione dopo aver scannerizzato i barcode (Taha, Mat-Jizat & Ishak, 2012). Scannerizzando i barcode, l'AGV pianifica il percorso e il sistema di controllo verifica che non vi siano errori durante la navigazione o dei problemi nel rilevamento del codice (Taha, Mat-Jizat & Ishak, 2012) (Figura 1.17).

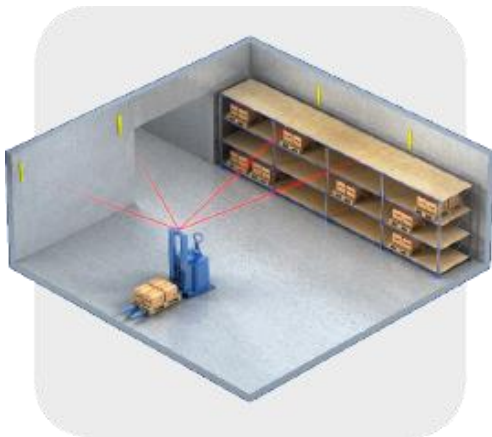


Figura 1.14: Laser guidance [28]

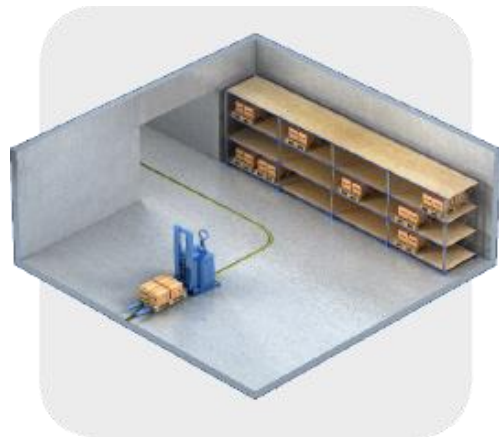


Figura 1.15: Line Following guidance [28]

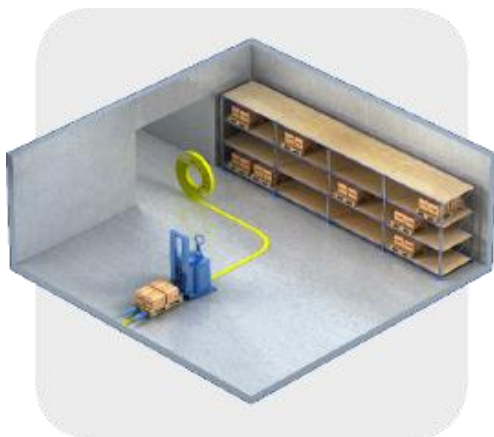


Figura 1.16: Magnetic Spot guidance [28]



Figura 1.17: Barcode guidance [28]

Il Line following guidance e il Magnetic Spot guidance possono essere considerati dei sistemi di navigazione con percorsi fissi, i cui vantaggi sono la robustezza e la facilità di installazione (Fedely & Luttenberger, 2017). Gli altri due metodi, il Laser guidance e il Barcode guidance, possono essere considerati dei sistemi con percorsi aperti, che permettono una maggiore flessibilità e una maggiore precisione (Fedely & Luttenberger, 2017). La facilità di installazione per questa tipologia di sistema è maggiore di quella precedente, poiché le modifiche da effettuare in loco sono minori (Fedely & Luttenberger, 2017).

I sensori di cui gli AGV si servono possono essere di tipo Laser Scanner oppure di tipo Magnetic Guide Sensor (Lynch et al., 2018). I Laser Scanner sono realizzati per lavorare in un sistema di navigazione Laser guidance oppure congiuntamente con il sistema Barcode guidance (Lynch et al., 2018). Nel primo caso, nell'area in cui il robot opera devono essere inserite le bande riflettenti, che devono essere posizionate in zone prestabilite per poter essere rilevate dai sensori del robot (Lynch et al., 2018). Questi, infatti, identificano dei tag posti su strutture fisse, come pilastri o muri all'interno dello stabilimento, e riconoscono la loro posizione rispetto all'ambiente che li circonda, oppure utilizzano il sistema GPS per la localizzazione (Fedorko, Honus & Salai, 2017). I sistemi di guida più recenti sono quelli che utilizzano queste due tipologie di sensori (Fedorko, Honus & Salai, 2017). Non dovendo seguire un percorso prestabilito, ma conoscendo solamente il punto di partenza e quello di arrivo, gli AGV che utilizzano i Laser guidance, quando incontrano un ostacolo, sono in grado di evitarlo e di aggirarlo (Fedorko, Honus & Salai, 2017). Nel secondo caso, l'area in cui il robot deve operare deve essere mappata con dei codici a barre e la mappa deve essere salvata nella memoria dell'AGV (Lynch et al., 2018). In entrambi i sistemi, questi sensori sono utilizzati dal robot per calcolare la propria posizione rispetto all'ambiente in cui devono spostarsi. I Magnetic Guide Sensor vengono installati nei

robot che utilizzano i sistemi Line following guidance (Lynch et al., 2018). Il sensore di guida magnetico è inserito nella parte sotto dell'AGV e serve per rilevare il nastro magnetico o i punti magnetici (Lynch et al., 2018). Le attività degli AGV che utilizzano questa seconda tipologia di sensori sono interrotte ogniqualvolta si incontra un ostacolo. Il robot non può fuoriuscire dal percorso stabilito e dunque fino a quando l'ostacolo non venga rimosso, rimane fermo in attesa (Fedorko, Honus & Salai, 2017). I percorsi che devono essere seguiti dall'AGV, infatti, devono essere pianificati precedentemente poiché il robot non è in grado di allontanarsi dalle rotte realizzate con il nastro magnetico (Lynch et al., 2018). L'AGV che non si sposta rilevando barcode o seguendo un nastro magnetico, è guidato da una mappa virtuale in cui i sensori scansionano lo spazio circostante e creano una mappa dell'area (Fedorko, Honus & Salai, 2017). In questa mappa è possibile inserire il percorso che deve effettuare il robot, semplicemente indicando il punto di partenza e il punto di arrivo (Fedorko, Honus & Salai, 2017). Il tempo di realizzazione di un percorso viene ridotto notevolmente rispetto al precedente nastro magnetico, che richiedeva ore di lavoro e di impostazioni (Fedorko, Honus & Salai, 2017). Infatti, con l'impiego di AGV che si spostano per mezzo di laser scanner, si ha maggiore flessibilità poiché i percorsi non sono fissi, ma il robot calcola ogni volta il tragitto più breve da percorrere e, nel caso si voglia inserire un nuovo percorso tra quelli preesistenti, è sufficiente indicare il punto di partenza e il punto di arrivo e, in caso di necessità, inserire dei tag. Utilizzando dei mezzi che necessitano di nastri magnetici, ogni volta che si vuole inserire un nuovo percorso è necessario effettuare le medesime operazioni eseguite per il primo, come l'inserimento del nastro nel pavimento, i calcoli per permettere al robot di muoversi agevolmente e l'analisi del layout per non intralciare il passaggio di altri mezzi o di persone. Questo è uno dei vantaggi maggiori legato ai sensori che utilizzano i laser, poiché si ha l'azzeramento dei costi quando si deve creare un nuovo percorso o quando devono essere apportate delle modifiche al layout dell'area dal momento che è sufficiente per il robot avere dei punti di riferimento che, essendo posizionati in postazioni fisse (pilastri o muri), non vengono modificati o spostati. Questa soluzione crea un ambiente virtuale in cui è possibile spostare i punti di riferimento a seconda delle modifiche apportate alla configurazione reale (Fedorko, Honus & Salai, 2017).

Nella Tabella 1.1 è possibile prendere visione delle differenze tra un sistema AGV che utilizza i Magnetic Guide Sensor (Traditional Vehicle AGV) e uno che utilizza i Laser Scanner (Autonomous Vehicle AGV).

	<i>Traditional Vehicle AGV</i>	<i>Autonomous Vehicle AGV</i>
<i>Manovre</i>	Tag, nastri magnetici, linee colorate	Movimenti liberi
<i>Integrazione</i>	Costoso e lungo	Facile e veloce
<i>Rilevamento ostacoli</i>	Fermata e attesa	Muoversi attorno e schivare

Tabella 1.1: Confronto tra sistema tradizionale e autonomo degli AGV [tratta da Fedorko, Honus & Salai (2017)]

I benefici apportati dal sistema autonomo prevedono un controllo più efficiente del magazzino e delle aree produttive in cui questo robot è inserito, minori costi del personale e una maggiore sicurezza (Llopis-Albert, Rubio & Valero, 2018). Le prestazioni complessive del sistema devono tener conto di più aspetti contemporaneamente come le distanze percorse, l'utilizzo delle risorse, l'utilizzo dello spazio, il costo legato al funzionamento e all'attuazione del sistema stesso (Silva et al., 2016).

Oltre alle due tipologie di sensori utilizzate per orientarsi all'interno dell'area di lavoro e per determinare la posizione relativa all'ambiente circostante, vi sono anche i sensori che servono per evitare le collisioni, per determinare la zona di ricarica o in cui sostare in caso di attesa di un nuovo compito (Lynch et al., 2018). Questi possono essere costituiti da:

- Sensori ad ultrasuoni, che servono per rilevare con affidabilità la posizione e per misurare la distanza da un oggetto, grazie al tempo intercorso tra le onde sonore che inviano e quelle che ricevono [29].
- Telecamera CCD (Charged-Coupled Device), che è un dispositivo analogico fotosensibile che registra la luce come una piccola carica elettrica in ciascuno dei suoi pixel o cella. Questo segnale deve poi essere convertito per diventare un segnale digitale codificabile [30].
- Sensori odometrici, che si basano sul calcolo dei giri effettuati dalle ruote del robot durante gli spostamenti [31].

Per introdurre uno tra questi sistemi di navigazione, si deve analizzare l'ambiente in cui deve essere inserito. Infatti, si deve aver ben chiara la configurazione del layout come la larghezza dei corridoi, le aree di accatastamento del materiale, le postazioni di lavoro e le strutture fisse, come le macchine (Llopis-Albert, Rubio & Valero, 2018). È possibile fare un'analisi comparativa che considera diversi fattori e condizioni il cui obiettivo è quello di determinare la configurazione migliore per tutti gli attori coinvolti (Llopis-Albert, Rubio & Valero, 2018).

Gli AGV più automatizzati ed evoluti non richiedono alcuna infrastruttura per muoversi, come ad esempio nastri magnetici o percorsi guidati, e vengono anche chiamati AIV (Automated Intelligent Vehicle). Gli AIV corrispondono agli AGV che utilizzano Laser scanner e sensori per il rilevamento degli ostacoli, che possono reagire in caso in cui lo incontrino ed evitarlo (Hellmann et al., 2019).

Dal momento che le forme più evolute di AGV corrispondono ad AIV, nei Capitoli 3 e 4 si parla di AGV indicando un veicolo a guida autonoma che non necessita di nastri magnetici o codici a barre per spostarsi all'interno del reparto. Questo, infatti, utilizza un sistema Laser guidance per la navigazione ed utilizza i sensori per confrontare la mappa virtuale registrata in memoria con quella che visualizza davanti a sé durante i vari spostamenti. Il modello utilizzato, però, non necessita dei tag riflettenti, ma scannerizza gli oggetti che trova nel suo cammino e confronta il loro posizionamento con quello memorizzato per stabilire dove si trova. Il robot utilizzato nell'azienda del caso studiato è a tutti gli effetti un AIV.

1.3.3 Vantaggi derivanti dall'utilizzo di un AGV

L'utilizzo di un sistema a guida autonoma porta con sé dei vantaggi. Tra i principali, è possibile elencare:

- L'efficienza, infatti si ha un'ottimizzazione dei flussi legati al trasporto, poiché le varie missioni vengono distribuite tra gli stessi AGV, in modo tale da avere un carico di lavoro pressoché simile per tutti i robot appartenenti alla medesima flotta [32].
- La flessibilità, poiché non si necessita di infrastrutture per movimentare i materiali e non si hanno grosse difficoltà nel configurare nuovi percorsi o nuove postazioni da servire se si utilizzano i sistemi più innovativi come gli AGV che utilizzano i sensori laser [32]. Questo discorso non è valido, però, per i robot che necessitano di un nastro magnetico per indicar loro il percorso da seguire.
- La precisione, infatti non si hanno errori di destinazione di un determinato carrello (nel caso in cui venga depositato un carrello nella postazione sbagliata, l'errore è dato dall'operatore, poiché è lui che ha dato il comando e il robot è un mero esecutore di ordini) [32].

Con un AGV è possibile ridurre, inoltre, i danneggiamenti alle scatole di prodotto finito o ai materiali, poiché questo sistema è più affidabile rispetto ad un operatore e può lavorare 24 ore al giorno [8]. Gli operatori possono essere distratti o stanchi durante la guida dei carrelli elevatori e questo può portare ad una minore attenzione e al rischio di danneggiare qualcosa.

Gli obiettivi che si vogliono raggiungere utilizzando un tipo di veicolo autonomo comprendono la massimizzazione del throughput del sistema, che equivale al numero di carichi trasportati per unità di tempo, la minimizzazione del tempo richiesto per completare i lavori, la minimizzazione del tempo necessario per effettuare un percorso, un'efficiente distribuzione del lavoro tra i differenti AGV (nel caso in cui in uno stesso reparto vi sia più di un veicolo) e la minimizzazione del tempo di attesa di un carico da trasportare (Vis, 2006).

In questo studio si focalizzerà l'attenzione sui mezzi che sollevano o trascinano carrelli, gli Unit Load Vehicle, il cui aspetto negativo è quello di poter trasportare un solo carrello alla volta, poiché questa è la tipologia utilizzata nell'azienda in cui è avvenuto lo studio.

1.4 ANALISI DELLA LETTERATURA

In questo paragrafo vengono analizzati i principali articoli scientifici riguardanti gli argomenti trattati nel presente elaborato. Sono stati presi in considerazione quelli più rilevanti e che si focalizzano sul Material Handling (MH), sull'utilizzo del Tugger Train e degli AGV.

1.4.1 Tugger Train

I Tugger Train sono una possibilità di efficienza energetica per la gestione del trasporto di materiale grazie al raggruppamento dei volumi durante il trasporto (Scholz, Serno, Franke & Schuderer, 2017). È possibile identificare tre concetti base per i Tugger in base alle somiglianze relative alle fasi di movimentazione (Keuntje, Hormes & Fottner, 2018). La concezione iniziale del sistema Tugger Train è legata al concetto di rimorchio, in cui i carichi pesanti vengono forniti alla linea produttiva utilizzando lo stesso rimorchio (Keuntje, Hormes & Fottner, 2018). Il materiale da trasportare viene caricato direttamente sopra al carrello (Keuntje, Kelterborn & Günthner, 2017). La seconda concezione è legata a quella di taxi, in cui possono essere utilizzati dei carrelli per il trasporto dei carichi pesanti (Keuntje, Hormes & Fottner, 2018). Questo sistema prevede che il materiale venga disposto su un carrello, che, per il trasporto, viene disposto su un ulteriore carrello avente dimensioni maggiori, il quale è trasportato dal Tugger. Il carrello con dimensioni inferiori viene prelevato dalla linea secondo necessità (Keuntje, Kelterborn & Günthner, 2017). Nella terza concezione, quella del Roller Conveyor, i carichi che devono essere forniti sono posizionati su dei carrelli, la cui base è formata da rulli in modo che si faccia meno fatica per caricare e scaricare il carico (Keuntje, Hormes & Fottner, 2018). Per essere in grado di rilasciare il carico trasportato e di permetterne la discesa, devono essere presenti dei carrelli, aventi la base composta da rulli come quelli trasportatori, installati in modo permanente nei pressi della linea (Keuntje, Kelterborn & Günthner, 2017). Il sistema che viene maggiormente

implementato è quello legato alla concezione di taxi poiché risulta essere il più versatile e adattabile e si rifà al concetto di “Mother – Daughter”, di cui si è trattato nel Paragrafo 1.2.

Nella Figura 1.18 è possibile prendere visione di queste concezioni di sistemi di Tugger Train.

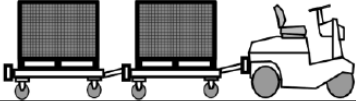
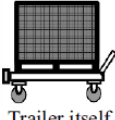
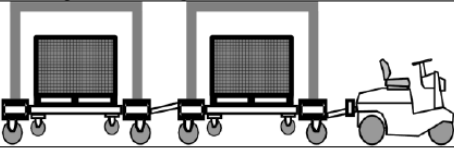
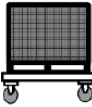
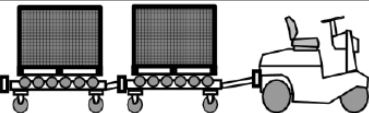
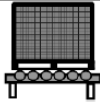
Concept name	Schematic representation (specific technical implementation)	Element used for production supply of the load carrier
Trailer concept		 Trailer itself
Taxi concept		 Additional trolley
Roller conveyor concept		 Permanently installed roller conveyor

Figura 1.18: Tipologie di sistemi che utilizzano i Tugger Train [Immagine tratta da Enright & Wurman (2011)]

Il Tugger Train può essere utilizzato nel sistema milk – run, nel quale un gruppo di stazioni lavorative è rifornito da uno stesso Tugger nel medesimo giro di asservimento (Alnahhal & Noche, 2015). Ogni stazione richiede una certa quantità di codici necessari per coprire la produzione di un dato lasso temporale (Alnahhal & Noche, 2013). Il processo di rifornimento può essere basato sull'utilizzo di Kanban, con i quali è possibile indicare la quantità di materiale di cui si necessita, oppure è possibile conoscere la quantità prima di effettuare il giro, ammesso che questo avvenga sempre in determinati orari e dunque si possa calcolare il numero di componenti consumati in base alla capacità produttiva (Alnahhal & Noche, 2013). I kanban possono essere di movimentazione e di produzione [33]. Nel caso in esame si tratta di quelli di movimentazione o trasporto, che servono per spostare componenti e materiali verso un processo produttivo dal magazzino [33]. I benefici maggiori legati all'utilizzo di questi cartellini che solitamente contengono informazioni riguardanti la quantità da ripristinare, il codice e il fornitore del componente sono: eliminazione della sovrapproduzione e del materiale in eccesso nei pressi della linea, semplificazione del sistema informativo legato alla produzione [33].

La variabilità del sistema milk – run è molto elevata perché è possibile che la quantità richiesta durante un giro possa avvicinarsi molto alla capacità massima trasportabile, mentre in altre occasioni può essere molto bassa.

Il sistema che utilizza un Tugger Train implica che si sappia sempre dove si ha bisogno di materiale e, di conseguenza, si possa pianificare ed eseguire il giro di rifornimento del mezzo

(Scholz, Serno, Franke & Schuderer, 2017). Un approccio innovativo può essere quello di utilizzare i vantaggi derivanti dall'utilizzo dei Tugger Train e dei veicoli con sensori intelligenti in modo tale da non avere degli stock intermedi nella planimetria (Scholz, Serno, Franke & Schuderer, 2017).

Il maggiore svantaggio dovuto al sistema Tugger Train è legato al fatto che si necessita di una fornitura ad alta frequenza e su piccola scala e dunque ci si vuole spostare su applicazioni di mezzi di trasporto autonomi per il rifornimento di materiale (Scholz, Serno, Franke & Schuderer, 2017). Gli AGV presentano dei vantaggi rispetto ai Tugger dati dalle loro dimensioni, dalla loro flessibilità e dal trasporto ad alta efficienza energetica per la movimentazione di piccoli volumi. Il principale svantaggio riguarda l'aumento considerevole del traffico intralogistico (Scholz, Serno, Franke & Schuderer, 2017).

Gli AGV possono essere molto importanti nella concezione di linea produttiva futura in cui non si desiderano più degli stock intermedi, come le aree di supermarket, ma si vuole avere comunicazione di dati tra le varie postazioni lavorative in modo che possano essere allocati ai robot i vari compiti di consegne dei materiali solo quando questi servono (Scholz, Serno, Franke & Schuderer, 2017).

1.4.2 Automated Guided Vehicle

Le tecnologie del Material Handling sono evolute negli ultimi decenni passando dai tradizionali carrelli a mano, carrelli elevatori e nastri trasportatori a forme più avanzate tra cui gli Automated Guided Vehicle (Hellmann, et al., 2019). Si è cominciato a parlare dei primi sistemi di AGV negli anni 50 del XX secolo (Fedorko, Honus & Salai, 2017). Come sostiene Götting (2000), oltre 20 mila AGV sono utilizzati in applicazioni industriali e l'utilizzo più diffuso è legato al manufacturing (Vis, 2006). Nei sistemi di produzione, il numero di AGV, che viene utilizzato per il trasporto di un numero esiguo di richieste su brevi distanze, è ridotto e il livello di occupazione per questa mansione rispetto al tempo disponibile per adempiere a questi compiti è basso (Vis, 2006).

Gli AGV rappresentano uno dei più efficienti tra i sistemi di MH, poiché possono fornire un approccio efficiente di schedulazione in poco tempo e con semplici operazioni (Wenbin, Yuxin Li & Yuhui, 2019). Inoltre, eliminano gli errori causati dall'attività umana poiché seguono degli standard predefiniti ed eseguono le operazioni in maniera più efficiente (Fedorko, Honus & Salai, 2017). Gli AGV, infatti, hanno ottime performance nel caso in cui le azioni che devono compiere siano ripetitive (Silva et al., 2016). Oltre ad essere sicuri, aumentano l'efficienza e riducono i costi legati al lavoro (Wenbin, Yuxin Li & Yuhui, 2019). Gli AGV sono più flessibili del Tugger Train, hanno dimensioni minori e necessitano di minore energia, ma presentano anche uno svantaggio

legato all'incremento ulteriore del traffico intralogistico (Scholz, Serno, Franke & Schuderer, 2017).

Per determinare quale sistema possa essere implementato in un'azienda si deve tener conto di alcuni aspetti quali il tempo di recupero del denaro investito, la facilità dell'implementazione del sistema e del controllo dello stesso, la sicurezza e l'affidabilità (Hellmann et al., 2019).

Per l'inserimento di un AGV in un layout produttivo si devono considerare diversi aspetti, quali i flussi, la gestione del traffico, il numero di aree di carico/scarico e il numero di veicoli richiesti (Vis, 2006). Dal momento che i percorsi fissi guidati sui quali gli AGV devono transitare per spostarsi da un luogo ad un altro rappresentano dei vincoli legati allo spazio non indifferenti, è preferibile utilizzare i veicoli a guida intelligente. I vincoli riguardano il transito di altri veicoli o di persone nella stessa area, infatti dovrebbero essere identificati dei corridoi per gli AGV, dei corridoi per i pedoni e ulteriori corridoi per il transito degli altri mezzi, siano questi stoccatori, transpallet o carrelli elevatori (Vis, 2006).

1.4.3 Applicazione degli AGV

In questo paragrafo vengono analizzati alcuni casi studio e applicazioni degli AGV. Dal momento che gli articoli relativi all'utilizzo di AGV per il Material Handling non sono molti, vengono riportati anche quelli riguardanti l'applicazione all'interno dei magazzini.

Utilizzo di AGV in ambienti produttivi

Una delle applicazioni maggiormente conosciute è relativa agli impianti di produzione della L'Oréal in Europa (Lynch et al., 2018). Nello stabilimento in Germania vi sono 12 robot che operano congiuntamente con un Manufacturing Execution System (MES) (Lynch et al., 2018). Questi robot sono realizzati dall'impresa Dematic e possono essere dei Forklift AGV oppure degli Unit Load Vehicle [34]. La tipologia di robot impiegata nello stabilimento tedesco è di tipo Forklift AGV e i sensori utilizzati sono di tipo Laser scanner (Lynch et al., 2018). Nell'area in cui l'AGV deve navigare vi sono dei tag riflettenti per agevolarne la movimentazione e l'orientamento (Lynch et al., 2018). In questo particolare sito produttivo, gli AGV trasportano gli imballaggi alle linee produttive, oltre a trasportare i prodotti finiti (Lynch et al., 2018). La richiesta per il trasporto del prodotto finito nella zona di imballaggio viene effettuata dal MES e trasferita ad un AGV (Lynch et al., 2018). Un altro robot fornisce il materiale per l'imballaggio e, una volta effettuato il confezionamento, un AGV trasporta il prodotto nell'area del magazzino destinata ai colli che devono poi essere spediti ai clienti (Lynch et al., 2018).

Un'ulteriore applicazione sempre in questa azienda prevede l'utilizzo degli AGV per il trasporto delle materie prime [35]. I veicoli utilizzati sono nuovamente dei Forklift AGV, che trasportano interi pallet dalle aree di pesatura a quelle di stoccaggio [35].

Un altro caso studio si riferisce all'articolo di Hrušecká, Lopes e Juříčková (2018), in cui vengono analizzate due aziende del settore automotive situate in aree geografiche differenti. L'obiettivo è quello di mettere in luce i fattori critici di successo, più comunemente chiamati Critical Success Factors (CSFs), per l'implementazione dei sistemi che utilizzano AGV. Si pone l'attenzione sugli aspetti tecnologici, organizzazionali e legati alla sicurezza e alle specifiche dei robot. La prima impresa analizzata, che viene chiamata Alpha per motivi di privacy, è situata in Portogallo, mentre la seconda, Beta, si trova in Repubblica Ceca. Alpha ha dimensioni maggiori (300.000 metri quadrati) rispetto a Beta (76.000 metri quadrati), mentre il numero di lavoratori per Alpha (1.300) è inferiore a quello di Beta (2.000).

Alpha utilizza tre tipologie di veicoli per le attività logistiche: i carrelli elevatori, i Tugger Trains a guida manuale e gli AGV. I carrelli elevatori vengono utilizzati sempre meno per motivi di sicurezza, mentre il Tugger Train è il mezzo utilizzato maggiormente per la raccolta del materiale. L'AGV è la tipologia più recente introdotta nell'azienda e utilizza un sistema di guida con sensori ottici. Con l'introduzione di quest'ultima tipologia di veicolo, si vuole sostituire il Tugger Train guidato dall'uomo, ridurre il numero di operatori logistici per turno e assicurarsi che il sistema possa essere affidabile per sostenere un aumento del 15% del throughput. Sono stati settati tre AGV per ciascuna delle due linee produttive: il numero scelto è dovuto al fatto che il luogo in cui i robot sostano durante i periodi di non attività è distante dalla linea di assemblaggio e, essendo la velocità dell'AGV minore del Tugger, sono necessari due AGV extra per mantenere lo stesso livello di efficienza nella fornitura, arrivando quindi a 3 veicoli per linea. Per evitare questa opzione, si è scelto di posizionare gli AGV in una zona più vicina alle linee, arrivando ad una riduzione del 35% del percorso totale.

Per quanto riguarda Beta, l'analisi che viene fatta per l'introduzione degli AGV riguarda il trasporto del prodotto finito dalla linea di assemblaggio al magazzino. L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di ridurre il numero di operatori logistici di quattro persone, che corrisponde al numero di Tugger Train che vengono sostituiti dagli AGV.

In entrambi i casi le soluzioni vengono testate utilizzando delle simulazioni. È necessario processare un gran numero di dati per disegnare e capire al meglio il processo logistico per testare il modello e trovare l'alternativa migliore (Kodym, Sedláček & Kavka, 2016).

Si può giungere alla conclusione che la tecnologia legata agli AGV dà una buona soluzione per il miglioramento delle performance nei processi logistici (Hrušeckáa, Lopes & Juříčková, 2018).

Nella letteratura è presente un altro articolo che tratta l'introduzione di un AGV per il trasporto del materiale alle linee produttive. Saffar, Zamperi e Fairu (2017) pongono l'attenzione sulla sostituzione di un Tugger Train a guida manuale con un robot a guida autonoma all'interno di un'azienda del settore automotive. Dopo aver raccolto i dati necessari, effettuano una simulazione e focalizzano l'attenzione sull'impatto che possono avere le differenze tra il layout in cui si utilizza il Tugger Train e quello in cui si utilizza l'AGV. Queste sono rappresentate dalle stazioni in cui si deve sostare per il recupero/rilascio del materiale e le distanze percorse (Saffar, Zamperi & Fairu, 2017). I cambiamenti apportati al layout conferiscono dei miglioramenti in termini di performance e di efficienza nelle operazioni di trasporto del materiale (Saffar, Zamperi & Fairu, 2017).

Utilizzo di AGV per un sistema di picking del magazzino

L'intero paragrafo si rifà all'articolo di Yoshitake, Kamoshida e Nagashima (2019). Anche in questo caso l'esempio riportato è relativo alla movimentazione di scaffali all'interno di un magazzino. I robot di cui si parla nel caso sono degli Unit Load Vehicle.

L'aumento dei costi lavorativi dovuti all'espansione dell'e – commerce nel mercato è un problema serio nei magazzini logistici. In questi magazzini, il costo del lavoro si aggira all'incirca attorno al 55% dei costi totali in un'attività ordinaria di *picking*. Il sistema legato all'operazione di *picking* è di tipo "person to good", che viene anche chiamato sistema *picker-to-parts*. Il *picker* cammina all'interno del magazzino per prelevare dagli scaffali i prodotti che sono stati richiesti. Circa il 50% del tempo di lavoro totale del *picker* viene impiegato per spostarsi da una parte ad un'altra ed è fortemente influenzato dal layout del magazzino, dall'ubicazione dei prodotti e dalla sequenza degli ordini. Il sistema opposto a questo è il *parts-to-picker*, precedentemente chiamato "good to person", che elimina gli spostamenti dei *picker* poiché vengono introdotti dei sistemi automatici che effettuano l'operazione di trasporto.

Il metodo *parts-to-picker* incrementa l'efficienza dell'operazione di *picking*. Infatti, il *picker* può concentrarsi nel prelievo degli articoli senza doversi spostare. Per aumentare la produttività e la scalabilità di un'attività di *picking*, sono stati introdotti i sistemi di *picking* AGV. All'interno di questo sistema, ci sono due tipologie di scaffali, quelli del magazzino e quelli di smistamento. Gli articoli sono stoccati negli scaffali del magazzino e ciascun scaffale di smistamento possiede scatole di spedizione in cui riporre gli articoli ordinati dai clienti. Questi scaffali possono essere trasportati dagli AGV: il robot si posiziona sotto lo scaffale, lo solleva e lo trasporta nella zona in

cui è stato richiesto. Il *picker* preleva gli articoli che necessita dagli scaffali del magazzino e li ripone nelle scatole di spedizione negli scaffali di smistamento. Dopo che il *picker* ha prelevato tutti i prodotti ordinati dallo scaffale, il robot lo riporta nell'area del magazzino preposta oppure lo trasporta ad un altro *picker*.

Nelle Figure 1.19 e 1.20 vengono riportati i layout delle due configurazioni in cui sono presenti anche le diverse tipologie di scaffali.

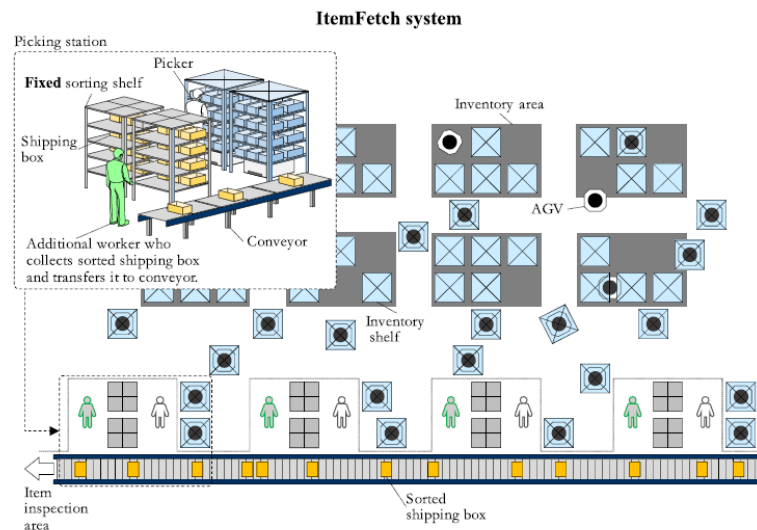


Figura 1.19: Layout dell'Item Fetch system [Immagine tratta da Yoshitake, Kamoshida & Nagashima (2019)]

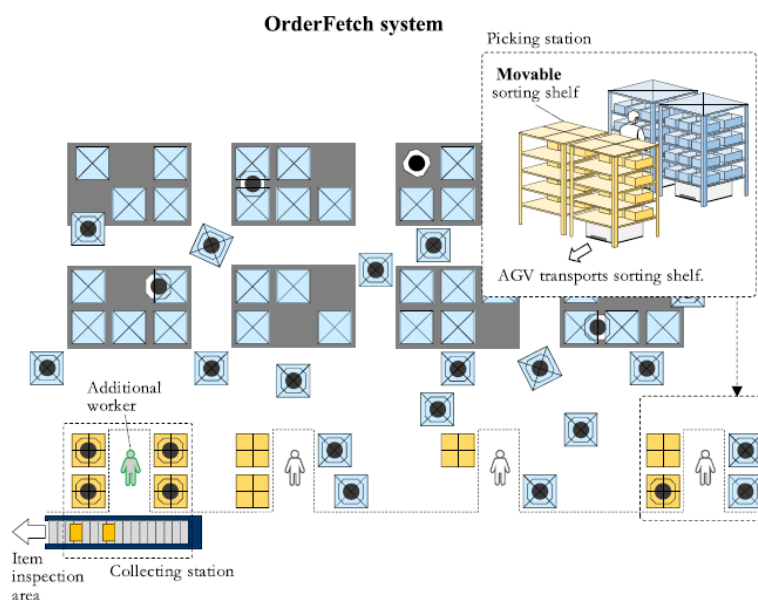


Figura 1.20: Layout dell'Order Fetch system [Immagine tratta da Yoshitake, Kamoshida & Nagashima (2019)]

L'utilizzo degli AGV per le operazioni di *picking* può essere impiegato in due sistemi:

- ItemFetch, che è un sistema che prevede che solo gli scaffali del magazzino possano essere trasportati dagli AGV, mentre quelli di smistamento vengono spostati da un'area lavorativa ad un'altra grazie ad alcuni lavoratori addizionali, che non fanno parte del team dei *picker* e quindi contribuiscono all'aumento dei costi di lavoro.
- OrderFetch, che oltrepassa lo svantaggio del sistema ItemFetch permettendo agli AGV di movimentare entrambe le tipologie di scaffali. Il numero di lavoratori aggiuntivi viene ridotto drasticamente.

Nella Figura 1.21 vengono rappresentati i due sistemi.

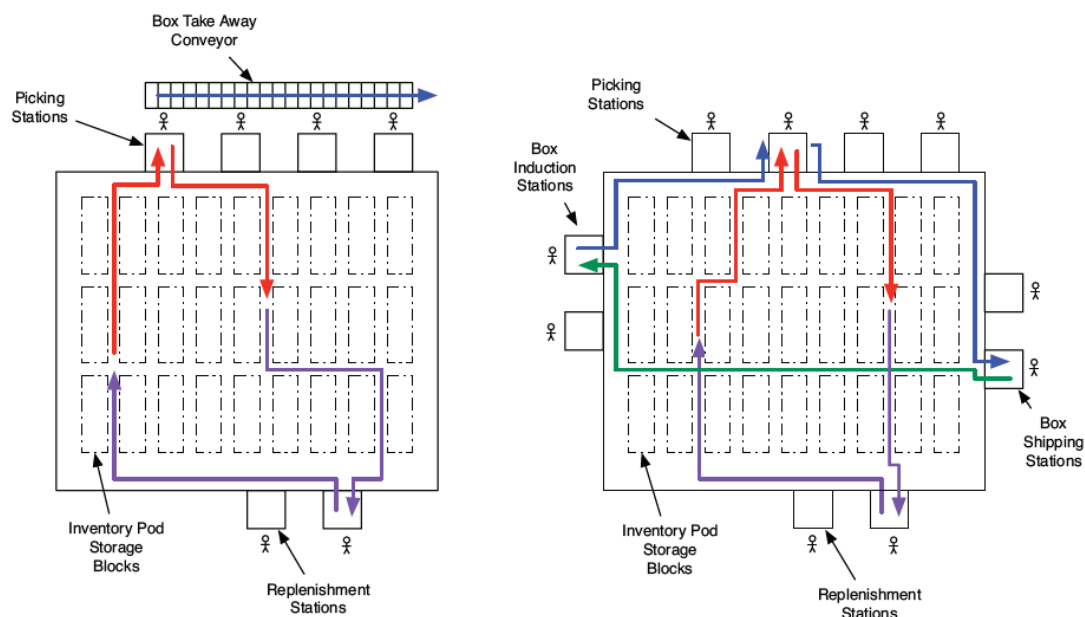


Figura 1.21: Rappresentazione dei due sistemi: a sinistra ItemFetch mentre a destra OrderFetch [6]

Nella configurazione di sinistra, in cui è rappresentato il sistema ItemFetch, le linee viola e rosse rappresentano gli spostamenti che subiscono i vari scaffali del magazzino all'interno dello stesso magazzino. Questi scaffali, detti *pod*, sono una raccolta di postazioni di archiviazione, dette *bins*. I *bins* sono riempiti dagli operatori che si trovano nelle stazioni di rifornimento (*replenishment station*) e vengono svuotati dai *picker* nelle stazioni di *picking* (*picking station*). Tra queste due attività, i *pods* possono sostare nel magazzino. In questo sistema, il *picker* dispone la scatola pronta per la spedizione sul nastro trasportatore che si trova alle sue spalle. La linea blu indica il percorso effettuato dalle scatole, che vengono trasportate nell'area di spedizione. Nella configurazione a destra, raffigurante il sistema OrderFetch, non vi è più il nastro trasportatore, ma vengono inseriti un altro set di *pods* per il trasporto delle scatole pronte per essere spedite.

Un *pod* destinato agli ordini per prima cosa viene trasportato in una *box induction station*, dove un operatore prepara le scatole vuote e le ripone sul *pod*. Questa tipologia di *pod* può trasportare fino a una dozzina di ordini alla volta, sebbene la capacità effettiva di un *pod* vari molto in base sia all'implementazione sia alla dimensione degli ordini stessi. A questo punto un AGV trasporta il *pod* nei pressi della stazione di lavoro del *picker*, dove è presente anche lo scaffale sui quali sono riposti gli articoli. Dopo che il *picker* ha disposto gli articoli nelle scatole, un AGV trasporta lo scaffale in un'apposita area del magazzino, luogo in cui rimane fino a quando deve essere spedito. Al momento opportuno, il robot trasporta lo scaffale nella *box shipping station* e, dopo che un operatore ha rimosso le scatole riposte sullo scaffale, lo deposita in una *box induction station* (linee verdi della Figura 1.15) (Enright & Wurman, 2011).

Un ulteriore sviluppo del sistema OrderFetch è rappresentato dal ShelfMigrant system in cui, oltre a permettere agli AGV di movimentare entrambe le tipologie di scaffali, possono essere trasportati anche gli scaffali di smistamento incompleti. Con questo sistema il numero di scaffali candidati al trasporto in un'area lavorativa aumenta notevolmente e dunque questo sistema può essere più flessibile nella schedulazione rispetto all'OrderFetch. Nell'OrderFetch il numero di scaffali trasportabili coincide con il numero di scaffali di magazzino richiesti per completare lo scaffale di smistamento fermo nell'area in cui si trova il *picker*. Per stabilire quale tra questi due sistemi fosse il migliore, Yoshitake, Kamoshida e Nagashima (2019) hanno scritto un algoritmo per simulare la realtà e lo hanno applicato al sistema ShelfMigrant, considerando un magazzino con grandi dimensioni e ordini misti. Grazie a questo algoritmo, sono giunti alla conclusione che quest'ultimo permette di migliorare la produttività dell'attività di *picking*, riducendo il tempo di attesa del *picker*. Questa soluzione è adatta a grandi magazzini con ordini misti e volumi non troppo elevati, come quello considerato nella simulazione.

Applicazione degli AGV in una realtà logistica molto ampia: il caso Amazon

Dal momento che le applicazioni relative all'utilizzo di AGV per il rifornimento delle linee produttive scarseggiano, mentre sono più numerose quelle relative ai magazzini, si è scelto di riportare un caso esemplificativo. È stato deciso di riportare questo caso studio poiché i robot utilizzati da Amazon sono degli Unit Load Vehicle, la medesima tipologia utilizzata nell'azienda di riferimento dell'elaborato.

Nel 2012 Amazon, il colosso delle consegne americano, è riuscito ad ottimizzare la gestione dei suoi magazzini grazie ai robot a guida autonoma. La società, infatti, ha acquisito Kiva Systems, società produttrice di AGV, e ha deciso di bloccare le vendite e l'utilizzo di questi robot ad altre società [36]. I robot mobili utilizzati da Amazon sono degli Unit Load Vehicle (Lynch et al., 2018)

e possono spostare interi scaffali all'interno del magazzino. Sono in grado di gestire gli ordini tra di loro, in modo tale da prendere in carico la missione che rende minimo lo spazio da percorrere [18]. Non è sufficiente, infatti, che i robot si spostino all'interno dei magazzini per velocizzare i tempi di consegna, ma devono anche comunicare tra di loro durante questi spostamenti poiché le istruzioni vengono trasferite da un robot mobile ad un altro e dai vari robot ad un sistema centrale (host) [18]. Questa comunicazione continua che hanno fra di loro e con il sistema centrale risulta essere l'aspetto fondamentale degli AGV in generale [18]. Nello specifico, i robot Kiva, grazie a questa continua trasmissione dei dati, possono disporre gli scaffali in modo che quelli contenenti articoli venduti più di frequente siano più vicini alla zona di smistamento mentre quelli contenenti articoli meno richiesti vengano ubicati più lontani [18].

I robot riescono ad orientarsi grazie a dei particolari adesivi disposti a terra che servono come waypoint, termine che letteralmente significa tappa intermedia e indica un punto di riferimento. Questo è una sorta di sistema di navigazione formato da una griglia identificata da una sequenza di codici a barre stampati sul pavimento [37]. Questo sistema funziona utilizzando i laser scanner e i codici a barre (Lynch et al., 2018). I QR – code vengono posizionati sul pavimento del magazzino alla stessa distanza l'uno dall'altro e, mentre naviga, l'AGV esegue la lettura dei vari codici (Lynch et al., 2018). I robot utilizzati da Amazon sono chiamati Kiva, come il nome della società produttrice, e riescono a calcolare il percorso all'interno del magazzino per ottimizzare la movimentazione degli scaffali e fare in modo che percorrano il tragitto più breve per raggiungere la postazione desiderata [18]. La Figura 1.22 riporta un'immagine del robot Kiva.



Figura 1.22: Robot Kiva [38]

Da un punto di vista meccanico, questi robot sono molto semplici. Sono composti da un paio di ruote motrici montate lateralmente e sono in grado di sollevare di qualche centimetro da terra gli scaffali, quanto basta per poterli trasportare (Enright & Wurman, 2011). Possono muoversi in due direzioni e hanno sensori posti nella parte anteriore e posteriore per il rilevamento degli ostacoli (Enright & Wurman, 2011).

I robot Kiva all'interno di Amazon lavorano congiuntamente con il MES, secondo il seguente schema (Lynch et al., 2018):

- Il MES invia una richiesta che viene trasferita a un AGV disponibile per prelevare un determinato oggetto dal magazzino.
- Il veicolo si reca nella zona in cui è stoccato quell'oggetto e, dopo essersi posizionato al di sotto, solleva lo scaffale sul quale è riposto.
- Il robot trasporta lo scaffale nella stazione di picking da cui è avvenuta la richiesta utilizzando, per la navigazione, i suoi laser scanner e codificando i QR – code posti sul pavimento del magazzino.

Ogni scaffale possiede un determinato barcode in modo tale che possa essere identificato e al tempo stesso si possano identificare anche i vari oggetti che sono stoccati (Lynch et al., 2018).

Secondo Dave Clark, vicepresidente responsabile per le operazioni globali e il servizio clienti di Amazon, l'introduzione dei robot ha ridotto di circa il 20% le spese operative della società [38]. Da un'analisi di Deutsche Bank, i robot fanno risparmiare ad Amazon 22 milioni di dollari in costi di logistica [18]. Questo sistema è stato introdotto in 10 dei 50 magazzini americani della società [37]. Portare i Kiva nei centri in cui non sono ancora utilizzati farebbe risparmiare alla società ulteriori 2,5 miliardi di dollari [38].

Il magazzino ottimale secondo i canoni di Amazon deve essere una struttura rettangolare con altezza pari a 12 metri, per ottimizzare lo spazio anche in verticale, e aree di carico su entrambi i lati. I pavimenti di questi magazzini devono essere piatti, evitando dislivelli o salite, per agevolare la movimentazione della flotta dei robot al suo interno.

L'automazione è un argomento che può minacciare il lavoro svolto dagli operai di un'industria e si crede che la situazione possa peggiorare [38]. L'Industria 4.0 è stata vista da molti come una minaccia per il lavoro operaio [39]. Le macchine all'avanguardia e i software sostituiranno a poco a poco il personale che attualmente lavora ai banchi delle fabbriche, però sta aumentando la ricerca di figure altamente specializzate e qualificate [39]. Lo ha dimostrato lo studio "The Lombardy industries towards Industry 4.0: evidences of the evolution of occupations and skills", in cui il prof. Mezzanzanica insieme al suo team ha evidenziato non solo l'emergere di queste nuove professioni, ma anche la richiesta da parte delle aziende [38]. Certamente una parte delle attività operative di pura manipolazione sarà sostituita dalle tecnologie, molte operazioni saranno eliminate a causa dell'impiego di tecnologie innovative, ma rimarranno necessarie figure di operatori di processo, manutentori che controllino le varianze e i guasti delle macchine. Il loro livello di formazione sarà molto più elevato. Gli operai devono disporre di "Skill 4.0", cioè

sommare autonomia decisionale, impegno cognitivo, utilizzo di tecnologie avanzate e lavoro in team (Butera, 2017). Oltre alla domanda di queste nuove figure, nei casi migliori il robot riuscirà, comunque, a gestire il 90% delle situazioni di lavoro quotidiano e un umano è necessario nel rimanente 10% dei casi (Bonsignorio, 2018). Ciò dimostra che l'uomo non sarà completamente sostituito e che le macchine rendono automatiche alcune fasi del lavoro, non solo fisico ma anche cognitivo, ma le persone, attraverso la formazione, superano le abilità delle stesse macchine restando indispensabili per svolgere alcuni compiti (Carrozza, 2018).

Investire in centri automatizzati potrebbe offrire, ad una società come Amazon, un netto calo dei costi per il personale sul lungo termine e, allo stesso tempo, tutelare i datori di lavoro dalla carenza di personale, situazione che si verifica in quei periodi in cui vi è un picco della domanda, come per esempio nel periodo natalizio [38].

Nonostante il lavoro degli operatori che si trovano in magazzino possa essere messo a dura prova, ad oggi si può ancora sostenere che i robot non possono rimpiazzare del tutto gli esseri umani perché questa forza lavoro è considerata ancora migliore per i compiti più rilevanti, come assicurarsi che il giusto prodotto finisca nella giusta scatola [38].

Utilizzo di AGV in un magazzino automatico

Il caso analizzato mette in luce l'utilizzo di AGV per il trasporto di pallet all'interno di un magazzino e si rifà all'articolo di Sabattini et al. (2018). Si pone l'attenzione sugli stabilimenti caratterizzati da lotti di produzione grandi, come le aziende produttrici di bevande. In questi ambienti, i veicoli sono utilizzati per il trasporto dei prodotti dalle linee produttive al magazzino, per la movimentazione all'interno del magazzino o per il trasporto alle aree di spedizione.

Ci sono due tipi di filosofie che possono essere seguite per coordinare la movimentazione degli AGV:

- Decentralizzata: ogni veicolo definisce il suo percorso in maniera indipendente, basandosi esclusivamente sulle informazioni locali possedute. In questo caso non vi è la garanzia che si abbia sempre la massima efficienza.
- Centralizzata: le informazioni vengono acquisite da un sistema centrale. Vengono considerati i vincoli dei vari AGV per muoversi all'interno della mappa, la quale è costituita da una serie di percorsi che permettono al robot di raggiungere ogni postazione di interesse nell'area di lavoro.

Nell'articolo di Sabattini et al., (2018) si considera il metodo centralizzato e vengono analizzati nello specifico i sistemi avanzati di rilevamento e le loro interazioni, in particolare si pone l'attenzione sulle telecamere e sui laser scanner di sicurezza e sui sensori per il carico/scarico dei pallet.

Dal momento che in queste applicazioni, gli AGV devono condividere lo spazio di manovra con altre entità, come altri veicoli o persone, è preferibile utilizzare dei mezzi a guida autonoma che utilizzano laser scanner. Ciò permette ai robot di rilevare la presenza di ostacoli nelle vicinanze e opportunamente evitare le collisioni o ripianificare il percorso da percorrere (Sabattini et al., 2018).

1.5 RESEARCH GAP

L'analisi della letteratura riportata nel Paragrafo 1.4 mette in luce quali siano le differenze principali tra sistemi che utilizzano i Tugger Trains e gli AGV. Oltre a fornire descrizioni dettagliate per le diverse tipologie di mezzi, gli articoli citati nel presente capitolo riportano alcune applicazioni di AGV, che è possibile trovare nella letteratura.

Nella ricerca degli articoli scientifici inerenti all'utilizzo degli AGV in ambienti aziendali sono state trovate per lo più applicazioni riguardanti il magazzino. Scarseggiano gli articoli o i report relativi all'approvvigionamento di materiale per mezzo di un veicolo a guida autonoma e le modifiche all'ambiente che derivano dall'inserimento del robot. Per dare comunque evidenza delle applicazioni riguardanti gli AGV e dei cambiamenti riscontrati, sono state riportate anche delle trattazioni che si riferiscono alla movimentazione di scaffali all'interno del magazzino. Dal momento che lo studio dell'elaborato si concentra sull'introduzione di un Unit Load Vehicle, le applicazioni inerenti ai magazzini riguardano questa tipologia di veicoli, in modo tale da mostrare l'inserimento di questi mezzi, che non sollevano carrelli, bensì scaffali.

L'elaborato cerca di colmare questo gap di ricerca e pone l'attenzione sulle modifiche che devono essere apportate al layout e alle mansioni del personale di linea e di magazzino, dovute all'introduzione di un sistema innovativo per l'approvvigionamento di materiale in linea. Dopo aver analizzato i pro e i contro derivanti dall'inserimento di un Tugger Train o di un AGV per l'asservimento, l'obiettivo della tesi è quello di mettere in luce le variazioni che devono essere apportate per fare in modo che l'implementazione di questo nuovo sistema sia efficiente e porti delle migliorie all'azienda. Queste devono essere sia in termini di costi sia di tempo. In particolare, si pone l'attenzione sulle variazioni nel layout del reparto produttivo, del magazzino e nei compiti del personale. L'introduzione di questo sistema innovativo porta con sé, infatti, dei

vincoli di spazio che devono essere soddisfatti per permettergli di essere efficiente (Hellmann, et al., 2019).

Non è presente un'analisi sul tipo di Tugger Train o AGV scelto poiché l'azienda oggetto di studio aveva già svolto le ricerche e gli studi necessari ed erano già presenti entrambi i mezzi. Ciò che l'elaborato compie è un'analisi di ambedue i sistemi per determinare quale possa essere il più appropriato per quel determinato ambiente.

2. DESCRIZIONE DELL'AZIENDA

L'elaborato mette in luce il lavoro svolto all'interno di un'azienda, della quale non possono essere riportati il nome, la sede o altre informazioni sensibili per motivi di privacy. Essa appartiene al settore dell'automotive. Nel presente capitolo si vuole descrivere, a grandi linee, la storia dell'azienda e lo stabilimento.

2.1 Storia dell'azienda

Lo stabilimento nel quale è stato condotto il presente studio ha subito molte variazioni con il passare degli anni.

L'azienda è stata fondata nel 1970 ed era specializzata nello stampaggio di particolari di illuminazione auto e nella costruzione di stampi per le presse. Questi stampi venivano successivamente utilizzati all'interno dell'azienda sia per le plastiche sia per le lamiere. Negli anni successivi, l'impresa ha iniziato a diversificare la propria produzione, focalizzando sempre più la sua attenzione al settore automotive, che è diventato il punto di forza per lo sviluppo dell'azienda.

Il prodotto che rappresentava il core business dell'azienda era il relè. Dal 1975 al 1980 il numero di clienti che si riforniva dallo stabilimento è cresciuto notevolmente. Tra questi, è possibile citare Ford, Fiat, Iveco e Jaguar.

Nel 1997 la maggioranza della società fu acquisita da un gruppo inglese, che era specializzato nella produzione di circuiti stampati flessibili, di componenti plastici e di connettori per l'industria automobilistica. Con il passare del tempo, i prodotti realizzati sono aumentati sia in volume sia in numero. Nel 2006 il gruppo inglese è stato messo in vendita, riducendo notevolmente la struttura del gruppo.

Nel 2007, la società è stata acquistata da un gruppo austriaco, che fa parte di una multinazionale con sede in Canada. Questa acquisizione ha determinato anche il cambiamento della denominazione dell'azienda. Nel quadro dei clienti del gruppo sono stati inseriti, oltre a quelli citati sopra, Ferrari, Maserati e Volkswagen.

Dal 2012 si è iniziato a produrre i primi motori elettrici brushless per auto, che sono successivamente assemblati con la ventola e lo shroud (il corpo). Negli anni seguenti, i volumi realizzati per soddisfare la domanda di questo prodotto sono incrementati notevolmente, infatti si è passati da una sola linea produttiva a quattro in meno di sette anni.

Nel 2019, nel mese di marzo, vi è stata un'acquisizione da parte di una società coreana. I soggetti coinvolti sono stati lo stabilimento nel quale è stato effettuato il lavoro ed alcuni altri stabilimenti presenti in Italia e Germania, facenti parte del gruppo con sede canadese. Attualmente i core business dell'azienda sono ventole di raffreddamento (cooling fan) per automobili e pompe dell'acqua a controllo elettronico (electronic Water Pump, e – WP). All'interno dello stabilimento vengono ancora prodotti alcuni componenti elettronici, che rappresentano una parte marginale del business.

2.2 Descrizione generale dello stabilimento

Lo stabilimento è suddiviso in più aree, a seconda del prodotto che deve essere realizzato. Nei pressi di ciascuna zona produttiva sono presenti dei magazzini per lo stoccaggio dei componenti e del prodotto finito. Nella Figura 2.1 viene riportato uno schema dell'impianto.

La realizzazione di una ventola di raffreddamento prevede due lavorazioni: la prima è l'assemblaggio del motore elettrico, la seconda il montaggio del motore con la ventola e lo shroud. I motori vengono prodotti su quattro linee differenti, ubicate in due aree diverse. I componenti necessari per la produzione di questi motori sono stoccati all'interno di quello che viene chiamato Magazzino Rosso, indicato in Figura 2.1. Questo approvvigiona sia le Linee 1 e 2 sia le Linee 3 e 4, che sono rappresentate con i rettangoli con il bordo blu. Una volta realizzati, i motori vengono stoccati in quello che viene denominato Magazzino Blu. Da qui, vengono portati nelle due aree di Assemblaggio ventole (rettangoli con il bordo rosso nella figura) per realizzare il prodotto finito, che viene stoccato sugli scaffali presenti all'interno del magazzino centrale. Il rettangolo con il bordo grigio rappresenta una zona in cui vengono realizzati dei semilavorati che servono per l'assemblaggio delle ventole. Questo reparto produce pezzi sufficienti per entrambe le aree in cui si ha l'assemblaggio del prodotto.

Le water pump sono realizzate su due linee, rappresentate in figura dal rettangolo con i bordi arancioni. Sia i componenti sia il prodotto finito vengono stoccati nel Magazzino e – WP. L'elaborato focalizza l'attenzione su questo reparto produttivo e sui metodi di approvvigionamento del materiale.

Il rettangolo verde rappresenta l'area in cui vengono prodotti i componenti elettronici. I materiali di cui si necessita per realizzarli sono stoccati nel magazzino limitrofo (nella figura il Magazzino componenti elettronici). Dal momento che si producono questi prodotti in base agli ordini cliente, non vi è un magazzino per il prodotto finito, ma, una volta terminati, vengono

stoccati per un breve lasso temporale su uno scaffale nei pressi delle linee produttive per poi essere spediti direttamente al cliente.

Il rettangolo viola indica la zona del laboratorio, in cui vengono effettuati i vari test e prove sui prodotti. Lo stabilimento, infatti, rappresenta, per la multinazionale coreana, un sito di ricerca e sviluppo in forte espansione.

Le zone non analizzate sono state coperte con il colore bianco per non mostrare lo stabilimento nel complesso e rappresentano uffici o spogliatoi.

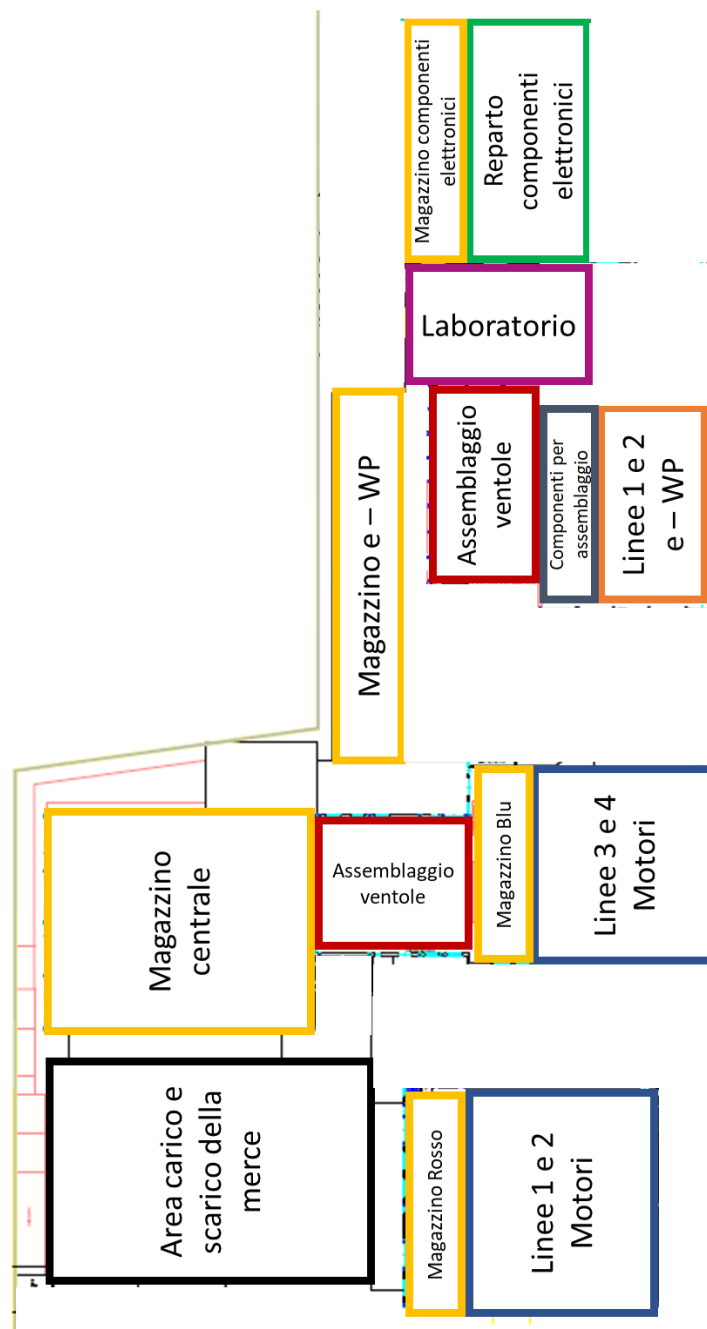


Figura 2.23: Schema dello stabilimento

3. L'ASSERVIMENTO DELLE LINEE PRODUTTIVE

Lo studio che è stato svolto è basato sul reparto delle Electric Water Pump (e-WP), che è attualmente composto da due linee di produzione (Figura 3.1). Dal momento che la linea 2 è ancora in carico all'industrializzazione, cioè che quotidianamente vi sono degli ingegneri che verificano il corretto funzionamento delle macchine e il target produttivo è ancora al di sotto della massima capacità, l'analisi è stata eseguita sulla linea 1, ma tutte le considerazioni effettuate possono essere adattate alla linea 2 e alle linee produttive future.

Struttura e operazioni eseguite in una linea produttiva

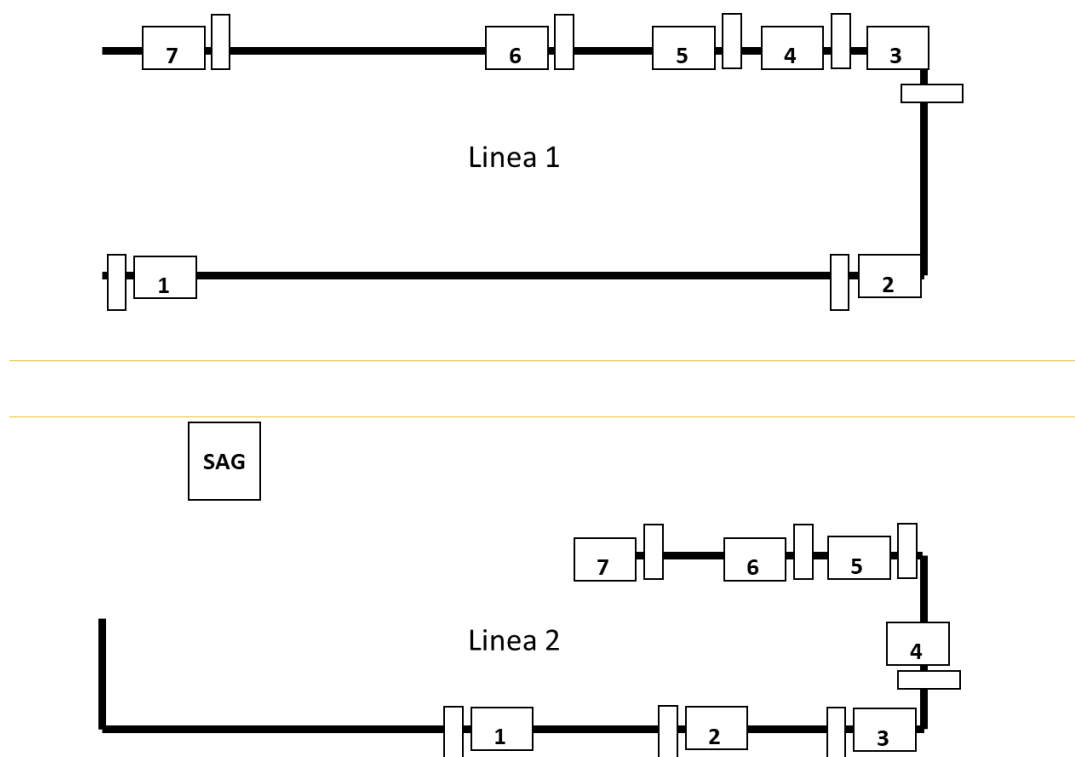


Figura 3.24: Linee produttive del reparto Water Pump

Le linee produttive sono composte da diverse postazioni dove ciascun operatore va ad aggiungere un componente per completare il prodotto. Nella Figura 3.1 le linee nere più marcate delimitano le due linee produttive, mentre i rettangoli contenenti i numeri progressivi rappresentano la sequenza delle varie postazioni lavorative. In ciascuna di esse viene assemblato un componente per realizzare l'e-WP.

Di seguito si riporta il componente che si va ad aggiungere in quella postazione:

- 1: Statore.
- 2: Shaft + Housing.
- 3: Rotore e Wet Sleeve.
- 4: ECU.
- 5: Voluta.
- 6: Cap Housing.
- 7: Rubber Ring e Protective Cap.

La descrizione dei vari componenti è riportata nel Paragrafo 3.2.1. Accanto alle varie postazioni sono rappresentate, tramite dei rettangoli allungati, le rulliere sulle quali viene caricato il materiale; queste hanno una leggera pendenza in modo tale da agevolare la discesa delle cassette e facilitarne il FIFO (First In First Out). In questo modo l'operatore ha facile accesso al materiale che gli serve e, una volta terminata la scatola, la posiziona su un'altra rulliera, quella dei vuoti, che si trova al di sotto della precedente ed ha pendenza opposta. Per un quadro più dettagliato delle operazioni eseguite dall'operatore, prendere visione del Flow Chart della Figura 3.2. I materiali necessari per la produzione sono ubicati in magazzino e all'occorrenza vengono approvvigionati. Questo discorso vale per i componenti principali, mentre per quelli di piccole dimensioni e comuni ad entrambe le linee è stato disposto uno scaffale a gravità (SAG) a metà tra le due linee che funge da buffer. Su questo SAG sono disposte delle cassette in plastica al cui interno vengono riposte le varie minuterie suddivise per codice; è vantaggioso sia perché è stato posto in una posizione che lo rende di facile accesso agli operatori di entrambe le linee sia perché permette di non avere troppo materiale in linea poiché questi componenti vengono messi all'interno di cassette più piccole nelle relative postazioni.

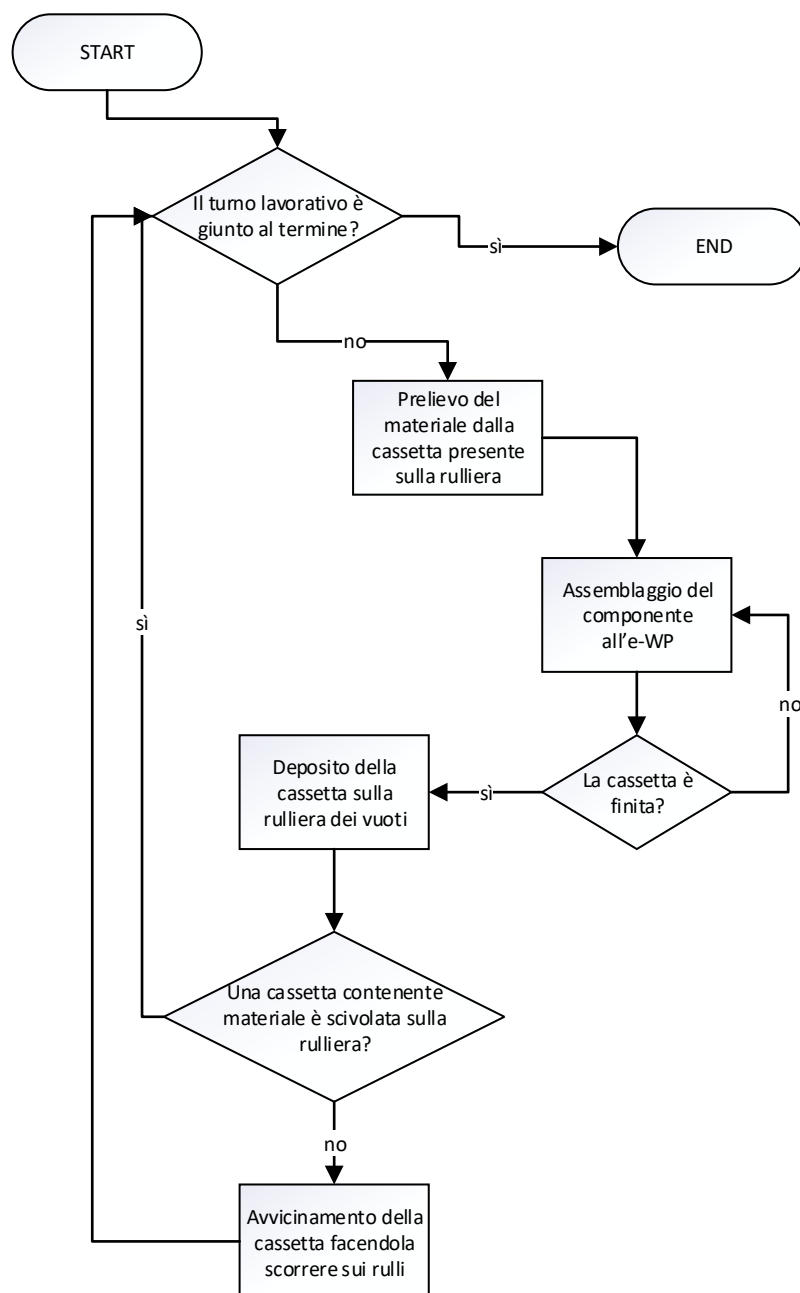


Figura 3.25: Flow Chart relativo alle operazioni degli operatori

Per realizzare questo studio sono stati coinvolti:

- Enti legati alla produzione, infatti è risultato fondamentale un confronto con gli operatori di linea per poter capire al meglio come venissero eseguiti i vari compiti precedentemente e per come migliorarli.
- Enti legati alla logistica, infatti la comunicazione con i magazzinieri e il loro responsabile è risultata necessaria per comprendere al meglio come suddividere le nuove mansioni.

3.1 IL METODO DI APPROVVIGIONAMENTO DELLE LINEE DI PRODUZIONE

3.1.1 Analisi del metodo e delle sue criticità

Il metodo di approvvigionamento di materiale prevede che un operatore preposto per ciascuna linea, detto Team Leader, prelevi le scatole vuote presenti sulle rulliere vicino alle postazioni di lavoro con frequenza pari un'ora e mezza/due ore e le disponga su un pallet di dimensioni standard (800 mm * 1.200 mm) ubicato nel retro della linea. Il Team Leader deve verificare anche se è necessario approvvigionare le minuterie, quindi controlla tutte le scatole presenti sul SAG. Dopo aver effettuato queste operazioni, segna su un foglietto il materiale di cui necessita e si reca in magazzino, trasportando con un transpallet elettrico, il pallet sul quale ha adagiato le casse vuote. A questo punto le scarica negli spazi appositi e carica sul pallet le casse piene e le minuterie, che va portato nel retro della linea. Il Team Leader ha anche il compito di posizionare le scatole sulle rulliere e sul SAG.

Operando in questo modo si va incontro ad alcuni problemi:

- Il Team Leader, dovendo approvvigionare il materiale, non è produttivo per la linea e non può essere a disposizione degli operatori. Il compito principale del Team Leader, infatti, è quello di guidare la linea, cioè di essere di supporto agli operatori in caso di necessità, di effettuare gli addestramenti al personale di nuova assunzione, ma anche lavorare attivamente per produzione. Per adempiere a questi compiti, il Team Leader può delegare il compito di approvvigionamento del materiale ad un'altra figura, chiamata backup, che è un altro operatore della linea e fa le veci del Team Leader. Con questa delega il Team Leader rimane a disposizione di eventuali dubbi degli operatori, ma non si risolve il problema dell'abbassamento del target produttivo poiché si ha comunque una persona in meno in linea.
- Il materiale che viene caricato è spesso più di quello di cui si necessita: il Team Leader tende a caricare molto materiale sul pallet in modo tale da effettuare il minor numero di giri durante il turno. Questo sovraccarico può portare a problemi di ergonomia e sicurezza legati all'altezza raggiunta dalle casse impilate da trasportare. A questo si aggiunge il fatto che le casse non hanno tutte la stessa dimensione, quindi non sempre possono essere impilate.
- Il materiale in magazzino potrebbe non essere nelle zone di picking dedicate poiché i magazzinieri non si sono accorti che il materiale fosse finito e non hanno rimpiazzato il pallet vuoto con uno pieno. Questa situazione porta ad un'ulteriore perdita di tempo da

parte dell'operatore che deve chiamare il magazziniere per farsi dare il materiale di cui necessita.

- Se i Team Leader delle due linee controllano il SAG all'incirca negli stessi orari, si rischia che entrambi portino una scatola della minuteria quasi terminata e questi componenti in esubero non possano essere riposti all'interno delle cassette di plastica. Per evitare questa situazione, è necessario che i due operatori comunichino sempre, ma ciò porta ad una perdita di tempo e di efficienza.

Questo metodo di approvvigionamento non è in accordo con la logica lean, che prevede che in linea non si debba avere materiale in esubero, ma una quantità congrua che serva a coprire un certo lasso temporale e mira, dunque, ad una riduzione delle scorte. La quantità di materiale che viene attualmente portata in linea è quella che va a saturare le rulliere, quindi l'obiettivo attuale non è quello di avere materiale in grado di coprire una certa frequenza, ma di avere le rulliere sempre piene di materiale. Per effettuare meno giri il Team Leader porta più cassette di quelle necessarie per riempire le rulliere e le lascia sul pallet. Questo potrebbe non essere il metodo più efficiente.

3.1.2 Possibili opzioni di miglioramento

Per migliorare l'asservimento delle linee e far perdere il minor tempo possibile agli operatori, la prima modifica che può essere apportata riguarda la standardizzazione dell'operazione in modo tale da renderla ripetitiva ed eseguibile da un numero maggiore di persone con una minore perdita di efficienza. Scrivere su un foglietto le quantità necessarie o cercare di ricordarle può portare a delle dimenticanze o a degli errori, quindi si deve capire come modificare questa operazione. Potrebbe essere opportuno utilizzare una logica a chiamata con i kanban oppure con una lista che presenti una quantità fissa di materiale. Mentre con il kanban viene richiesto solo il materiale di cui si necessita, con la lista di materiale la quantità non può variare ed è tale da coprire un determinato intervallo di tempo produttivo. Si deve capire quale di queste logiche risulti più appropriata o valutarne delle altre, ma indubbiamente con uno di questi metodi risulta più agevole comunicare le quantità di materiale necessarie e si evita di avere troppo materiale in linea.

Come affermato da Rinaudo (2019), per migliorare questo processo ed eliminare lo spreco di tempo legato alla movimentazione di materiale, è possibile utilizzare un Tugger Train manuale oppure dei veicoli a guida automatizzata che sollevano i carrelli da trasportare. In entrambi i casi dovrebbe essere il magazziniere a preparare il materiale da caricare sui carrelli e, nel caso del Tugger Train, dovrebbe portare i carrelli nei pressi delle linee produttive. Per entrambe queste

soluzioni devono essere effettuate delle analisi relative agli spazi a disposizione e come cercare di integrare al meglio un trasporto più efficiente con la richiesta di materiale.

3.2 IL NUOVO METODO DI ASSERVIMENTO DI MATERIALE DELLA LINEA 1

La prima soluzione analizzata per la Linea 1 era basata sull'utilizzo del Tugger Train con un sistema a chiamata del materiale effettuato con i kanban (Rinaudo (2019)). Il Tugger Train è un sistema di trasporto formato da una motrice alla quale possono essere agganciati uno o più carrelli. A puro scopo illustrativo le Figure 3.3 e 3.4 mostrano rispettivamente due motrici elettriche manuali. La prima è molto più semplice e snella mentre la seconda presenta una struttura più complessa.



Figura 3.3: Motrice del Tugger Train [40]



Figura 3.4 Tugger Train con carrelli [41]

Per capire quale potesse essere il percorso da effettuare per l'approvvigionamento con la motrice del Tugger Train e i carrelli, sono stati analizzati il layout e i vari flussi presenti. La movimentazione del prodotto finito dalla linea produttiva al magazzino è effettuata per mezzo di un robot a guida automatizzata, che trascina dei carrelli adibiti al trasporto del prodotto finito. Il percorso effettuato dal robot è quello illustrato nella Figura 3.5 per mezzo delle frecce rosse. I quadratini colorati a lato della linea indicano le aree di sosta dei carrelli per il prodotto finito (blu indica box vuoto, verde indica box pieno), mentre il rettangolo rosso rappresenta le zone di sosta in cui il robot lascia i carrelli e i magazzinieri recuperano i box pieni da ubicare sugli scaffali in magazzino. L'accesso al magazzino lo si ha grazie al portone indicato in figura con la linea azzurra. Per fare in modo che il flusso del prodotto finito e dei materiali si incrocino il meno possibile, si è pensato di transitare con il Tugger Train nel corridoio indicato in figura con le linee

gialle. Per stabilire se il passaggio fosse adeguato, sono state prese la misura del corridoio (larghezza pari a 115 cm) e dei carrelli (larghezza pari a 86,2 cm). La larghezza della motrice del Tugger è pari a 67 cm quindi il vincolo dimensionale è legato al carrello. È stato calcolato il margine di sicurezza, cioè lo spazio libero all'interno del corridoio durante il passaggio del Tugger:

$$\text{Margine di sicurezza} = \frac{\text{Larghezza corridoio} - \text{Larghezza carrello}}{2}$$

Il risultato è pari a 10 cm, ciò significa che colui che trasporta il carrello con il Tugger deve prestare attenzione durante il transito ed evitare manovre brusche in modo tale da non uscire dal corridoio. Nonostante il poco margine, è stata fatta una prova pratica e, con una velocità poco sostenuta, la motrice e un carrello riuscivano a transitare all'interno delle linee gialle raffiguranti il corridoio della Figura 3.5 senza grossi problemi. La velocità massima della motrice è pari a 1,66 m/s, ma nella prova questo valore non è stato raggiunto e si è cercato di rimanere al di sotto di 1 m/s.

Con l'introduzione di questa logica si è pensato di utilizzare un sistema a chiamata del materiale effettuato con i kanban, termine che letteralmente significa segnale. In questo contesto il segnale è stato materializzato con l'utilizzo di cartellini riportanti il codice del materiale e l'ubicazione in magazzino. L'operatore, ogniqualvolta debba cominciare una nuova scatola di materiale, deve, per prima cosa, prendere il cartellino adagiato sopra la cassetta e riporlo in una cassetta porta kanban agganciata alla rulliera. In questo modo quando il Team Leader effettua il giro per recuperare le cassette vuote per poi approvvigionare le linee non deve pensare a quanto materiale necessita, ma è sufficiente che raccolga i cartellini dalle varie postazioni. Sui carrelli sono state disposte delle taschine al cui interno vengono riposti i cartelli in modo che il magazziniere ne abbia facile accesso. Sopra ad ogni kanban viene riportato il codice del materiale a cui si riferisce e un cartellino equivale ad una cassetta. Per il magazziniere, quindi, è sufficiente contare il numero di cartellini per codice per sapere quante cassette di un determinato materiale dover caricare sui carrelli. Il numero di kanban è differente per i vari componenti poiché dipende dalla quantità di materiale presente all'interno delle cassette. Dal momento che non si vuole che ci sia troppo materiale sulle rulliere delle varie postazioni e il vincolo maggiore è rappresentato dalla struttura dei carrelli, la copertura lavorativa che si vuole avere deve tenere in considerazione i due aspetti. Per una descrizione più dettagliata dei carrelli e i calcoli effettuati per assicurare un determinato tempo produttivo, si rimanda al Paragrafo 3.2.1.

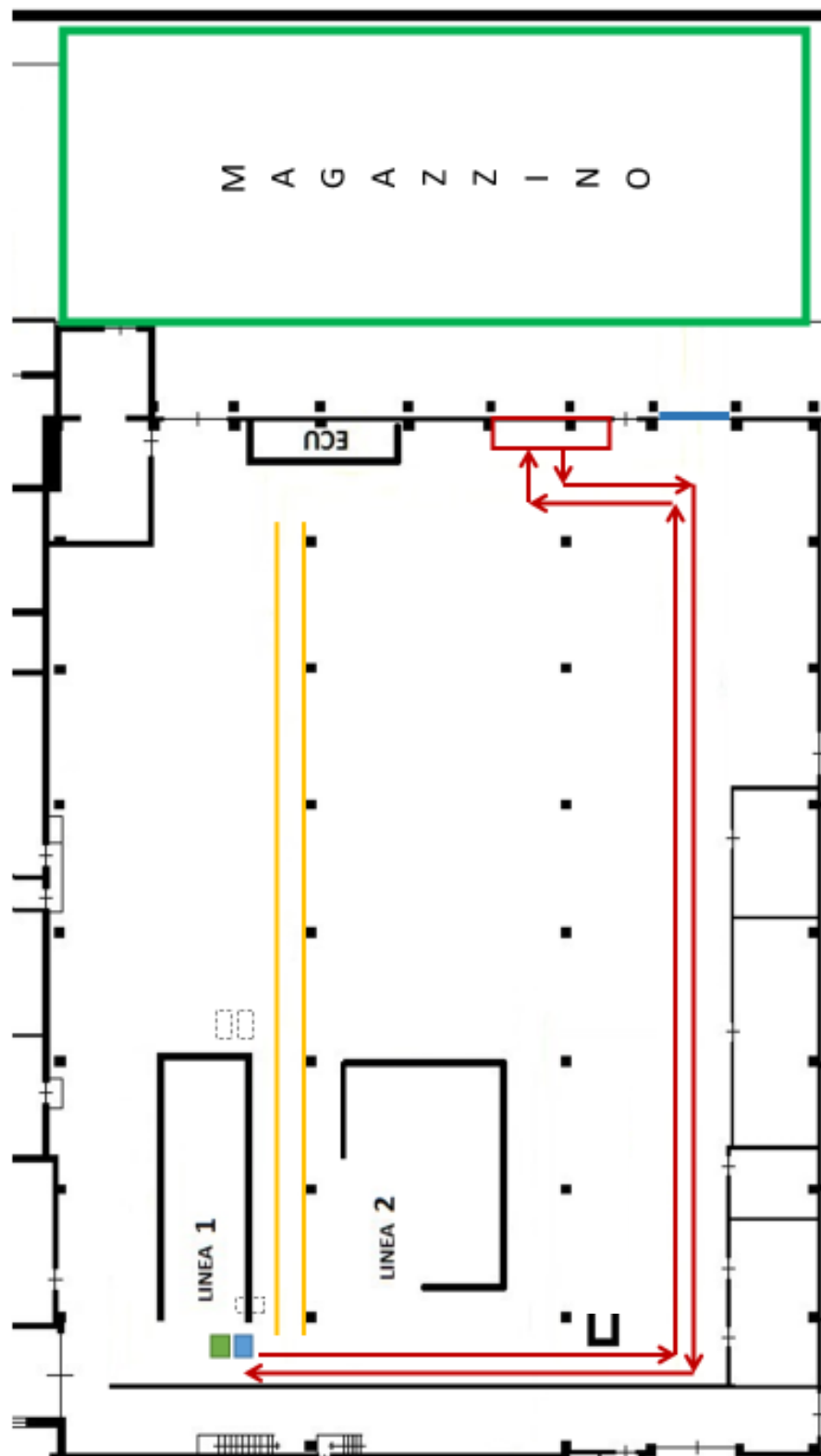


Figura 3.5: Layout area produttiva e flusso prodotto finito

Avendo stabilito che l'idea migliore fosse quella di evitare il più possibile l'incrocio tra i flussi, è stato ipotizzato il seguente giro di approvvigionamento (Figura 3.6):

- Il Team Leader recupera dalle rulliere le cassette di materiale vuote e le ripone sui carrelli che si trovano a bordo linea (rettangoli tratteggiati nella figura). È anche suo compito recuperare i cartellini dalle varie cassette porta kanban e quelli delle minuterie. Dopo averli risposti nella taschina appesa al carrello, preme il pulsante che invia una notifica al magazziniere. Questo pulsante è stato settato in modo tale che, una volta premuto, invii un segnale ad un orologio, che è stato precedentemente sintonizzato sulla stessa frequenza del pulsante. L'orologio trema ed emette un suono ed in questo modo il magazziniere sa che deve effettuare l'approvvigionamento.
- Il magazziniere recupera la motrice nella zona di ricarica / parcheggio indicato nella Figura 3.6 con la lettera "P" ed effettua "il giro dei vuoti": il magazziniere si reca in linea con la motrice (freccia arancio), aggancia il primo carrello e si reca in magazzino (freccie blu). A questo punto deposita i vuoti nella "zona scarico vuoti".
- Il magazziniere controlla i kanban presenti nella taschina del carrello in modo tale da caricare sul carrello la quantità richiesta ed effettua "il giro dei pieni"; dopo aver caricato tutto il materiale richiesto trasporta il carrello in linea, lo sgancia e lo posiziona nel parcheggio (freccie verdi nella figura);
- Il Team Leader carica il materiale presente sui carrelli sulle relative rulliere e il magazziniere ripone nuovamente la motrice nel parcheggio "P".

Il magazziniere ripete queste azioni per tutti i carrelli presenti in linea poiché non può trasportare più di un carrello alla volta: è stata presa questa decisione poiché potrebbero esserci dei problemi di sterzo davanti allo scaffale delle Ecu, visibile nella Figura 3.5, dal momento che il percorso da effettuare prevede un angolo di 90 gradi. Con un solo carrello agganciato, infatti, è più semplice avere il controllo della situazione in caso di emergenza.

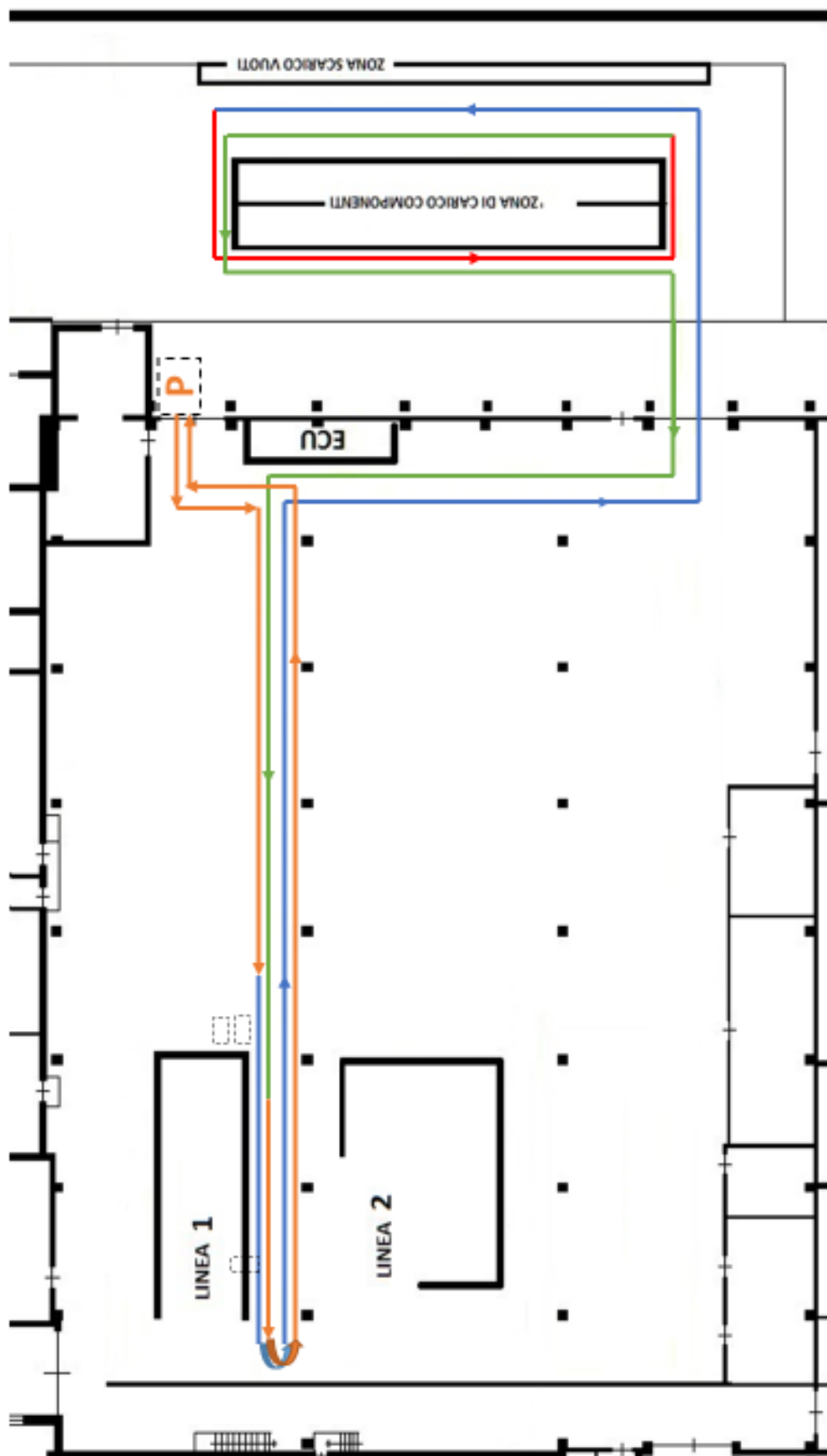


Figura 3.6: Percorso effettuato dal Tugger Train

Questa prima soluzione è stata presto abbandonata in quanto, come illustrato nella Figura 3.7, ci sono due aree molto dinamiche limitrofe al corridoio nel quale sarebbe dovuto passare il Tugger Train. L'area gialla rappresenta la zona dedicata alla manutenzione nella quale gli operatori depositano i propri carrelli degli attrezzi. Il posto dedicato ai carrelli è adiacente al corridoio, quindi passando con il Tugger Train si sarebbero potuti verificare degli intralci nel corridoio o, se qualcuno avesse posizionato male il proprio carrello, vi sarebbero potuti essere dei problemi legati all'urto tra il carrello degli attrezzi e quello agganciato al Tugger Train. L'area blu rappresenta un'area produttiva, nella quale alcune postazioni sono molto vicine al corridoio; se, per esempio, un operatore della linea fosse dovuto passare nel corridoio durante il transito del Tugger Train e avesse prestato poca attenzione, motrice e operatore avrebbero potuto scontrarsi. Oltre a questi problemi di sicurezza si va ad aggiungere il fatto che la velocità con cui si muove la motrice è gestita dal magazziniere, quindi si potrebbe aggiungere un problema legato all'errore umano.

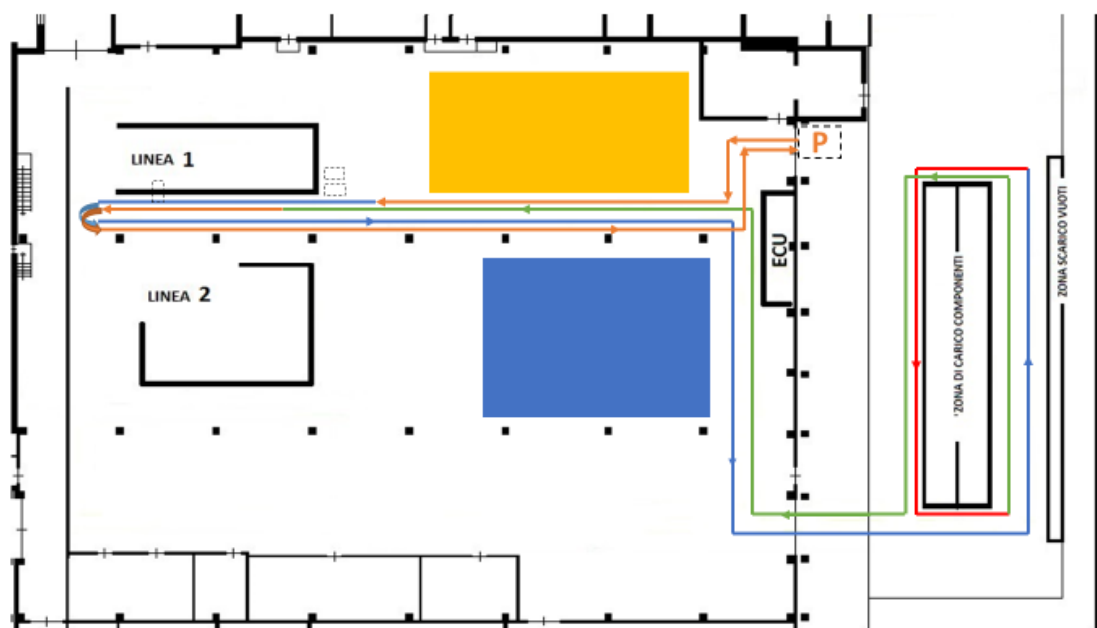


Figura 3.7: Focus su area di produzione e manutenzione

Per questa serie di motivi l'idea di utilizzare il Tugger Train per l'approvvigionamento dei materiali è stata accantonata e sostituita da quella di utilizzare un Automated Guided Vehicle (AGV). Nella Figura 3.8 sono riportate due immagini a scopo puramente illustrativo di alcuni modelli di AGV.



Figura 3.8: Immagini AGV [42] [43]

L'AGV elimina l'errore dovuto all'uomo in quanto è dotato di sensori che gli permettono di accorgersi degli ostacoli che ha attorno e di fermarsi in modo repentino in caso qualcosa transiti lungo il suo percorso. Questo tipo di robot può essere settato in modo tale che in determinate zone emetta un segnale acustico così da poter essere sentito dalle persone che transitano nei corridoi ed eventuali incidenti dovuti alla loro disattenzione possano essere annullati. Questo sistema prevede sempre l'utilizzo di kanban.

La differenza sostanziale tra le due alternative risiede nel fatto che la seconda permette sia al magazziniere che all'operatore di linea di perdere il minor tempo possibile poiché la movimentazione viene effettuata da un robot in maniera autonoma; loro devono semplicemente premere un pulsante per fare in modo che il robot esegua le missioni desiderate. In aggiunta l'operatore della linea deve, anche in questo caso, avvisare il magazziniere.

3.2.1 Frequenza di rifornimento delle linee e dimensionamento dei carrelli utilizzati

Descrizione componenti di una water pump

In entrambe le soluzioni ipotizzate nel Paragrafo 3.1.2, si tratta di "avvisare il magazziniere" quando si necessita di materiale: si deve capire quale sia il metodo più opportuno per effettuare questa operazione cercando di evitare problemi di sincronizzazione tra le parti. Per limitare il più possibile questo problema, è opportuno standardizzare l'approvvigionamento di materiale in modo tale che entrambe le parti sappiano sempre quando deve essere effettuato il giro e quindi quando devono svolgere il loro compito.

Per stabilire la frequenza con cui è necessario asservire le linee, sono state fatte delle considerazioni riguardo al numero di prodotti che vengono realizzati in un'ora lavorativa, alla quantità di pezzi contenuta nelle varie scatole di componenti e alla struttura dei carrelli.

I componenti principali di una water pump sono:

- Statore, parte statica del corpo motore pompa sulla quale viene bobinato il filo di rame per creare il campo magnetico.
- Rotore, parte dinamica del corpo motore pompa che deve essere magnetizzata; è la parte centrale della water pump che permette il flusso del fluido.
- Shaft + Housing, corpo in alluminio pressofuso nel quale viene inserito lo statore.
- ECU, parte elettronica della pompa.
- Cap Housing, componente in plastica che, assieme alla Voluta, chiude la pompa. È la parte superiore della water pump.
- Voluta, componente in plastica che ha i raccordi di entrata e uscita del liquido. È la parte inferiore della pompa.
- Wet Sleeve, componente in plastica nel quale trova alloggiamento il rotore.

Oltre a questi componenti, alcune e-WP necessitano di Protective Cap, tappini che proteggono la pompa dall'ingresso di polveri o corpi esterni, e Rubber Ring, anello in gomma posto all'esterno della pompa per assorbire le eventuali vibrazioni del motore ed evitare i problemi. Tutte le e-WP richiedono, inoltre, materiali di dimensioni minori che vengono chiamati minuterie. Tra queste vi sono le viti, gli o-ring (anelli di gomma), il silicone, gli hook (componenti sui quali viene saldato il filo di rame bobinato sullo statore). Questi sono i componenti che devono essere approvvigionati durante i vari giri e se ne deve calcolare la frequenza, che non deve essere troppo elevata altrimenti sia il magazziniere che il Team Leader perdono tempo per effettuare giri in cui viene richiesto molto poco materiale, ma nemmeno troppo bassa altrimenti si rischia di allontanarsi dall'obiettivo principale, che è quello di non avere troppo materiale in linea. La quantità necessaria per produrre una unità di prodotto finito è pari ad uno per ciascun componente principale e per la Rubber Ring, mentre quella dei Protective Cap è pari a due e quella delle minuterie varia a seconda del componente considerato.

Analisi della frequenza di approvvigionamento

Dal momento che lo spazio a disposizione per la sosta dei carrelli nei pressi della linea non è molto e non si vuole troppo materiale al di fuori del magazzino, sono stati presi in considerazione due possibili scenari:

- Frequenza di asservimento pari a un'ora e mezza.
- Frequenza di asservimento pari a due ore.

La frequenza di asservimento non coincide con la copertura produttiva assicurata e dunque non si avrà una quantità di pezzi tali da coprire la produzione di un'ora e mezza nel primo e di due ore nel secondo scenario, ma in entrambi i casi sono stati considerati 30 minuti in più come margine di sicurezza. È stato aggiunto questo intervallo temporale per fare in modo che vi sia un po' di tempo sia per l'operatore che per il magazziniere per effettuare rispettivamente il giro di vuoti e il giro dei pieni.

Dal momento che la capacità massima di produzione durante le 8 ore del turno è 120 pz/h, nel primo caso il numero di scatole necessarie per componente è consultabile nella Tabella 3.1.

In questo calcolo sono stati considerati solo i sette componenti principali.

<i>LINEA 1</i>			
Componente	<i>Dimensioni scatola [cm] (lu*la*h)</i>	<i>Pezzi per scatola</i>	Scatole necessarie
<i>ECU</i>	60*40*30	144	2
<i>Statore</i>	40*30*6	24	10
<i>Shaft + housing</i>	60*40*26	132	2
<i>Voluta</i>	60*40*40	250	1
<i>Rotore</i>	40*40*6	42	6
<i>Wet Sleeve</i>	60*40*40	400	1
<i>Cap Housing</i>	60*40*30	200	2
<i>Totale</i>			24

Tabella 3.2: Asservimento Linea 1 con frequenza di un'ora e mezza

Si prenda da esempio il calcolo effettuato per il primo componente (ECU):

#ore lavorative da coprire: $1h\ 30' + 30' = 2h$

#pezzi prodotti = $120\text{ pz/h} * 2h = 240\text{ pz}$

#scatole ECU = $240\text{ pz} : 144\text{ pz/scatola} = 1,66\text{ scatole}$

#scatole necessarie = 2

Nel secondo caso, la copertura deve essere pari a 2h 30' e il numero necessario di scatole di componenti è consultabile nella Tabella 3.2.

LINEA 1

Componente	Pezzi per scatola	Numero di scatole necessarie
ECU	144	3
Statore	24	13
Shaft + housing	132	3
Voluta	250	2
Rotore	42	8
Wet Sleeve	400	1
Cap Housing	200	2
Totale		32

Tabella 3.3: Asservimento Linea 1 con frequenza di due ore

Nel primo caso il numero totale di scatole necessarie è pari a 24, mentre nel secondo è pari a 32.

Per valutare quale delle due fosse la soluzione migliore, è stata considerata anche la struttura del carrello e dello spazio disponibile per ubicare queste scatole.

Analisi della struttura del carrello

Dal momento che inizialmente si pensava di utilizzare il Tugger Train, i carrelli erano stati dimensionati in modo tale da ottimizzarne lo spazio: erano stati supposti cinque vani sui quali riporre i componenti principali ed un ripiano superiore sul quale adagiare le minuterie. L'altezza totale del carrello risultava essere all'incirca pari a 125 cm (Rinaudo (2019)). Quando si è giunti alla conclusione che la soluzione migliore fosse un sistema AGV, sono state apportate delle modifiche anche ai disegni tecnici dei carrelli, che possono essere chiamati anche dolly. L'intera struttura è stata sollevata ad un'altezza da terra pari a 49,2 cm in modo da permettere al robot collaborativo di infilarsi sotto per poterlo sollevare. La Figura 3.9 riporta il disegno tecnico dei carrelli dopo la variazione. Con questa modifica il piano superiore non è più utilizzabile in quanto ha un'altezza da terra circa pari a 160 cm, che risulta troppo elevata per le norme di sicurezza vigenti (Il D.Lgs. 81/08 - Titolo VI). È possibile utilizzare la scheda Niosh per calcolare l'indice di sollevamento che stabilisce la pericolosità dell'azione.

Per il calcolo vengono considerati più parametri:

- Costante di peso (CP) espressa in kg: per un uomo il valore è pari a 30, mentre per le donne è pari a 20; in entrambi i casi ci si riferisce a individui di maggiore età.
- Altezza da terra delle mani all'inizio del sollevamento (A): valore compreso tra 0,77 e 1 che varia a seconda dell'altezza stessa.
- Distanza verticale di spostamento del peso fra inizio e fine del sollevamento (B): valore compreso tra 1 e 0 a seconda della distanza.
- Distanza orizzontale tra le mani e il punto di mezzo delle caviglie (C): valore compreso tra 0 e 1 a seconda della situazione.
- Dislocazione angolare del peso in gradi (D): valore compreso tra 0 e 1 in base alla rotazione che l'individuo deve eseguire durante il sollevamento.
- Giudizio sulla presa del carico (E): se è buono il valore è pari a 1, se scarso è pari a 0.
- Frequenza dei gesti in relazione alla durata (F): valore che va da 1 a 0 a seconda del numero di atti compiuti al minuto e alla durata degli stessi.

Il peso limite raccomandato è dato dal prodotto dei valori ottenuti per le voci sopracitate. A questo punto è possibile calcolare l'indice di sollevamento come:

$$\text{Indice di sollevamento} = \frac{\text{Peso effettivamente sollevato [kg]}}{\text{Peso limite raccomandato [kg]}}$$

Questo indice è accettabile se ha un valore minore o uguale a 0,75, è al limite dell'accettazione se è compreso tra 0,76 e 1,25, mentre diventa rischioso se è superiore a 1,25.

Per focalizzare l'attenzione solo sul sollevamento del peso e sulla rotazione che l'individuo deve eseguire, si supponga che le voci C, E ed F abbiano valore pari ad 1 in modo tale da non influire sul risultato. Si suppone che debba essere prelevata una cassetta di materiale in magazzino posta su un pallet; il lavoro si suppone essere effettuato da un uomo e dunque si ha CP = 30 kg. L'altezza da terra delle mani all'inizio del sollevamento è pari a 25 cm circa, dunque A = 0,85. La cassetta deve essere posta sul ripiano superiore del carrello, quindi la distanza verticale per il sollevamento è pari a:

170 cm (per posizionare la scatola sul ripiano superiore l'altezza deve essere più alta di quella del ripiano stesso) – 25 cm (altezza delle mani da terra all'inizio del movimento) = 145 cm

Nella tabella non vi è un valore corrispondente a 145 cm, quindi è stato considerato il valore più vicino tra quello inferiore (a 100 cm corrisponde 0,87) e quello superiore (a 170 corrisponde 0,86) ottenendo $B = 0,86$. La rotazione effettuata dell'individuo è all'incirca di 135° (deve prendere la cassetta dal pallet e ruotarsi per riporla sul carrello) e si ottiene $D = 0,57$. Con questa casistica si ottiene un Peso limite raccomandato pari a

$$\text{Peso limite raccomandato} = 30 * 0,85 * 0,86 * 0,57 = 12,5 \text{ kg}$$

Dal momento che il ripiano superiore era stato pensato per le minuterie, sono state pesate le varie scatole dei vari codici e quella più pesante è relativa agli hook con un valore pari a 16 kg. Si considera quindi il caso peggiore e si calcola l'indice di sollevamento come segue:

$$\text{Indice di sollevamento} = \frac{16 \text{ [kg]}}{12.5 \text{ [kg]}} = 1,28$$

Questo valore supera la soglia dell'accettazione (1,25) e si cataloga come situazione che può comportare un rischio. Per evitare di dover suddividere le minuterie in base al peso e stabilire quali potessero essere disposte sul ripiano superiore e quali no, è stato deciso che per nessun codice possa essere utilizzato il piano superiore in modo da evitare anche eventuali situazioni pericolose.

I dolly acquistati sono stati realizzati su misura in base alle esigenze dell'azienda e si compongono di cinque vani, due dei quali hanno un'altezza pari a 50 cm e gli altri tre hanno un'altezza pari a 33 cm. Nella Figura 3.9 a destra è possibile visionare i vani: a sinistra vi sono i due più alti mentre a destra vi sono i tre più bassi. Questa diversità di altezza fra i vani è dovuta al fatto che le scatole di materiale sono di dimensioni diverse e alcune hanno un'altezza pari a 40 cm e non si riescono ad ubicare nei vani più piccoli. Per motivi di privacy aziendale non è possibile riportare la fonte da cui è stata presa la Figura 3.9.

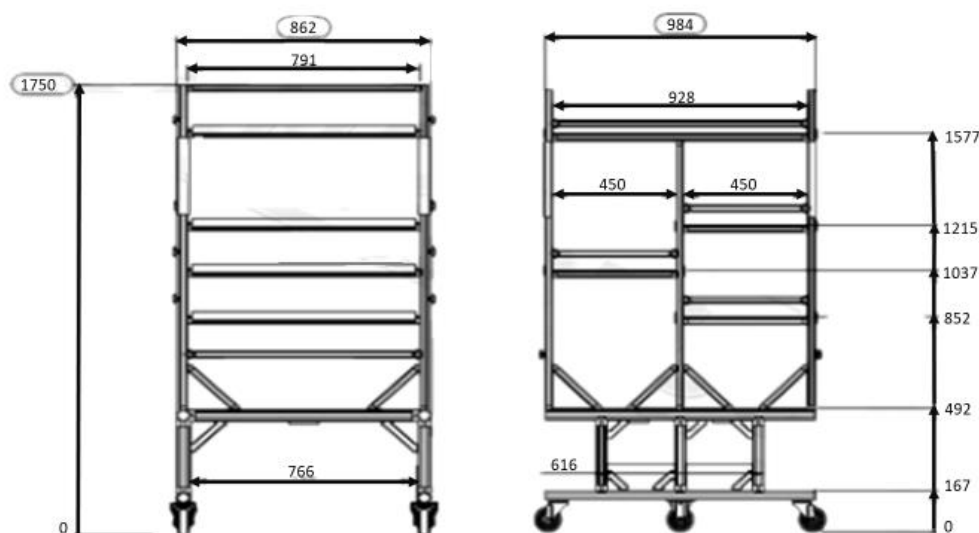


Figura 3.9: Specifiche tecniche dei dolly espresse in mm

L'analisi eseguita fino ad ora considera solo i componenti principali comuni a tutte le e-WP, ma ci sono anche quelli che devono essere utilizzati solo per qualche codice, ma che necessitano di uno spazio sul carrello per essere portati in linea. Nel caso in cui la frequenza sia pari a un'ora e mezza la situazione è quella della Tabella 3.3.

LINEA 1		
Componente	Pezzi per scatola	Numero di scatole necessarie
Protective Cap	3.000	1
Rubber Ring (1)	240	1
Rubber Ring (2)	100	3
Rubber Ring (3)	100	3

Tabella 3.4: Componenti utilizzati non per tutti i prodotti nel caso di frequenza pari a 1h 30'

Nel secondo caso il numero di scatole diventa quello della Tabella 3.4.

LINEA 1		
Componente	Pezzi per scatola	Numero di scatole necessarie
Protective Cap	3.000	1
Rubber Ring (1)	240	2
Rubber Ring (2)	100	3
Rubber Ring (3)	100	3

Tabella 3.5: Componenti utilizzati non per tutti i prodotti nel caso di frequenza pari a 2h

In aggiunta ai componenti principali e a questi ultimi, utilizzati solo per alcuni codici, si devono considerare le minuterie, che hanno scatole più piccole rispetto alle altre. Sia per le minuterie che per Protective Cap e Rubber Ring si era ipotizzato di mettere queste scatole sul ripiano superiore, ma dopo aver pesato le scatole dei vari codici e per le ragioni di ergonomia e sicurezza citate prima l'ipotesi è stata abbandonata.

Dal momento che, però, la frequenza di approvvigionamento delle minuterie è molto bassa e che le scatole sono di piccole dimensioni, l'analisi principale è stata fatta sugli altri componenti e quindi il numero massimo di scatole necessarie nei due casi è pari a:

- 32 scatole nel caso di copertura lavorativa pari a 2h;
- 41 scatole nel caso di copertura lavorativa pari a 2h 30'.

Provando fisicamente a posizionare le varie cassette sui carrelli, nel primo caso erano sufficienti tre carrelli mentre nel secondo caso quattro.

Per questi motivi, uniti al fatto che lo spazio per parcheggiare i carrelli è limitato, la soluzione migliore è quella che prevede una copertura di due ore, nella quale vengono utilizzati tre carrelli. Una volta stabilito il numero di carrelli da utilizzare, si è dovuto pensare a come disporre le varie scatole anche considerando la posizione delle rulliere in linea.

Analisi disposizione dei carrelli nelle aree di sosta adiacenti alla linea

Nella Figura 3.10 è rappresentato il layout della linea 1; i quadratini indicano le postazioni in cui devono essere portati i vari componenti principali:

- 1: Statori.
- 2: Shaft + Housing.
- 3a: Rotori (dopo essere magnetizzati devono essere trasferiti su una rulliera posta nei pressi della 3b).
- 3b: Wet Sleeve.
- 4: ECU.
- 5a: Volute.
- 5b: Cap Housing.
- 6a: Protective Cap.
- 6b: Rubber Ring.
- P1, P2, P3 indicano le aree dedicate alla sosta dei dolly.

Per la disposizione dei componenti sono state analizzate due alternative possibili avendo come priorità quella di posizionare il materiale il più vicino possibile alle rulliere corrispondenti. La scelta dell'ubicazione delle aree dedicate alla sosta dei dolly è stata presa di comune accordo con il focus factory del reparto e si è optato per spazi che non fossero d'intralcio al passaggio. Il focus factory è il responsabile del reparto delle water pump e gestisce i vari cambiamenti sia a livello del personale che delle modifiche del layout. Per il robot non è possibile transitare lungo il corridoio adiacente alla maggior parte delle rulliere (in cui sono ubicate Wet Sleeve, ECU, Volute, Cap Housing, Protective Cap e Rubber Ring), delimitato dalla linea azzurra e da quella gialla nella Figura 3.10. Lo spazio tra le rulliere e la linea azzurra è ridotto (100 cm) e per l'AGV è impossibile transitare in quello spazio. L'AGV necessita di margine di sicurezza durante la navigazione, che è pari al 40% della dimensione del carrello (dato fornito dalla ditta costruttrice). Lo spazio necessario deve essere pari a 120,86 cm (dimensione del carrello aumentata del margine di sicurezza), che è un valore superiore a quello del corridoio.

La prima alternativa per la disposizione dei componenti è riportata nella Figura 3.11, mentre la seconda alternativa è visionabile nella Figura 3.12. In entrambi i casi, sono stati rappresentati dei dolly stilizzati, suddivisi nei vari vani, all'interno dei quali è presente il nome del componente assegnato e l'ubicazione in linea. Al di sotto dei vari dolly, inoltre, è riportato in quale area di sosta è previsto che venga posizionato. Questa attribuisce lo stesso valore al carrello, così da avere una corrispondenza tra area di sosta e dolly. Nell'area di sosta P1 deve sempre essere

posizionato il carrello 1 e così via. Questo fa sì che le aree di sosta siano dedicate e il Team Leader non debba ricercare un componente tra i vari carrelli, ma sappia sempre dove si trova.

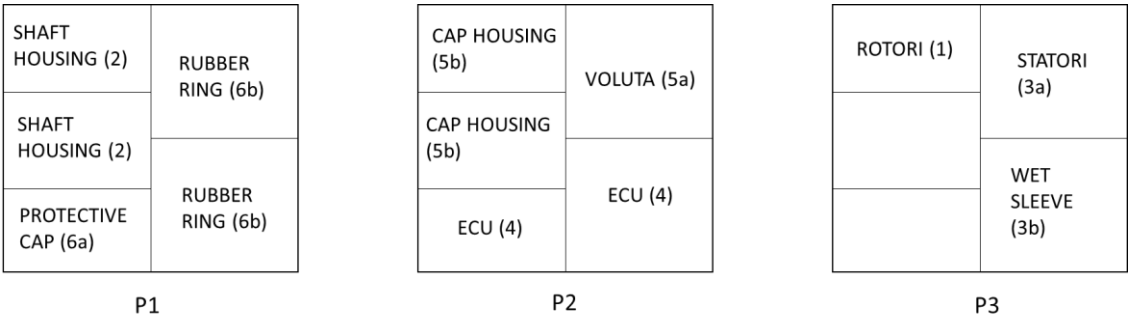


Figura 3.11: Prima alternativa per la disposizione delle scatole sui dolly

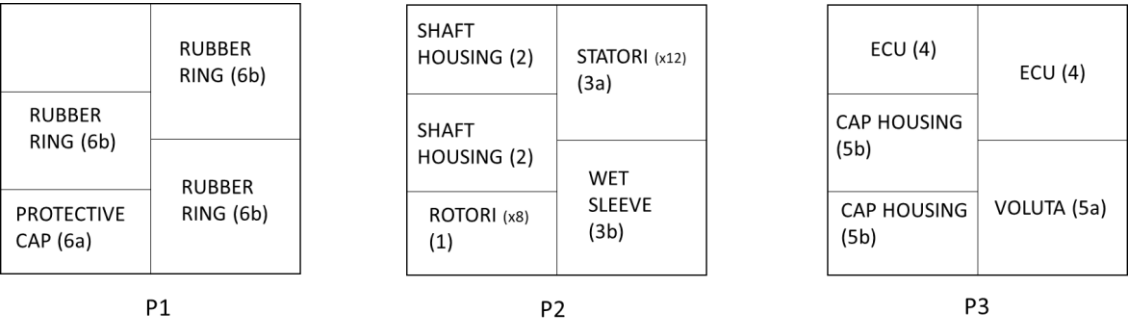


Figura 3.12: Seconda alternativa per la disposizione delle scatole sui dolly

La logica adottata per la disposizione dei componenti prevede una suddivisione in base alla loro ubicazione in linea, tenendo conto anche delle dimensioni delle scatole stesse. Per valutare quale delle due alternative risulta essere la migliore, ne è stata valutata anche la stabilità; per far ciò tutte le scatole sono state, oltre che misurate, pesate.

Per verificare la stabilità del dolly sono stati calcolati, per ciascuno, sia il peso totale dei due vani più alti che quello dei tre vani più piccoli e l’alternativa migliore risulta essere quella che ha una differenza minore.

COMPONENTE	DIMENSIONI (LU*LA*H) [cm]	PESO [kg]
WET SLEEVE	60*40*40	15,5
ECU	60*40*30	8,8
CAP HOUSING	60*40*30	10,2
VOLUTA	60*40*40	16,3
STATORE	40*30*6	3,8
SHAFT HOUSING	60*40*26	15,5
PROTECTIVE CAP	60*40*25	10,3
RUBBER RING 1	60*40*30	11,6
RUBBER RING 2	40*40*30	7,5
RUBBER RING 3	40*40*30	7,5
ROTORE	40*40*6	3,1

Tabella 3.6: Dimensioni e peso delle varie scatole di componenti (80W)

A titolo d'esempio viene riportato il calcolo relativo alla prima alternativa del carrello P1.

Lato sinistro del dolly (quello con 3 vani) = $15,5 + 15,5 + 10,3 = 41,3$ kg

Lato destro del dolly (quello con 2 vani) = $7,5 + 7,5 = 15$ kg (peso minimo)

Lato destro del dolly (quello con 2 vani) = $11,6 + 11,6 = 23,2$ kg (peso massimo)

Nel caso delle Rubber Ring è stato considerato sia il peso inferiore (7,5 kg), in modo tale da avere la situazione più critica, che quello superiore (11,6 kg), in modo tale da avere la situazione di carico maggiore. Deve essere calcolata la differenza tra i lati del carrello per capire se si ha sbilanciamento che potrebbe portare a problemi durante il trasporto del dolly da parte del robot collaborativo mobile.

Differenza tra i lati = $41,3 - 15 = 26,3$ kg (peso minimo)

Differenza tra i lati = $41,3 - 23,2 = 18,1$ kg (peso massimo)

Nelle Figure 3.13 e 3.14 viene riportato il peso di ciascun vano per ogni carrello. Nel riquadro posto al di sotto di ciascun lato del dolly ne viene riportato il peso totale. Per il carrello 1 vi sono due valori poiché, in base al codice, la cassetta di Rubber Ring può avere un peso differente.

SHAFT HOUSING (2) 15,5 kg	RUBBER RING (6b) 7,5 kg/11,6 kg	CAP HOUSING (5b) 10,2 kg	VOLUTA (5a) 16,3 kg	ROTORI (1) (x6) 18,6 kg	STATORI (x10) (3a) 38 kg
SHAFT HOUSING (2) 15,5 kg		CAP HOUSING (5b) 10,2 kg			
PROTECTIVE CAP (6a) 10,3 kg	RUBBER RING (6b) 7,5 kg/11,6 kg	ECU (4) 8,8 kg	ECU (4) 8,8 kg		WET SLEEVE (3b) 15,5 kg
P1		P2		P3	
41,3 kg		29,2 kg		18,6 kg	
15/23,2 kg		25,1 kg		53,5 kg	

Figura 3.13: Prima alternativa con i pesi relativi alle scatole presenti nei vani

	RUBBER RING (6b) 7,5 kg/11,6 kg	SHAFT HOUSING (2) 15,5 kg	STATORI (x10) (3a) 38 kg	ECU (4) 8,8 kg	ECU (4) 8,8 kg
RUBBER RING (6b) 7,5 kg/11,6 kg		SHAFT HOUSING (2) 15,5 kg		CAP HOUSING (5b) 10,2 kg	
PROTECTIVE CAP (6a) 10,3 kg	RUBBER RING (6b) 7,5 kg/11,6 kg	ROTORI (1) (x6) 18,6 kg	WET SLEEVE (3b) 15,5 kg	CAP HOUSING (5b) 10,2 kg	VOLUTA (5a) 16,3 kg
P1		P2		P3	
17,8 / 21,9 kg		49,6 kg		29,2 kg	
15 / 23,2 kg		53,5 kg		25,1 kg	

Figura 3.14: Seconda alternativa con i pesi relativi alle scatole presenti nei vani

Nella Tabella 3.6 vengono riportate le differenze di peso relative a ciascun carrello in modo tale da aver chiare le disuguaglianze e valutare l'opzione migliore.

Area di sosta del dolly	Alternativa 1 [kg]	Alternativa 2 [kg]
P1	26,3 / 18,1	1,3 / 2,8
P2	4,1	3,9
P3	34,9	4,1

Tabella 3.7: Differenze espresse in kg tra i lati di ciascun dolly

Nella prima alternativa risulta che la differenza fra il lato sinistro e il lato destro del dolly è notevole (34,9 kg nel caso del carrello 3) e potrebbe causare problemi di stabilità durante il trasporto, mentre nella seconda questa differenza è notevolmente ridotta ed è quasi annullata.

In entrambi i casi vi sono dei vani vuoti dove possono essere messe le minuterie. Nel primo caso si trovano sul carrello nell'area di sosta P1, mentre nel secondo in quella P3. La scelta tra le due opzioni deve anche considerare dove ubicare questi carrelli e quindi dove è più vantaggioso

porne uno piuttosto che un altro. Il carrello con i vani liberi potrebbe essere ubicato vicino allo scaffale a gravità sul quale sono posizionate le minuterie, quindi in P1.

Per evitare di non avere vani liberi per le minuterie è preferibile avere sempre tre carrelli nei pressi della linea, anche se con la seconda alternativa si avrebbe la flessibilità di poter decidere se utilizzare sempre tre carrelli oppure no; infatti se il prodotto che si sta realizzando non prevedesse l'utilizzo di Rubber Ring e Protective Cap non si necessiterebbe del carrello 3.

Analisi dei sistemi di chiamata del materiale da parte della linea

L'idea iniziale della richiesta di materiale da parte della linea era quella di utilizzare dei kanban dove ad ogni cartellino corrispondeva una cassetta di materiale. Questo sistema si sarebbe dovuto sviluppare nel modo seguente:

- L'operatore della linea, che preleva i componenti dalle cassette, quando deve cominciare una cassetta nuova deve per prima cosa prendere il kanban posto sopra i componenti e riporlo nella cassetta porta kanban posta vicino alla rulliera; ogni postazione e quindi ogni componente ha la sua taschina.
- Il Team Leader della linea mentre effettua il giro per prelevare dalle rulliere le cassette vuote deve anche prendere i cartellini. È possibile che, effettuando il giro dall'esterno, non riesca a raggiungere tutte le cassette porta kanban e quindi debba recuperare i cartellini passando all'interno della linea; a questo punto il Team Leader li ripone nelle taschine dei carrelli, ma deve prestare attenzione a riporli nella taschina giusta dal momento che i vani sono dedicati. A questo punto carica le cassette vuote sui carrelli.
- Il Team Leader chiama l'AGV che viene a prendere i carrelli e chiama anche i magazzinieri.
- Il magazziniere, dopo aver depositato le casse vuote nella zona dedicata, deve controllare e contare i kanban presenti nella taschina del carrello e caricare il materiale; sopra ogni cassetta deve posizionare il kanban relativo in modo tale che la taschina rimanga vuota.
- Il magazziniere chiama l'AGV tramite un tablet e gli fa portare i carrelli in linea.
- Il Team Leader carica il materiale sulle rulliere della linea lasciando i vari kanban sopra.

Uno dei problemi che può verificarsi utilizzando questa tecnica di chiamata riguarda in primo luogo la perdita dei cartellini: se un operatore lavorasse in maniera poco attenta potrebbe perdere qualche cartellino. In secondo luogo, questo metodo può far perdere tempo al Team Leader in quanto deve effettuare il giro due volte, uno all'esterno della linea per recuperare le cassette vuote e uno all'interno per prendere i cartellini riposti nelle cassette porta kanban

appese alle rulliere di ogni componente. Un altro problema è legato alla perdita di tempo del magazziniere, poiché per due componenti (Statori e Rotori) non vi sono delle cassette ma dei blister. Questi devono essere impilati in due colonne nel vano del carrello corrispondente in modo tale da non avere problemi di sbilanciamento durante il trasporto e da poterli riporre in maniera ordinata. Per poter apporre il kanban sopra ad ogni blister, il magazziniere dovrebbe prendere dal pallet un blister alla volta e adagiare il cartellino sopra. A questo punto dovrebbe prendere un altro blister da posizionare sopra al primo e procedere in maniera analoga fino a raggiungere la quantità richiesta. Per il magazziniere è molto più agevole, però, prendere più di un blister alla volta e posizionarli direttamente sul carrello evitando il passaggio del posizionamento del cartellino. È possibile caricarne più di uno alla volta perché i blister non hanno un peso elevato (per i pesi dei vari componenti si veda la Tabella 3.5).

Viste le problematiche che possono verificarsi, è stata adottata un'altra soluzione che risulta essere di più semplice attuazione per entrambi gli attori coinvolti: per ogni finish good è stata scritta una sorta di "lista della spesa", sulla quale vengono riportati i componenti e la quantità massima richiedibile per ciascuno. Dal momento che i vani dei carrelli sono dedicati, ogni carrello ha la propria lista e questa riporta solo i codici caricabili sullo stesso. In base al prodotto che si deve produrre, quindi, viene riposta questa lista plastificata nella taschina del carrello; è stata plastificata di modo che il Team Leader possa scrivere ogni volta sullo stesso cartellino utilizzando un pennarello non indelebile.

Con questa soluzione, quando l'operatore fa il giro dei vuoti, segna su questo foglio la quantità richiesta per ogni codice e poi lo ripone nella taschina del carrello. L'operatore non deve perdere tempo per recuperare i vari kanban, ma deve semplicemente segnare il numero di cassette richieste: con questo metodo viene ripreso il metodo utilizzato prima dell'introduzione dei dolly, ma con delle migliorie:

- Il foglio è plastificato e deve sempre essere riposto nella taschina del carrello quindi c'è un posto dedicato ed è meno probabile che vada smarrito.
- L'operatore non può richiedere troppo materiale così che non se ne abbia troppo nei pressi della linea: sulla lista vi è un massimo di cassette richiedibili che corrispondono alla copertura lavorativa studiata precedentemente.
- Il magazziniere non deve contare i cartellini, ma è sufficiente che legga la quantità riportata sul cartellino.

Per quanto riguarda le minuterie, si è deciso di utilizzare il sistema a chiamata dei kanban. Per ogni cassetta di plastica del SAG c'è una quantità massima che può essere disposta all'interno in

base alla tipologia di componente, quindi ogni cassetta avrà tanti kanban quanti componenti può ospitare. Per esempio, per una tipologia di componenti possono essere messi fino a tre sacchetti all'interno di una sola scatola, quindi pizzicati sul fronte della scatola vi saranno tre kanban, ognuno corrispondente ad un sacchetto. L'operatore della linea quando termina un sacchetto, prende il cartellino e lo posiziona nella cassetta porta kanban delle minuterie. Quando il Team Leader di una delle due linee deve effettuare il giro di approvvigionamento non deve più comunicare all'altro che prende quel determinato codice, ma semplicemente prenderà i cartellini dalla taschina. Il Team Leader della linea 1 ripone i kanban delle minuterie nella taschina del carrello posteggiato nel parcheggio 3. Questo sistema permette che non vi siano delle eccedenze di materiale sul SAG, ma che sia riposto sempre all'interno delle cassette di plastica.

3.2.2 Rispetto dell'ergonomia nell'ubicazione e nel dimensionamento dei carrelli

Come già accennato nel Paragrafo 3.2.1, per dimensionare i carrelli sono stati considerati sia il peso delle varie scatole che la loro ubicazione in linea. Il peso delle scatole è stato considerato, oltre che per equilibrare i vani del carrello, per stabilire quale fosse la posizione più adatta nei vari vani. A tal proposito, le casse più pesanti sono state posizionate più in basso e si è cercato, per quanto possibile, di farle approdare il più possibile nei pressi delle rulliere corrispondenti.

Nella Figura 3.15 si può notare che la disposizione iniziale dei carrelli prevedeva che il carrello 1 fosse posizionato vicino al corridoio, al quale il SAG (scaffale a gravità delle minuterie) è adiacente, mentre i carrelli 2 e 3 erano posizionati dietro la linea. Con questa opzione non veniva occupato molto più spazio rispetto alla configurazione precedente, in quanto i carrelli 2 e 3 sostituivano lo spazio dedicato al transpallet e l'unica modifica era relativa alla postazione occupata dal carrello 1. Dopo aver pesato le scatole (il cui peso è riportato nella Tabella 3.5), si è pensato che sarebbe stato meglio avvicinare il più possibile alle rispettive rulliere le scatole dei componenti più pesanti (Wet Sleeve, Voluta, Shaft + Housing).

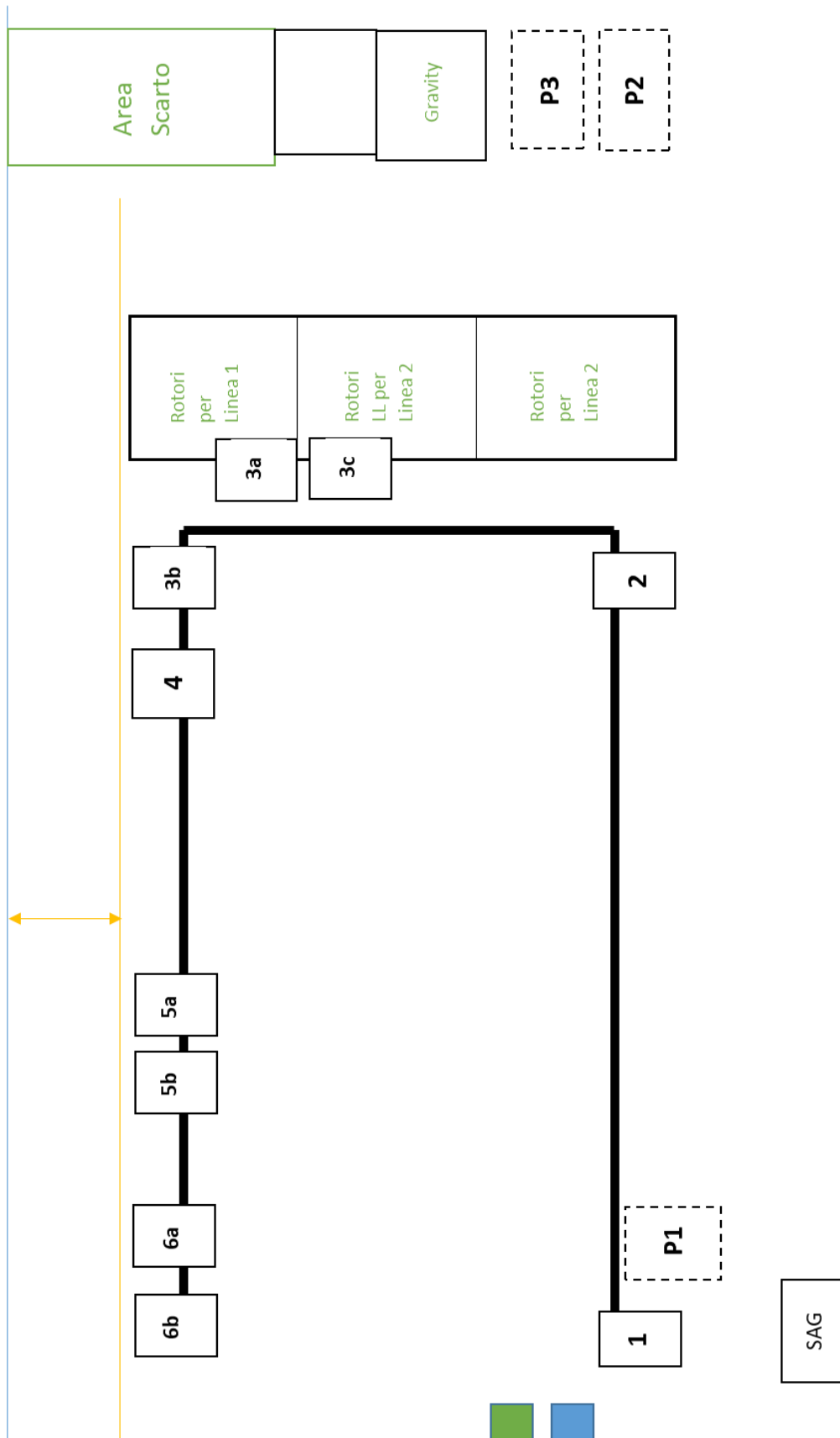


Figura 3.15: Prima ipotesi di modifica del layout

Per quanto riguarda Voluta e Wet Sleeve il problema è stato risolto poiché la dimensione delle cassette è stata ridotta in altezza e quindi anche il numero di componenti è stato ridotto e di conseguenza il peso. Come conseguenza a questo cambiamento si ha che il peso è anch'esso dimezzato. Per gli Shaft + Housing, invece, il problema persiste, quindi si è optato per spostare il carrello 2 nei pressi della rulliera e il layout ha subito un'ulteriore modifica, illustrata nella Figura 3.10.

Come si può notare, adesso l'area di sosta del carrello 2 è adiacente alla rulliera degli Shaft + Housing e questo fa in modo che il sollevamento e lo spostamento che l'operatore deve compiere siano minimi.

3.3 ANALISI DEI SISTEMI DI REINTEGRO DELLE SCORTE PRESSO LE LINEE DI PRODUZIONE

3.3.1 Implementazione degli AGV

Il nuovo metodo che viene utilizzato per portare in linea i componenti prevede l'utilizzo di un AGV, nello specifico di un robot collaborativo mobile dotato di sensori in grado di evitare ostacoli e persone in movimento. È stato utilizzato questo tipo di sistema piuttosto che un altro poiché nella stessa area era già presente un robot che si occupava del trasporto del prodotto finito.

Analisi delle logiche connesse all'utilizzo di un AGV

Per poter utilizzare l'AGV è necessario, per prima cosa, conoscere la logica che utilizza e il sistema di interfaccia utente – robot. Per spostarsi all'interno di una qualsiasi area, utilizza i sensori che gli permettono di visualizzare gli ostacoli fermi posti davanti a sé, ma anche ostacoli o persone in movimento. Durante il suo tragitto cerca di visualizzare la mappa che ha preregistrato la prima volta che è stato inserito in quella zona e ricerca determinati punti fissi (i muri indicati in nero nella Figura 3.16) in modo tale da conoscere sempre la sua posizione. Nella mappa, per avere una corrispondenza con il layout della Figura 3.17, sono state raffigurate le tre aree di sosta limitrofe alla linea (1, 2, 3), le due relative al prodotto finito (rettangolo verde e blu) e la zona di interfaccia con il magazzino (rettangolo con il contorno rosso). È possibile gestire le varie impostazioni del robot e settare le missioni tramite un indirizzo IP (Internet Protocol adress). Per far eseguire determinate operazioni al robot, è necessario settare le missioni. Il robot si muove solo dopo aver ricevuto un determinato input dato da utente. Le missioni sono composte da una lista di azioni che l'AGV deve eseguire in sequenza per portare a compimento l'input ricevuto. Questo sistema è stato utilizzando in primo luogo per il trasporto del prodotto

finito. La logica utilizzata è stata quella del “Prendi pieno e porta vuoto”: il robot deve recuperare il box pieno, portarlo nella zona d’interfaccia con il magazzino e depositarlo nelle aree di sosta dedicate. A questo punto deve agganciare il carrello sul quale è caricato il box vuoto e portarlo in linea depositandolo nell’area azzurra della Figura 3.16. Il tragitto effettuato dal robot per il trasporto del prodotto visibile è raffigurato dalle frecce rosse nella Figura 3.5.

Dopo aver connesso alcuni tablet all’indirizzo IP e dopo aver settato le varie missioni, è stato possibile insegnare al Team Leader e al Backup il funzionamento del robot in modo che potessero cominciare a prendere confidenza con questa nuova logica. Le operazioni che devono saper compiere sono due:

- Posizionare il carrello sul quale è caricato il box vuoto nell’area di sosta relativa (rettangolo verde nella Figura 3.16).
- Premere il pulsante della relativa missione sul tablet e avvisare il magazziniere.

È compito del magazziniere togliere il box pieno dal carrello, riporlo sullo scaffale e posizionare il carrello nel parcheggio destinato alla partenza, dopo aver caricato un box vuoto. La presenza di un box vuoto posteggiato permette al magazziniere di non dover accorrere immediatamente una volta ricevuta la chiamata poiché questo permette alla linea di aver sempre un certo margine di sicurezza.

Nella zona di interfaccia con il magazzino ci sono due parcheggi dedicati all’arrivo del prodotto finito e tre parcheggi dedicati alla partenza dei box vuoti. Questa era la configurazione migliore nel caso di utilizzo del robot per il solo prodotto finito. Per utilizzare questo robot anche per le materie prime si è dovuta modificare la mappa dalla quale lui prende i riferimenti ed aggiungere le postazioni nei pressi della linea (1, 2, 3 nella Figura 3.16). A causa della scarsità di spazio a disposizione, non è stato possibile aggiungere anche delle postazioni nelle vicinanze del magazzino e dunque non è stata utilizzata la logica del prodotto finito relativa al “Prendi pieno e porta vuoto”. Prima solo il Team Leader inviava le missioni al robot, adesso è stato messo un tablet anche nella zona di interfaccia con il magazzino in modo tale che anche il magazziniere possa gestirlo. La logica adottata per le materie prime prevede che:

- Il Team Leader preme il pulsante che dà al robot l’input di portare nei pressi del magazzino i carrelli sui quali sono state caricate le cassette vuote di materiale.
- Il magazziniere, dopo aver caricato sui carrelli il materiale richiesto dalla linea, preme il pulsante che dà al robot l’input di portare nelle aree di sosta della linea i carrelli con le varie cassette di materiale.



Figura 3.16: Mappa visualizzata dall' AGV

Nella Figura 3.17 è possibile vedere qual è il percorso effettuato dal robot per il trasporto dei carrelli delle materie prime: in blu si può notare il percorso dei carrelli sui quali sono caricate le cassette vuote, in verde quello delle cassette piene. Anche in questo caso si è optato per non transitare in quella parte di corridoio adiacente alle zone dinamiche di cui si è parlato nel Paragrafo 3.2 (Figura 3.3).

Utilizzando l'AGV e non facendolo transitare nel corridoio antistante lo scaffale delle ECU, i flussi di prodotto finito e materie prime si incrociano. Non vi sarà mai un incrocio reale tra i due flussi poiché il robot può compiere una sola missione alla volta.

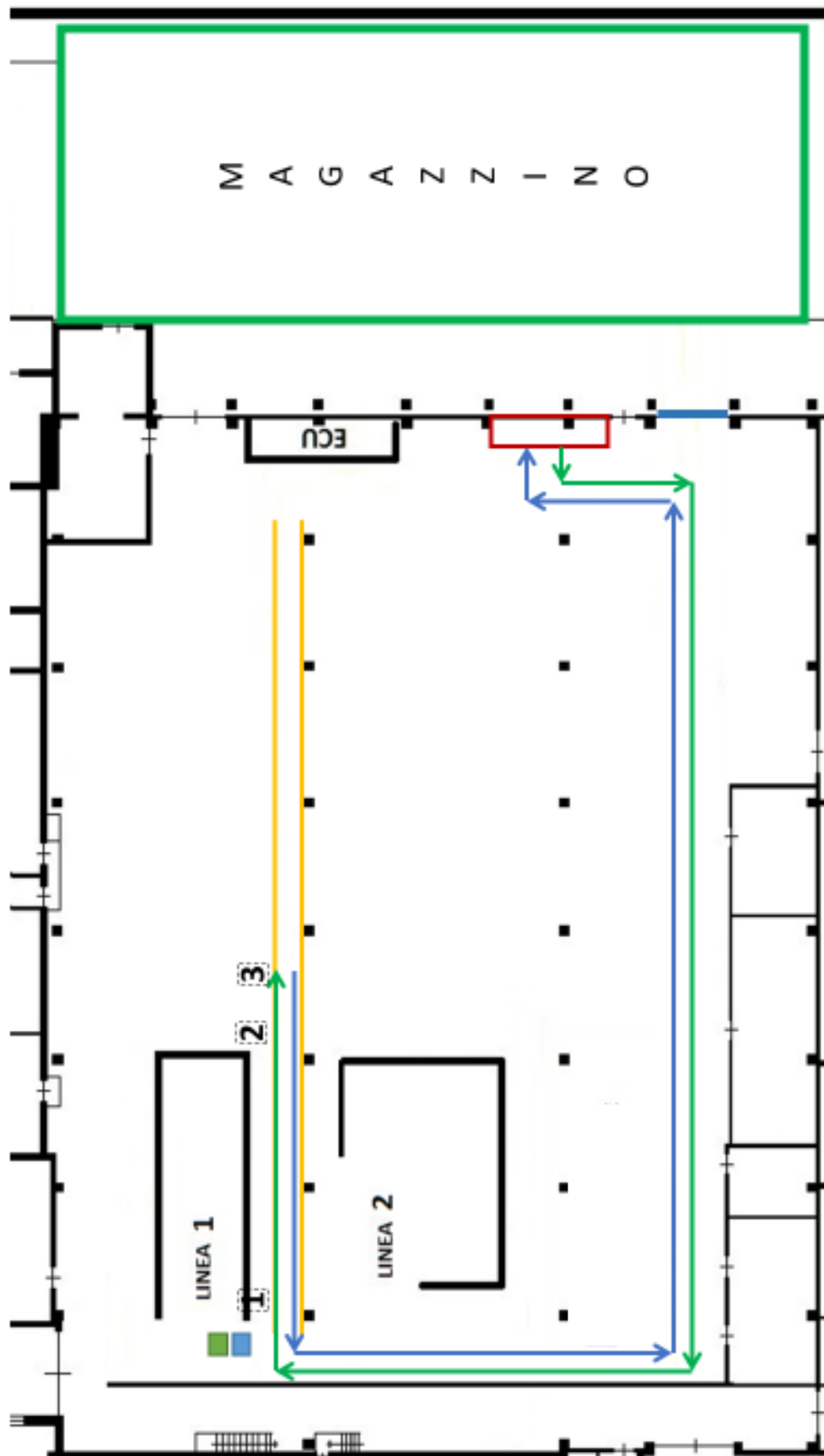


Figura 3.17: Percorso AGV per materie prime

MODIFICHE APPORTATE PER L'UTILIZZO DEL ROBOT PER LE MATERIE PRIME

Per fare in modo che i carrelli arrivassero senza problemi in linea sono state effettuate svariate prove e alcune modifiche al sistema preesistente:

- È stata imposta una velocità massima di percorrenza al robot nel corridoio adiacente alla linea in modo tale che il problema legato alla velocità fosse quasi del tutto azzerato. La velocità del robot è pari a 1,1 m/s, ma in quella zona è stata ridotta a 0,5 m/s.
- È possibile vietare il transito del robot in determinate zone inserendo nella mappa delle linee specifiche. Sono state inserite delle linee di questo tipo per il transito del robot nel corridoio adiacente alla linea, in modo tale da non permettergli di transitare troppo vicino alle macchine della linea o di avere accesso a determinate aree.
- Sono state inserite le tre aree di sosta nella mappa del robot.
- Per evitare che passasse nel corridoio tra l'area blu e quella gialla della Figura 3.16, è stato imposto un vincolo di passaggio e quella zona è stata segnata come vietata.

3.3.2 Flotta

L'utilizzo di un solo AGV sia per il prodotto finito che per i componenti ha sollevato delle questioni relative alla gestione delle missioni e all'attesa dei carrelli delle materie prime in caso di precedenti missioni del prodotto finito. In primo luogo, si è posta l'attenzione sul fatto che le missioni relative ai componenti dovessero avere la precedenza rispetto a quelle del prodotto finito. In assenza di materiale, infatti, la linea produttiva si ferma e, in aggiunta, in linea sono sempre presenti due box del prodotto finito, uno in riempimento e uno vuoto come buffer. Con un solo robot è molto complesso dare le precedenza alle missioni, ma risulta più agevole con l'utilizzo del software flotta. Questo permette di dare la precedenza alle varie missioni e di gestire la movimentazione di più robot in una stessa area.

Analisi dei tempi

Attualmente l'AGV viene utilizzato per il trasporto del prodotto finito della Linea 1, di un'altra linea produttiva (Linea ST, non viene indicato il nome completo per motivi di privacy aziendale) e per l'approvvigionamento di materie prime. Per stabilire se un solo AGV sia sufficiente per adempiere in maniera efficiente a questi compiti è stata fatta un'analisi dei tempi. Il tempo impiegato dal robot per percorrere determinati tragitti è indicato nella Tabella 3.7. Questi valori sono stati ottenuti cronometrando il robot durante i vari percorsi e ne è stata fatta una media per ciascuno. Il punto di arrivo di ciascuna tratta è la zona di interfaccia con il magazzino dove sono presenti le varie aree di sosta; nella Tabella 3.7 vengono riportati i vari punti di partenza.

	Linea 1	Linea ST	Materie prime Linea 1
Tempo per trasportare un carrello [min/(carrello*tragitto)]	6	4	7

Tabella 3.8: Tempo percorrenza del robot

Il tempo totale impiegato dall'AGV per il trasporto dei carrelli è pari al doppio del valore indicato nella Tabella 3.7 poiché il tragitto viene percorso due volte, la prima per depositare il carrello nei pressi della linea, la seconda per portarlo nella zona di interfaccia con il magazzino. Per stabilire se con l'aggiunta del trasporto delle materie prime il robot sia sovrautilizzato oppure no, si deve calcolare l'impiego massimo del robot durante un turno lavorativo (8 ore). Per quanto riguarda il prodotto finito, il numero di percorsi completi che l'AGV deve effettuare dipende dal numero di box che vengono riempiti in un turno, che a loro volta dipendono dalla capacità produttiva e dal numero di e-WP che possono essere contenute nel box. Sono stati considerati il caso migliore, quello in cui il robot debba effettuare il minor numero di giri, e quello peggiore, quello in cui debba effettuare il maggior numero di giri, per entrambe le linee (Tabella 3.8).

	Linea 1	Linea ST
Capacità produttiva massima in un turno [pz / turno]	820	720
Quantità per imballo (caso migliore) [pz / box]	360	90
Quantità per imballo (caso peggiore) [pz / box]	90	60
Numero di imballi (caso migliore) [box / turno]	2	8
Numero di imballi (caso peggiore) [box / turno]	9	12

Tabella 3.9: Numero di imballi per turno

La capacità massima produttiva è un valore fisso, che varia in base al numero di persone presenti e determina il target produttivo orario, che indica il numero massimo di pezzi producibili all'ora. Si è supposto che entrambe le linee lavorino a pieno regime e con il numero massimo di operatori. Per calcolare il numero di box riempiti in un turno è stata utilizzata la seguente formula:

$$\text{Numero di imballi} \left[\frac{\text{box}}{\text{turno}} \right] = \frac{\text{Capacità produttiva massima} \left[\frac{\text{pz}}{\text{turno}} \right]}{\text{Quantità per imballo} \left[\frac{\text{pz}}{\text{box}} \right]}$$

I valori sono stati arrotondati per difetto poiché quella riportata è la capacità produttiva massima e dunque se un box rimane incompleto dovrà essere terminato nel turno successivo e verrà trasportato dall'AGV nel turno seguente. Il numero di imballi indica il numero di giri che il robot deve effettuare in un turno e dunque il numero di carrelli che deve trasportare. È possibile calcolare il tempo totale impiegato dall'AGV per il trasporto dei carrelli nei due scenari come:

$$\begin{aligned}
 & \text{Tempo impiegato} \left[\frac{\text{min}}{\text{turno}} \right] \\
 &= \text{Nro di giri} \left[\frac{\text{carrello}}{\text{turno}} \right] * \text{Tempo impiegato} \left[\frac{\text{min}}{\text{carrello} * \text{tragitto}} \right] * \\
 & \quad * \text{Nro tragitti per missione} [\text{tragitto}]
 \end{aligned}$$

Il numero di tragitti per missione è pari a due, perché il robot compie lo stesso percorso due volte. I valori che si ottengono sono riportati nella Tabella 3.9.

	Linea 1	Linea ST	Totale	Percentuale rispetto al tempo produttivo (7h = 420 min)
Tempo impiegato (caso migliore) [min/turno]	24	64	88	20,95%
Tempo impiegato (caso peggiore) [min/turno]	108	96	204	48,57%

Tabella 3.10: Tempo impiegato dal robot per il trasporto del prodotto finito nei due scenari

Nella Tabella 3.9 vengono riportati sia il tempo totale impiegato all'interno di un turno che la percentuale rispetto alla durata del turno stesso. Un turno lavorativo ha una durata pari a 8 ore, che non coincide con il tempo produttivo in quanto vi sono tre pause da 10 minuti ciascuna e una pausa di 30 minuti per permettere agli operatori di mangiare. Gli operatori lavorano, quindi, 7 ore e il tempo totale del robot deve essere rapportato a quel valore. I risultati ottenuti dimostrano che l'AGV è occupato nel trasporto del prodotto finito per quasi metà di un turno.

Per quanto riguarda le materie prime, è stato deciso di effettuare i giri di approvvigionamento ogni due ore (le motivazioni di questa decisione vengono illustrate nel Paragrafo 3.4.2) e il tempo impiegato dall'AGV può essere calcolato con la stessa formula utilizzata per il prodotto finito. In questo caso non si hanno i vari scenari perché gli orari destinati all'asservimento della linea sono fissi e si ha un numero di giri pari a quattro per turno. Il numero di tragitti per missione risulta sempre essere pari a due poiché il tragitto viene percorso due volte anche se non in maniera immediata successiva come accade invece per il prodotto finito in cui la logica del "Prendi pieno e porta vuoto" fa sì che i trasporti avvengano in successione.

$$\begin{aligned}
& \text{Tempo impiegato} \left[\frac{\text{min}}{\text{turno}} \right] \\
&= \text{Nro di giri} \left[\frac{\text{giri}}{\text{turno}} \right] * \text{Tempo impiegato} \left[\frac{\text{min}}{\text{carrello} * \text{tragitto}} \right] * \\
&* \text{Nro tragitti per missione} [\text{tragitto}] * \text{Nro carrelli} \left[\frac{\text{carrello}}{\text{giro}} \right]
\end{aligned}$$

	Materie prime Linea 1	Percentuale rispetto al tempo produttivo (7h = 420 min)
Tempo impiegato [min/turno]	168	40%

Tabella 3.11: Tempo impiegato per il trasporto delle materie prime

Dalla Tabella 3.10 risulta che l'AGV è occupato per il 40% del turno nel trasporto dei carrelli delle materie prime. Se si suppone che i due scenari relativi al prodotto finito siano equiprobabili, è possibile fare una media tra i valori ed ottenere un risultato pari a 34,76%. Sommando questo valore alla percentuale relativa alle materie prime si ottiene 74,76%. Per far sì che il trasporto dei carrelli dell'AGV sia un servizio efficiente, il robot non deve essere sovraccarico di lavoro e deve assicurare la precedenza alle missioni delle materie prime. Con la percentuale di utilizzo calcolata (74,76%), è possibile che il robot non riesca a portare a termine le missioni delle materie prime entro il termine della copertura produttiva pari a due ore. Per spiegare meglio questo problema si veda l'Esempio 1.

Esempio 1

Si supponga che nel momento in cui si debba approvvigionare il materiale della linea, sia la Linea 1 che la Linea ST abbiano completato un box. Il robot esegue una missione alla volta mettendo in coda quelle successive nell'ordine in cui vengono inviate. Si supponga, inoltre, che il materiale richiesto coinvolga solo due dei tre carrelli. Per prima cosa, il robot porta i due carrelli delle materie prime nella zona di interfaccia con il magazzino (t = 0 indica l'arrivo dell'ultimo carrello nell'area). Effettua, a questo punto, le missioni della Linea 1 e della ST e il tempo impiegato dal robot è pari a 20 minuti, dato dalla somma dei due tragitti. I valori dei singoli tragitti sono riportati nella Tabella 3.7 e si ottiene per Linea 1 12 minuti, mentre per Linea ST 8 minuti. Nel frattempo, il magazziniere ha caricato sui carrelli il materiale e ha premuto il pulsante sul tablet. Le missioni vengono messe in coda. In t = 20 il robot inizia ad eseguire le missioni delle materie prime. Il tempo impiegato è pari a 7 minuti per il primo carrello, mentre per il secondo è pari a 14 in quanto deve effettuare due volte il tragitto (dalla linea alla zona di interfaccia con il

magazzino per recuperare il carrello, dalla zona di interfaccia alla linea per portarlo nell'area di sosta). Il tempo totale impiegato è pari a 21 minuti e quindi l'ultimo carrello arriva in linea in $t = 41$. Il margine di sicurezza per la linea è all'incirca pari a 30 minuti, valore inferiore all'arrivo dell'ultimo carrello.

Con l'Esempio 1 è stato dimostrato che è necessario inserire delle priorità alle missioni legate al trasporto delle materie prime per fare in modo che queste giungano in linea in tempo. Per dimostrare che un robot soltanto non sia comunque sufficiente, si veda l'Esempio 2.

Esempio 2

Si supponga che vi sia una situazione analoga a quella dell'Esempio 1 con la differenza che sia possibile dare una priorità alle missioni delle materie prime. In $t = 0$ si ha l'arrivo dei carrelli delle materie prime nell'area di interfaccia con il magazzino e il robot ha in coda le missioni relative a Linea 1 e Linea ST. L'AGV esegue la missione della Linea 1 terminandola in $t = 12$. In questi 12 minuti il magazziniere ha caricato le materie prime su almeno un carrello e ha selezionato la missione relativa. Avendo questa la precedenza sulla Linea ST, il robot esegue questa missione terminandola in $t = 19$. Nel frattempo, il magazziniere ha terminato anche il secondo carrello e ha selezionato la missione, che ha nuovamente la precedenza su quella di ST. Il secondo carrello giunge nei pressi della linea in $t = 33$. A questo punto il robot può eseguire la missione del prodotto finito che ha in coda e la termina in $t = 41$. Il tempo di fine è, chiaramente, lo stesso dell'Esempio 1 in quanto è solo stato cambiato l'ordine delle missioni. Ciò che cambia sono i tempi di arrivo dei carrelli delle materie prime e del box vuoto per la Linea ST. In questo esempio, il secondo carrello giunge in linea solo qualche minuto dopo il termine del margine di sicurezza. Si analizza ora l'arrivo del box vuoto del prodotto finito. Nel caso peggiore, la Linea ST riempie 12 box in un turno e per calcolare quanto impiega per riempirne uno è stata impostata la seguente proporzione:

$$12 \text{ box} : 7 \text{ ore} = 1 \text{ box} : x$$

Ottenendo come risultato 0.583 ore, che corrispondono a 35 minuti. Se il box della Linea ST è stato terminato il $t = 0$ significa che necessiterà di un altro box nuovo in $t = 35$, lasso di tempo in cui riempie il box vuoto che ha in linea come scorta. Il box arriva, però, in $t = 41$, valore superiore a quello richiesto.

Con questi due esempi sono state riportate due situazioni che possono accadere e che rischierebbero di creare problemi nel servizio legato all'AGV. Per questi motivi è consigliabile inserire un nuovo robot nella stessa area, così da avere più elasticità in situazioni critiche come

quella dell'Esempio 2, ma risulta invece necessario impostare delle precedenze per le missioni legate alle materie prime. Con l'utilizzo di due robot si deve prestare attenzione all'incrocio dei flussi di prodotto finito e di materie prime.

3.3.3 Benefici e problemi

Utilizzare un sistema automatizzato per il trasporto dei materiali apporta dei vantaggi nella produzione, infatti il Team Leader perde meno tempo per caricare il materiale in linea e non deve recarsi in magazzino a prendere i componenti andando incontro ai problemi esposti nei paragrafi precedenti, quali l'assenza del materiale nella zona di prelievo o il sovraccarico del pallet per effettuare un numero minore di giri. Il trasporto, in accordo con la logica lean, è uno degli sprechi della catena logistica e per questo è da ridurre il più possibile. Utilizzando questo nuovo sistema il trasporto non viene ridotto, ma viene fatto fare da una macchina così che il Team Leader possa essere a disposizione degli operatori della linea piuttosto che compiere questa operazione priva di valore aggiunto.

Con il sistema precedente in cui il Team Leader si recava in magazzino, il tempo totale impiegato era circa 25 minuti: 5 per portare le cassette vuote sul pallet, 15 per andare in magazzino, scaricare le cassette vuote, caricare quelle piene e tornare in linea e altri 5 per posizionare le cassette piene sulle rulliere. Il tempo effettivamente risparmiato dal Team Leader è pari all'incirca a 15 minuti per ogni giro. Questo tempo è stato trasferito sui magazzinieri, scelta lecita dal momento in cui sono loro che si devono occupare della movimentazione e della disponibilità del materiale nella zona di picking. Il Team Leader recupera, all'incirca, un'ora del suo tempo da dedicare agli altri operatori se necessitano della sua supervisione o alla produzione (15 minuti per 4 giri), mentre i magazzinieri devono cercare di inserire, tra le loro mansioni ordinarie, lo scarico / carico dei carrelli. È stato possibile aggiungere questa attività poiché il tempo da dedicare è all'incirca 20 minuti ogni due ore e quindi è stato sufficiente suddividere tra i magazzinieri le varie mansioni da eseguire e fare in modo che eventuali operazioni da effettuare in determinati orari fossero anticipate o posticipate. Per cercare una soluzione che non andasse ad incidere negativamente sul lavoro dei magazzinieri, è risultata fondamentale la comunicazione e discussione con il responsabile dei magazzinieri e con i magazzinieri stessi.

Nella Tabella 3.11 sono stati riportati i benefici di questo sistema di approvvigionamento e i vantaggi che ne derivano.

<i>Beneficio</i>	<i>Vantaggio</i>
<i>Team Leader recupera tempo da dedicare alla linea</i>	Non si deve recare in magazzino per recuperare il materiale necessario e l'operazione di approvvigionamento non viene più effettuata da lui, ma dai magazzinieri
<i>Trasporto del materiale effettuato da un AGV</i>	Team Leader rimane a disposizione degli operatori della linea
<i>Magazzinieri caricano i componenti sui carrelli</i>	I magazzinieri conoscono bene i codici dei vari componenti e le loro ubicazioni in magazzino e, nel caso in cui non fosse presente un codice nell'area di picking, sanno dove ricercarlo ed è loro compito disporlo nell'area di picking

Tabella 3.12: Benefici apportati dal nuovo sistema di approvvigionamento del materiale

Attualmente, il sistema presenta alcuni problemi legati alla perdita della localizzazione dell'AGV nella zona antistante all'area di sosta che si interfaccia con il magazzino e all'assenza di possibilità di dare delle priorità alle missioni. Quest'ultimo problema è stato risolto mediante:

- L'utilizzo di due robot all'interno del reparto dell'e-WP in modo tale da avere meno tempo di attesa per l'esecuzione di una missione e maggiore flessibilità.
- L'introduzione del software della flotta (si veda Paragrafo 3.3.2 per ulteriori delucidazioni) che permette di gestire agevolmente le precedenza delle missioni e fa in modo che i due robot non collidano.

Il problema legato alla perdita della localizzazione è dovuto alla dinamicità dell'area adiacente al magazzino. Come già detto nel Paragrafo 3.3.1, il robot utilizza dei sensori per orientarsi e per evitare gli ostacoli. Se l'area che deve oltrepassare è molto dinamica, il robot ha difficoltà nel trovare i punti di riferimento per orientarsi e può perdere la localizzazione. In questi casi il robot si ferma e va in errore ed è necessario l'intervento del Team Leader o del magazziniere per ripristinare il corretto posizionamento. Nella Figura 3.18 sono evidenziate le aree all'interno del reparto che risultano essere molto dinamiche e creano dei problemi nell'avanzamento dell'AGV. Il rettangolo rosa rappresenta delle linee produttive che non producono e-WP. Le varie postazioni sono approvvigionate da cassoni, stoccati nell'area blu della Figura 3.18, che sono movimentati da alcuni operatori preposti. Questi devono trasportarli nei pressi delle postazioni dei vari operatori (freccia nera nella figura). Questa operazione richiede il passaggio nel corridoio in cui transita anche il robot (il suo percorso è indicato con le frecce rosse nella figura). Questo incrocio di flussi e il fatto che l'area cambi la sua configurazione di volta in volta a causa dello spostamento dei cassoni possono incidere negativamente sul percorso del robot. Per risolvere

questo problema è possibile inserire dei riferimenti fissi, come dei paletti, che permettono al robot di orientarsi più facilmente nonostante nell'area vi sia il transito di ulteriori mezzi.

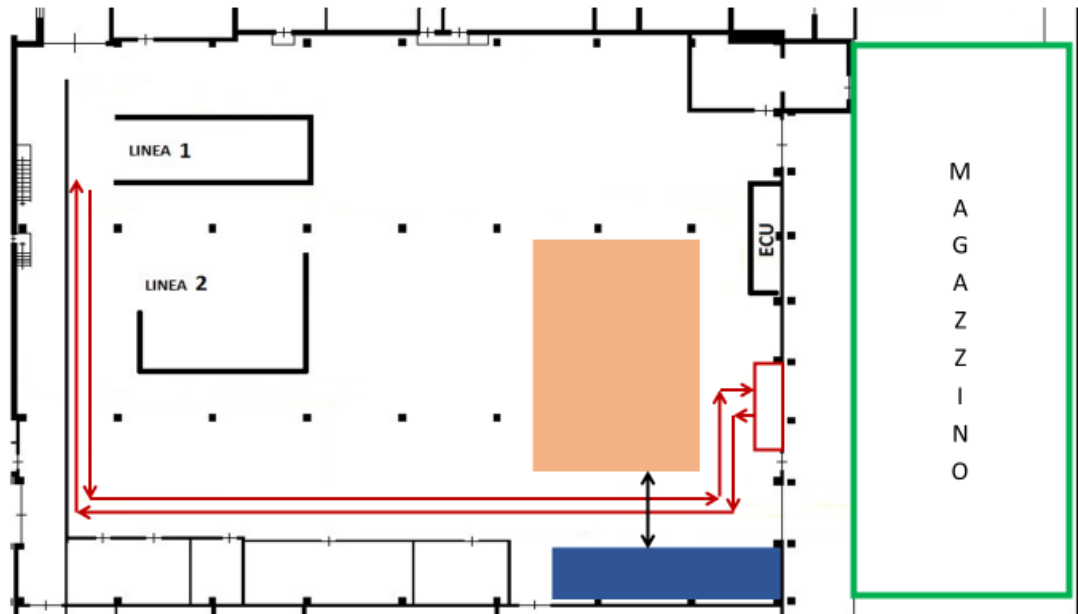


Figura 3.18: Layout reparto con evidenza delle aree più dinamiche

3.4 MODIFICHE APPORTATE AL SISTEMA ESISTENTE

3.4.1 In linea

Le modifiche apportate alla linea produttiva sono relative al layout, nello specifico all'inserimento delle aree di sosta per i carrelli dell'AGV (come già descritte nel Paragrafo 3.2.2). Verranno ora analizzate maggiormente nel dettaglio queste modifiche a partire dal layout iniziale (Figura 3.19).

La linea nera rappresenta la linea di produzione e i rettangoli contenenti i numeri corrispondono alle postazioni dei componenti. Dietro la Linea 1, c'è un'area di sosta per il pallet (P) sul quale vengono caricate le cassette vuote da portare in magazzino prima di portare quelle piene. I quadratini blu e verdi indicano le aree di sosta utilizzate per i carrelli del prodotto finito: blu indica box vuoto, verde indica box pieno.

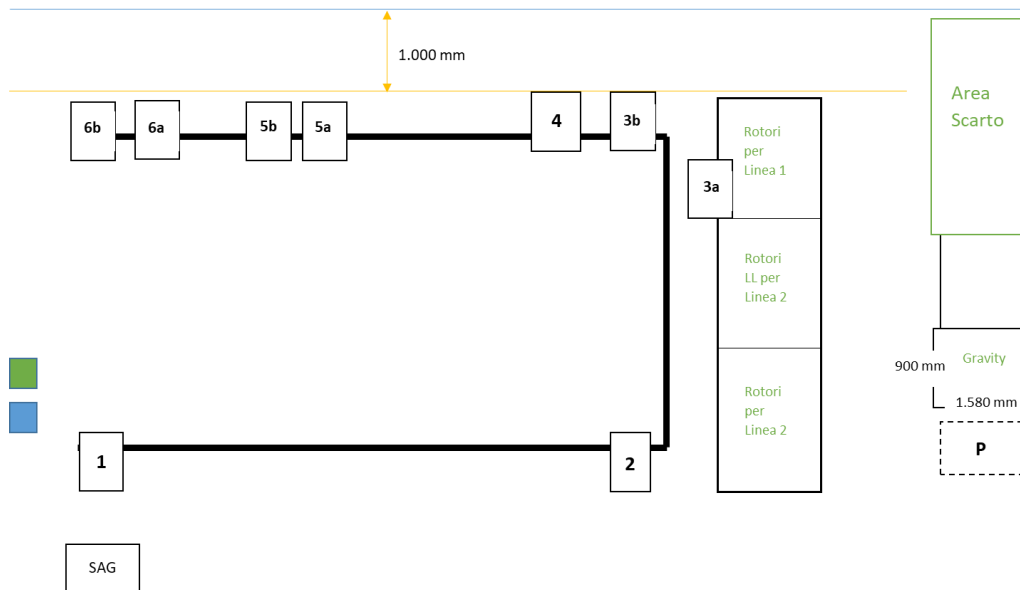


Figura 3.19: Layout iniziale della Linea 1

La prima ipotesi avanzata prevedeva che, come illustrato nella Figura 3.15, due dei tre carrelli fossero posizionati nel retro della linea in modo tale che venisse utilizzato lo spazio già impiegato per la sosta del pallet su cui erano caricati i componenti, ma soprattutto era un'ubicazione che non intralciava il passaggio di alcuno. L'utilizzo dell'AGV porta con sé dei vincoli legati ai margini di sicurezza che possiede e agli spazi di cui necessita per parcheggiare. La larghezza del carrello è pari a 86,2 cm (come è possibile vedere dalla Figura 3.9), ma lo spazio necessario tra un posteggio e l'altro deve essere di 25 cm (valore dato dalla casa produttrice). Nella Figura 3.20 è stato riportato un ingrandimento dell'area coinvolta in modo tale che si possano capire meglio gli spazi disponibili. La linea nera a destra dell'area di sosta del transpallet e del gravity rappresenta degli scrivini piedi che sono utilizzati come confine tra l'area dell'e-WP e la manutenzione. La distanza che si deve avere tra essi e l'area di sosta del carrello deve essere pari a 25 cm. Lo spazio di cui si necessita per posizionare i carrelli in P2 e P3 della Figura 3.15 è pari alla larghezza di due carrelli sommata al margine che deve essere lasciato per fare in modo che il robot non abbia problemi durante la presa o il rilascio dei carrelli stessi.

Spazio necessario [cm]

$$= 86,2 * 2 \text{ (spazio occupato dai due carrelli)} + 25 \text{ (distanza tra i carrelli)} \\ + 25 \text{ (distanza tra carrello in P3 e linea di confine con la manutenzione)} = 222,4 \text{ cm}$$

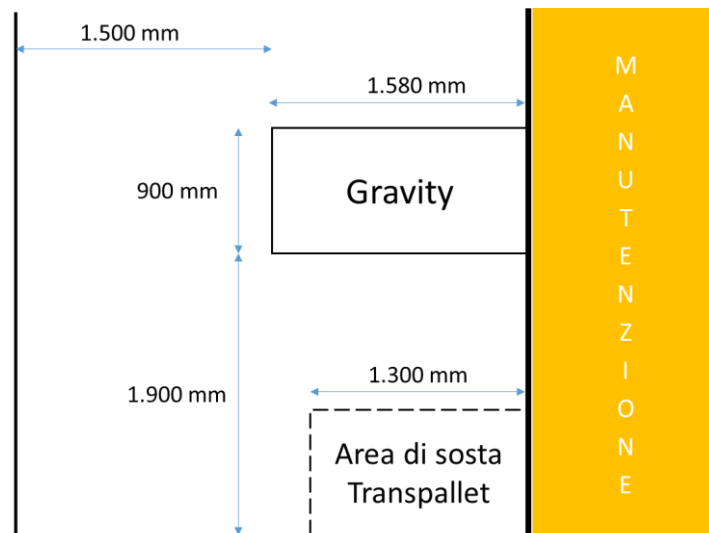


Figura 3.20: Focus aree di sosta nel retro della linea 1

La linea a sinistra della Figura 3.20 rappresenta i magnetizzatori. Per permettere il passaggio tra questi e il gravity si deve avere un corridoio pari a 150 cm e quindi non si devono avere oggetti che, come larghezza, superino le dimensioni dello scaffale a gravità (158 cm). Dal momento che lo spazio di cui si necessita per disporre due carrelli vicini è pari a 222,4 cm, risulta evidente che questi non possano essere disposti nelle immediate vicinanze, ma si possa prevedere solo un'area di sosta (P3).

Per il posizionamento del carrello 2 sono state pensate due alternative: la prima prevede di adibire l'area di sosta nei pressi della rulliera degli Shaft + Housing, la seconda di adibirla tra le rulliere vicino alle postazioni 4 e 5a (si veda la figura 3.19). Questa seconda opzione è stata presto abbandonata perché lo spazio di manovra per l'AGV non è sufficiente. Come già detto, durante la navigazione, l'AGV necessita di uno spazio pari alla dimensione del carrello aumentata del 40% come margine di sicurezza (anche questo valore è stato fornito dal produttore).

$$\begin{aligned} \text{Corridoio richiesto [cm]} &= 86,2 (\text{dimensione carrello}) * 1,4 (\text{margine di sicurezza}) \\ &= 120,68 \text{ cm} \end{aligned}$$

Il corridoio per raggiungere le rulliere delle postazioni 4 e 5a è pari a 100 cm, valore inferiore a quello richiesto. La scelta è dunque ricaduta sulla prima alternativa.

Per il carrello 1, l'area di sosta è stata prevista nei pressi del SAG e in una posizione non troppo lontana dalle postazioni di Rubber Ring e Protective Cap (6a e 6b) poiché sono questi i componenti che possono essere caricati sul carrello 1.

Come detto precedentemente nel Paragrafo 3.2.1, le ipotesi avanzate sul posizionamento delle aree di sosta sono state approvate dal focus factory, che è la figura all'interno dell'azienda che gestisce il reparto delle e-WP.

Il layout risultante dopo queste modifiche è quello della Figura 3.10.

3.4.2 In magazzino

In magazzino le modifiche apportate riguardano principalmente il personale piuttosto che il layout vero e proprio.

Gli operatori che si occupano del materiale e del prodotto finito delle e-WP sono suddivisi in due team: uno è composto da tre persone che si occupano dell'approvvigionamento di materiale, l'altro è composto inizialmente da due persone che si occupano delle spedizioni del prodotto finito.

Quando era stato introdotto l'AVG, era necessario il servizio di sostituzione del box pieno con quello vuoto da parte del magazzino. Si era deciso che fosse la prima squadra a dover adempiere a questo compito visto che era quella più numerosa e con un carico di lavoro per persona minore, poiché suddiviso in tre addetti presenti contemporaneamente sul turno centrale invece che due. Dopo che gli operatori della linea e i magazzinieri hanno preso padronanza con questa logica, è stata effettuata un'analisi dei tempi di questa mansione per capire quanto incidesse sulle altre e si è giunti alla conclusione che il tempo impiegato per effettuare il cambio pieno/vuoto fosse all'incirca di 6 / 8 minuti. Dato che non veniva richiesto che il cambio fosse effettuato subito dopo aver ricevuto la chiamata, poiché era già presente un box vuoto, per assicurare alla linea una copertura totale del servizio, è stato richiesto il supporto di un'altra squadra per le ore del tardo pomeriggio e quelle notturne.

Nel momento in cui si è deciso di utilizzare il Tugger Train prima e poi l'AGV, si è dovuto valutare quale delle due squadre dovesse occuparsi del carico/scarico delle cassette di materiale. Mentre nel caso del prodotto finito la scelta è stata presa solamente tenendo conto del carico di lavoro, in questo caso si è dovuto anche tener conto di chi avesse una maggiore padronanza dei vari codici e delle varie ubicazioni del materiale. La scelta è ricaduta nuovamente sulla prima squadra. A questo punto, però, la squadra che avrebbe dovuto effettuare il riempimento dei carrelli sarebbe stata la stessa che effettuava il cambio dei box del prodotto finito. Il carico di lavoro risultava a questo punto eccessivo, anche perché i tre magazzinieri della prima squadra non operavano più solo sul turno centrale. È stata, infatti, inserita una turnazione in modo tale

da dare una copertura oraria maggiore sia per le mansioni ordinarie che per il servizio del robot del prodotto finito.

Sono state inserite le seguenti turnazioni:

- Primo turno: 6 - 14.
- Secondo turno: 14 - 22.
- Centrale: 8 - 17.

Inserendo questi turni, inoltre, si toglie del lavoro alla squadra che era stata coinvolta per assicurare la copertura del servizio su tutti e tre i turni; a questa, infatti, è stato richiesto di coprire solamente il turno di notte.

Nel giro di qualche mese è stato richiesto alla prima squadra di aggiungere alle mansioni ordinarie il servizio dell'AGV per il prodotto finito e per le materie prime. I due compiti aggiuntivi, però, avrebbero potuto rendere sovraccaricare la squadra rischiando di lasciare qualche mansione incompiuta o completata in maniera parziale, quindi si è deciso di effettuare un'analisi dei tempi di questi due servizi.

Tempo impiegato per cambio box per prodotto finito

Le mansioni da effettuare per adempiere a questo compito sono:

- Dopo aver ricevuto la chiamata tramite l'orologio, recarsi nel reparto.
- Prendere il carrello parcheggiato nella postazione dei pieni e portarlo nel magazzino.
- Se necessario, regettare il box.
- Riporre il box sullo scaffale.
- Disporre sul carrello il box richiesto dalla linea (controllare il kanban situato nella taschina appesa al carrello).

Il tempo previsto per queste attività è all'incirca di 6 / 8 minuti. Questo valore è stato stimato prendendo i tempi dei vari magazzinieri e facendone una media. Nella configurazione attuale il magazziniere non deve recarsi immediatamente a sostituire il box, ma ha un margine di almeno 30 minuti poiché nei parcheggi è presente un box vuoto che il robot porta in linea dopo aver depositato il pieno.

Tempo impiegato per riempimento carrelli MP

Le mansioni da effettuare per adempiere a questo compito sono molto simili a quelle del cambio box:

- Dopo aver ricevuto la chiamata, recarsi nel reparto e-WP.
- Prendere un carrello dei materiali e portarlo in magazzino.
- Togliere dal carrello eventuali vuoti e buttare eventuali immondizie derivanti dalle scatole delle minuterie.
- Caricare sul carrello il materiale richiesto dalla linea (vedere lista nella spesa nella taschina).
- Posizionare il carrello nella baia di partenza prestabilita.
- Selezionare, dal tablet, la missione dell'AGV per far arrivare il carrello in linea.

Questa operazione è da ripetere per tutti e tre i carrelli. Per valutare quale sia il carico di lavoro aggiuntivo, sono stati presi i tempi di queste operazioni e ne è stata fatta una media. Il tempo stimato è di circa 7 minuti a carrello quindi l'impiego totale è pari a 21 minuti.

Con l'introduzione dell'utilizzo del robot per i componenti, è stata modificata anche la logica relativa al prodotto finito perché non vi erano sufficienti postazioni per l'arrivo dei carrelli nei pressi del magazzino. Non era più possibile, quindi, avere delle postazioni prestabilite per i box vuoti del prodotto finito e quindi le operazioni da effettuare elencate sopra venivano così modificate:

- Dopo aver ricevuto la chiamata tramite l'orologio, recarsi nel reparto.
- Prendere il carrello parcheggiato nella postazione dei pieni e portarlo nel magazzino.
- Se necessario, regettare il box.
- Riporre il box sullo scaffale.
- Disporre sul carrello il box richiesto dalla linea (controllare il kanban situato nella taschina appesa al carrello).
- Selezionare, dal tablet, la missione dell'AGV per far arrivare il carrello in linea.

Con questa configurazione, però, il magazziniere doveva effettuare il giro pieni/vuoti entro poco tempo dal momento in cui riceveva la chiamata, infatti aveva all'incirca 10/15 minuti di margine e poi si rischiava di far fermare la linea per mancanza di box vuoti per il prodotto finito. Anche il giro di approvvigionamento delle linee doveva avvenire poco dopo aver ricevuto la chiamata altrimenti si rischiava di fermare la linea per mancanza di componenti. Dati questi vincoli, si è pensato che la soluzione migliore fosse quella di stabilire degli orari fissi in cui effettuare questo

approvvigionamento: in questo modo sia gli operatori di linea sanno esattamente ogni quanto devono richiedere il materiale che i magazzinieri sanno quando devono essere disponibili per adempiere a questa mansione e possono gestire le restanti mansioni di conseguenza. Per stabilire il numero di giri da effettuare in un turno, per prima cosa deve essere considerata la copertura massima che si può avere con i carrelli completamente carichi. Questa è pari a due ore lavorative. È immediato comprendere che ogni due ore devono essere presenti le cassette piene di materiale sulle rulliere e che in un turno da 8 ore debbano essere effettuati 4 giri. Si deve capire ora come gestire questi giri e come fare in modo che il materiale arrivi in linea entro le due ore di copertura.

Determinazione orari per approvvigionamento della linea produttiva

Come riportato nella Tabella 3.7, il tempo impiegato dall'AGV per andare dalle aree di sosta dei componenti nei pressi della linea a quella che si interfaccia con il magazzino è, in media, 7 minuti. Si studia il caso peggiore, quello in cui devono essere approvvigionati i materiali di tutti e tre i carrelli. Il tempo totale impiegato dal magazziniere è pari a 21 minuti circa, mentre quello dell'operatore è pari a circa 5 minuti sia per caricare le cassette vuote sui carrelli che per depositare le cassette piene sulle rulliere. Per portare i carrelli dalla linea alla zona di interfaccia con il magazzino l'AGV deve compiere 5 volte il tragitto (linea – magazzino, poi magazzino – linea – magazzino per due volte), impiegando 35 minuti.

Dal momento che la frequenza di approvvigionamento considerata nel Paragrafo 3.2.1 è pari a un'ora e mezza, si considera come Scenario 1 quello che prevede che la chiamata della linea venga fatta dopo quel lasso di tempo dall'arrivo dei carrelli del giro precedente. Per semplicità si consideri la situazione ad inizio del primo turno (ore 6).

Scenario 1

Alle ore 6 sulle rulliere sono presenti cassette di materiale per coprire due ore lavorative. La frequenza di approvvigionamento è pari a un'ora e mezza quindi entro le ore 7:30 il Team Leader deve aver disposto le cassette vuote sui carrelli, indicato sui cartellini della "lista della spesa" le quantità richieste, recuperato eventuali kanban delle minuterie e chiamato l'AGV. Alle ore 7:37 il primo carrello arriva nella zona di interfaccia con il magazzino. Il tempo impiegato per portare il secondo carrello è pari a 14 minuti, dunque alle 7:51 arriva il secondo carrello nei pressi del magazzino. Il magazziniere sa che alle 7:37 circa deve recarsi nella zona di sosta adiacente al magazzino per togliere dai carrelli le cassette vuote e caricare quelle piene. Nei 14 minuti impiegati dal robot per trasportare il secondo carrello, il magazziniere carica le cassette sul primo carrello, impiegando all'incirca 7 minuti. Alle 7:51 quando arriva il secondo carrello, dà la

missione all'AGV di portare il primo carrello in linea, in modo tale che il robot non effettui un ulteriore giro a vuoto. Alle 7:58 arriva il primo carrello in linea. Alle 8:05 arriva il terzo carrello nei pressi del magazzino e il magazziniere dà la missione per il secondo che nel frattempo ha caricato. Il secondo carrello arriva in linea alle 8:12, mentre il terzo alle 8:26 (robot deve percorrere il tragitto linea – magazzino – linea e impiega 14 minuti). Con questa ipotesi due dei tre carrelli arrivano in linea oltre le due ore, che rappresentano il tempo massimo di copertura assicurata con il pieno carico dei carrelli. In questo scenario, inoltre, il magazziniere passa alcuni minuti ad aspettare l'AGV, infatti il tempo del robot per portare il secondo carrello nei pressi del magazzino è pari a 14 minuti, mentre quello del magazziniere per caricare i materiali è la metà, quindi egli dovrebbe aspettare per 7 minuti l'arrivo del carrello. Il tempo di attesa rappresenta una perdita di efficienza di questo sistema e una perdita di tempo per il magazziniere che potrebbe compiere altre mansioni.

Nella Figura 3.21 è possibile visualizzare la timeline relativa allo Scenario 1. Il carrello 1 è rappresentato dalle linee e dai rettangoli di colore verde, il 2 dal colore azzurro e il 3 dal colore viola. La linea che rappresenta le ore 8 è stata evidenziata in rosso perché indica il termine della copertura di materiale. La riga inferiore è relativa al lavoro svolto dal magazziniere.

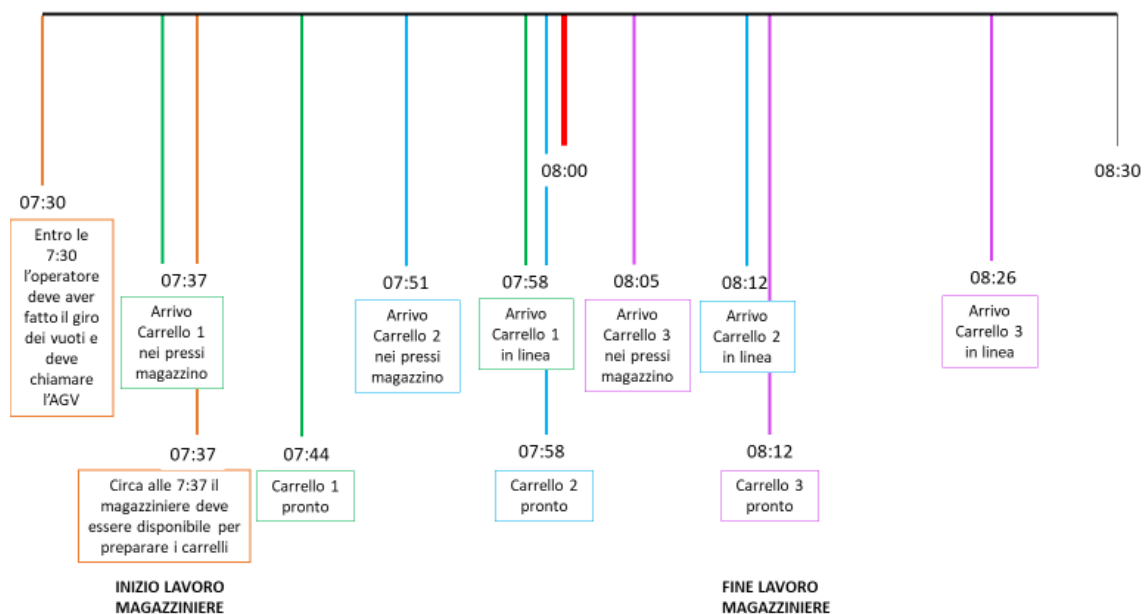


Figura 26.21: Timeline relativa allo Scenario 1

Lo Scenario 1 è stato analizzato e, dopo aver apportato delle modifiche basandosi sui risultati ottenuti, si è giunti allo Scenario 2.

Scenario 2

Dal momento che nello Scenario 1 l'ultimo carrello arriva nei pressi della linea all'incirca 30 minuti dopo il tempo massimo di copertura produttiva, si è deciso di anticipare di quel lasso di tempo l'inizio del giro. La situazione iniziale è la medesima dello Scenario 1. Tra le 7 e le 7:10 il Team Leader recupera le cassette vuote e segna la quantità richiesta di materiale. Dopo aver preso gli eventuali kanban per le minuterie, utilizza il tablet per chiamare l'AGV e fargli portare i carrelli nei pressi del magazzino. Se si suppone che la prima missione venga inviata al robot entro il tempo massimo, cioè alle 7:10, il carrello 1 giunge nella zona di interfaccia con il magazzino alle ore 7:17. Il secondo carrello arriva 14 minuti dopo e quindi alle 7:31. Dal momento che vuole essere azzerato il tempo di attesa del magazziniere, si deve decidere un orario di inizio della mansione che preveda che almeno un carrello sia già presente. Per questo motivo, è stato scelto come intervallo temporale 7:20 / 7:25. Si suppone che egli arrivi alle 7:25. Alle 7:32 termina il primo carrello e può immediatamente iniziare il secondo, che si trova già nelle aree di sosta. Prima di iniziare il carrello 2, il magazziniere seleziona dal tablet la missione del carrello 1. Alle 7:39 arriva il primo carrello in linea, medesimo orario in cui il magazziniere termina il carrello 2. Alle 7:46 il terzo carrello arriva nei pressi del magazzino. Dopo 7 minuti (7:53) il magazziniere ha terminato il terzo carrello e il secondo è arrivato in linea. Alle ore 8:07 anche il carrello 3 è arrivato nell'area di sosta nei pressi della linea. Con questo scenario solo uno dei tre carrelli arriva qualche minuto dopo il termine massimo ed è accettabile perché il numero di componenti presenti nelle varie cassette non è un multiplo esatto di due ore produttive, ma è per tutti i componenti un valore superiore. Per sicurezza, è meglio dare le missioni relative ai carrelli sui quali sono caricati i componenti principali (carrello 2 e carrello 3) per prime e poi quella delle minuterie (carrello 1). Queste ultime, infatti, non vengono approvvigionate considerando una copertura oraria, ma all'occorrenza e i pezzi per scatola sono molto maggiori rispetto a quelli dei componenti principali.

Nella Figura 3.22 è rappresentata la timeline relativa allo Scenario 2. I colori utilizzati sono gli stessi dello Scenario 1 (verde carrello 1, azzurro carrello 2, viola carrello 3). L'unica differenza è rappresentata dalla lunghezza dell'intervallo temporale. Nella Figura 3.21 l'intervallo temporale è tra le 7:30 e le 8:30 mentre nella 3.22 è tra le 7:00 e le 8:07. Anche in questo caso viene indicato con una linea rossa marcata il termine della copertura di materiale.

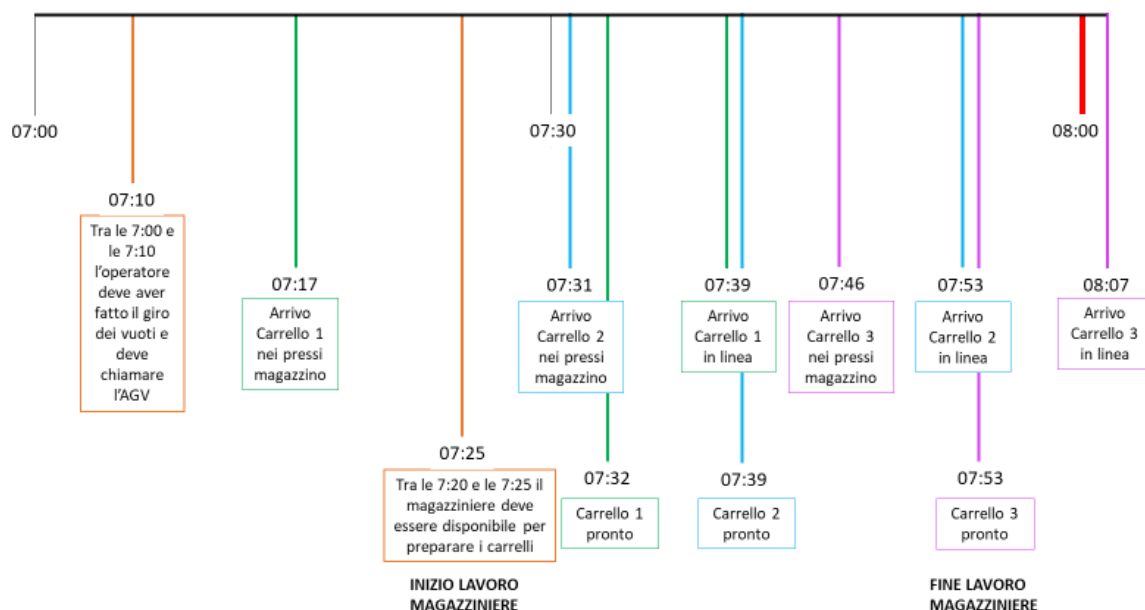


Figura 3.22: Timeline dello Scenario 2

In entrambi gli scenari il magazziniere deve attendere qualche minuto l'arrivo dei carrelli. Nello Scenario 1 deve attendere sia l'arrivo del secondo carrello che l'arrivo del terzo perdendo, in totale, 14 minuti. Nello Scenario 2, invece, il magazziniere aspetta 4 minuti il secondo carrello, ma solo nel caso in cui lui arrivi alle 7:20 e il Team Leader dia le missioni alle 7:10, e poi attende 7 minuti il terzo, perdendo, in totale, 11 minuti circa.

Il secondo scenario risulta migliore del primo sia perché il tempo di attesa da parte del magazziniere è minore sia perché l'arrivo dei carrelli nelle aree di sosta P1, P2 e P3 rispetta il limite di copertura produttiva.

Dopo aver fatto queste considerazioni, è stato stabilito che il giro venga effettuato ogni due ore in modo che tra l'arrivo del materiale del giro precedente e la richiesta per quello successivo vi sia un'ora e un quarto. Gli orari stabiliti sono quelli riportati nella Tabella 3.12.

ORARI PER MAGAZZINIERE							
I TURNO				II TURNO			
7:20/7:25	9:20/9:25	11:20/11:25	13:20/13:25	15:20/15:25	17:20/17:25	19:20/19:25	21:20/21:25

ORARI PER TEAM LEADER							
I TURNO				II TURNO			
7:00/7:10	9:00/9:10	11:00/11:10	13:00/13:10	15:00/15:10	17:00/17:10	19:00/19:10	21:00/21:10

Tabella 3.13: Orari per magazziniere e Team Leader per effettuare giro di approvvigionamento

Aggiungendo le tempistiche relative a questa mansione a quelle ordinarie, si è giunti alla conclusione che questa squadra fosse sovraccarica e dunque si doveva pensare ad una soluzione differente.

Prima di introdurre il nuovo metodo di approvvigionamento delle linee erano state apportate delle modifiche alla seconda squadra: vista la mole di lavoro che dovevano adempiere ed essendo anch'essi inizialmente presenti solo nelle ore del turno centrale, è stata aggiunta una persona alla loro configurazione, raggiungendo la medesima composizione nelle due squadre. Con l'aggiunta della terza persona, l'obiettivo è stato quello di inserire le turnazioni come quelle della prima squadra. Il cambiamento non è stato immediato perché la persona inserita ha dovuto ricevere un training per poter effettuare le mansioni ordinarie e per prendere padronanza nell'utilizzo del gestionale.

A questo punto si è pensato, quindi, di suddividere le due mansioni legate all'AGV tra le due squadre e di farlo per competenza:

- La prima squadra si sarebbe occupata del riapprovvigionamento dei componenti.
- La seconda squadra si sarebbe occupata del cambio box del prodotto finito.

Per quanto riguarda la copertura del servizio a livello di turni lavorativi, la situazione appare differente per le due configurazioni poiché, mentre per il prodotto finito si avevano tutti e tre i turni coperti, per i componenti si aveva una copertura solo del primo e del secondo turno. Si è optato per questa scelta dato che il numero di codici dei componenti è pari a 19 per i sette componenti principali ed è di gran lunga superiore al numero di possibili box per il prodotto finito, che è pari a 7. Inoltre, il tempo impiegato dai magazzinieri della prima squadra per l'approvvigionamento dei materiali (21 minuti circa) è maggiore di quello per il cambio box per il prodotto finito (6 minuti se il box non necessita di essere regettato, 8 se lo necessita). Durante il terzo turno, quindi, gli operatori lavorano con la metodologia precedente (transpallet) almeno fino a quando non verrà introdotto il terzo turno anche per i magazzinieri. Nella situazione attuale, un magazziniere durante il turno notturno non sarebbe molto utile in quanto, oltre ai giri legati all'approvvigionamento del materiale e al cambio box per il prodotto finito, non avrebbe altre mansioni da svolgere. Si valuterà l'eventuale inserimento del terzo turno nel momento in cui i volumi cresceranno e sarà necessario approvvigionare più di una linea e cambiare più box per il prodotto finito.

4. L'AMPLIAMENTO DEL BUSINESS: IL FLUSSO FUTURO

In questo capitolo vengono analizzate le modifiche che devono essere apportate nell'area produttiva analizzata nel Capitolo 3 in seguito all'ampliamento del business produttivo. Nello specifico vengono analizzati i volumi delle e-WP che devono essere prodotte e il numero di linee produttive necessarie, il layout del reparto e del magazzino e le implementazioni che devono essere apportate al sistema di approvvigionamento precedentemente analizzato.

4.1 NECESSITÀ DI NUOVE LINEE PRODUTTIVE

Le linee attuali presenti nel reparto delle e-WP sono due, di cui solo una lavora a pieno regime. La Linea 2 è maggiormente automatizzata rispetto alla 1 e la capacità massima per turno è pari a 1.000 pezzi contro gli 820 della Linea 1. Questi valori sono stabiliti dal tempo ciclo delle macchine e dipendono dal numero di operatori presenti in linea. La Linea 2 è stata costruita per far fronte alla crescita della domanda da parte dei clienti ed è stata installata nel reparto nel secondo semestre del 2018. Per stabilire se queste due linee produttive siano sufficienti per soddisfare le richieste dei clienti attuali e futuri, sono state eseguite delle analisi dei volumi.

4.1.1 Analisi dei volumi attuali e previsione dei volumi futuri

Per privacy aziendale non è possibile citare i vari clienti e inserire i valori esatti dei volumi. Per questo motivo ogni cliente viene indicato con una lettera maiuscola in modo tale da poterli distinguere e i volumi richiesti sono stati rapportati al totale e quindi normalizzati a 100. Per aver chiaro lo sviluppo del business delle Water Pump, che è stato inserito recentemente nell'azienda, è utile analizzare la situazione attuale e la crescita dei volumi che si è verificata negli ultimi anni.

Nel 2017 il reparto delle e-WP era costituito solo dalla Linea 1 e la domanda proveniva sostanzialmente da tre clienti diversi A, B e C. Nella Tabella 4.1 è possibile prendere visione dei volumi richiesti suddivisi tra i vari clienti. Nella seconda colonna sono state riportate le percentuali di e-WP richieste dai vari clienti rispetto al totale e nella terza questi valori sono stati moltiplicati per l'ordine di grandezza del volume totale.

CLIENTE	QUANTITÀ RICHIESTA	PERCENTUALE RISPETTO
	[E-WP/ANNO]	AL TOTALE [%]
	(VALORE ESPRESSO IN MIGLIAIA DI UNITÀ)	
A	75	25
B	9	3
C	216	72
TOTALE	300	100

Tabella 4.14: Volumi 2017

Per stabilire se la Linea 1 sia sufficiente per soddisfare la domanda dei clienti, si deve calcolare la capacità produttiva annuale e per farlo si utilizza la formula seguente:

$$\begin{aligned}
 & \text{Capacità produttiva annuale} \left[\frac{\text{pz}}{\text{anno}} \right] = \\
 & = \text{Capacità produttiva a turno} \left[\frac{\text{pz}}{\text{turno}} \right] \\
 & * \text{Nro turni al giorno} \left[\frac{\text{turni}}{\text{giorno}} \right] \\
 & * \text{Nro giorni lavorativi a settimana} \left[\frac{\text{giorni}}{\text{settimana}} \right] \\
 & * \text{Nro settimane in un anno} \left[\frac{\text{settimane}}{\text{anno}} \right]
 \end{aligned} \tag{1}$$

La capacità produttiva della Linea 1, come scritto precedentemente, è pari a 820 pezzi/turno. Si considera che vengano svolti tre turni per cinque giorni a settimana. Dal momento che le settimane in un anno sono 52, il risultato che si ottiene è pari a:

$$\begin{aligned}
 & \text{Capacità produttiva annuale Linea 1} \left[\frac{\text{pz}}{\text{anno}} \right] \\
 & = 820 \left[\frac{\text{pz}}{\text{turno}} \right] * 3 \left[\frac{\text{turni}}{\text{giorno}} \right] * 5 \left[\frac{\text{giorni}}{\text{settimana}} \right] * 52 \left[\frac{\text{settimane}}{\text{anno}} \right] \\
 & = 639.600 \left[\frac{\text{pz}}{\text{anno}} \right]
 \end{aligned}$$

Il valore ottenuto è di gran lunga superiore alla domanda richiesta dai clienti, che è nell'ordine di 300.000 pezzi/anno, e dunque la Linea 1 è sufficiente per soddisfarla.

Nel 2018, anno in cui è stata introdotta la Linea 2, i volumi sono raddoppiati rispetto all'anno precedente divenendo dell'ordine di 700.000 pezzi/anno. La ripartizione della domanda rispetto ai clienti è cambiata notevolmente rispetto all'anno precedente, così come si è aggiunto un

cliente alla precedente configurazione, D. Egli ha portato con sé nuovi codici di water pump e ha contribuito all'aumento della domanda. Nella Tabella 4.2 è possibile osservare i volumi del 2018.

CLIENTE	QUANTITÀ RICHIESTA	PERCENTUALE RISPETTO AL TOTALE [%]
	[E-WP/ANNO] (VALORE ESPRESSO IN MIGLIAIA DI UNITÀ)	
A	119	17
B	301	43
C	245	35
D	35	5
TOTALE	700	100

Tabella 4.15: Volumi 2018

Nonostante dal confronto fra le percentuali presenti nelle due tabelle possa emergere che i volumi richiesti dai vari clienti siano scesi, si deve prestare attenzione al fatto che questi numeri vengono rapportati a volumi annui diversi. Il 2018 ha un valore quasi pari al doppio di quello del 2017, infatti si passa da 300K a 700K e-WP richieste. Il cliente A ha aumentato la sua richiesta di circa il 60% (passando da 75K a 119K), B l'ha aumentata di 30 volte tanto il valore del 2017 (da 9K si è arrivati a 301K), mentre C l'ha lasciata pressoché invariata (216K nel 2017 contro i 245K del 2018). Nel 2018, la capacità produttiva annuale della Linea 1 viene superata e l'eccesso è stato coperto dalla Linea 2, che, anche se non era ancora abilitata per produrre a pieno regime, poteva aiutare nel soddisfacimento delle esigenze dei clienti.

Nell'anno corrente, 2019, vi è una differenza considerevole con l'anno precedente, infatti i volumi annuali totali sono dell'ordine di grandezza del milione (Tabella 4.3).

CLIENTE	QUANTITÀ RICHIESTA	PERCENTUALE RISPETTO AL TOTALE [%]
	[E-WP/ANNO] (VALORE ESPRESSO IN MIGLIAIA IN UNITÀ)	
A	220	22
B	390	39
C	310	31
D	80	8
TOTALE	1.000	100

Tabella 4.16: Volumi 2019

Il cliente A, nel 2019, ha raddoppiato la sua richiesta di e-WP rispetto all'anno precedente. B e C l'hanno aumentata entrambi all'incirca del 30%, mentre D l'ha resa circa due volte e mezzo superiore. Per tutti i clienti, quindi, si ha un aumento nella richiesta di prodotto.

Nel 2019, la capacità produttiva della Linea 1 è di gran lunga superata, ma si può considerare che la Linea 2 venga utilizzata per il 70% della sua capacità. Per calcolare la capacità massima della Linea 2 si può utilizzare la stessa formula utilizzata per la Linea 1 (1) e il risultato che si ottiene è il seguente:

$$\begin{aligned}
 \text{Capacità produttiva annuale Linea 2} & \left[\frac{pz}{anno} \right] \\
 &= 1.000 \left[\frac{pz}{turno} \right] * 3 \left[\frac{turni}{giorno} \right] * 5 \left[\frac{giorni}{settimana} \right] * 52 \left[\frac{settimane}{anno} \right] \\
 &= 780.000 \left[\frac{pz}{anno} \right]
 \end{aligned}$$

La quantità totale di pezzi che possono essere prodotti con le due linee a pieno regime è pari a:

$$\text{Capacità produttiva annuale} \left[\frac{pz}{anno} \right] = 639.600 + 780.000 = 1.419.600 \left[\frac{pz}{anno} \right]$$

Considerando solo il 70% della capacità totale della Linea 2, i pezzi producibili sono all'incirca 1.185.600 in un anno, valore che assicura la copertura della domanda.

Nel 2019 il business dell'azienda si è ampliato molto rispetto a quello degli anni precedenti e sono stati inseriti due nuovi clienti, E ed F. La richiesta di questi va ad impattare nei volumi degli anni successivi e fa in modo che crescano a dismisura. Nella Tabella 4.4 è possibile prendere nota dei volumi previsti per il 2020. Questa previsione viene fatta considerando sia gli ordini che vengono fissati dai clienti sia quelli previsti in base allo storico. Per avere un'idea dell'ordine di grandezza dei volumi che dovranno essere prodotti, per quanto riguarda i clienti A, B e C si fa una previsione sulla base delle quantità richieste in passato mentre per D, E ed F si considerano i volumi che i clienti hanno promesso di acquistare. Per D non si è considerato lo storico poiché è un cliente introdotto nell'anno 2018 e la variabilità legata alla domanda richiesta nel primo anno è molto elevata.

CLIENTE	QUANTITÀ RICHIESTA	PERCENTUALE RISPETTO
	[E-WP/ANNO] (VALORE ESPRESSO IN MIGLIAIA DI UNITÀ)	AL TOTALE [%]
A	221	13
B	408	24
C	408	24
D	153	9
E	187	11
F	340	20
TOTALE	1.700	100

Tabella 4.17: Volumi previsti per il 2020

Si prevede che i volumi del 2020 aumenteranno all'incirca del 45% rispetto all'anno precedente raggiungendo l'ordine di grandezza di 1.700.000. Questi volumi previsti superano la capacità massima annuale delle due linee già presenti, per questo motivo deve essere inserita una nuova linea produttiva. Questa, che verrà chiamata Linea 3, è ancor più automatizzata rispetto alla Linea 2 e prevede che il numero massimo di persone che possano lavorare al suo interno sia pari a 3. L'output massimo ottenibile risulta lo stesso della Linea 2, 1.000 pezzi/turno. Le linee 2 e 3 al posto di avere, in alcune postazioni di lavoro, gli operatori che assemblano i pezzi per realizzare il prodotto finito, hanno dei robot che eseguono le medesime mansioni. Nella Linea 2 vi è un solo robot, che si occupa di bobinare gli Statori e di inserire al suo interno gli Hook. Le altre 7 postazioni sono occupate da operatori. In sei di queste sette postazioni, vengono assemblati, ciascuno in una determinata macchina, sei dei componenti principali (si veda il Capitolo 3 per l'elenco di questi componenti), mentre la settima postazione è dedicata all'assemblaggio di Rubber Ring e di Protective Cap. Nella Linea 3, invece, saranno presenti più robot rispetto alla 2 e vi saranno solo più 3 postazioni per gli operatori. Nelle previsioni future i volumi aumenteranno ancora, ma non in modo così significativo come negli anni passati appena analizzati. Si può ritenere che rimangano pressoché simili a quelli del 2020.

Dal 2021 nel portafoglio dei clienti se ne andrà ad aggiungere un altro, G, il quale determinerà l'aggiunta di una nuova linea produttiva, la Linea 4.

Nel giro di due anni, quindi, il numero di linee produttive presenti all'interno del reparto dell'e-WP raddoppia e questo cambiamento va ad influire sul layout e sulle considerazioni fatte nel Capitolo 3 riguardante il metodo di approvvigionamento delle linee produttive.

L'analisi dei volumi attuali e futuri è risultata fondamentale per capire verso che tipo di scenario ci si sta muovendo e per capire se gli addetti attualmente presenti all'interno del magazzino siano sufficienti. Si pone l'attenzione su questi perché in produzione è immediatamente conseguente che, nel caso di inserimento di nuove linee, si necessita di nuovo personale. In magazzino questa relazione non è così diretta poiché, come si è visto nel Paragrafo 3.4.2, le nuove mansioni legate all'AGV sono state affidate a personale già presente in azienda. Ciò è stato possibile poiché il tempo da dedicare a queste attività non incideva sulle altre, ma se la frequenza di queste aumenta, non è da escludere che si necessiti di nuovo personale.

4.1.2 Implicazioni derivanti dall'ampliamento del business dell'e-WP

L'ampliamento del business produttivo ha portato con sé anche delle modifiche a livello di prodotti realizzati e di componenti necessari. Nel 2017 le richieste dei due clienti, A e B, erano relative a 6 codici di prodotto finito, due per A e quattro per B. Due anni dopo, nel 2019, la situazione è cambiata notevolmente, infatti i clienti richiedevano un maggior numero di prodotti, come visionabile in Tabella 4.5.

CLIENTE	NUMERO DI E-WP DIFFERENTI RICHIESTE [CODICI]
A	4
B	6
C	4
D	3
TOTALE	17

Tabella 4.18: Corrispondenza tra cliente e codici richiesti nel 2019

Ognuno di questi prodotti finiti porta con sé una distinta base che, anche se è unica per ogni e-WP, presenta alcuni componenti comuni a più water pump. La possibilità di utilizzare materie prime per più di un prodotto finito deriva dal fatto che le e-WP prodotte inizialmente appartengono a due classi di potenza diversa, una più piccola, 50W, e una più grande, 80W. Statore, Rotore e Voluta sono componenti che si differenziano in base alla potenza dell'e-WP, mentre Shaft + Housing, Wet Sleeve e Cap Housing sono comuni a tutti i codici. L'ECU è l'unico componente che è unico per ciascun codice di prodotto finito.

Per realizzare queste 17 e-WP, sono necessari 21 codici differenti per i componenti principali e 17 codici di minuterie. Ad esclusione delle ECU, che devono essere ubicate all'interno in modo che nella cassetta non entrino delle polveri che danneggerebbero il circuito elettronico, tutti gli altri materiali sono stoccati nella zona di carico dei componenti (Figura 3.6). La suddetta area si trova nel magazzino, al cui interno transitano anche i carrelli elevatori, che possono portare con sé del pulviscolo dal momento che transitano anche in zone all'aperto.

Nel 2020, si andranno ad aggiungere alla configurazione attuale due clienti, E ed F, che porteranno con sé l'ingresso di nuove e-WP da produrre. Per visualizzare la situazione che si avrà si veda la Tabella 4.6.

CLIENTE	NUMERO DI E-WP DIFFERENTI RICHIESTE [CODICI]
A	4
B	6
C	4
D	3
E	6
F	3
TOTALE	26

Tabella 4.19: Corrispondenza cliente-numero di e-WP richieste nel 2020

Con l'ingresso di E ed F il numero di prodotti finiti è aumentato di nove e-WP, ma ciò che ha subito una notevole modifica è la lista di componenti, che è mutata notevolmente. Infatti, le nuove water pump necessitano di un gran numero di nuovi codici: i componenti principali da dover aggiungere a quelli presenti sono pari a 35, mentre le minuterie da aggiungere sono 6. Questo aumento considerevole è dovuto al fatto che le e-WP che sono state introdotte hanno potenza notevolmente differente rispetto a quelle già in produzione e, di conseguenza, anche le dimensioni sono diverse.

4.2 IL LAYOUT ATTUALE DEL MAGAZZINO

Le modifiche apportate al numero di water pump prodotte portano con sé anche dei cambiamenti a livello di layout. Per capire se è possibile modificare la configurazione, è necessario aver chiara la situazione attuale. Il magazzino illustrato nella Figura 3.17 si suddivide in due parti: una dedicata ai componenti (zona di approvvigionamento dei materiali) e una dedicata al prodotto finito. Nella Figura 4.1 viene riportata questa configurazione. La linea tratteggiata in verde indica il perimetro del magazzino, mentre il rettangolo rosso indica il portone che mette in collegamento quest'area con il reparto.

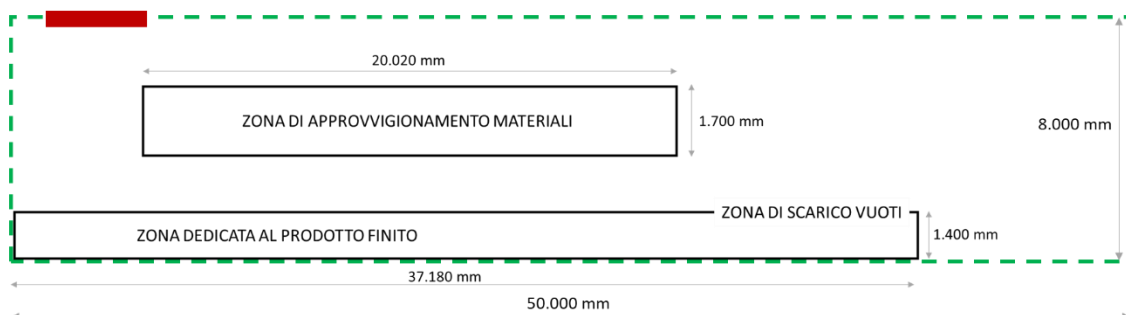


Figura 4.27: Layout attuale del magazzino

4.2.1 Analisi magazzino dedicato ai componenti

L'analisi primaria viene effettuata sui componenti. Come evidenziato nel Paragrafo 4.1.2, il numero di codici di materie prime necessari per realizzare le water pump richieste è pari a 21. Sei codici su ventidue sono relativi alle ECU, che devono essere stoccate all'interno. Per queste è stato predisposto uno scaffale con quattro posti pallet destinati al picking, due per ciascuna linea. Ne sono stati predisposti due in modo tale che possano essere gestiti i cambi produzione e la copertura del turno notturno. Infatti, in questo modo, è possibile ubicare in una delle due postazioni un pallet di scorta con lo stesso codice oppure un pallet con il codice nuovo che deve essere utilizzato di lì a poco. Per gli altri 15 codici, è necessario trovare un'ubicazione in magazzino. La differenza tra numero di water pump da produrre e numero di componenti principali necessari è dovuta alle due tipologie di potenza dell'e-WP che possono essere prodotte. Per capire meglio la disposizione dei vari componenti nel magazzino si veda la Figura 4.2, che è un ingrandimento della zona di approvvigionamento dei materiali della Figura 4.1.

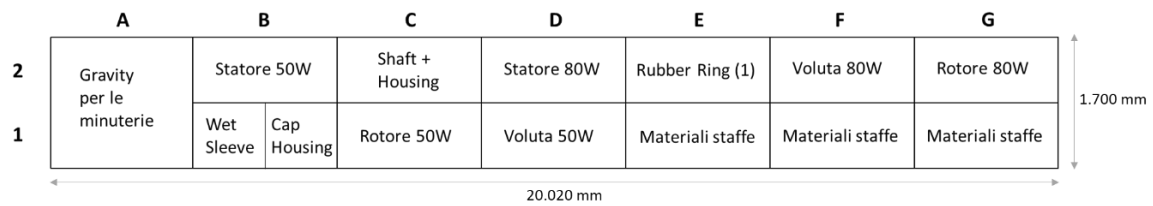


Figura 4.28: Focus zona di approvvigionamento materiali

La figura riporta la vista in pianta della zona di carico componenti in magazzino, chiamata anche area di picking, ed è l'area attorno alla quale il magazziniere spinge il carrello del Tugger Train per approvvigionare il materiale in linea. La zona è composta da due scaffali, che vengono differenziati tramite un numero. Entrambi si suddividono in sette campate, indicate con lettere, ciascuna delle quali ha una larghezza di 270 cm, profondità 85 cm e altezza 155 cm. All'interno di ciascuna campata è possibile disporre due pallet di dimensioni 120 cm * 80 cm, entrambi posizionati sul lato lungo. La pedana di ciascun componente viene adagiata su un altro pallet così da avere due bancali uno sull'altro. È stato inserito questo secondo pallet, che presenta le traverse sul lato corto (Figura 4.3), per permettere di inforcare i bancali al secondo piano anche con un transpallet e dunque in caso di emergenza anche i Team Leader della linea possono disporre nell'area di picking del materiale di cui necessitano.



*Figura 4.29: Pallet con dimensioni europee (1.200mm*800mm) senza traverse frontali [44]*

Mentre nelle campate B, C e D sono presenti esclusivamente i componenti principali delle e-WP che vengono utilizzati nelle linee 1 e 2, nelle campate E, F e G sono presenti anche altri componenti, che vengono utilizzati nella precedentemente citata Linea ST. A differenza di queste campate in cui lo scaffale è tradizionale (il classico portapallet), nella campata A è presente uno scaffale a gravità sul quale vengono disposti i codici delle minuterie ed occupa entrambe le file. Al di sopra dell'area di picking, gli scaffali presentano altri due piani orizzontali sui quali vengono stoccati i pallet di materiali di scorta, prelevati in caso di necessità.

Come si può notare dalla Figura 4.2, per assicurare la presenza di materiale, sono stati predisposti due posti pallet per alcuni codici poiché i magazzinieri non lavorano nel turno di notte mentre la linea produttiva sì.

Non considerando il materiale per le staffe che non viene utilizzato per la realizzazione delle water pump, ma utilizzato nella Linea ST, dalla Figura 4.2 si può constatare che sono presenti solo 10 codici differenti anche se quelli necessari sarebbero 15. Uno tra i codici mancanti è rappresentato dai Protective Cap le cui scatole vengono stoccate sul gravity delle minuterie. Si è optato per questa scelta perché i pezzi per scatola del componente sono molti (2.000 pz/scatola) e dedicare a questo codice un posto pallet intero porterebbe a una grande quantità di pezzi stoccati in magazzino. Gli altri quattro codici mancanti sono:

- Due codici di Rubber Ring (Rubber Ring (2) e Rubber Ring (3)).
- Impeller: girante che viene montata sul rotore; è utilizzato solo per tre codici di water pump che vengono prodotti principalmente sulla Linea 2.
- Rotore da assemblare (RA): parte mobile del motore elettrico che deve essere assemblata con l'impeller.

Questi quattro codici vengono utilizzati solo saltuariamente e per questo non viene dedicato loro un posto pallet. La decisione crea dei problemi perché tutte le volte che la linea necessita di uno tra questi materiali il magazziniere deve prendere il pallet stoccato nei piani più alti dello scaffale, prelevare le scatole di cui necessita e riportarlo dove lo ha preso. Ciò porta, però, ad una perdita di efficienza. Dal momento che molti codici occupano due posti pallet nell'area di picking e non ci sono postazioni libere per questi tre, si deve capire se è possibile togliere qualche postazione doppia per inserire quelle mancanti.

Focus sullo spazio occupato dai vari codici in magazzino

Per capire quali posti pallet possano essere liberati nell'area di picking, si deve calcolare la quantità di materiale presente in una pedana completa. Per far ciò si usa la formula seguente:

$$\begin{aligned}
 \text{Numero di pezzi per pedana} \left[\frac{pz}{pallet} \right] &= \\
 &= \text{Numero di pezzi per scatola per componente} \left[\frac{pz}{scatola} \right] \\
 &\quad * \text{Numero di scatole per piano} \left[\frac{scatole}{piano} \right] \\
 &\quad * \text{Numero di piani per pallet} \left[\frac{piani}{pallet} \right]
 \end{aligned} \tag{2}$$

I risultati che si ottengono sono riportati nella Tabella 4.7.

Componente	Pezzi per scatola [pz/scatola]	Scatole per piano [scatole/piano]	Piani per pallet [piani/pallet]	Pezzi per pedana [pz/pallet]	Dimensioni scatole componenti (lu*la*h) [cm]
Statore 50W	24	8	13	2.496	40*30*5
Statore 80W	24	8	11	2.112	40*30*6
Shaft + Housing	132	4	3	1.584	60*40*26
Rotore 50W	42	6	10	2.520	40*40*6
Rotore 80W	42	6	8	2.016	40*40*6
Wet Sleeve	400	4	2	3.200	60*40*40
Voluta 50W	250	4	2	2.000	60*40*40
Voluta 80W	250	4	2	2.000	60*40*40
Cap Housing	200	4	4	3.200	60*40*30
Rubber Ring (1)	240	4	2	1.920	60*40*40

Tabella 4.20: Numero di pezzi per pallet per i componenti principali presenti nella zona di picking

A questo punto si deve stabilire se i pezzi a disposizione siano sufficienti per coprire un turno. Tenzialmente, si cerca di produrre water pump con potenza pari a 80W sulla Linea 1 e pari a 50W sulla Linea 2. Si deve prestare maggiore attenzione ai componenti comuni ad entrambe le tipologie di e-WP prodotte (Shaft + Housing, Wet Sleeve, Cap Housing). A questi si devono aggiungere anche la Voluta 80W e lo Statore 80W. Infatti, per i codici richiesti dal cliente D, pur essendo questi delle e-WP con potenza 50W, la voluta e lo statore da utilizzare sono quelli da 80W. Anche il rotore utilizzato non è quello da 50W, ma quello da assemblare (RA) e dunque si necessita anche dell'Impeller. Anche il codice della Rubber Ring può essere utilizzato contemporaneamente per un prodotto della Linea 1 e per uno della Linea 2.

I codici di componenti da analizzare sono dunque:

- Statore 80W.
- Shaft + Housing.
- Wet Sleeve.
- Voluta 80W.
- Cap Housing.
- Rubber Ring (1).

Per determinare se è possibile ridurre il numero di posti pallet per i suddetti codici, si deve verificare se la quantità a disposizione è sufficiente a coprire la produzione di un turno per entrambe le linee supponendo che entrambe lavorino a pieno regime. Il numero di componenti necessari è pari alla somma delle capacità produttive delle due linee:

$$\begin{aligned}
 \text{Numero di pezzi necessari } \left[\frac{pz}{turno} \right] &= \\
 &= \text{Capacità produttiva Linea 1} \\
 &+ \text{Capacità produttiva Linea 2} = \\
 &= 820 + 1.000 = 1.820 \frac{pz}{turno}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

A questo punto è possibile stabilire il numero di posti pallet necessari per coprire un turno. Nella Tabella 4.8 i pallet in un turno sono stati calcolati facendo il rapporto tra i pezzi prodotti in un turno e i pezzi per pedana.

COMPONENTE	PEZZI TOTALI PRODOTTI IN UN TURNO [PZ/TURNO]	PEZZI PER PEDANA [PZ/PALLET]	PALLET IN UN TURNO [PALLET/TURNO]
STATORE 80W	1.820	2.112	0,86
SHAFT + HOUSING	1.820	1.584	1,15
WET SLEEVE	1.820	3.200	0,57
VOLUTA 80W	1.820	2.000	0,91
CAP HOUSING	1.820	3.200	0,57
RUBBER RING (1)	1.820	1.920	0,95

Tabella 4.21: Numero di pallet necessari in un turno per i componenti comuni

Come si può notare dalla Tabella 4.8, Wet Sleeve e Cap Housing assumono un valore molto inferiore all'unità e dunque un posto pallet per ciascuno è più che sufficiente. Già nella configurazione attuale dell'area di picking è stato dedicato loro un solo posto pallet, quindi questo calcolo va a confermare la scelta presa in precedenza. Per quanto riguarda gli Shaft + Housing, invece, una pedana completa non è sufficiente, quindi devono essere predisposti due posti pallet.

È possibile fare delle analisi sui valori che si avvicinano all'unità, in particolare per Statore 80W e Voluta 80W. Per entrambi i codici si vuole capire se, in caso la quantità di componente presente nell'area di picking sia pari a metà pallet, essa sia sufficiente per coprire un turno. È stato considerato questo scenario poiché, nel caso in cui si abbia metà pallet a fine turno, si vuole verificare se la quantità sia sufficiente per coprire il turno notturno. Ci si è posti in una situazione intermedia tra il pallet completo e quello quasi terminato, che è la situazione più realistica.

La pedana dello Statore 80W è completa con 11 piani di blister (Tabella 4.7), quindi averne metà significa 5 piani (il risultato non cambia molto se si considera 6). Il numero di pezzi a disposizione è pari a:

$$\begin{aligned}
 \text{Numero di pezzi per mezza pedana} \left[\frac{pz}{pedana} \right] &= \\
 &= 24 \left[\frac{pz}{blister} \right] * 8 \left[\frac{blister}{piano} \right] * 5 \left[\frac{piani}{pallet} \right] \\
 &= 960 \frac{pz}{pedana}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Il valore ottenuto è inferiore alla quantità minima richiesta per un turno (1.820), ciò significa che per coprire un turno bisognerebbe avere un pallet quasi completo. Avere sempre questa configurazione a ridosso dell'inizio del turno notturno non può essere una situazione reale, quindi per evitare dei problemi, è preferibile lasciare anche per questo componente due posti pallet. Un discorso analogo vale per la Voluta 80W poiché il suo valore nella Tabella 4.8 si avvicina maggiormente a 1 rispetto a quello dello Statore 80W. Il numero di pezzi che risulta da metà pedana è:

$$\begin{aligned}
 \text{Numero di pezzi per mezza pedana} \left[\frac{pz}{pedana} \right] &= \\
 &= 250 \left[\frac{pz}{scatola} \right] * 4 \left[\frac{scatole}{piano} \right] * 1 \left[\frac{piani}{pallet} \right] = 1.000 \frac{pz}{pedana}
 \end{aligned}$$

Anche in questo caso una mezza pedana non è sufficiente per coprire un intero turno e quindi non è possibile ridurre il numero di posti pallet, così come per la Rubber Ring (1), il cui numero di pezzi risultanti per metà pedana è pari a:

$$\begin{aligned}
 \text{Numero di pezzi per mezza pedana} \left[\frac{pz}{pedana} \right] &= \\
 &= 240 \left[\frac{pz}{scatola} \right] * 4 \left[\frac{scatole}{piano} \right] * 1 \left[\frac{piani}{pallet} \right] = 960 \frac{pz}{pedana}
 \end{aligned}$$

Dopo aver effettuato l'analisi sui componenti comuni e constatato che non sia possibile ridurre il numero di posti pallet, si deve valutare se è possibile ridurre quello dei componenti specifici in base alla potenza. Come per i componenti comuni, si calcola il numero di pallet necessari per coprire un turno. Nella seconda colonna della Tabella 4.9 viene indicato il numero di pezzi prodotti in un turno: 820 pz/turno se quel componente viene utilizzato sulla Linea 1 ed ha una potenza di 80W, 1.000 pz/turno se viene utilizzato sulla Linea 2 ed ha una potenza di 50W.

I risultati che derivano dalla Tabella 4.9 mostrano che per questi quattro componenti il numero di pallet necessari in un turno è all'incirca 0,5 e dunque metà pedana.

COMPONENTE	PEZZI PRODOTTI IN UN TURNO [PZ/TURNO]	PEZZI PER PEDANA [PZ/PALLET]	PALLET IN UN TURNO [PALLET/TURNO]
ROTORE 80W	820	2.016	0,41
ROTORE 50W	1.000	2.520	0,40
STATORE 50W	1.000	2.496	0,40
VOLUTA 50W	1.000	2.000	0,5

Tabella 4.22: Numero di posti pallet necessari per i componenti non comuni

Questi quattro componenti attualmente occupano, ciascuno, due posti pallet all'interno dello scaffale. Dal momento che i valori ottenuti nella Tabella 4.9 sono inferiori o uguali a 0,5, si deve considerare la condizione peggiore: è presente nell'area di picking una quantità inferiore a quella necessaria per coprire un turno lavorativo e si dovrebbe posizionare una pedana intera di materiale al di sotto delle scatole avanzate. Per valutare se è possibile ridurre lo spazio occupato, si valuta la condizione in cui vi sia solo più un quarto di pedana e si calcola se è presente sufficiente spazio all'interno della campata per disporre una pedana completa con le cassette rimaste al di sopra. È stato scelto un quarto di pallet perché, per coprire un intero turno lavorativo, è sufficiente circa metà pedana per questi codici e si vuole analizzare la situazione in cui sia disponibile solamente metà della quantità necessaria. Se, in questa configurazione, è possibile disporre nell'area di picking un pallet intero e adagiare sopra le cassette rimaste, assicurando la copertura lavorativa del turno, allora è possibile ridurre il numero di posti pallet.

Da esempio, si prenda la Voluta 50W. Dal momento che il numero di piani per una pedana completa è pari a 2 (Tabella 4.7), si considera il caso in cui ci sia un piano soltanto. Con la formula (4), si calcola la copertura assicurata da un piano solo di cassette:

$$\begin{aligned}
 &\text{Numero di pezzi per un piano di pedana} \left[\frac{pz}{pedana} \right] \\
 &= 250 \left[\frac{pz}{scatola} \right] * 4 \left[\frac{scatole}{piano} \right] * 1 \left[\frac{piani}{pallet} \right] = 1.000 \frac{pz}{pedana}
 \end{aligned}$$

Questo valore coincide con quello della capacità massima della linea in cui viene utilizzato, la Linea 2. Non vi è margine di sicurezza in questa configurazione, quindi si deve valutare se l'altezza dell'area di picking possa ospitare questo pallet quasi terminato e una pedana completa di altezza pari a:

$$\begin{aligned}
\text{Altezza pedana completa [cm]} &= \text{Altezza pallet} + \\
&+ \text{Altezza cassetta} * \text{numero di piani} = \\
&= 15 + 40 * 2 = 95 \text{ cm}
\end{aligned}
\tag{5}$$

L'altezza del pallet è standard, mentre quella della cassetta dipende dal tipo di componente e il valore è stato ricavato dalla Tabella 4.7. Come detto precedentemente, al di sotto del pallet della pedana è disposto un pallet con le traverse disposte sul lato più corto, quindi si deve tener conto anche di questa altezza. Per verificare che un piano di cassette e una pedana completa possano essere ubicate all'interno della campata, si deve avere uno spazio occupato minore di quello della campata.

$$\begin{aligned}
\text{Altezza totale [cm]} &= \text{Altezza pallet senza traverse} \\
&+ \text{Altezza pedana completa} \\
&+ \text{Altezza di un piano di cassette} \\
&= 15 + 95 + 40 = 150 \text{ cm}
\end{aligned}
\tag{6}$$

Dal momento che l'altezza totale è minore di quella della campata (155 cm), è possibile disporre la pedana completa di materiale al di sotto delle cassette avanzate ed avere copertura assicurata per un turno lavorativo. Le cassette avanzate vengono posizionate al di sopra del pallet completo per rispettare il FIFO. Infatti, quelle rimaste devono essere prelevate per prime: si dispone il pallet completo al posto di quello incompleto nell'area di picking e le cassette rimaste vengono adagiate sopra alle cassette del nuovo bancale. Arrivati a queste considerazioni, si può dedurre che un posto pallet possa essere liberato.

Si procede in maniera analoga per gli altri tre componenti e la formula utilizzata per calcolare l'altezza di un quarto di pedana completa più una intera è la seguente:

$$\begin{aligned}
\text{Altezza totale [cm]} &= \text{Altezza pallet senza traverse} \\
&+ \text{Altezza pedana completa} \\
&+ \text{Altezza un quarto di pedana (solo scatole)}
\end{aligned}
\tag{7}$$

I risultati ottenuti sono:

- Rotore 80W: 90 cm.
- Rotore 50W: 108 cm.
- Statore 50W: 115 cm.

Dato che anche per questi componenti l'altezza non supera quella della campata e una pedana completa è più che sufficiente per soddisfare la copertura di un turno, si può dedurre che sia possibile ridurre il numero di posti pallet occupati. Liberando questi posti pallet si trova un'ubicazione per i quattro componenti che non avevano un'allocazione prestabilita (Rubber Ring (2), Rubber Ring (3), Impeller e Rotore da assemblare).

Tali calcoli non sono stati effettuati per i componenti comuni poiché la quantità minima di pallet per coprire un turno lavorativo è, per quasi tutti, molto vicina all'unità (Tabella 4.8) e dunque deve esserci sempre almeno una pedana completa.

4.2.2 Analisi magazzino dedicato al prodotto finito

L'area destinata al prodotto finito illustrata nella Figura 4.1 ospita uno scaffale porta pallet a tre piani in cui vengono stoccati sia i box vuoti che quelli pieni. Nella Figura 4.4 è stato raffigurato in modo più dettagliato questo scaffale, che è formato da 13 campate da tre piani ciascuna. La larghezza della campata è pari a 270 cm per 140 cm di profondità e l'altezza di ogni vano è 155 cm.

Con il termine box si intende una scatola singola posta su paletta.

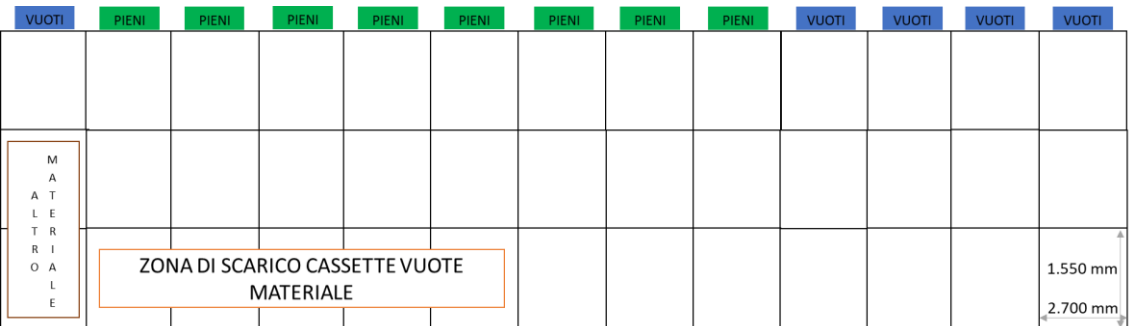


Figura 4.30: Area del magazzino destinata al prodotto finito

Gli imballi del prodotto finito variano a seconda dell'e-WP realizzata, infatti per i diversi prodotti si possono avere 5 box differenti di cui vengono riportate le dimensioni nella Tabella 4.10. Dal momento che non possono essere indicati i codici dei vari box, sono stati denominati con una lettera maiuscola (B) e un numero progressivo.

IMBALLO	LUNGHEZZA [CM] (LATO INFORCO)	LARGHEZZA [CM]	ALTEZZA [CM]
B1	82	77	64
B2	80	74	62
B3	80	60	76
B4	100	120	102
B5	80	120	72

Tabella 4.23: Dimensioni box prodotto finito

I box, oltre ad avere dimensioni differenti, possono essere realizzati in materiali differenti: B1 e B5 sono in cartone, mentre B2, B3 e B4 sono in plastica. Per B2 e B5 il pallet su cui si adagia il box è di legno, per B4 è di plastica, mentre per B1 e B3 non è necessaria una pedana di appoggio in quanto è già compresa nella base del box stesso.

All'interno del vano, i box vengono disposti lungo il lato dell'inforco (Lunghezza) in modo tale che il magazziniere possa prelevare e stoccare agevolmente i pallet anche con un transpallet. A seconda delle dimensioni, possono essere ubicati più o meno pallet all'interno di un vano. Si deve calcolare il numero di box che è possibile posizionare lungo tutte e tre le dimensioni e si utilizza la seguente formula:

$$\text{Numero di box in lunghezza} = \frac{\text{Lunghezza campata}}{\text{Lunghezza box}} \quad (8)$$

Per B1 si ha

$$\text{Numero di box in lunghezza} = \frac{270 \text{ cm}}{82 \text{ cm}} = 3,29 \rightarrow 3 \text{ box}$$

Dal momento che non è possibile stoccare un numero decimale di box, il valore ottenuto deve essere arrotondato per difetto. La formula utilizzata per calcolare il loro numero in larghezza e in altezza è nuovamente la (8), cambiando i dati di input.

$$\text{Numero di box in altezza} = \frac{155 \text{ cm}}{64 \text{ cm}} = 2,42 \rightarrow 2 \text{ box}$$

$$\text{Numero di box in larghezza} = \frac{140 \text{ cm}}{77 \text{ cm}} = 1,81 \text{ box}$$

Per quanto riguarda i box in altezza, il ragionamento da seguire è il medesimo di quello per i box in lunghezza e dunque il valore ottenuto deve essere arrotondato per difetto. In entrambi i casi, infatti, la dimensione massima è delimitata dai montanti e dai ripiani. Un discorso differente vale per il numero di pallet stoccabili in larghezza poiché il pallet può debordare un po' dallo scaffale,

l'importante è che sia sempre in sicurezza e che non rischi di cadere. Questo valore non deve superare la quinta parte della larghezza stessa del box. Si deve capire se, stoccando due box, si vada incontro a qualche problema oppure no.

$$\text{Larghezza due box B1} = 77 * 2 = 154 \text{ cm}$$

Il box non sarebbe appoggiato sul ripiano dello scaffale per circa 14 cm, che è un valore inferiore alla quinta parte della larghezza ($77 : 5 = 15,4 \text{ cm}$). Come dimostrato dalla pratica corrente, non essendoci problemi di stabilità, è possibile stoccarne due anche in larghezza. Per determinare il numero di box contenuti all'interno di un vano, si fa il prodotto tra i tre risultati ottenuti, formula (9).

$$\begin{aligned} \text{Numero di box totali in un vano} \\ &= \text{Numero di box in lunghezza} \\ &\quad * \text{Numero di box in larghezza} \\ &\quad * \text{Numero di box in altezza} \end{aligned} \quad (9)$$

Si procede in maniera analoga anche per gli altri box e, utilizzando la formula (9), si ottengono i risultati riportati nella Tabella 4.11.

IMBALLO	NUMERO DI BOX IN LUNGHEZZA	NUMERO DI BOX IN LARGHEZZA	NUMERO DI BOX IN ALTEZZA	NUMERO DI BOX TOTALI NEL VANO
B1	3	2	2	12
B2	3	2	2	12
B3	2	2	2	8
B4	2	1	1	2
B5	3	1	1	3

Tabella 4.24: Numero di pallet stoccabili all'interno di un vano

Nella configurazione della Figura 4.4, i box vuoti vengono stoccati in vani prestabiliti. Come per le materie prime, si è cercato di capire se fosse possibile ridurre il numero di vani per i box vuoti e lasciare maggior spazio al prodotto finito. Nella Figura 4.5 viene riportato un ingrandimento delle ultime 4 colonne a destra della Figura 4.4 destinate ai box vuoti.

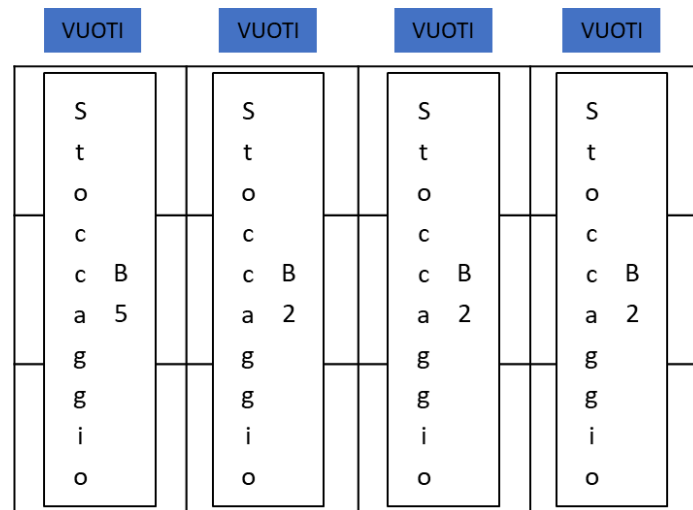


Figura 4.31: Focus colonne dello scaffale destinate ai box vuoti

Inizialmente il box B3 non era presente tra quelli utilizzati e le tre colonne a destra erano utilizzate solo per B2. Nella quarta colonna da destra erano stoccati i B5, mentre i B1 e una parte dei B4 erano ubicati in un'area non lontana dallo scaffale della Figura 4.4 (area tratteggiata in blu nella Figura 4.6).

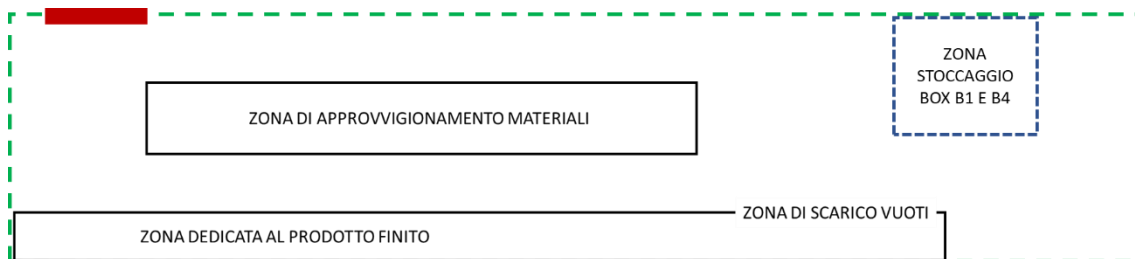


Figura 4.32: Magazzino e-WP con zona di stoccaggio box B1 e B4

In caso di utilizzo di queste ultime due tipologie, il magazziniere posiziona dei box vuoti davanti alle file di B2 lasciando comunque il passaggio per prelevarle. Nel vano dei vuoti più a sinistra della Figura 4.4 venivano stoccati ulteriori B2. Con l'introduzione di B3 si è dovuto capire come ridurre il numero di vani occupati dalle tipologie attuali perché non era possibile ridurre quello dedicato ai box pieni. Dal momento che i B2 sono i box che occupano la maggior quantità di spazio, si deve capire se è possibile ridurre lo spazio occupato. Questi box possono ospitare quattro diversi codici di prodotto finito e il numero di sedi al loro interno varia a seconda del codice, il cui numero massimo è pari a 90, mentre il minimo a 60. Quelli dedicati a ciascun codice sono 36 (3 file per 3 piani). Se si riducesse il valore portandolo a 24, si avrebbero 2 file per ciascun codice e si libererebbe una campata intera. Questi box vengono approvvigionati con una navetta che effettua due giri al giorno, uno alle ore 11 e uno alle ore 17. Bisogna verificare se 24 box B2

con numero di sedi minimo riesca a coprire l'intervallo di tempo tra una consegna e l'altra. Questi box vengono utilizzati dalla Linea ST e dunque la capacità massima per turno è pari a 720 pz/turno. Nelle 18 ore tra il giro del pomeriggio e quello del mattino del giorno successivo il numero di e-WP che possono essere prodotte è pari alla somma tra il numero producibile in due turni (16 ore) e quello in due ore.

Numero di e – WP producibili in 18 ore

$$\begin{aligned}
 &= \text{Capacità massima per turno} \\
 &\quad * 2 \text{ turni} \\
 &+ \frac{\text{Capacità massima per turno} * 2h}{8h} \\
 &= 720 * 2 + \frac{720 * 2}{8} = 1.620 \text{ pz}
 \end{aligned} \tag{10}$$

Nella (10) il numero di e-WP prodotte in 2 ore lavorative è stato calcolato come proporzione della quantità massima producibile in un turno. La quantità disponibile con 24 box è pari a 1.440 pz, valore inferiore a quello richiesto, ma coincidente con quello relativo a due turni di capacità produttiva a pieno regime. Per questo motivo devono essere modificati gli orari di approvvigionamento dei pallet. Si potrebbe anticipare di due ore il giro mattutino e posticipare di un'ora quello pomeridiano. Così facendo tra le 9 e le 18 la copertura viene mantenuta poiché il tempo che intercorre è pari a poco più di un turno, mentre tra le 18 e le 9 del giorno successivo intercorrono poco meno di due turni lavorativi e dunque 24 box sono sufficienti in entrambi i casi. Si può concludere che una campata possa essere liberata in modo tale da disporre al suo interno i box B3, ottenendo la configurazione della Figura 4.7.

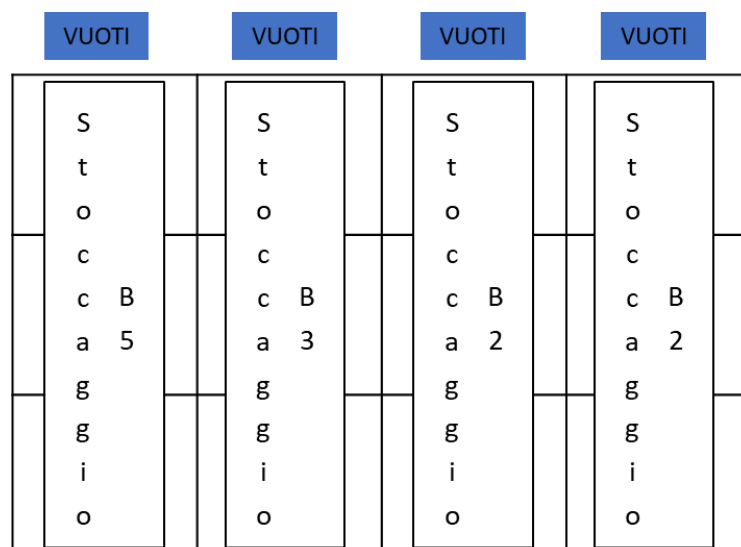


Figura 4.33: Nuova disposizione dei box vuoti

4.2.3 Problematiche derivanti dal nuovo flusso produttivo

Con l'ingresso dei nuovi clienti E, F e G nel business delle e-WP si va incontro a problemi di spazio sia all'interno del magazzino che del reparto. Come visto nei Paragrafi 4.2.1 e 4.2.2, lo spazio in magazzino è limitato: per i componenti i vari posti pallet sono stati disposti secondo le esigenze attuali e non vi sono spazi liberi per inserire i nuovi codici derivanti dalle nuove water pump prodotte. Per il prodotto finito non si ha molto margine e le e-WP derivanti da due nuove linee produttive non potrebbero essere stoccate sugli scaffali attuali, ma si necessita di nuovo spazio. I codici richiesti da E ed F verranno riposti in box B4, quindi si deve anche capire come ottimizzare lo spazio sullo scaffale che attualmente, per questo tipo di pallet, non è ottimizzato. Un altro problema legato a questa tipologia di box è dato dal fatto che i carrelli trainati dall'AGV, al momento, sono stati realizzati per trasportare box con dimensioni massime pari all'euro pallet (800 mm * 1200 mm) e dunque non sono adatti per i box B4 (di dimensioni 1000 mm * 1200 mm). Dal momento che si va verso questa tipologia di box, si deve capire anche come modificare la logica attuale per poterli trasportare in linea. Al momento, i B4 vengono utilizzati principalmente per la Linea 2, ma si utilizzano anche per la Linea 1. Quando si utilizzano per quest'ultima, non si utilizza l'AGV per il trasporto, ma è il Team Leader che trasporta i pallet con l'ausilio di un transpallet elettrico.

Oltre a questi problemi di movimentazione dei materiali, si hanno anche problemi legati al personale del magazzino. In reparto non si pongono le medesime questioni poiché la costruzione di una nuova linea produttiva implica l'assunzione di nuovi operatori. Questa conseguenza non è così immediata per i magazzinieri. Come illustrato nel Paragrafo 3.4.2, le mansioni legate all'AGV sono state assegnate al personale che era già presente all'interno dell'azienda. Aggiungendo nuove linee produttive si deve capire se le due squadre che si occupano attualmente di queste mansioni siano sufficienti per adempierle o se risulta necessario assumere altro personale che si dedichi esclusivamente del cambio box per il prodotto finito e del carico del materiale richiesto.

Se alla Tabella 3.8 si vanno ad aggiungere la Linea 2 e le nuove linee e si ipotizza che queste abbiano una capacità produttiva massima coincidente con quella della 2, si ottiene la Tabella 4.12, in cui si può prendere visione del numero di cambio box che devono essere effettuati in un turno. Per la Linea 2 vengono utilizzate due sole tipologie diverse di box: la prima ospita 256 water pump (B5), la seconda 360 (B4). Per quanto riguarda la Linea 3, anche se viene utilizzato un solo tipo di imballo (B4), il caso migliore e peggiore non coincidono. Il caso migliore è quello in cui venga utilizzato l'imballo con il maggior numero di sedi rispetto a quelli utilizzabili in quella

determinata linea. In questo caso i box prodotti hanno un valore inferiore rispetto al caso peggiore, in cui i box hanno la quantità minima di sedi. B4, infatti, può ospitare un diverso numero di e-WP a seconda del codice che deve essere prodotto. Per la Linea 4 non è ancora stabilito che tipo di imballo debba essere utilizzato quindi questa non viene considerata nella Tabella 4.12.

	Linea 1	Linea ST	Linea 2	Linea 3
Capacità produttiva massima in un turno [pz / turno]	820	720	1.000	1.000
Quantità per imballo (caso migliore) [pz / box]	360	90	360	360
Quantità per imballo (caso peggiore) [pz / box]	90	60	256	144
Numero di imballi (caso migliore) [box / turno]	2	8	2	2
Numero di imballi (caso peggiore) [box / turno]	9	12	3	6

Tabella 4.25: Numero di imballi riempiti in un turno

Il numero massimo di imballi riempibili in un turno equivale alla somma del numero di imballi nel caso peggiore (30 box) e corrisponde al numero di cambi box che devono essere effettuati. Nel caso migliore, invece, sono 14 i pallet che vengono prodotti. Il tempo impiegato dal magazziniere per effettuare il cambio del box nel caso in cui non sia da regettare è 6 minuti. Nell'ipotesi, invece, in cui il box sia da regettare, il tempo impiegato è 8 minuti. Per calcolare il tempo speso in un turno, si deve fare il prodotto tra il numero di box e il tempo impiegato per box. Rapportando questi valori ottenuti al numero di ore lavorative in un turno (7h), si ottengono i risultati della Tabella 4.13.

	CASO MIGLIORE	CASO PEGGIORE
Tempo Totale Senza Regetta [Min]	84	180
Tempo Totale Con Regetta [Min]	112	240
Media Tra I Due Tempi [Min]	98	210
Percentuale Di Tempo Impiegato Rispetto Alle Ore Produttive In Un Turno	23,33%	50%

Tabella 4.26: Tempo impiegato per il cambio box considerando 4 linee

Nella configurazione attuale, in cui viene utilizzato l'AGV solo per la Linea 1 e la Linea ST (Tabella 3.8), il tempo totale impiegato dal magazziniere nel caso migliore e in quello peggiore è pari a:

- Caso migliore senza regetta: $10 \text{ box/turno} * 6 \text{ minuti/box} = 60 \text{ minuti/turno}$.
- Caso migliore con regetta: $10 \text{ box/turno} * 8 \text{ minuti/box} = 80 \text{ minuti/turno}$.
- Caso peggiore senza regetta: $21 \text{ box/turno} * 6 \text{ minuti/box} = 126 \text{ minuti/turno}$.
- Caso peggiore con regetta: $21 \text{ box/turno} * 8 \text{ minuti/box} = 168 \text{ minuti/turno}$.

Valutando la media dei due scenari e rapportando il valore ottenuto alle ore lavorative totali si ottiene:

- Media caso migliore: 70 minuti -> 16,67%.
- Media caso peggiore: 147 minuti -> 35%.

Dal momento che i valori ottenuti nella Tabella 4.13 sono di gran lunga superiori a quelli della configurazione attuale, si deve valutare se questa mansione può essere svolta dalla squadra di magazzinieri già presente oppure no. Attualmente sono impegnati in questa attività per il 25,84% (è stata calcolata la media tra le percentuali ottenute nei due scenari, cioè 16,67% e 35%), ma in futuro lo saranno per il 36% (derivato dalla media tra 50% e 23,33%). L'aumento di dieci punti percentuali dovrà portare ad un'analisi ulteriore delle attività dei magazzinieri.

Per quanto riguarda le materie prime, il tempo attualmente impiegato è 21 minuti per giro, quindi, per effettuare 4 giri per turno, il magazziniere impiega all'incirca 84 minuti (20% del tempo totale). Se all'approvvigionamento della Linea 1 si vanno ad aggiungere quello della Linea 2 e della Linea 3 la percentuale di tempo totale cambia. Innanzitutto, per la Linea 2 e 3 si ipotizza che i giri da effettuare all'interno di un turno siano pari a 5. Questa ipotesi si basa sul fatto che i quattro giri effettuati per la Linea 1 siano sufficienti per coprire una produzione pari a 820 pz/turno, mentre queste due linee sono in grado di produrre fino a 1.000 pz/turno e dunque necessitano di un giro di approvvigionamento ulteriore.

Supponendo che il tempo impiegato per giro sia lo stesso, si ha che il magazziniere è impegnato nel carico del materiale sui carrelli per un tempo pari a:

$$\begin{aligned}
 & \text{Tempo totale per approvvigionare tre linee produttive} \left[\frac{\text{min}}{\text{turno}} \right] \\
 &= \text{Tempo per giro} \left[\frac{\text{min}}{\text{giro}} \right] \\
 & \quad * \text{Numero di giri Linea 1} \left[\frac{\text{giro}}{\text{turno}} \right] \\
 &+ \text{Tempo per giro} \left[\frac{\text{min}}{\text{giro}} \right] \\
 & \quad * \text{Numero di giri Linea 2} \left[\frac{\text{giro}}{\text{turno}} \right] \tag{11} \\
 &+ \text{Tempo per giro} \left[\frac{\text{min}}{\text{giro}} \right] \\
 & \quad * \text{Numero di giri Linea 3} \left[\frac{\text{giro}}{\text{turno}} \right] = \\
 &= 21 * 4 + 21 * 5 + 21 * 5 = 294 \frac{\text{min}}{\text{turno}}
 \end{aligned}$$

Rapportando questo valore al numero di ore produttive in un turno si nota che il magazziniere è impegnato per il 70% in attività legate all'AGV. Dal momento che questo valore è molto elevato, risulta evidente che non sarà più possibile conciliare le mansioni ordinarie con quelle legate all'AGV, ma sarà necessario personale aggiuntivo che si occupi esclusivamente di questa mansione.

4.3 NECESSITA' DI UN NUOVO LAYOUT PER IL MAGAZZINO

Ciò che si evince dal Paragrafo 4.2 è la necessità di una nuova disposizione dei componenti e del prodotto finito a causa dello spazio ridotto in magazzino. Dal momento che la Linea 3 verrà installata nel 2020 si deve pensare ad una soluzione in tempi brevi. Non è detto che questa divenga la soluzione adottata in futuro, ma potrebbe essere una sistemazione temporanea adattabile, con alcune modifiche, alla situazione futura. Sono stati analizzati due possibili scenari:

- Scenario A: svuotare l'attuale magazzino del prodotto finito e delle materie prime, creandone uno nuovo. Questo nuovo magazzino sorge dallo smantellamento di un reparto produttivo situato nelle vicinanze di quello delle water pump. Lo step successivo sarà quello di costruire un magazzino automatico all'esterno per riporre i box del prodotto finito.
- Scenario B: mantenere l'attuale magazzino per il prodotto finito e disporre le materie prime nel magazzino che viene realizzato al posto del reparto produttivo di cui si parla nello scenario A. Anche in questo caso lo step successivo prevede la costruzione di un magazzino automatico all'esterno per ospitare i box pieni e vuoti del prodotto finito.

Gli scenari sono stati pensati con l'ente che si occupa della logistica, che ha valutato che, tra le varie soluzioni, una tra queste due potesse essere quella adatta e che comporta meno cambiamenti. La scelta del magazzino automatico come secondo step per entrambe le ipotesi, deriva dalla volontà di ottimizzare lo spazio a disposizione a fronte dell'aumento dei volumi. La zona prescelta è quella antistante al reparto da smantellare. Si vuole andare verso questo tipo di soluzione poiché all'interno dello stabilimento è già presente un magazzino automatico ed era stato scelto per ridurre al minimo lo spreco della superficie a disposizione in magazzino. Questo utilizza uno shuttle per disporre i pallet del prodotto finito nei vani liberi.

Per aver chiara l'ubicazione del reparto produttivo da smantellare si veda la Figura 4.5 che riporta una parte del layout dello stabilimento. Sono state messe in evidenza solo le aree d'interesse. In arancione è riportata l'area attuale delle water pump che comprende la Linea 1, 2 e la ST. Nella stessa zona sono presenti altri due reparti produttivi che realizzano prodotti differenti dalle e-WP. È stata indicata anche la zona della manutenzione che è stata citata nel Paragrafo 3.2. Con il rettangolo delimitato con bordo rosso è stata evidenziata l'area di sosta per i carrelli dell'AGV, con quello dal bordo verde il magazzino attuale dedicato ai componenti e al prodotto finito. L'area grigia rappresenta il reparto che dovrebbe essere smantellato e adibito a magazzino. Il reparto attualmente presente dovrebbe essere spostato all'interno di un

capannone, che si troverà in una zona non lontana dalla posizione dello stabilimento. Lo spostamento di questo reparto implica anche quello del personale, che continua a rimanere alle dipendenze dell'azienda, anche se in un altro luogo fisico.

Nella parte destra della Figura 4.8 si trova una linea gialla, che rappresenta il confine dell'azienda. In questa zona vi è un cancello dal quale hanno accesso i camion per portare il materiale del reparto da smantellare (successivamente verrà chiamato Rep1). Con il cambiamento del layout, si vuole modificare anche la viabilità da questo ingresso in modo tale che possano avere accesso sia i fornitori che i clienti delle water pump. Nella zona antistante il Rep1 si deve predisporre una zona di carico/scarico e, dal momento che lo spazio non è eccessivo, dovranno essere concordati degli orari per i vari utenti. È possibile utilizzare un portale, al quale i camionisti dovranno iscriversi, per prenotare un certo slot temporale in cui poter caricare/scaricare il materiale. In questo modo sia i magazzinieri che i camionisti sanno quando sono impegnati in questa attività e si evita la coda di camion in attesa.

Nella Figura 4.8 vengono indicati due reparti produttivi oltre quello delle e-WP. Nel reparto produttivo disegnato in blu vengono completati i motori che vengono realizzati in un altro reparto dell'azienda, mentre in quello verde vengono nastrati dei cavi che vengono utilizzati nel reparto evidenziato in blu.

4.3.1 Valutazione degli scenari possibili per il nuovo layout

Prima di analizzare i due scenari, si deve stabilire come sia possibile disporre gli scaffali all'interno di Rep1. Come si può notare nella Figura 4.9, l'area da smantellare presenta al suo interno un magazzino (zona in alto della figura, in cui vi sono già degli scaffali) e una zona destinata alla produzione (zona in basso, dove sono presenti due file di maglie aventi larghezza pari a 10 metri ciascuna). Il rettangolo rosso che delimita queste aree ha dimensioni pari a 40 metri per 30 metri. Il vincolo dimensionale è rappresentato dall'altezza, che è pari a 3,64 metri. Nella zona di sinistra, dove è presente l'area di interscambio, vi è un portone scorrevole che permette l'ingresso e l'uscita. Dal momento che si vuole lasciare quell'apertura come ingresso, si è optato per disporre gli scaffali in maniera parallela a quelli già esistenti. Posizionati in questo modo, risulta più agevole muoversi tra le diverse corsie perché, nel momento in cui si entra nel magazzino, si hanno tutte le testate di fronte. Dal momento che l'area antistante il Rep1 vuole essere adibita per il carico/scarico merci, verrà predisposto un ulteriore ingresso nell'area, indicato in figura con il rettangolo verde in alto a destra. In questo modo a sinistra si avrà l'ingresso e a destra l'uscita, tenendo separati i due flussi.

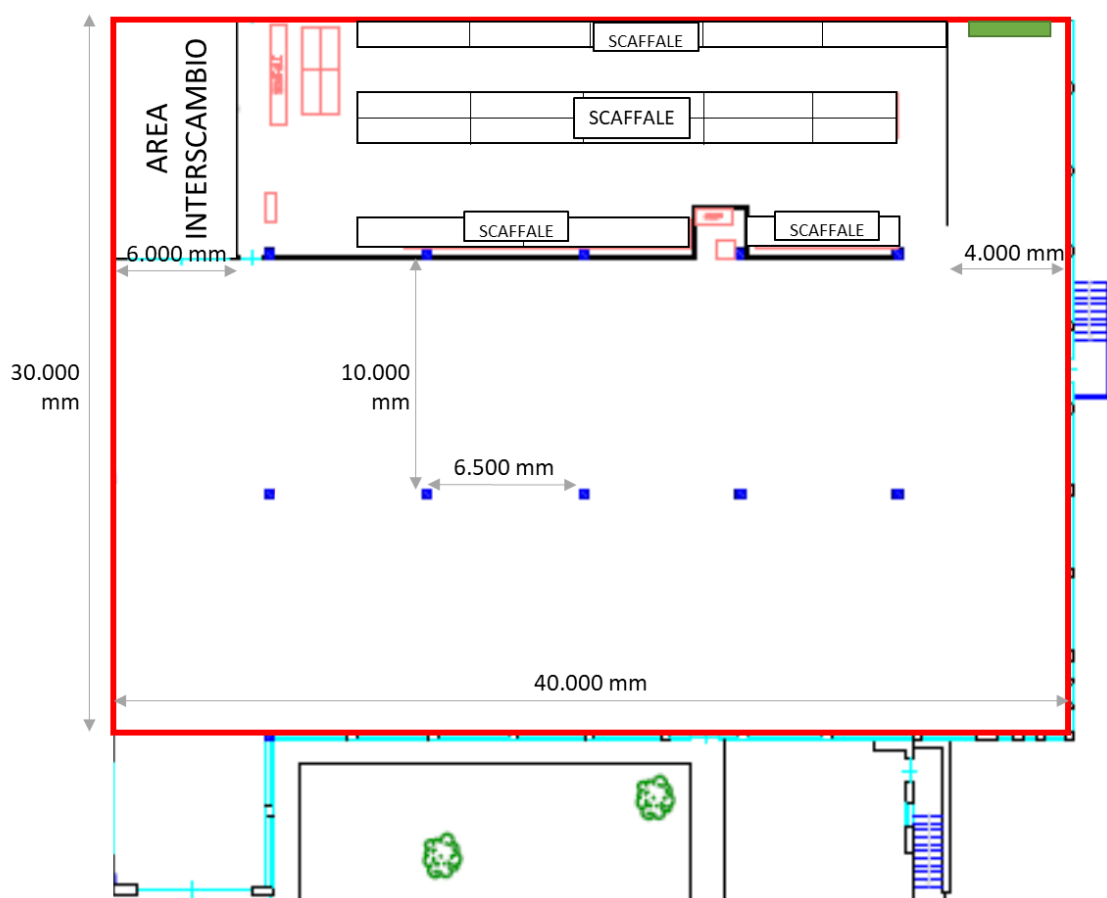


Figura 4.35: Focus layout Rep1

Prima di confrontare i due scenari devono essere effettuate alcune considerazioni generali. Per prima cosa si deve stabilire il numero di posti pallet necessari per i componenti. Come visto nel Paragrafo 4.2.1, gli attuali scaffali sono composti da sette campate e sono saturi con i componenti delle linee 1, 2 e ST. Per capire se sono necessari dei posti pallet in più per i nuovi codici, si devono confrontare le distinte base delle nuove water pump con quelle attuali. I clienti E ed F, che si vanno ad aggiungere nel 2020, introducono nel business attuale nove codici di prodotto finito. Le potenze delle water pump che dovranno essere prodotte si differenziano da quelle realizzate attualmente (50W ed 80W) e di conseguenza anche i componenti. Il numero totale di codici che devono essere aggiunti è pari a 41, di cui sei sono relativi alle minuterie e deve essere trovato loro un posto sullo scaffale a gravità. Non considerando le ECU e le minuterie, il numero di codici da aggiungere a quelli presenti in magazzino è pari a 26.

Per quanto riguarda il prodotto finito si deve capire, con l'introduzione di questi 9 codici di e-WP, quale sia lo spazio necessario.

Dal momento che sia le campate per i componenti che quelle per il prodotto finito hanno la stessa larghezza, si deve determinare il numero di campate che possono essere disposte all'interno di Rep1 parallele al lato lungo. Volendo lasciare intatta l'area di interscambio della Figura 4.9, la quale ha una lunghezza pari a 6 m, lo spazio a disposizione è pari a 34 metri. Da questi vengono sottratti 4 metri che si vogliono avere per il nuovo portone (rettangolo verde nella Figura 4.9). Lo spazio rimanente per disporre gli scaffali è pari a 30 metri. Per calcolare il numero di campate che possono essere realizzate, si deve considerare, oltre alla luce tra i due montanti di una campata, anche la dimensione stessa dei due montanti.

$$\begin{aligned} \text{Numero di campate} &= \\ &= \frac{\text{Lunghezza a disposizione [cm]}}{\text{Luce tra i montanti [cm]} + 2 * \text{Larghezza del montante [cm]}} \end{aligned} \quad (12)$$

Dal momento che per le scaffalature scelte la luce tra i montanti è pari a 270 cm e i montanti hanno larghezza pari a 8 cm ciascuno, la larghezza totale di una campata è pari a 286 cm. Il risultato che si ottiene dalla Formula (12) è 10 campate e questo valore è stato arrotondato per difetto. La lunghezza totale dello scaffale è pari al prodotto tra il numero delle campate e la dimensione delle stesse ed equivale a 28,6 metri (Formula (13)).

$$\begin{aligned}
\text{Lunghezza scaffale [m]} &= \\
&= \text{Numero di campate} \\
&\quad * (\text{Luce tra i montanti [cm]} + 2 \\
&\quad * \text{Larghezza del montante [cm]}) \\
&= 10 * 286 = 2.860 \text{ cm} = 28,6 \text{ m}
\end{aligned}
\tag{13}$$

Dal momento che l'altezza di Rep1 è esigua (364 cm), come si vede dalla (14), è possibile avere solo 2 piani da 155 cm ciascuno. Il risultato è stato arrotondato per difetto.

$$\begin{aligned}
\text{Numero piani} &= \frac{\text{Altezza Rep1 [cm]}}{\text{Altezza piano dello scaffale}} = \\
&= \frac{364}{155} = 2,35 \rightarrow 2 \text{ piani}
\end{aligned}
\tag{14}$$

Un'ulteriore modifica di cui si deve tenere conto è relativa alla Linea ST. Dal momento che la Linea 3 verrà posizionata al posto della Linea ST, si deve valutare dove è possibile trasferirla.

Per stabile quale dei due scenari di magazzino proposti sia il migliore, si devono confrontare le due alternative tenendo conto dei vari pro e contro.

Valutazione Scenario A

Il primo scenario analizzato è quello che prevede che sia i componenti che le materie prime vengano stoccati nel Rep1. Dal momento che questo reparto si trova all'interno, verrebbero spostate anche le ECU in modo tale da avere tutti i componenti ubicati in un unico posto. Il numero di ECU differenti che vengono utilizzate per le water pump da 50W e 80W è pari a 6, mentre quello relativo ai nuovi codici di e-WP è 9. I componenti per i quali si deve cercare un'ubicazione sono in totale 41, valore ottenuto dalla somma dei componenti principali e delle ECU.

Gli scaffali della Figura 4.9 vengono sostituiti da quelli con 10 campate, in cui possono essere stoccati 20 pallet, due per ciascun vano disposti lungo il lato più lungo (120 cm). Dal momento che il prodotto finito occupa più spazio dei componenti, si è ipotizzato di disporre le materie prime nell'area del Rep1 che era già utilizzata come magazzino e il prodotto finito in quella che era la zona produttiva. In questo modo, sul lato lungo 30 metri, 10 metri sono occupati dai componenti e gli altri 20 dal prodotto finito.

La configurazione che si può ottenere per i componenti è quella della Figura 4.10. Il corridoio tra uno scaffale e l'altro è all'incirca di 3,3 metri poiché i vari scaffali hanno una profondità pari a 85 cm, dimensione equivalente a quella che avevano nel magazzino a fianco del reparto e-WP. La distanza tra due scaffali deve essere tale da permettere il passaggio e la movimentazione dei

transpallet elettrici e degli stoccatori, poiché sono questi gli unici mezzi che transiteranno lungo i corridoi e che verranno utilizzati per lo spostamento e lo stoccaggio dei pallet. Lo spazio di cui si necessita varia a seconda delle dimensioni del mezzo: se questo è uno stoccatore, il raggio di sterzo necessario è 1,5 metri, mentre se è un transpallet elettrico a timone il raggio di svolta è pari a 1,6 metri. Considerando che verranno utilizzati entrambi, si focalizza l'attenzione su quello che necessita di maggior spazio per curvare, il transpallet. Il corridoio di stivaggio pallet di cui si necessita è pari a 2,1 metri e, volendo lasciare un margine di circa 50 cm per agevolare la movimentazione, si deve avere un corridoio largo almeno 2,6 m. I valori riportati sono stati presi da alcune schede tecniche dei mezzi utilizzati all'interno dell'azienda.

I 3,3 m che si hanno a disposizione sono sufficienti al magazziniere per non aver problemi nell'utilizzo del transpallet dal momento che, nella configurazione precedente di Rep1, lo spazio era di 2,6 metri, coincidente con lo spazio necessario. La distanza precedente era minore poiché gli scaffali erano più profondi e i pallet venivano stoccati lungo il lato dell'80 cm in modo tale che ci stessero tre pallet invece che due all'interno di un vano. Per entrambi gli scenari non è stata considerata l'ipotesi di disporre i pallet lungo il lato corto perché risulta meno agevole prelevare le cassette che si trovano al fondo del lato più lungo. Ogni volta il magazziniere dovrebbe piegarsi molto per prenderle oppure girare di 180° il pallet in modo da avere le cassette vicine al lato del corridoio.

Il numero di posti pallet che si avrebbero nell'area di picking è pari a 80, valore ottenuto dal prodotto tra il numero di campate per fila (10), il numero di posti pallet per campata (2) e il numero di file di scaffali (4). Considerando che i codici sono 41, si ha almeno un posto pallet per ciascun codice. Rispettando il numero di posti pallet calcolati nel Paragrafo 4.2.1 per i componenti utilizzati su Linea 1 e Linea 2, sono necessarie 9 campate. Se si considerano anche i materiali per la Linea ST, le campate salgono a 12 (Tabella 4.14). Uno scaffale intero e due campate di un altro vengono occupati dai codici attualmente utilizzati.

Il numero di posti pallet suddiviso per componente della Tabella 4.14 corrisponde a quello calcolato nel Paragrafo 4.2.1, considerando le postazioni che possono essere liberate. Dal momento che in ogni campata ci sono due posti pallet, il valore relativo a quelle occupate è stato trovato dividendo per 2 il numero di posti pallet.

Lo scaffale a gravità potrebbe essere realizzato al posto di alcune campate degli scaffali portapallet centrali. Dal momento che nella configurazione attuale è saturo, si ha che due campate non sono più sufficienti. Per disporre le rulliere del gravity leggermente in pendenza ed aver assicurato il FIFO, si devono avere due campate antistanti, una in cui si preleva il

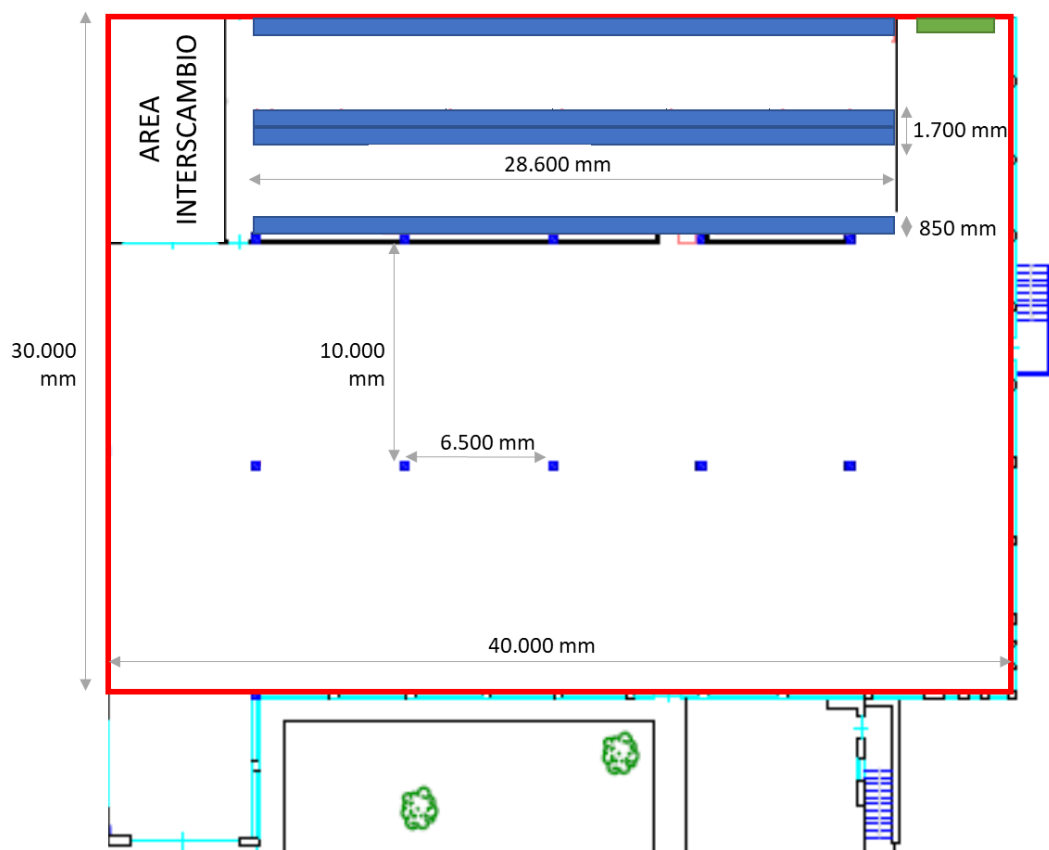
materiale e l'altra in cui si carica. Poiché devono essere inseriti 6 nuovi codici, è necessario che lo scaffale a gravità occupi altre 2 campate, arrivando ad un totale di 4. Come conseguenza si ha che agli scaffali standard, i portapallet, vengano sottratte 8 postazioni.

COMPONENTE	NUMERO DI POSTI PALLET	NUMERO DI CAMPATE
STATORE 80W	2	1
STATORE 50W	1	0,5
ROTORE 80W	1	0,5
ROTORE 50W	1	0,5
SHAFT + HOUSING	2	1
WET SLEEVE	1	0,5
VOLUTA 80W	2	1
VOLUTA 50W	1	0,5
CAP HOUSING	1	0,5
RUBBER RING (1)	2	1
RUBBER RING (2)	1	0,5
RUBBER RING (3)	1	0,5
IMPELLER	1	0,5
ROTORE DA ASSEMBLARE	1	0,5
MATERIALE STAFFE	6	3
TOTALE	24	12

Tabella 4.27: Numero di posti pallet occupati per componente

Nel vano adiacente potrebbero essere disposti i codici di ECU. Dato che per ciascuna delle tre linee si vogliono adibire due posti pallet, lo spazio occupato sarà di tre campate, una per linea. Con i vani a disposizione, si deve trovare un'ubicazione per i 26 codici rimasti. I vani liberi sono attualmente

$$\begin{aligned}
 \text{Vani liberi} &= \text{Vani totali} - \text{Vani occupati dai codici attuali} \\
 &\quad - \text{Vani occupati dal Gravity} - \text{Vani occupati per le ECU} = \\
 &= 40 - 12 - 4 - 3 = 21 \text{ vani}
 \end{aligned}$$



Con 21 vani non si hanno a disposizione due posti pallet per ciascun codice, quindi si deve determinare per quali componenti sia sufficiente un solo posto pallet. Dato che non si conosce il numero di componenti per scatola dei nuovi codici, si suppone che siano necessari due posti pallet per quei componenti comuni a più di un prodotto finito. È possibile fare questa supposizione poiché le nuove e-WP verranno prodotte sulla Linea 3 e sulla 2, quindi si può avere la situazione in cui alcuni componenti debbano essere utilizzati su entrambe le linee. Dopo aver confrontato le distinte base si giunge alla conclusione che siano necessari 49 posti pallet (si veda Tabella 4.15).

Il numero di posti pallet totali è stato calcolato facendo il prodotto tra il numero di nuovi codici per componente e il numero di posti pallet necessari per codice.

COMPONENTI	NUMERO DI NUOVI CODICI	COMPONENTE COMUNE A PIÙ PRODOTTI?	NUMERO DI POSTI PALLET PER CODICE	NUMERO DI POSTI PALLET TOTALI
STATORE	3	Si	2	6
WET SLEEVE	2	Si	2	4
SHAFT + HOUSING	3	Si	2	6
ROTORE	4	Si	2	8
IMPELLER	3	Si	2	6
VOLUTA	4	Si	2	8
CAP HOUSING	4	Si	2	8
RUBBER RING	3	No	1	3
TOTALE				49

Tabella 4.28: Numero di posti pallet necessari per i nuovi codici

Il numero di posti pallet disponibili, 42, è inferiore a quelli necessari. Per ovviare a questo problema si potrebbero disporre alcuni componenti sullo scaffale a gravità come per esempio gli impeller, il cui imballaggio non è di grosse dimensioni. In questo modo i posti pallet necessari scendono a 43, valore ancora superiore a quello dei posti disponibili. Dal momento che non è possibile ridurre il numero di posti pallet, due codici dovranno contendersi una stessa ubicazione: un codice dovrà essere stoccato nel piano superiore nel momento in cui non viene utilizzato e l'altro sarà nella zona di picking. Il fatto che non vi siano delle ubicazioni disponibili per tutti i componenti, non permette il trasferimento delle ubicazioni delle cassette vuote di materiale. O meglio, nel caso in cui si voglia lasciare dello spazio per i vuoti, verranno sacrificate altre postazioni per i componenti.

Per quanto riguarda il prodotto finito gli scaffali hanno profondità maggiore rispetto a quella dei componenti. Infatti, la campata ha una luce tra i montanti pari a 270 cm, ma la profondità è almeno 120 cm. Si deve valutare quante file di scaffali possono essere disposti all'interno dei pilastri (larghezza maglia pari a 10 metri). Dato che lo spazio minimo che si deve avere tra uno scaffale e l'altro per permettere il transito e la movimentazione di transpallet e stoccatori elettrici è pari a 2,6 m, come precedentemente dettagliato, si hanno due opzioni per disporre gli scaffali all'interno di ciascuna maglia:

- Opzione 1: 4 file di scaffali se la profondità considerata per ogni scaffale è pari a 120 cm (Figura 4.11).
- Opzione 2: 3 file di scaffali se la profondità considerata per ogni scaffale è pari a 140 cm (Figura 4.12).

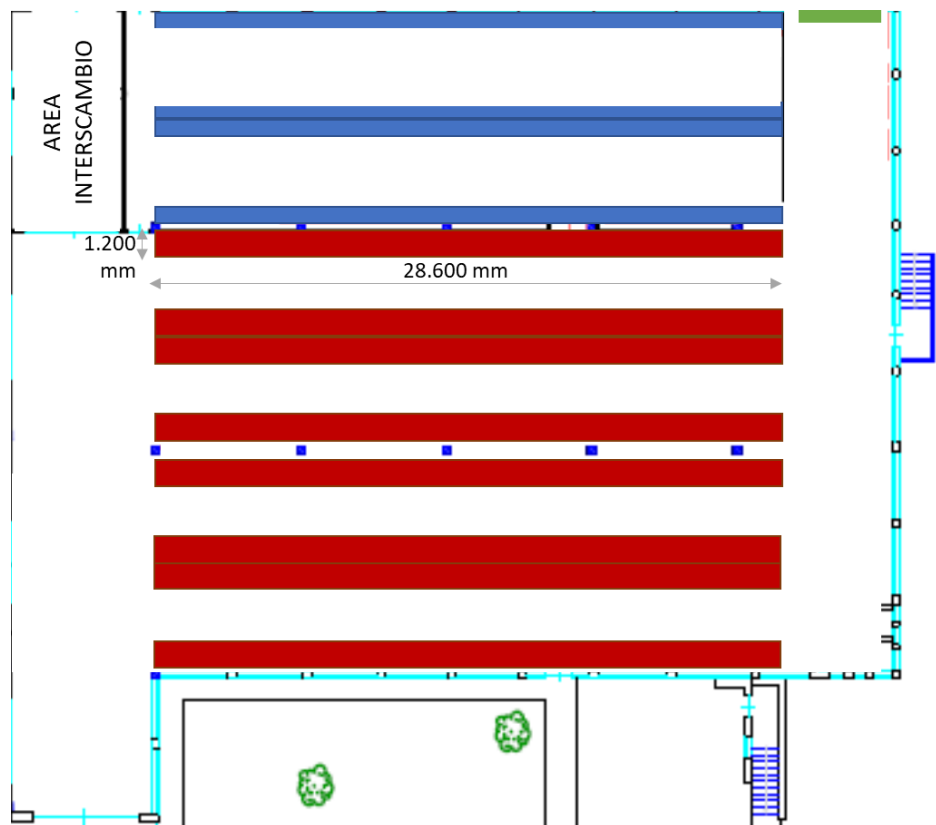


Figura 4.37: Opzione 1 di layout per il prodotto finito in Rep1

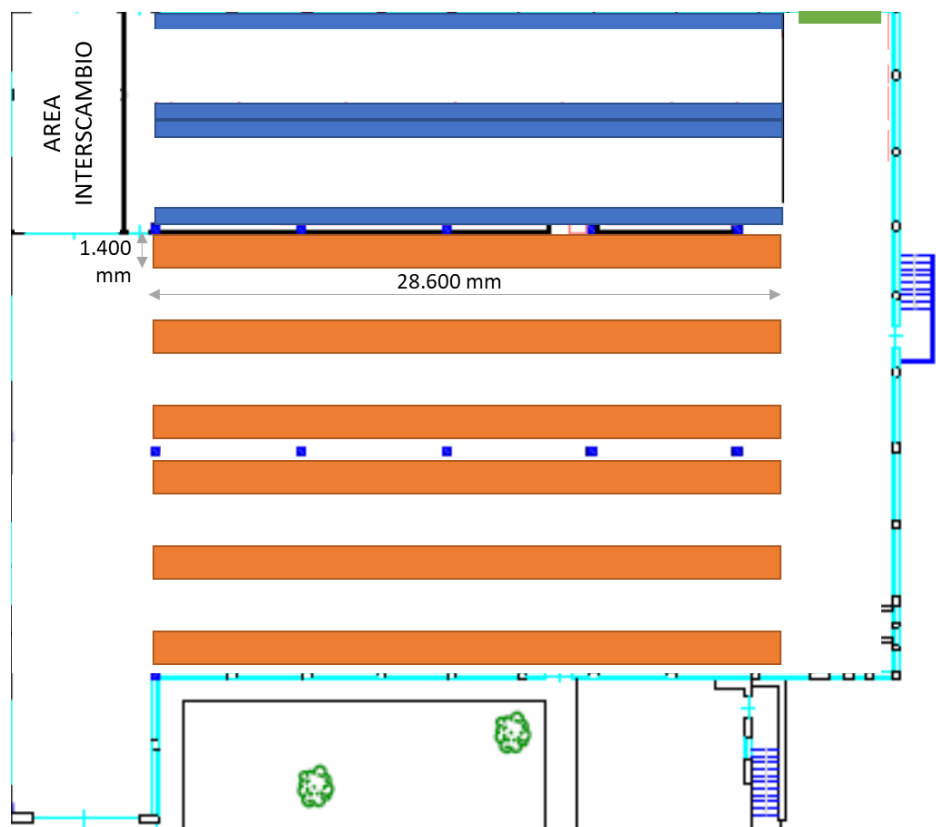


Figura 4.38: Opzione 2 di layout per il prodotto finito in Rep1

Per entrambe le opzioni il numero di scaffali per maglia è stato calcolato arrotondando per difetto il valore ottenuto dalla formula (15).

$$\begin{aligned} \text{Numero di scaffali} &= \\ &= \frac{\text{Larghezza della maglia} - \text{Corridoio minimo}}{\text{Profondità scaffale}} \end{aligned} \quad (15)$$

Dato che sono presenti due file di maglie, nella prima opzione il numero totale di scaffali è 8, mentre nel secondo si riduce a 6. Le dimensioni degli scaffali nel secondo caso rispecchiano quelle del magazzino attuale e dunque il numero di posti pallet per campata, suddiviso per tipologia, corrisponde a quello riportato nella Tabella 4.11. Nella prima opzione, invece, non è possibile disporre più di un box in larghezza per B1 e B2 altrimenti si andrebbe incontro a problemi di sicurezza. I risultati che si ottengono per l'opzione 1 sono quelli riportati nella Tabella 4.16, mentre per l'opzione 2 sono quelli della 4.11. Le formule utilizzate per trovare questi valori sono la (8) e la (9).

IMBALLO	NUMERO DI BOX IN LUNGHEZZA	NUMERO DI BOX IN LARGHEZZA	NUMERO DI BOX IN ALTEZZA	NUMERO DI BOX TOTALI NEL VANO
B1	3	1	2	6
B2	3	1	2	6
B3	2	2	2	8
B4	2	1	1	2
B5	3	1	1	3

Tabella 4.29: Numero di box del prodotto finito che possono essere stoccati all'interno di un vano dell'opzione 1

Confrontando il numero di box totali nel vano che si ottengono nelle Tabelle 4.11 e 4.16, si potrebbe giungere alla conclusione che l'opzione 2 sia quella migliore poiché per B1 e B2 la quantità di box stoccabile in un vano risulta essere doppia (12 box della seconda opzione contro 6 della prima). La valutazione che deve esser fatta, però, verte sul numero di posti pallet che potrebbero esserci per il box B4 poiché è quello richiesto dai nuovi clienti.

Numero di box B4

$$\begin{aligned} &= \text{Numero di box in un vano} \left[\frac{\text{box}}{\text{vano}} \right] \\ &* \text{Numero di vani in una fila} \left[\frac{\text{vani}}{\text{fila}} \right] \\ &* \text{Numero di file} \left[\frac{\text{file}}{\text{piano}} \right] \\ &* \text{Numero di piani} [\text{piano}] \end{aligned} \quad (16)$$

Utilizzando la Formula (16), si ottengono i seguenti risultati:

$$\text{Numero di box B4 opzione 1} = 2 * 10 * 8 * 2 = 320 \text{ box}$$

$$\text{Numero di box B4 opzione 2} = 2 * 10 * 6 * 2 = 240 \text{ box}$$

Dal momento che l'opzione 1 potrebbe ospitare un maggior numero di box di tipo B4, si deve scegliere questa tra le due alternative.

Si può concludere l'analisi di questo scenario considerando i pro e i contro:

- Pro:
 - I componenti e il prodotto finito si trovano tutti all'interno e sono meno esposti ad eventuali polveri rispetto alla configurazione attuale in cui il magazzino è all'interno di un capannone realizzato in PVC dove possono transitare dei carrelli elevatori e portare con sé delle polveri.
 - Sia i materiali che il prodotto finito si trovano nei pressi della zona che verrà adibita al carico/scarico e dunque la movimentazione dei pallet viene ridotta.
- Contro:
 - Per i componenti non ci sono sufficienti spazi per tutti i codici nell'area di picking.
 - In Rep1 non c'è spazio per le cassette dei vuoti dei materiali e quindi devono essere riservate delle campate nel capannone attuale o limitati i vani per i materiali in Rep1.
 - Il magazzino impiegato attualmente verrebbe svuotato, ma non avrebbe un nuovo utilizzo.
 - Non essendo ancora stato stabilito dove posizionare la Linea ST, si dovranno sostenere ulteriori costi per determinare una nuova ubicazione.

Valutazione Scenario B

Lo scenario B prevede che, all'interno del magazzino utilizzato attualmente per le materie prime e per il prodotto finito, vengano stoccati solo più i box del prodotto finito e i componenti vadano in Rep1. Dal momento che lo scaffale della Figura 4.2 ha una profondità di 85 cm (non sufficiente per stoccare i pallet sul lato più lungo), se ne deve modificare la profondità portandola almeno a 120 cm. Così facendo, si avranno 14 vani in più, per piano, per il prodotto finito arrivando ad un totale di 42. Oltre a questi, vengono adibiti per il prodotto finito anche i vani dedicati alle cassette vuote dei materiali (Figura 4.4). Con l'aggiunta di queste cinque campate, si arriva ad un totale di 47 vani in più per i box del prodotto finito.

Per quanto riguarda i componenti, lo spazio dedicato loro può incrementare notevolmente, ma, dal momento che è sufficiente avere i posti pallet calcolati per lo Scenario A, verranno aggiunti due scaffali delle medesime dimensioni degli altri. In questo modo i posti pallet a disposizione per i componenti sono pari a

Numero di posti pallet area picking

$$\begin{aligned}
 &= \text{Numero di campate per fila} \left[\frac{\text{campate}}{\text{fila}} \right] * \text{Numero di file} [\text{file}] \\
 &* \text{Numero di posti pallet per campata} \left[\frac{\text{posti pallet}}{\text{campata}} \right] = \\
 &= 10 * 6 * 2 = 120 \text{ posti pallet}
 \end{aligned}$$

Il valore ottenuto è sufficiente per il numero di posti pallet occupati dai codici attuali (24 posti pallet), dai nuovi codici (49 posti pallet) e da quelli occupati dal Gravity (8 posti pallet perché quattro vani). I 39 posti pallet rimanenti devono essere utilizzati per le ECU e per le cassette dei vuoti, che attualmente occupano cinque vani. Quest'ultimo valore andrà ad incrementare visto che il numero di codici è aumentato notevolmente. 39 posti pallet corrispondono a 19 vani completi e, se si suppone che lo spazio necessario per le cassette vuote raddoppi, vi sono ancora 9 vani a disposizione per le ECU.

Con questo scenario si può trovare una soluzione anche al problema legato al posizionamento della Linea ST, infatti questa può essere posizionata nel Rep1. La superficie occupata dalla Linea ST è pari a 6,5 per 5 metri. Se si disponesse il lato di 6,5 metri della linea in modo parallelo al lato di 40 metri di Rep1, lo spazio che si avrebbe a disposizione all'interno dell'ultima campata sarebbe 23,5 metri (si è tenuto conto anche dei due corridoi laterali, ciascuno di larghezza pari a 5 m). Si potrebbe pensare di posizionare materiali e box vuoti alla sinistra della linea e a destra disporre i pallet con le e-WP prodotte. Dato che i box utilizzati da questa linea sono i B2, la profondità dei vani necessari deve essere 140 cm in modo tale da poter stoccare in una campata 12 pallet. Il numero di campate impiegate attualmente per B2 è pari a 9, quindi in Rep1 ci devono essere almeno quelle. Per i materiali, invece, sono sufficienti 6 posti pallet a terra più i pallet di scorta (Figura 4.2). L'altezza di Rep1 è 3,64 metri quindi gli scaffali possono avere solo due piani: per questo motivo sono necessarie 5 campate per il prodotto finito e 3 per i componenti. Per ottimizzare lo spazio si potrebbero disporre tre scaffali da tre campate ciascuno in modo tale da avere una campata in più per i box vuoti. Lo spazio occupato da questi scaffali è pari a

$$\text{Lunghezza scaffale con 3 campate} = 286 \text{ cm} * 3 = 858 \text{ cm} = 8,58 \text{ m}$$

Considerando un po' di margine tra questi scaffali e la linea (circa 1 metro), lo spazio rimanente è all'incirca di 14 metri, dove è possibile disporre le scaffalature per il prodotto finito. Ve ne stanno nuovamente tre con profondità 140 cm e composte da 4 campate ciascuna. Il numero di posti pallet a disposizione è pari a

$$\begin{aligned}
 \text{Numero di posti pallet per il prodotto finito} &= \\
 &= 3 \text{ scaffali} * 4 \frac{\text{campate}}{\text{scaffale} * \text{piano}} * 2 \text{ piani} * 3 \frac{\text{posti pallet}}{\text{campata}} = \\
 &= 72 \text{ posti pallet}
 \end{aligned}$$

La situazione appare come quella nella Figura 4.13. I rettangoli blu rappresentano gli scaffali dedicati ai componenti delle e-WP utilizzati sulle linee 1, 2 e 3. Quelli grigi sono relativi ai box vuoti utilizzati dalla Linea ST mentre quello giallo rappresenta lo scaffale per i materiali impiegati dalla Linea ST. I rettangoli arancioni alla destra della linea indicano le scaffalature dedicate ai pallet contenenti il prodotto finito.

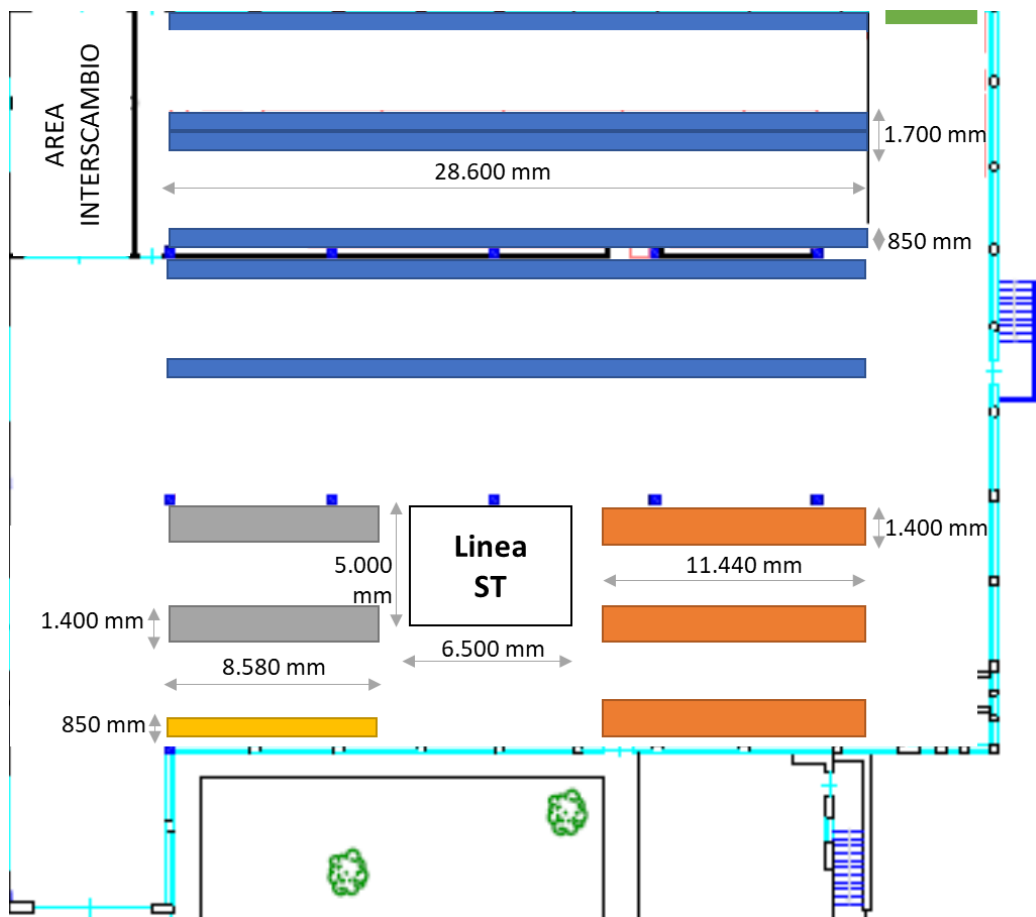


Figura 4.39: Layout per Rep1 nello Scenario B

Spostando i box B2 e i pallet destinati alle cassette vuote di materiale all'interno di Rep1, si hanno ulteriori 15 vani a disposizione per il prodotto finito nel capannone in PVC.

Si valutano i pro e i contro anche di questo scenario:

- Pro:
 - Prodotto finito e componenti si trovano in due aree differenti e così i flussi possono essere tenuti separati.
 - Per ciascun componente è predisposto almeno un posto pallet e all'interno di Rep1 vi è ancora spazio per inserire eventuali nuovi scaffali in caso di necessità.
 - In Rep1 c'è spazio anche per le cassette dei vuoti dei materiali.
 - Nel magazzino a fianco del reparto non vi saranno più i box B2 e dunque si ha ulteriore spazio per quelli B4.
 - È stata trovata un'ubicazione per la Linea ST.
- Contro:
 - I materiali non si trovano nelle immediate vicinanze del reparto.

4.3.2 Analisi degli investimenti legati agli scenari

Per valutare quale dei due scenari del Paragrafo 4.3.1 sia preferibile adottare, si deve tener conto anche degli investimenti che devono essere effettuati. Dal momento che le analisi di questi investimenti sono molto preliminari e non sono stati ancora richiesti dei preventivi per i vari lavori, non verranno riportati valori numerici ma semplicemente verrà spiegato che cosa si vuole fare.

Alcuni costi sono comuni ad entrambe le ipotesi:

- Affitto di un capannone esterno in cui spostare il reparto da smantellare (Rep1).
- Corridoio coperto in cui l'AGV possa transitare per raggiungere Rep1.
- Compiere dei lavori nei pressi del cancello d'ingresso per permettere ai camion di effettuare agevolmente le manovre per entrare ed uscire dai parcheggi che verranno adibiti.

Per il primo scenario deve essere aggiunto anche il costo relativo alla ricerca di una nuova ubicazione per la Linea ST e alla sua sistemazione. Per il secondo scenario questo investimento è previsto solo in parte poiché il luogo di destinazione della linea è già stato determinato e dunque si ha solo quello per l'installazione in Rep1.

Per quanto riguarda la prima voce dell'elenco, si deve ricercare un capannone con almeno le stesse dimensioni di Rep1 per poter smantellare interamente questo reparto e trasferirlo al suo interno. Il luogo in cui si ricerca questo capannone non deve essere troppo lontano dalla zona in cui si trova attualmente lo stabilimento per evitare di creare dei disagi ai dipendenti che si trovano in quel reparto e dovranno cambiare sede di lavoro.

La seconda voce riguarda il percorso che l'AGV deve effettuare per raggiungere Rep1. Nella Figura 4.14 è stata evidenziata la zona che collega i due reparti. Il percorso che deve effettuare l'AGV una volta raggiunto il portone che si interfaccia con il magazzino è rappresentato dalle frecce nere. Il corridoio che deve percorrere, però, non è completamente al coperto. Le aree rosa del corridoio rappresentano quelle in cui vi è un riparo, mentre il tratto viola indica una zona all'aria aperta priva di protezioni dagli agenti atmosferici.

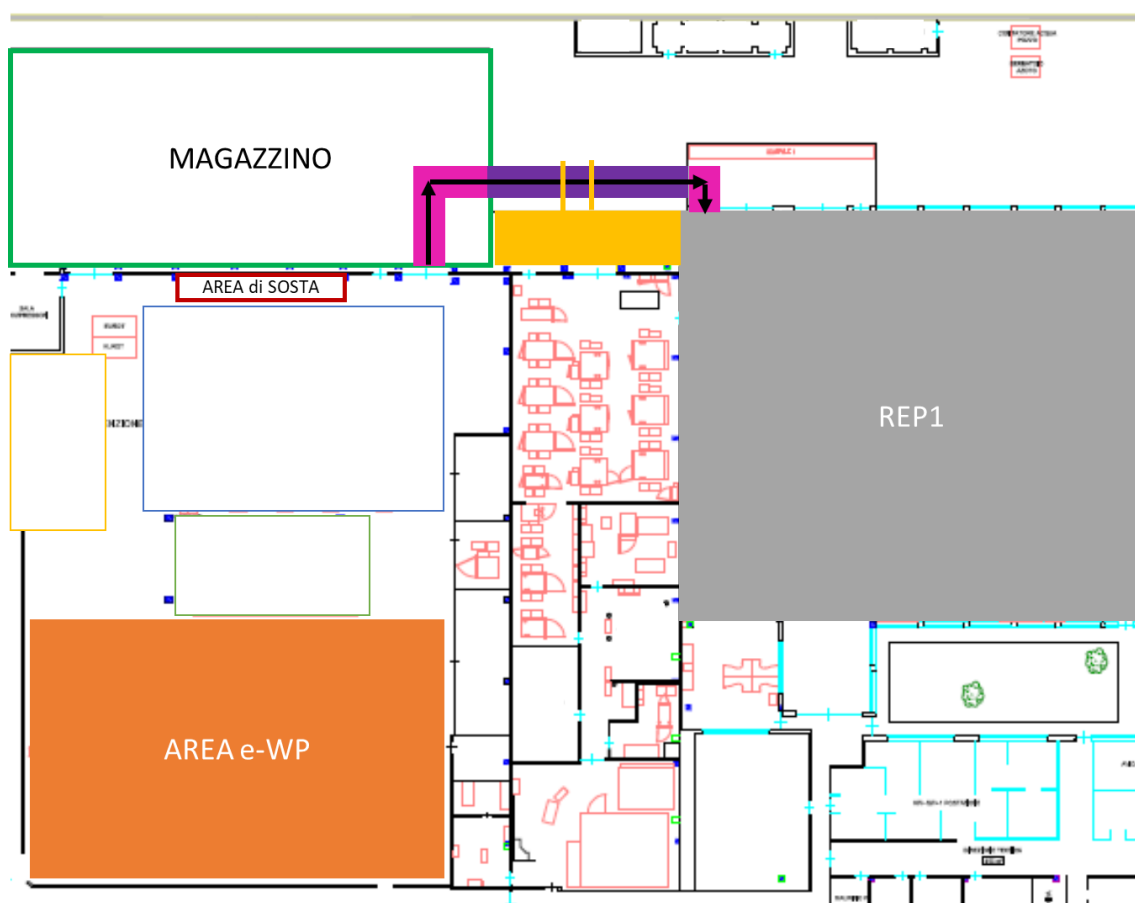


Figura 4.40: Percorso che deve effettuare l'AGV per raggiungere Rep1

Dal momento che l'AGV non può transitare in zone all'aperto perché non è impermeabile e i raggi del sole possono incidere negativamente sulla sua localizzazione, il corridoio deve essere costruito in modo tale da essere al riparo dagli agenti atmosferici. Anche se questo corridoio deve essere chiuso sia lateralmente che sopra, deve comunque dare la possibilità di essere

attraversato in modo perpendicolare alla lunghezza da un carrello elevatore per depositare o caricare del materiale nell'area gialla. Il passaggio trasversale è delimitato, nella Figura 4.14, dalle linee gialle. Per permettere il transito del carrello elevatore, la copertura del corridoio può essere realizzata in PVC con delle porte mobili che possono aprirsi in caso di necessità, mentre la pavimentazione deve essere liscia e il più possibile priva di pendenze per facilitare la navigazione del robot a guida autonoma. Nella Figura 4.15 viene riportata, a titolo illustrativo, un'immagine relativa a delle porte mobili (per motivi di privacy è stato coperto il nome del fornitore).



Figura 4.41: Porte mobili in un capannone in PVC [45]

L'investimento relativo ai lavori da effettuare nei pressi del cancello riguardano sostanzialmente due aspetti: il primo relativo ai parcheggi e il secondo relativo allo spazio di manovra nei pressi del cancello stesso. Per quanto riguarda i parcheggi, devono essere adibiti nella zona antistante quella del Rep1. Lo spazio a disposizione ha una larghezza all'incirca pari a 13 metri e, in base alla dimensione del camion che può sostare, si può stabilire il numero di parcheggi. Il mezzo di trasporto con dimensioni maggiori che può consegnare nell'azienda è l'autoarticolato, che è largo circa 2,5 m e lungo 16,5 m. Tenendo in considerazione un certo margine di sicurezza tra i posti camion (circa 2 metri), è possibile realizzare dei parcheggi aventi dimensioni 3,5 m * 20 m. La larghezza considerata per il parcheggio (3,5 m) è maggiore di quella effettiva dell'autoarticolato (2,5 m) poiché si deve dare un po' di margine da entrambi i lati, eventualmente anche per permettere la discesa del camionista. Lo spazio tra lo stabilimento e la cancellata antistante deve essere tale da permettere il passaggio di eventuali mezzi di soccorso (larghezza pari a 4 m).

$$\begin{aligned} \text{Numero di parcheggi} &= \frac{\text{Larghezza totale} - \text{Corridoio per mezzi soccorso}}{\text{Larghezza parcheggio}} = \\ &= \frac{13 \text{ m} - 4 \text{ m}}{3,5 \text{ m}} = 2,57 \end{aligned}$$

Si può dedurre che il numero di posti camion che possono essere realizzati è pari a due. Lo spazio che si ha tra i due posti camion (2 m) è troppo esiguo per permettere che lo scarico della merce avvenga tramite un carrello elevatore. La larghezza dell'area di manovra di cui si necessiterebbe è almeno pari a 3 m, dimensione coincidente con quella del mezzo. Infatti, si deve considerare l'intera lunghezza del carrello, comprensiva delle forche. In realtà, tra i due camion posteggiati si avrebbero 3 metri poiché, se il camionista parcheggiasse al centro del posto camion, da entrambi i lati del mezzo si guadagnerebbero 50 cm, arrivando ad avere la distanza necessaria per effettuare la manovra. Dal momento che, in questa situazione, la precisione di parcheggio del camion e di manovra del carrello elevatore dovrebbero essere al centimetro, è preferibile passare ad un altro tipo di mezzo. È possibile utilizzare, per lo scarico della merce, gli stoccatore con operatore a bordo. Questi hanno una lunghezza complessiva di 2,5 metri, spazio che si riesce ad avere senza dover ricorrere alle accortezze necessarie nel caso in cui si utilizzi il carrello elevatore. Infatti, la larghezza considerata per il parcheggio è di un metro più grande rispetto alle dimensioni del camion. Sono stati considerati 50 cm in più per lato per consentire al camionista di svolgere agevolmente le manovre per parcheggiare il più possibile al centro del posto camion. Dal momento che non è possibile avere sempre la condizione in cui il camionista si parcheggi al centro, è sufficiente ridurre la dimensione dei parcheggi di 25/30 cm ciascuno. In questo modo, avendo 2,5 m/2,6 m, l'operatore a bordo dello stoccatore può effettuare le manovre necessarie per scaricare i camion. È possibile fare queste considerazioni poiché all'interno dello stabilimento sono presenti entrambi i mezzi citati (carrello elevatore e stoccatore con operatore a bordo). Per valutare questa opzione è comunque preferibile effettuare delle prove pratiche nell'area di carico e scarico attualmente utilizzata, servendosi dello stoccatore e prendendo nota degli effettivi spazi necessari.

Per quanto riguarda l'area nei pressi del cancello, deve essere coinvolto anche il Comune in cui si trova lo stabilimento poiché, al di là della cancellata, la strada è pubblica. Per offrire ai camionisti uno spazio maggiore di manovra, si deve aumentare il raggio di curvatura per entrare nel cancello. Potrebbe essere possibile effettuare queste modifiche cedendo una parte di suolo al Comune per farlo divenire strada e indietreggiare il cancello. La situazione che si potrebbe ottenere è quella della Figura 4.16. Le linee rosse indicano le modifiche che dovrebbero essere effettuate per favorire il passaggio dei camion. Vengono riportati anche i due parcheggi, il cui spazio occupato rappresenta quello del camion più il margine di sicurezza che è stato stabilito. Questo spazio è stato lasciato anche per permettere al magazziniere di caricare e scaricare il mezzo.

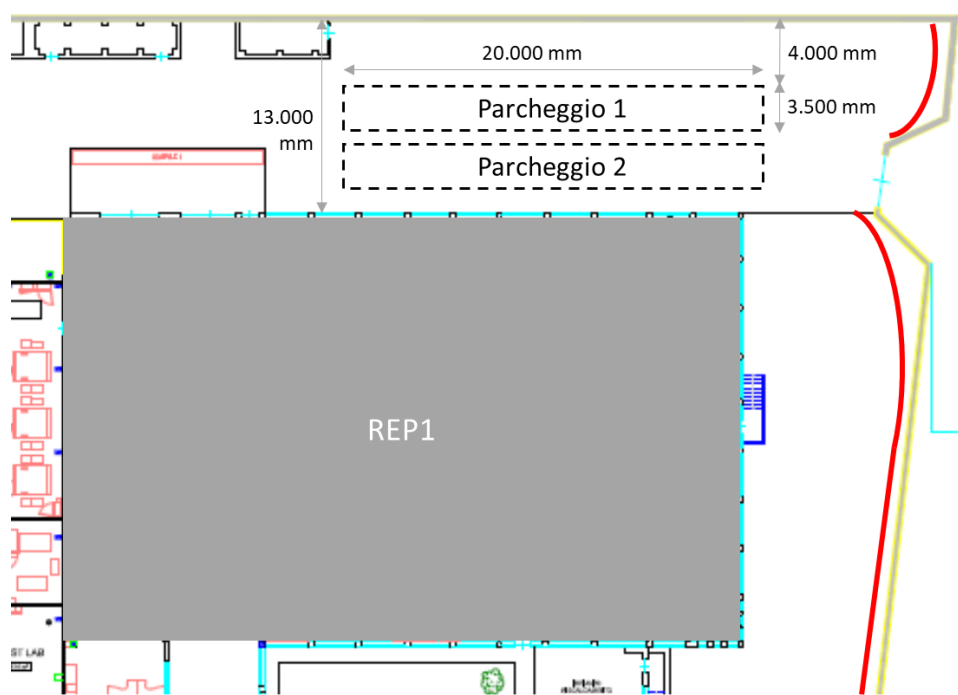


Figura 4.42: Modifiche apportate al layout esterno

Dopo aver analizzato i pro e i contro dei due scenari ed aver discusso gli investimenti da dover effettuare, si può giungere alla conclusione che lo scenario B risulta essere quello migliore da adottare. Con questa ipotesi, ogni componente ha una sua ubicazione nell'area di picking, i posti dedicati al prodotto finito sono nettamente superiori dell'altro scenario ed è stata trovata una sistemazione per la Linea ST. Resta da ricercare il capannone in cui spostare il reparto che deve essere smantellato.

4.4 IMPLEMENTAZIONI DEL SERVIZIO LEGATO ALL'AGV

Come detto nel Capitolo 3, l'attuale metodo di approvvigionamento della Linea 1 prevede l'utilizzo di un AGV. Lo stesso mezzo viene utilizzato anche per il trasporto del prodotto finito delle Linee 1 e ST. Per utilizzare questo sistema di movimentazione anche sulla Linea 2, è necessario inserire un altro AGV, considerazione analizzata nel Capitolo 3. Dato che la misurazione dei tempi che è stata effettuata è relativa al tragitto che va dalle varie linee all'area di sosta nei pressi del magazzino, si deve analizzare il tempo impiegato dal robot per raggiungere il Rep1. Dopo aver predisposto il corridoio chiuso, si deve far percorrere all'AGV questa nuova area in modo tale che possa registrare il percorso e la mappa. A questo punto devono essere presi i tempi del robot per percorrere la distanza linea – Rep1. Si potrebbe supporre che il tratto che il robot dovrebbe percorrere per raggiungere Rep1 sia doppio rispetto a quello percorso attualmente, dalla linea alla zona di interfaccia del magazzino. Questa ipotesi potrebbe essere

lecita poiché, come si può notare dalla Figura 4.14, il robot deve uscire dall'area in cui si trova il reparto delle e – WP e recarsi in Rep1, zona in cui non sono ancora state stabilite le aree di sosta dei carrelli. Si è ipotizzato che vengano adibite nell'area di interscambio (Figura 4.10), ma, essendo solo un'ipotesi, è preferibile ritenere che lo spazio da percorrere sia maggiore e si avvicini al doppio dello spazio percorso attualmente. Se si ritiene fondata questa ipotesi, allora anche il tempo per percorrere il tratto sarà doppio rispetto ai 7 minuti attuali che il robot impiega per il trasporto del carrello del materiale. Se anche non fosse doppio, il tempo trascorso per portare a termine una missione comunque incrementerebbe, così come il tempo di attesa dei componenti. Risulta quindi evidente che due robot potrebbero non essere sufficienti. Inoltre, devono essere inserite delle aree di sosta per permettere al robot di posizionare i carrelli nell'area di interscambio di Rep1 (Figura 4.10).

Per quanto riguarda il prodotto finito, si deve trovare una soluzione per il problema precedentemente esposto riguardante il trasporto dei box B4. Dal momento che i box dei nuovi codici di e-WP appartengono a quella tipologia, si deve pensare o di acquistare dei carrelli di dimensioni maggiori oppure di utilizzare un altro metodo di trasporto automatizzato. Le aree di sosta, invece, rimangono quelle utilizzate attualmente.

5. CONCLUSIONI

Nel presente capitolo vengono riportate le conclusioni a cui è possibile giungere avendo sviluppato il caso studio riportato nell'elaborato. L'obiettivo è cercare di colmare, attraverso la descrizione di un caso aziendale, il gap che si ha nella letteratura per quanto riguarda applicazioni relative all'inserimento di un sistema che utilizza mezzi a guida autonoma. Nella letteratura, infatti, sono molteplici gli articoli che trattano l'utilizzo di AGV all'interno di magazzini, mentre scarseggiano quelli relativi al trasporto di materiale in linea. L'inserimento di questo metodo innovativo di trasporto del materiale porta con sé la necessità di apportare alcune modifiche al layout ed eventualmente alle mansioni del personale per fare in modo che esso sia integrato al meglio con flussi presenti nell'azienda.

Nei paragrafi successivi si vogliono evidenziare i benefici che sono stati apportati all'interno dell'azienda con l'introduzione del nuovo sistema per l'approvvigionamento del materiale e le limitazioni che questo metodo porta con sé. L'ultimo paragrafo tratta gli eventuali sviluppi futuri che è possibile avere all'interno dell'azienda.

5.1 Benefici apportati all'azienda dal lavoro svolto

Nel Capitolo 3 dell'elaborato viene analizzata nel dettaglio l'introduzione di un veicolo a guida automatizzata ed intelligente per il trasporto dei componenti in linea. Dal momento che questa mansione era precedentemente effettuata dai Team Leader della linea, averla automatizzata permette, allo stesso Team Leader, di non doversi allontanare dalla postazione di lavoro per recuperare il materiale di cui necessita, ma di rimanere nei pressi della linea, a disposizione e di supporto agli operatori. Inoltre, il Team Leader non deve perdere ulteriori minuti nel ricercare alcuni codici che potrebbero non trovarsi nella zona di picking. Ciò potrebbe essere dovuto alla disattenzione degli operatori di magazzino o al ritardo nella consegna da parte di qualche fornitore. In ogni caso, fare in modo che il materiale sia presente nell'area di picking del magazzino è una mansione di competenza del magazziniere e non deve essere l'operatore di linea a preoccuparsene.

Grazie all'inserimento di questo nuovo sistema di asservimento delle linee produttive, vengono suddivise le mansioni rispettando i vari ruoli, infatti non deve essere un operatore della linea a recuperare il materiale di cui necessita. Deve essere presente un operatore preposto per adempiere a questo compito. In tale contesto, non è stata ricercata una nuova figura da inserire nell'organico per effettuare il trasporto e il carico/scarico dei materiali, ma è stato introdotto un sistema che utilizza mezzi a guida autonoma. In questo modo è stato ridotto uno degli sprechi

della logica Lean, il trasporto: esso non viene eliminato, ma, non apportando valore al prodotto finito, viene fatto compiere da un mezzo che non richiede la presenza dell'uomo. Il magazziniere, quindi, oltre ad occuparsi del materiale stoccato in magazzino assicurandosi che sia sempre presente, deve caricare il materiale sui carrelli che l'AGV trasporterà in linea.

Utilizzare un mezzo a guida autonoma ha permesso, inoltre, una maggiore sincronizzazione tra le varie mansioni: sia gli operatori di linea sia quelli di magazzino hanno orari prestabiliti per il giro di asservimento. Di conseguenza si riducono le comunicazioni orali tra queste figure, poiché entrambe sanno già che cosa devono fare: il Team Leader carica le cassette vuote e segna il materiale di cui necessita sui cartellini che vengono apposti sui carrelli e che fungono da lista della spesa, il magazziniere scarica le cassette vuote e carica il materiale basandosi sulle richieste indicate sui cartellini e, successivamente, il Team Leader deposita il materiale trasportato dall'AGV sulle varie rulliere della linea.

I benefici principali dovuti all'implementazione del nuovo sistema di asservimento del materiale delle linee produttive, che sono stati riassunti nella Tabella 3.11 del Capitolo 3, sono il tempo recuperato dal Team Leader da poter dedicare agli operatori della linea, il trasporto effettuato da un AGV e la corretta suddivisione delle mansioni, infatti colui che si deve occupare del materiale in magazzino è il magazziniere e deve essere lui a caricare il materiale sui carrelli.

5.2 Limitazioni del lavoro svolto

L'inserimento dell'AGV nel reparto produttivo presenta alcune limitazioni. Innanzitutto, nella situazione attuale riportata nel Capitolo 3, non vengono coperte tutte le ore lavorative con il servizio di trasporto del materiale effettuato dall'AGV, ma si ha copertura solo dalle ore 6 alle ore 22, che corrispondono a due dei tre turni su cui gli operatori della linea vengono fatti ruotare. Ciò è dovuto sia alla mancanza di personale operante nel magazzino da inserire durante il turno notturno sia al fatto che non vi sarebbero altre mansioni da svolgere dalle 22 alle 6, dato che le consegne della merce o gli altri compiti vengono svolti durante le ore giornaliere. L'asservimento delle linee anche durante le ore notturne può essere inserito nel momento in cui si utilizza l'AGV per il trasporto dei componenti anche della Linea 2, in modo tale che l'operatore abbia due linee da asservire e dunque maggior tempo impiegato per queste mansioni. In tale contesto è possibile portare alla luce eventuali criticità o sovrapposizioni di orario che potrebbero sorgere durante l'asservimento di entrambe le linee. Si deve capire come incastrare al meglio gli orari di approvvigionamento in modo tale che entrambe le linee abbiano il materiale per produrre senza

ritardi. Queste problematiche devono essere risolte per rendere meno complesso e più agevole il successivo inserimento della Linea 3 nel giro di approvvigionamento.

Come riportato nel Capitolo 4, Paragrafo 4.2.3, l'introduzione delle Linee 2 e 3 nell'asservimento di materiali incrementa notevolmente il tempo impiegato dai magazzinieri in attività inerenti all'AGV e conciliare queste mansioni con quelle ordinarie non sarà più possibile. Si deve far strada l'idea che sarà necessario un operatore dedicato che si occupi di caricare e scaricare i carrelli trasportati dall'AGV.

Un'altra problematica legata al personale del magazzino è illustrata nel Capitolo 4, Paragrafo 4.2.3: gli operatori di magazzino che si occupano dello stoccaggio del prodotto finito delle water pump, oltre a non essere presenti durante il turno notturno come i magazzinieri che si occupano delle materie prime, potrebbero non essere in grado di ricoprire questo ruolo con l'aumento dei volumi e del business produttivo.

Inoltre, si deve capire se l'area di interfaccia con il magazzino, nella quale l'AGV rilascia e carica i carrelli sia sufficiente per ospitare tutte le partenze e gli arrivi che verranno a configurarsi dopo l'incremento dei volumi. Ciò, infatti, porta ad un aumento della frequenza dei trasporti rispetto alla configurazione attuale e la necessità di avere ulteriori baie di carico e scarico.

Oltre a questa problematica relativa al layout, vi sono due limitazioni per la navigazione dell'AGV: il divieto di transito nel corridoio tra la manutenzione e il reparto produttivo e la presenza di ulteriori mezzi di movimentazione nell'area per mezzo della quale il mezzo giunge nella zona di interfaccia con il magazzino. Il corridoio nel quale non è possibile transitare rappresenta una grande restrizione per il lavoro svolto poiché il tempo impiegato dall'AGV per raggiungere le zone in cui deve depositare i carrelli della Linea 1 è nettamente superiore di quello che impiegherebbe se potesse percorrere quel corridoio. Questo, infatti, rappresenterebbe il percorso più breve. Per risolvere la problematica legata al passaggio di ulteriori mezzi nella zona limitrofa al magazzino e fare in modo che i flussi non si intreccino, si potrebbe pensare ad una differente ubicazione dei pallet. Questi, infatti, vengono movimentati dall'operatore per mezzo di un transpallet elettrico. L'incrocio dei flussi, infatti, può portare alla perdita della geolocalizzazione del robot e un utente deve intervenire da pc o da tablet per risolvere l'errore, perdendo tempo dedicato alla produzione o ad altre mansioni.

5.3 Possibili sviluppi futuri

Il primo passo che l'azienda potrebbe fare è relativo all'inserimento di ulteriori veicoli a guida autonoma e di un software per la gestione della flotta (Capitolo 3, Paragrafo 3.3.2). Utilizzando più di un robot all'interno di una stessa area, sarebbe possibile diminuire il tempo di attesa per la presa in carico di una missione migliorando anche l'efficienza del sistema.

Per rendere massima la funzionalità degli AGV, potrebbe essere inserita la copertura del turno notturno. Così facendo, non si avrebbero differenze tra i metodi di approvvigionamento nei vari turni lavorativi, ma si utilizzerebbe il medesimo sistema. Per far ciò si dovrebbero prima effettuare le dovute analisi per determinare il numero di operatori che dovrebbero essere assunti per adempiere alle mansioni di carico e scarico dei carrelli delle materie prime e del prodotto finito. In questo modo, si analizzerebbe anche la possibilità di avere una sola persona che si occupa di tutte le mansioni legate all'AGV e non una per il prodotto finito e una per i componenti.

A livello di layout dello stabilimento, nel caso in cui vengano apportate le modifiche indicate nel Capitolo 4, si dovrebbe stabilire se il numero di aree di sosta presenti nella zona di interscambio con il magazzino sia sufficiente oppure no. Con lo spostamento del materiale delle e – WP in Rep1, le aree di sosta vicine al magazzino saranno destinate al prodotto finito mentre per quelle per i componenti verranno adibite nel Rep1, reparto che deve essere smantellato e in cui verranno ubicati sia i nuovi sia i vecchi codici di materie prime.

Per fare in modo che gli AGV non perdano la localizzazione durante la navigazione, si dovrebbe trovare una soluzione per la zona in cui si ha l'incrocio di differenti flussi produttivi, citata anche nel Paragrafo 5.2. Si potrebbero spostare le aree di approdo dei carrelli nella zona dove sono attualmente ubicati i pallet necessari per la linea produttiva posta nella zona adiacente e stoccare i pallet nell'attuale area di sosta. Si dovrebbe determinare se lo spazio a disposizione possa essere sufficiente per fare questo scambio, ma soprattutto capire se non vi siano problemi per l'AGV per effettuare le varie manovre per il carico e scarico dei carrelli.

Bibliografia

- Alnahhal, M., & Noche, B. (2013). Efficient material flow in mixed model assembly lines. *SpringerPlus*, Vol. 2 No. 415.
- Alnahhal, M., & Noche, B. (2015). Dynamic material flow control in mixed model assembly lines. *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 85, pp. 110-119.
- Bonsignorio, F. (2018). Umani e robot: possibili alternative nell'evoluzione della divisione tecnica del lavoro. In A. Cipriani, A. Gramolati, & G. Mari, *Il lavoro 4.0 : La Quarta Rivoluzione industriale e le trasformazioni delle attività lavorative*. Firenze.
- Butera, F. (2017). Lavoro e organizzazione nella quarta rivoluzione industriale: la nuova progettazione socio-tecnica. *L'industria*, Fascicolo 3, pp. 291-316.
- Carrozza, M. C. (2018). L'istruzione al tempo della Quarta Rivoluzione industriale. Sulla necessità di evocare le competenze trasversali ed il pensiero antidisciplinare negli studenti italiani. In A. Cipriani, A. Gramolati, & G. Mari, *Il lavoro 4.0 : La Quarta Rivoluzione industriale e le trasformazioni delle attività lavorative*. Firenze.
- Emde, S., & Boysen, N. (2012). Optimally routing and scheduling tow trains for JIT-supply of mixed-model assembly lines. *European Journal of Operational Research*, Vol. 217 No. 2, pp. 287-299.
- Enright, J. J., & Wurman, P. R. (2011). Optimization and Coordinated Autonomy in Mobile Fulfillment Systems. *Automated Action Planning for Autonomous Mobile Robots*. San Francisco, California, USA, pp. 33-38.
- Fedely, C., & Luttenberger, M. S. (2017). Faculty of Engineering, LTH. Department of Industrial Management and Logistics Division of Engineering Logistics. *A State of the Art Map of the AGVs Technology and a Guideline for How and Where to use it*.
- Fedorko, G., Honus, S., & Salai, R. (2017). Comparison of the Traditional and Autonomous AGV Systems. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 134 No. 13.
- Ferrari, G. (2018). *Application of an AGV system for material handling to a cellular manufacturing environment: the Valeo case*. Master of Science in Automotive Engineering, Master Thesis, Politecnico di Torino.

- Ferreira, T., & Gorlach, I. (2016). Development of an Automated Guided Controller using a model-based system engineering approach. *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol. 27 No. 2, pp.206-217.
- Giannini, M. (2017). L'implementazione di Industria 4.0: vantaggi e criticità. *Leadership and Management Magazine*. Available at: <https://www.leadershipmanagementmagazine.com/articoli/implementazione-industria-4-0-vantaggi-criticita/> (accessed 21/08/2019).
- Graf, J., Hinckeldeyn, J., & Kreutzfeldt, J. (2013). Development of a simulation tool for analyzing, evaluating, selecting and dimensioning steering systems of tugger trains. *Logistics Journal*, Vol. 2017 No. 10.
- Hellmann, W., Marino, D., megahed, M., Suggs, M., Borowski, J., & Negahban, A. (2019). Human, AGV or AIV? An integrated framework for material handling system selection with real-world application in an injection molding facility. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 101, No. 1-4, pp. 815-824.
- Hrušecká, D., Lopes, R. B., & Juříčková, E. (2018). Challenges in the introduction of AGVs in production lines: Case studies in the automotive industry. *Serbian Journal of Management*, Vol. 14 No 1, pp. 233-247.
- Keuntje, C., Hormes, F., & Fottner, J. (2018). Considering technical details in the planning of Tugger Train Systems. *HP3C Proceedings of the 2nd International Conference on High Performance Compilation, Computing and Communications*, Hong Kong, pp. 97-105.
- Keuntje, C., Kelterborn, M., & Günthner, W. A. (2017). Considering Ergonomics in the Planning of Tugger Train Systems for Production Supply. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 95 No. 11005.
- Kodym, O., Sedláček, M., & Kavka, L. (2016). Information support for logistic modelling. In *2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, IEEE, pp. 335-340.
- Llopis-Albert, C., Rubio, F., & Valero, F. (2018). Designing efficient Material Handling systems via Automated Guided Vehicles (AGVs). *Multidisciplinary Journal for Education, Social and Technological Sciences*, Vol. 5 No. 2, pp. 97-105.
- Lynch, L., Newe, T., Clifford, J., Coleman, J., Walsh, J., & Toal, D. (2018). Automated Ground Vehicle (AGV) and Sensor Technologies. *Twelfth International Conference on Sensing Technology (ICST)*, Limerick, Irlanda, pp. 347-352.

- Micieta, B., Zavodska, L., Rakyta, M., & Binasova, V. (2015). Sustainable concept for green logistics and energy efficiency in Manufacturing. In *International Scientific Book*, Chap. 33, pp. 391-400.
- Nagy, G., Illés, B., & Bányai, A. (2018). Impact of Industry 4.0 on production logistics. *XXIII International Conference on Manufacturing (Manufacturing 2018). Conf. Series: Materials Science and Engineering*.
- Neradilová, H., & Fedorko, G. (2016). The Use of Computer Simulation Methods to Reach Data for Economic Analysis of Automated Logistic Systems. *Economic Analysis of Automated Logistic System*, Vol. 6 No. 1, pp. 700-710.
- Pavini, M. (2011). Packaging e Material Handling. In R. Z. Farahani, S. Rezapour, & L. Kardar, *Logistics Operations and Management*, Chap. 9, pp. 155-180.
- Rafele, C. (2018). Materiale didattico del corso di "Supply Chain Management". Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale, Politecnico di Torino.
- Rinaudo, G. (2019). *Dimensionamento di un sistema di movimentazione interna in un sistema industriale*. Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale, Tesi Triennale, Politecnico di Torino.
- Sabattini, L., Aikio, M., Beinschob, P., Boehning, M., Cardarelli, E., Digani, V., . . . Vataavu, A. (2018). The PAN-Robots Project: Advanced Automated Guided Vehicle Systems for Industrial Logistics. *Robotics and Automation Magazine*, Vol. 25 No. 1, pp. 55-64.
- Scholz, M., Serno, M., Franke, J., & Schuderer, P. (2017). A Hybrid Transport Concept for the material supply of a modular manufacturing environment. *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, Modena, Vol. 11, pp. 1448-1453.
- Seha, S., Zamberi, J., & Fairul, A. J. (2017). Design and simulation of integration system between automated material handling system and manufacturing layout in the automotive assembly line. *4th International Conference on Mechanical Engineering Research. Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 257.
- Silva, T., Dias, L. S., Nunes, L., Pereira, G., Sampaio, P., Oliveira, J. A., & Martins, P. (2016). Simulation and Economic analysis of an AGV system as a mean of transport of warehouse waste in an automotive OEM. *19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Rio de Janeiro.

- Taha, Z., Mat-Jizat, J., & Ishak, I. (2012). Barcode detection using Omnidirectional vision for Automated Guided Vehicle navigation. *International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence*, Vol. 2012, pp. 589-592.
- Valmiki, P., Reddy, A. S., Panchakarla, G., Kumar, K., Purohit, R., & Suhane, A. (2018). A Study on Simulation Methods for AGV Fleet Size Estimation in a Flexible Manufacturing System. In *Materials today: Proceedings*, Vol. 5 No 2, pp. 3994-3999.
- Vis, I. F. (2006). Survey of research in the desing and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, Vol. 170, No 3, pp. 677-709.
- Wenbin, G., Yuxin Li, Z. L., & Yuhui, Q. (2019). An intelligent approach for dynamic AGV scheduling problem in the discrete manufacturing system. *3rd Information Technology,Networking,Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, Chengdu, Cina, pp. 1736-1739.
- Yadav, V., Jain, R., Mittal, M. L., Panwar, A., & Lyons, A. C. (2019). The propagation of lean thinking in SMEs. *Production Planning & Control*, Vol. 30 No. 10-12, pp. 854-865.
- Yoshitake, H., Kamoshida, R., & Nagashima, Y. (2019). New Automated Guided Vehicle system using real-time holonic Scheduling for warehouse picking. *Robotics and Automation Letters*, Vol. 4 No. 2, pp. 1045-1052.

Sitografia

- [1] http://www.logisticamente.it/Articoli/9122/Come_organizzare_il_material_handling_e_l'intralogistica
- [2] <https://www.logisticaefficiente.it/catalogo-logistica-efficiente/catalogo/material-handling>
- [3] comeselevatori.com
- [4] <http://www.transpalletmanuali.com/prodotto/transpallet-elettrico-bt-levio-140/>
- [5] <https://www.jtecindustries.com/about-j-tec/business-partners.html>
- [6] <http://chinarobotshop.com/product/qr-code-navigation-agv-transfer-robot-x67-mn50-series/>
- [7] <https://www.flexqube.com/news/transition-from-forklifts-to-tugger-train-system/>
- [8] <https://blogs.3ds.com/delmia/2018/11/introducing-agvs-on-the-shop-floor-here-is-what-you-need-to-keep-in-mind/>
- [9] <https://www.jtecindustries.com/blog/entry/optimizing-material-flow-with-a-tugger-cart-system.html>
- [10] <https://www.flexqube.com/en-gb/news/the-benefits-of-a-tongue-and-hitch-based-tugger-train-system/>
- [11] <https://www.flexqube.com/carts/mother-daughter-solutions/>
- [12] <https://www.flexqube.com/uploads/6/da/flexqube-and-linde-tugger-train.jpg>
- [13] <https://www.flexqube.com/uploads/4/db/release-cart-and-turn-to-either-side-of-the-aisle-with-fixed-casters-in-center-of-the-cart.jpg>
- [14] <https://www.flexqube.com/news/guide-basics-successful-material-handling/>
- [15] <https://www.still.de/en-DE/trucks/new-trucks/tugger-trains/automated-tugger-trains.html>
- [16] <https://www.still.com.br/22337+M54ec572b054.0.0.html>
- [17] <https://www.youtube.com/watch?v=4mAVdAJPTu8>
- [18] <http://www.alumotion.eu/2015/09/come-migliorare-il-tuo-magazzino-con-gli-agv/>
- [19] <https://www.indevagroup.it/indeva-agv-veicoli-guida-automatica/>

- [20] <https://www.alfacod.it/cosa-puo-fare-robot-mobile-logistica-produzione>
- [21] <https://www.investopedia.com/terms/f/flexible-manufacturing-system.asp>
- [22] <https://www.roboteq.com/index.php/applications/100-howto/%20278-building-a-magnetic-track-guided-agv>
- [23] <http://www.kivnon.com/en/agvmouse.html>
- [24] <https://www.directindustry.com/prod/stoecklin/product-17588-1935804.html>
- [25] <https://www.scottautomation.com/products/forklift-agv/>
- [26] <http://www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-technology/agv-technology/types-of-agv-navigation-systems-automated-guided-vehicles>
- [27] <https://www.gruppomovincar.com/AGV-tipologia-di-guida.html>
- [28] <https://www.kollmorgen.com/it-it/solutions/automated-guided-vehicles/building-agvs/>
- [29] https://www.ifm.com/it/it/category/010/010_045
- [30] <http://www.fis.unipr.it/~gigi/dida/Lab Fis Mod I/tutorial imaging Paolo Camorani.pdf>
- [31] <http://www.delucagiovanni.com/files/Odometria%20Robotica.pdf>
- [32] <http://www.systemlogistics.com/ita/prodotti/agv--automated-guided-vehicles-1>
- [33] <https://www.kanban.it/it/>
- [34] https://retail-chain.fr/media/Presentation/eu_br_1019_en_agv_screen_855796.pdf
- [35] <https://www.basystemes.com/en/industry-solutions/pharmaceuticals-cosmetics/loreal-faprogi/>
- [36] <https://www.ilpost.it/2016/07/28/amazon-ha-cambiato-anche-la-robotica/>
- [37] http://www.logisticamente.it/Articoli/8773/Amazon_punta_sui_robot_Kiva/
- [38] <https://www.ilpost.it/2016/07/28/amazon-ha-cambiato-anche-la-robotica/>
- [39] <https://www.wollybi.com/2017/09/15/industria-4-0-nuove-opportunita-lavoro/>
- [40] <https://www.beagle.eu/>

- [41] <https://www.medicalsearch.com.au/maximising-warehouse-workspace-with-tugger-trains/f/15863>
- [42] <http://www.cygia.com/en/goods/29>
- [43] <http://www.leanproducts.eu/robot-collaborativi-mobili-agv>
- [44] <https://picclick.it/120-x-80-PALLET-BANCALI-CON-TRAVERSE-PLASTICA-202652824917.html>
- [45] <https://www.civert.it/come-scegliere-la-giusta-copertura-mobile/>