



**POLITECNICO
DI TORINO**

Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi Magistrale

Dimensionamento di un sistema AGV ad asservimento di una linea produttiva

Relatore accademico:

Prof.ssa. Anna Corinna Cagliano

Candidato:

Sorce Ivano

Co-relatore aziendale:

Roberto De Vizia

Marzo 2020

Sommario

Introduzione.....	6
Capitolo 1: Analisi dei sistemi di movimentazione interna.....	8
1.1 Sistemi di trasporto interni.....	8
1.1.1 Caratteristiche.....	8
1.1.2 Tipologie.....	10
1.1.3 Unità di carico	11
1.1.4 Pallet	12
1.1.5 Contenitori.....	13
1.1.6 Cassette.....	14
1.1.7 Carrelli	15
1.2 AGV	16
1.2.1 Caratteristiche.....	17
1.2.2 Tipologie.....	23
1.2.3 Sicurezza.....	26
1.2.4 Sistemi anticollisione.....	27
1.2.5 Parametri di progettazione.....	29
Capitolo 2: Descrizione dell'azienda.....	38
2.1 Il gruppo.....	38
2.2 L'impianto di produzione	38
2.2.1 Storia.....	38
2.2.2 Struttura	40
2.3 Reparto eWP	42
Capitolo 3: Implementazione dell'AGV.....	45
3.1 Metodo attuale di approvvigionamento della linea 2.....	45

3.1.1	Caratteristiche.....	45
3.1.2	Prodotti realizzati e materie prime.....	46
	Imballi e contenitori.....	50
3.1.4	Descrizione del layout e delle postazioni di lavoro.....	52
3.1.3	Buffer di approvvigionamento.....	55
3.1.4	Postazioni per prodotto finito, materie prime e procedure di rifornimento della linea.....	56
3.1.5	Sistemi di movimentazione utilizzati	61
3.1.6	Criticità.....	61
3.2	Nuovo metodo di approvvigionamento della linea 2.....	62
3.2.1	Caratteristiche.....	62
3.2.2	Flotta.....	68
3.2.3	Implementazione dell'AGV	70
3.2.4	Tempi di AGV e magazzinieri	93
3.2.5	Analisi sforzo/benefici.....	100
Capitolo 4: Conclusioni.....		102
4.1	Benefici apportati all'azienda	102
4.2	Limitazioni al progetto di tesi	103
4.3	Sviluppi futuri.....	104
Bibliografia.....		109
Sitografia		113
Allegati.....		116
Allegato 1 - Tempi di percorrenza dell'AGV per il carrello uno della linea 1		116
Allegato 2 - Tempi di percorrenza dell'AGV per il prodotto finito della linea 1		117
Allegato 3 – Layout con un solo AGV		118

Allegato 4 – Layout tandem.....	119
Allegato 5 – Larghezza corridoi	120
Allegato 6 – Progetto di allargamento corridoi	121
Allegato 7 – Flusso layout single loop.....	122
Allegato 8 - Flussi layout bidirectional shortest path	123

Introduzione

Recentemente il settore manifatturiero sta pian piano iniziando a recepire ed applicare i principi di Industria 4.0, e ciò ha spinto le aziende a digitalizzare e automatizzare sempre più i propri processi industriali, tramite investimenti mirati in nuove tecnologie nel settore della robotica, dell'informatica e della produzione integrata. Allo stesso modo anche i processi logistici sono stati investiti da questa ondata di novità. In tale ambito codesto tipo d'innovazione porta sia ad un risparmio economico, in termini di costi del personale, che ad un incremento di efficienza degli operatori. Lo scopo del lavoro di tesi è l'implementazione di una flotta di AGV, a seguito della volontà aziendale di automatizzare il processo di asservimento tramite tale tipologia di robot. Sebbene questo tipo di veicoli fossero già presenti prima di Industria 4.0 le recenti innovazioni tecnologiche nel campo dell'informatica hanno reso questi robot sempre più interconnessi con le altre macchine e maggiormente controllabili tramite piattaforme digitali, rendendoli dei perfetti strumenti per apportare i principi cardine di Industria 4.0: interconnessione e digitalizzazione dei processi. La tesi è suddivisa in quattro 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 può apportare ad una realtà aziendale. 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. In tale impresa 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. Inoltre si sono dimensionati i carrelli su cui viene trasportato il materiale, in termini di numero di imballi

e disposizione degli stessi sui ripiani dei carrelli. Nell'ultimo capitolo, il quarto, sono presenti le conclusioni. Vengono esaminati i benefici apportati dal sistema a guida automatizzata all'interno dell'azienda in cui è stato svolto il lavoro, quali la riduzione del tempo perso e una maggiore sicurezza per gli operatori. Inoltre, vengono considerate le limitazioni che questo metodo presenta attualmente, come ad esempio la mancanza di spazi in reparto per garantire l'ottimale funzionamento del sistema, e gli eventuali passi futuri che l'impresa potrebbe compiere.

Capitolo 1: Analisi dei sistemi di movimentazione interna

Lo scopo di questo primo capitolo è fornire una visione d'insieme dei principali argomenti che verranno trattati in questo lavoro. Inizialmente verranno evidenziate brevemente le caratteristiche e le principali tipologie di sistemi di movimentazione interna per poi descrivere in modo più dettagliato le proprietà, le tipologie e il funzionamento di un sistema di Automated Guided Vehicle (AGV) in quanto oggetto di questo elaborato.

1.1 Sistemi di trasporto interni

1.1.1 Caratteristiche

Per sistemi di trasporto interno s'intendono tutti quei mezzi che permettono la movimentazione di materiali, di qualunque forma o tipo, all'interno degli stabilimenti, per soddisfare precisi requisiti di spazio e tempo (Monte, 2009). I materiali movimentati perciò potranno essere sia materie prime, che semilavorati o prodotti finiti. Per interno s'intende sia i reparti in cui vengono effettuate le lavorazioni che i magazzini che le zone di transito, purché siano all'interno di un edificio. Sono intese come movimentazioni sia il trasferimento tra reparti o magazzini, che le operazioni di scarico e carico o le movimentazioni nei pressi delle postazioni di lavoro. Tali movimentazioni non avrebbero però significato nel caso venissero effettuate senza rispettare i vincoli di tempo e spazio del sistema di produzione all'interno di cui sono inseriti perché impedirebbero lo svolgimento delle normali operazioni di lavorazione o assemblaggio, non mettendo a disposizione i materiali nel preciso istante di tempo necessario e nella specifica postazione che ne permetta il loro utilizzo [1].

Questi sistemi influenzano inoltre il layout di stabilimento che deve essere progettato in modo da permettere lo spostamento dei materiali in modo agevole (Benvenuti, 2019). Tali sistemi di trasporto rappresentano solo un costo, in quanto non aggiungono valore al prodotto finito, ma sono necessari per raggiungere lo scopo produttivo perciò il layout di stabilimento dovrà essere strutturato in modo da minimizzare i trasferimenti e le riprese di materiale (carichi/scarichi di materiale).

Costi

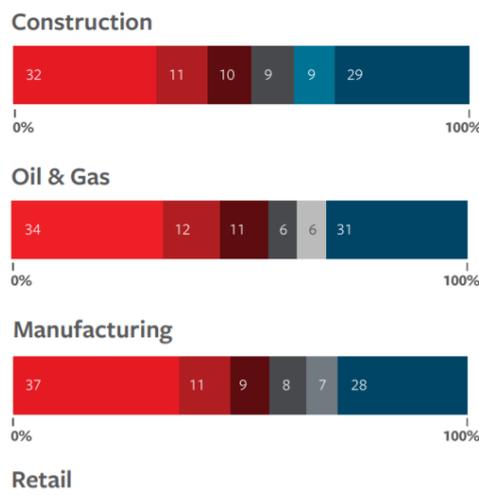
Questi mezzi di movimentazione permettono di ridurre i costi grazie ad un minor numero di movimentazione e riprese, ad un migliore utilizzo dello spazio all'interno dello stabilimento e ad un aumento di produttività del personale, che grazie a questi sistemi possono svolgere le operazioni di movimentazione in meno tempo o addirittura evitare di farle (Monte, 2009).

Scarti e perdite

Un'altra importante caratteristica è la riduzione di scarti e le perdite che permette di limitare i danni che spesso si creano durante le movimentazioni manuali a causa della pesantezza dei carichi e della limitatezza della forza e della precisione umana nel trasporto (Monte,2009).

Sicurezza

L'introduzione di queste strutture aiuta ad aumentare la sicurezza del personale



data revealed that some
nt causes.

injury for the
and was the only

Figura 1.1 Distribuzione degli incidenti sul lavoro per tipologia di infortunio in vari settori produttivi (Fonte: Travelers,2016,[2])

evitandogli di compiere sforzi eccessivi che potrebbero portare a incidenti anche gravi. L'Injury Impact Report (Travelers, 2016) ha analizzato più di 1,5 milioni di richieste di risarcimento presentate dal 2010 fino al 2014 da cui è risultato che oltre il 30% degli incidenti

si verificano durante lo spostamento di materiali, in particolare durante il carico e lo scarico perché è l'attività che richiede maggiore sforzo fisico. La figura 1.1 conferma quanto detto in precedenza e suggerisce un aumento della percentuale di incidenti dovuti

alla manipolazione di materiali in ambiti ad alta movimentazione, come il settore manifatturiero o la grande distribuzione.

Per poter progettare tali sistemi in modo ottimale sono stati definiti venti principi dal Material Handling Institute [3] di cui noi riporteremo solo i più interessanti per il nostro caso di studio:

- **Principio di meccanizzazione:** Più il sistema è meccanizzato, cioè fa uso di macchine [4] o automatizzato, cioè rende le macchine in grado di effettuare il compito senza l'intervento umano e più i vantaggi sono maggiori, sempre che sia possibile introdurre un sistema di tale tipo;
- **Principio di unità di carico:** L'economicità del trasporto aumenta con le dimensioni del carico portato;
- **Principio di flessibilità:** Il valore di un sistema di trasporto aumenta con la sua flessibilità, cioè con la capacità di svolgere compiti diversi.

1.1.2 Tipologie

I sistemi di trasporto interno possono essere classificati in molti modi diversi, nella tesi verranno presentati i più comuni e pertinenti al caso di studio trattato.

Continui o discontinui



Figura 1.2 Sistema di movimentazione continuo a rulliera(Fonte:Hieker,2019,[5])



Figura 1.3 Sistemi di movimentazione discontinui (Fonte: Crystal Foreman,2019,[6])

A seconda che movimentino il materiale in modo perenne o si attivino a chiamata nel momento in cui serve trasportare un dato materiale. La prima tipologia è più presente all'interno delle linee produttive (figura 1.2) mentre la seconda è usata per spostamenti di materie prime, semilavorati o prodotti finiti tra reparti o tra isole e magazzini (Figura 1.3).

Automatici o con comandi

A seconda del fatto che debbano essere comandati da un essere umano, tramite un timone, come il carrello elevatore in figura 1.4 oppure programmati a svolgere determinati compiti senza l'intervento umano, come in figura 1.5.



Figura 1.4 Sistema di movimentazione verticale
(Fonte: Pramac, 2019, [7])



Figura 1.5 Sistema di movimentazione automatico
(Fonte: Ceratec, 2019, [8])

Nei paragrafi 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5, 1.1.6 e 1.1.8

verranno presentati i principali elementi che permettono il trasporto tramite sistemi di movimentazione interna.

1.1.3 Unità di carico

Un'unità di carico è un raggruppamento di materiali disposto in modo da poter essere raccolto e trasportato come una singola unità in modo agevole e che mantenga la stessa disposizione al momento del rilascio, per il trasporto successivo. Si potrebbe definire come l'unità base per il trasporto di materiali e si può comporre in molti modi [9].

Esistono tre principali tipologie di unità di carico: a contenitore, ovvero tramite l'inserimento dei pezzi in una scatola in un dato ordine (Figura 1.6); ad impilamento di blocchi, ovvero tramite la sovrapposizione di scatole, contenenti uno o più pezzi, secondo uno schema prefissato (Figura 1.7) oppure tramite regetta, ovvero sigillando i pezzi con bande di plastica di vari spessori e larghezze chiamate "regetta" e mantenuti stabili attraverso degli elementi di sostegno (Figura 1.8).



Figura 1.6 Unità di carico a contenitore (Fonte: Smurfitkappa,2019,[10])

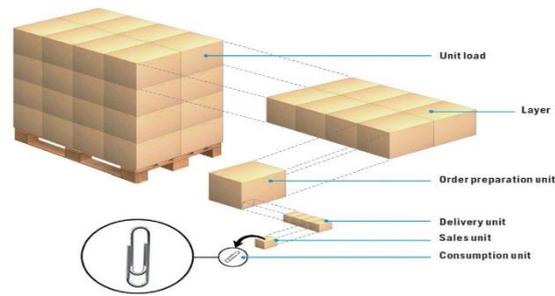


Figura 1.7 Unità di carico a pallet (Fonte: Mecalux,2019,[11])



È fondamentale che le unità di carico siano impilabili verticalmente tra loro e che siano “forcolabili” cioè che possano essere trasportate da mezzi dotati di forche (Monte, 2009).

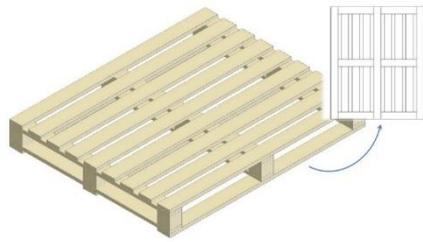
Figura 1.8 Unità di carico a reggetta (Fonte: Empaquesinternacionales,2019, [12])

Tali considerazioni sono state fatte per un sistema di AGV ma sono valide per qualsiasi sistema di trasporto interno.

1.1.4 Pallet

I pallet sono delle piattaforme portatili orizzontali rigide, utilizzate come base per lo stoccaggio, l'accatastamento, la movimentazione e il trasporto di merci. Tra i principali motivi della loro diffusione ci sono: la maggiore efficienza della distribuzione e dello stoccaggio e la maggiore protezione dei prodotti. Infatti, all'incirca l'80% della movimentazione di merci, negli USA, è effettuato tramite pallet (Raballand and Aldaz-Carroll, 2007). Vengono usati come unità accessorie all'unità di carico che permettono di renderla “forcolabile”. Possono essere di legno (le più comuni), metallo o plastiche varie. Permettono di ridurre le manipolazioni, abbassando la probabilità di danni o perdite di materiale, producendo risparmi che però devono essere superiori ai costi di acquisto e mantenimento del pallet (Monte, 2003).

Sono state create varie tipologie di pallet, descritte dettagliatamente nella norma UNI 5042, tuttavia per il trasporto tramite AGV viene utilizzato solo il tipo a quattro vie, cioè



in cui le forche possono essere inserite su tutti e quattro i lati (Figura 1.9).

I principali standard in fatto di dimensioni emersi in Europa sono quattro: 800 mm x 1000 mm; 800 mm x 1200 mm; 1000 mm x 1200 mm; 1200 mm x 1200

Figura 1.9 Pallet a quattro vie mm
(Fonte: Tacchella, 2019, [13])

Esistono alcune regole nell'utilizzo dei pallet:

- Solitamente l'altezza dell'unità di carico, incluso il pallet, non deve superare i 2 metri;
- È necessario minimizzare la superficie, non coperta da carichi, del pallet;
- Disporre i colli appoggiandoli sulla faccia dalle dimensioni maggiori;
- Nel caso di impilamento a blocchi disporre i colli in modo incrociato per far sì che ogni collo poggi su almeno due altri colli, almeno in parte;

1.1.5 Contenitori

I contenitori, oltre le funzioni di trasporto e stoccaggio, svolgono anche un importante funzione di protezione del materiale da possibili urti. Possono essere in legno, plastica o altri materiali metallici [14]. Due sono le principali tipologie in utilizzo per il trasporto di prodotto finito nell'impresa: quelli a parete piena (Figura 1.10) e quelli ripieghevoli (Figura 1.11). Entrambi possono avere uno sportello su un lato, per favorire il carico e lo scarico dei pezzi. Non è indispensabile che i contenitori siano “forcolabili” e impilabili perché possono essere usati i pallet per risolvere questo problema ma per una questione di risparmio dei costi (sui pallet) non sono molto usati.



Figura 1.10 Contenitore a parete piena (Fonte: Ansaloni, 2019, [15])



Figura 1.11 Contenitore ripieghevole (Fonte: Ferplast, 2019, [16])

Esiste un limite al numero di contenitori impilabili tra loro a causa di vincoli di pesantezza (maggiore è il peso e più aumenta la forza esercitata sui contenitori in basso), di stabilità della pila e di facilità di trasporto. La capacità di un contenitore può essere molto variabile in quanto si può partire da contenitori di 1 m³ per arrivare a decine di m³ (chiamati container), tuttavia questo studio si occuperà solo di quelli di basso volume, in quanto i container non sono utilizzati per i trasporti interni.

1.1.6 Cassette



Figura 1.12 Cassetta "Odette" (Fonte: Contenitori Industriali, 2019, [18])

Le cassette sono piccoli contenitori di dimensioni e forme variabili molto utilizzate nelle imprese perché oltre a svolgere una funzione di facilitazione alla movimentazione permettono un facile stoccaggio dei materiali [17]. Come mostrato in figura 1.12 possono essere in legno o materiali plastici e metallici e solitamente sono sovrapponibili. Spesso hanno dimensioni che sono sottomultipli dei pallet standard per permetterne la

sovrapposizione sopra di essi in modo da formare unità di carico standard e regolari (Monte, 2009). Le cassette sono molto usate per il contenimento delle materie prime utilizzate in linea di produzione e a questo proposito per il settore "automotive" esiste un

organo europeo (chiamato “*Odette*”) che ha definito delle cassette standard modulari e impilabili, in plastica ma riciclabili, con capacità da 5 a 60 dm³ che consentono la pallettizzazione a blocchi (Figura 1.12).

1.1.7 Carrelli

Sono intesi come carrelli tutti quei mezzi in grado di traslare orizzontalmente e/o verticalmente un carico di materiali. Sono mezzi di trasporto discontinui e posso essere motorizzati o meno (Monte, 2009). Ne esistono di svariati tipi ma qui verranno presentati solo quelli di maggior interesse per questa tesi:



Figura 1.13 Carrello a sei ruote (Fonte: LeanProducts,2019,[19])

Carrelli a traslazione manuale

Sono tutti quei mezzi per cui è necessaria una spinta meccanica umana per trasportare il carico. Si possono classificare a seconda del numero di ruote, da un minimo di due fino ad un massimo di sei. Il sistema AGV in uso utilizza però solo carrelli con sei ruote perciò verrà descritta solo questa tipologia. Questo tipo di carrelli possiedono due ruote centrali fisse mentre le quattro alle estremità sono pivotanti

(Figura 1.13). Ciò garantisce stabilità ma allo stesso tempo manovrabilità. La portata di tali carrelli dipende dallo sforzo necessario e dal tipo di pavimentazione in cui dovranno muoversi;

Carrelli trasportatori/elevatori

Sono in grado di trasportare e sollevare pallet, contenitori o colli tramite apposite forche. Sono comandati attraverso dispositivi meccanici ed il dispositivo di movimentazione è solitamente idraulico (Figura 1.14). Possiedono un'elevata manovrabilità rispetto ai motorizzati e per questa ragione sono utilizzati negli spazi stretti. Tuttavia, non possono raggiungere grandi altezze (100-200 mm). Considerazioni analoghe a quelle fatte per i carrelli manuali possono essere fatte per quanto riguarda la portata.



Figura 1.14 Carrello trasportatore/elevatore manuale con limitato sollevamento (Fonte: Bricoman,2019,[20])

Carrelli trasportatori/elevatori motorizzati



Possono essere a motore elettrico o termico. I primi sono meno rumorosi e non emettono gas di scarico ma devono essere ricaricati, mentre i secondi sono più robusti, riescono a caricare pesi superiori e sono più adatti a viaggiare su terreni irregolari ma sono più inquinanti [21]. Il sollevamento delle forche è eseguito tramite un sistema di catene oppure idropneumatico, comandato dal motore. In figura 1.15 è mostrato un carrello trasportatore elevatore elettrico senza postazione per il conducente, manovrato perciò tramite un timone sul retro del carrello.

Figura 1.15 Carrello trasportatore/elevatore elettrico (Fonte: Tuttologistica.it, 2019, [21])

1.2 AGV

Gli Automated Guided Vehicles sono sistemi di trasporto interno a guida autonoma in grado di trasportare materie prime, semilavorati o prodotti finiti, sotto forma di unità di carico, senza l'intervento umano. Seguendo dei percorsi preimpostati sono in grado di movimentare materiale tra magazzini e linee estendendo il processo di automazione ai trasporti interlinea, come già avvenuto all'interno delle linee. Questo tipo di veicoli sono molto usati soprattutto all'interno dei Flexible Manufacturing Systems [22] cioè quegli ambiti produttivi in cui la variabilità della domanda ed il breve ciclo di vita dei prodotti richiedono una notevole flessibilità e adattabilità dei sistemi di movimentazione del materiale perché garantiscono una rapida ed efficiente riorganizzazione dei flussi di materiale (Mohammed and Wasif, 2010).

1.2.1 Caratteristiche

Un sistema AGV è composto da quattro principali componenti, che gli permettono di muoversi attraverso le trafficate zone di un impianto di produzione, senza perdersi ed evitando collisioni con ostacoli lungo il cammino.

Il sistema di guida

È il sistema che permette all'AGV di movimentare in autonomia il materiale e ne esistono di vari tipi:

Induttiva

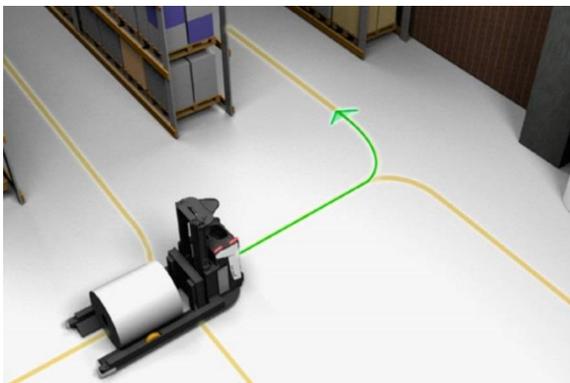


Figura 1.16 Guida induttiva (Fonte: Movincar, 2019, [23])

L'AGV segue un cavo attraversato da corrente e posto sul pavimento in maniera induttiva, come si può vedere in figura 1.16. Il filo in rame è isolato tramite un rivestimento in plastica e posizionato in una scanalatura del pavimento, ricoperta tramite resina sintetica in cui è interposto uno strato di gomma per permettere piccoli movimenti del cavo. Il filo è attraversato da corrente alternata (minore di 400 mA) a bassa tensione (minore di 40 V) e ad una determinata frequenza (solitamente tra 1 e 15 kHz) per far sì che si generi un campo magnetico concentrico al cavo. Gli AGV sono in grado di rilevare il campo magnetico e seguirlo, tramite dei sensori magnetici a bobina o delle antenne. Secondo studi empirici sul campo per evitare disturbi del campo magnetico nel filo sarebbe opportuno non collocare dispositivi che generano campi magnetici nel raggio di tre metri dal filo. In alcuni casi particolari potrebbero essere necessari più cavi per implementare funzioni di controllo aggiuntive, come quella anticollisione, tuttavia tali argomenti verranno trattati esaurientemente in un paragrafo dedicato. Questo sistema di guida permette un accurata tracciabilità e controllabilità dei robot ma come sottolineano (Field et al, 1991) comporta elevati costi di implementazione, manutenzione e di modifica del layout, rendendo il sistema inflessibile ed implementabile solo in alcuni contesti produttivi particolari.

Ottica



Figura 1.17 Guida ottica a spot
(Fonte: Movincar, 2019, [23])



Figura 1.17 Guida ottica a nastro colorato
(Fonte: Levante, 2019, [24])

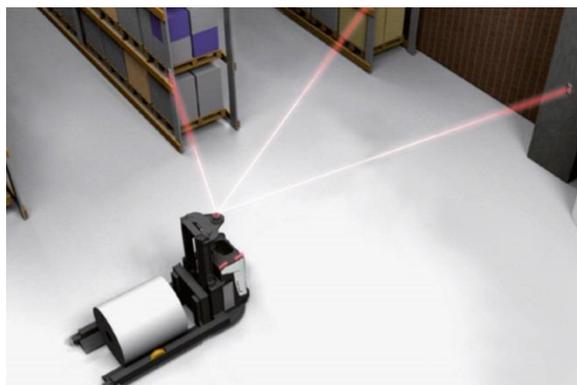


Figura 1.19 Guida ottica a laser
(Fonte: Movincar, 2019, [23])

In questo caso l'AGV segue dei riferimenti sul pavimento o lungo il tragitto tramite dispositivi ottici o a laser. Nel caso di AGV dotati di dispositivi ottici viene posizionato un nastro riflettente o una serie di spot magnetici sul pavimento (figura 1.17). L'AGV invia un raggio di luce polarizzata che viene riflesso dal nastro e captato dal robot, che individua così il

percorso da seguire. Nel caso di AGV dotati di

telecamera invece sono presenti dei riferimenti a terra oppure un nastro colorato, che la telecamera interna del robot è in grado di riconoscere. Questo dispositivo determina ad intervalli regolari la posizione dei riferimenti o del nastro, in modo da mantenere il veicolo lungo la giusta traiettoria.

All'interno dell'AGV è presente una telecamera (figura 1.18). Gli AGV

dotati di sistemi laser invece (figura 1.19) sono dotati di una testina laser rotante che invia fasci laser tutto attorno a sé stessa, come descritti da (Field et al, 1991) all'interno del loro brevetto. Alcuni fasci vengono poi riflessi da riferimenti catarifrangenti lungo il percorso ed individuati dalla testina, che calcola distanza e angolazione di ogni oggetto. A

seconda dell'angolazione del fascio di ritorno il calcolatore di bordo è in grado di confrontare la posizione attuale con il percorso memorizzato al proprio interno e correggere la traiettoria se necessario. Solitamente è presente a bordo anche un encoder

che rileva il percorso già compiuto in modo da controllare l'effettivo avanzamento, tramite la trasformazione degli angoli di rotazione delle ruote in impulsi fotoelettrici. Alternativamente al nastro il percorso può essere dipinto con vernice fluorescente o meno, in modo da essere meglio individuata dai sensori del robot. Tuttavia, qualsiasi segnalatore si utilizzi è importante che sia ben visibile, chiaro e pulito altrimenti i sensori dell'AGV potrebbero non riconoscere la guida. Tale sistema ha costi molto inferiori rispetto al caso precedente perché non deve essere interrato alcun cavo ma è maggiormente influenzato dalle condizioni di lavoro dell'ambiente circostante come la presenza di ostacoli, di spazi ristretti o dalla disposizione dei riflettori.

Mista

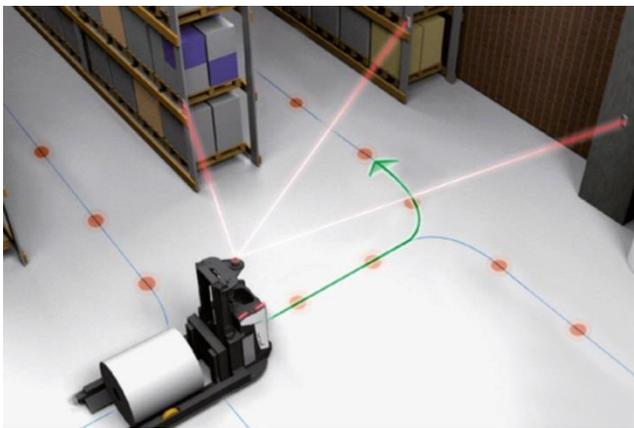


Figura 1.20 Guida mista (Fonte: Movincar, 2019, [23])

Questo è il sistema di guida più interessante per il nostro caso di studio perché è quello utilizzato dal sistema di AGV nell'impianto di produzione. A differenza dei sistemi precedenti (in cui vengono utilizzati dati provenienti prevalentemente da una sola tipologia di sensore) in questo caso vengono raccolti dati da diversi tipi di sensori (telecamere, laser scanner,

ultrasuoni...) e processati congiuntamente tramite algoritmi di fusione (Wang et al; 2018). In figura 1.20 è possibile vedere un esempio di tale tipologia di sistema. Gli AGV equipaggiati con questo sistema di guida sono in grado di compiere distanze superiori, riuscendo ad evitare ostacoli fissi e mobili. I laser scanner permettono di mappare l'area circostante nelle due dimensioni di lunghezza e larghezza mentre le telecamere rendono possibile identificare tridimensionalmente gli oggetti lungo il percorso. Infine, i sensori ad ultrasuoni consentono il riconoscimento di oggetti semi-trasparenti o trasparenti come vetri o superfici in plastica.

Il sistema di trasmissione delle informazioni

Esistono diversi metodi di trasmissione delle informazioni: a tastiera, induttivi, a infrarossi o via radio. Tuttavia, verrà presentato solo quest'ultimo perché utilizzato dal sistema AGV in uso. Questo sistema trasmette informazioni attraverso onde radio nella gamma UHF. Sia il calcolatore centralizzato che gli AGV sono dotati di una ricetrasmittente ma il calcolatore possiede anche un concentratore di segnale per

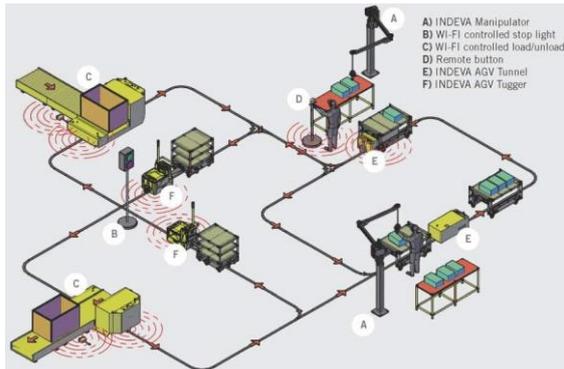


Figura 1.21 Trasmissione radio
(Fonte: Indevagroup, 2019, [25])

permettere la discriminazione di diversi segnali provenienti da più AGV. Invece gli AGV sono dotati di un terminale remoto che funge da interfaccia con il calcolatore interno, traducendo il segnale proveniente dall'esterno (Monte, 2009). In figura 1.21 è possibile osservare la struttura di tale sistema. Il più grande vantaggio di questo sistema è l'assenza di postazioni fisse lungo

il percorso che permette maggiore flessibilità nei percorsi. Tuttavia, il sistema risente di possibili interferenze elettromagnetiche provenienti dall'ambiente esterno o dagli altri macchinari presenti in linea.

Il sistema di gestione della flotta

È un calcolatore in grado di programmare, gestire e ottimizzare il lavoro di più AGV che movimentano materiale in un reparto. E in grado di controllare il traffico evitando collisioni tra AGV i cui percorsi possono incrociarsi. E anche il grado di assegnare priorità alle missioni programmate, su indicazione del personale di linea. Esistono tre tipi di sistemi di gestione: centralizzato, decentralizzato o misto. Nel sistema decentralizzato la gestione delle missioni è affidata ad un calcolatore dedicato, interno agli AGV mentre in quello centralizzato il calcolatore non è presente sui robot ma su un supporto hardware esterno. Il sistema di AGV in implementazione utilizza una forma mista in cui è presente sia un calcolatore esterno che uno interno ai robot. Rispetto ad un sistema centralizzato questa soluzione permette in funzionamento degli AGV anche in caso di malfunzionamenti del calcolatore esterno, mantenendo comunque tutte le funzioni di

gestione di una flotta di robot che solo un calcolatore esterno può fornire, ma produce un flusso d'informazioni maggiore rispetto ad un sistema decentralizzato.

Il sistema di movimentazione

Questo è il sistema fisico che permette all'AGV di muoversi, caricare o scaricare ed eseguire tutte le operazioni necessarie a tali scopi. È composto principalmente da due componenti, di seguito descritti:

Il sistema di sterzo

Le principali tipologie di strutture di sterzo si differenziano per il numero e la disposizione delle ruote che controllano velocità e direzione, rispetto a quelle libere. (Wang et al, 2018) forniscono una classificazione dei principali sistemi di sterzo, concentrandosi in particolare sulla struttura differenziale, oggetto sia del loro che del

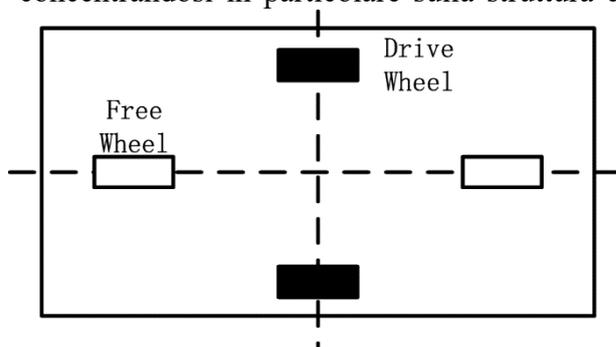


Figura 1.22 Sistema differenziale (Fonte: Wang et al,2018)

nostro studio. La struttura più semplice è quella ad una ruota timone, collocata solitamente frontalmente, che può essere resa più complessa aggiungendo una ruota timone sul retro. Infine, la struttura più complessa, chiamata differenziale, prevede due ruote timone sull'asse

centrale e due o più ruote libere frontalmente e sul retro dell'AGV (Figura 1.22). L'aumentare del numero di ruote permette all'AGV di fare movimenti sempre più complessi, che partono dalla semplice traslazione alla rotazione di 360°, di aumentare la capacità di carico e migliorare l'accuratezza nel controllo dei propri movimenti;

Motori

Un AGV è composto da più motori elettrici a spinta di trazione o rotazione. Tali motori sono solitamente associati alle ruote timone e ne permettono il movimento. Maggiore è il numero di motori associati e più il sistema acquisisce potenza e capacità di eseguire manovre particolari, tuttavia maggiore è anche la complessità nel controllo di tale sistema.

Vantaggi e svantaggi

Tra i principali vantaggi di tali sistemi troviamo la flessibilità, l'utilizzo dello spazio, la sicurezza e i costi (Ganesharajah et al, 1998). Questi sistemi sono estremamente flessibili in quanto il layout dei percorsi può essere facilmente modificato in pochi minuti, con un basso consumo di tempo e risorse. Inoltre, non hanno bisogno di spazi dedicati, a differenza di molti altri sistemi di movimentazione (per esempio un nastro trasportatore), perché occupano tali spazi solo nei momenti in cui vengono effettuati i trasporti, i carichi o gli scarichi di materiale oppure nei momenti d'inattività, nel caso si tratti di parcheggi di sosta. Questo permette di aumentare l'utilizzazione dello spazio in reparto, incrementando l'efficienza nella gestione degli spazi. Per quanto riguarda la sicurezza ne parleremo in un paragrafo dedicato. Infine, anche se gli AGV richiedono un notevole investimento iniziale sono in grado di ripagare velocemente tale esborso perché permettono di ridurre i costi operativi unitari di trasporto, liberando al tempo stesso personale dallo svolgimento di attività necessarie ma senza valore aggiunto come quelle di movimentazione dei materiali. Questo è tanto più vero quanto più aumentano gli spostamenti.

La maggior parte delle applicazioni di AGV avviene in contesti produttivi Just In Time (JIT) in quanto in tali sistemi produttivi la flessibilità e la possibilità di ridurre il magazzino (tramite una maggiore frequenza dei trasporti) garantiti dagli AGV sono fondamentali. Infatti, come riportato da (Ganesharajah et al, 1998) "il 56% delle installazioni di sistemi AGV, nel 1989, erano su sistemi JIT".

I principali svantaggi sono dati dalla difficoltà nel progettare tali sistemi, a causa della presenza di fattori decisionali multipli, le cui interazioni e impatti a livello di performance sono difficili da predire senza un'analisi approfondita dell'intero sistema produttivo e dalla complessità del sistema di controllo che cresce con l'aumentare della complessità del sistema (Ali and Khan, 2010).

1.2.2 Tipologie

Trainante a rimorchio

Questo tipo di AGV permette il trasporto di uno o più carrelli tramite un dispositivo di manipolazione a gancio, collegato all'AGV, ed una serie di piccoli ganci tra i carrelli, come si vede in figura 1.23 [27]. L'AGV è chiamato trattore ed ha il solo compito di



Figura 1.23 AGV a rimorchio
(Fonte: Americainmotion, 2019, [26])

trascinare i carrelli, che invece sono delegati al sostenimento del materiale da trasportare. I carrelli sono chiamati rimorchi. È possibile automatizzare sia le operazioni di aggancio e sgancio che quelle di carico e scarico. Il raggio di curvatura dipende dal numero e dal tipo di carrelli agganciati ma è sicuramente maggiore degli altri tipi di AGV, che vedremo nei

prossimi paragrafi. Dato l'alto raggio di curvatura e l'elevata capacità di carico questo tipo di AGV è più adatto in spazi ampi e trafficati oppure quando la distanza da percorrere è notevole. La capacità di carico può variare infatti da poche centinaia di Kg (all'incirca 300 Kg) fino ad una trentina di tonnellate.

Trasportatori di unità di carico

A differenza dei modelli trainanti questo tipo di AGV solleva il carico per trasportarlo. Tali macchinari sono in grado di trasportare carichi fino a 2 tonnellate e la loro dimensione e potenza variano in base alla portata massima. La velocità massima raggiungibile si aggira intorno agli 1,2 m/s e anche se potenzialmente potrebbero raggiungere i 3-4 m/s questa capacità non viene sfruttata perché richiederebbe misure di sicurezza molto severe, non eliminando comunque il rischio di danneggiare il carico, data la non elevata stabilità dello stesso. Il raggio minimo di curvatura si aggira intorno agli 1,5 metri ma si ricorda che esistono AGV in grado di ruotare di 360° su sé stessi.

Ne esistono due grandi tipologie:

- **A sollevamento dorsale** ovvero il robot si posiziona sotto un carrello (che



contiene l'unità di carico al di sopra) e lo solleva di pochi millimetri. Questo tipo di AGV è dotato di uno o più pistoni, sul dorso, che si sollevano e s'inseriscono in apposite cavità sul carrello in modo da tenerlo ben saldo al robot. La figura 1.24

Figura 1.24 AGV a sollevamento dorsale (Fonte: Flexcube, 2019, [28])

mostra uno di questi AGV in moto, con un carrello sul dorso;

- **Dotati di attrezzature di supporto** ovvero l'unità di carico è posta direttamente al di sopra dell'AGV, che è dotato di un'attrezzatura di supporto in modo da mantenere saldo il carico. AGV di questo tipo permettono



Figura 1.25 AGV con attrezzatura di supporto (Fonte: Warehouseautomation, 2019, [29])

l'automatizzazione delle operazioni di carico/scarico tramite accessori quali piattaforme girevoli e sollevabili, rulli o nastri motorizzati. Ad

integrazione di queste strutture possono essere

installati sopra il robot dei cobot, ovvero macchinari intelligenti che sono in grado di interagire e collaborare con i dipendenti umani all'interno di un unico spazio di lavoro condiviso. Spesso sono bracci robotici autonomi in grado di caricare o scaricare pezzi dal veicolo. Alternativamente il cobot può essere installati nei pressi di un nastro trasportatore vicino ad un buffer di linea in modo da automatizzare sia lo l'asservimento della linea che quello dell'AGV. La figura 1.25 mostra due AGV di questo genere che trasportano altrettanti carichi, di conformazione diversa ma tramite lo stesso meccanismo e che collaborano con un cobot, in modo da rendere le operazioni di carico e scarico automatizzate.

Laser Guided Vehicle (LGV)

Sono una sottofamiglia degli AGV, e ne costituiscono i membri più all'avanguardia. La movimentazione dipende infatti da laser scanner che consentono una mappatura completa dell'area di lavoro, senza la necessità di indicatori per effettuare il proprio tragitto. Questo tipo di veicoli offrono qualche vantaggio in più rispetto ai tradizionali AGV, in particolare quelli derivati dall'assenza di marker nello spazio lavorativo: gli indicatori di percorso sono soggetti a logoramento, pertanto periodicamente devono essere sostituiti. I veicoli a guida laser evitano sia quest'inconvenienza, sia quella di effettuare costose modifiche di configurazione degli impianti. Insomma, maggiori le tecnologie impiantate su un agv, maggiori i vantaggi. Alcuni di essi, oltre ai laser scanner hanno integrati anche sensori a ultrasuoni e telecamere 3D, accessori che permettono al robot di effettuare una mappatura completa e precisa dell'ambiente di lavoro (Di Sofia, 2018).

Elevatori/Trasportatori



Figura 1.26 AGV elevatore/trasportatore (Fonte: AGVE,2019, [30])

Ispirati ai più classici trans-pallet questi tipi di AGV sono in grado di trasportare e sollevare carichi trasportare e sollevare carichi a grandi altezze per posizionarli solitamente su scaffali o ripiani. Caratteristica fondamentale di questo tipo di veicoli è la presenza di forche per il trasporto e il sollevamento, come si può vedere in figura 1.26. La

capacità di tali robot può variare da poche centinaia di chili fino a qualche tonnellata. A differenza di un normale trans-pallet manuale, le forche dell'AGV seguono il veicolo invece di precederlo, per una questione di sicurezza e di protezione del carico. In alcuni casi le forche possono anche essere telescopiche a presa laterale detti bilaterali, ad esempio se fosse necessario che l'AGV si accosti ad una rulliera per prelevare o depositare un pallet da o sui rulli, o su un banchetto o baia passiva [30].

1.2.3 Sicurezza

La sicurezza è un tema fondamentale in questi dispositivi perché dotati di movimento autonomo e perciò non sotto il diretto controllo umano. L'assenza di misure di sicurezza potrebbe causare lesioni a cose e soprattutto persone, provocando danni legali ed economici all'impresa. Per tale motivo sono stati studiati diversi metodi e dispositivi di sicurezza, qui elencati e descritti:

- **Pulsanti d'arresto d'emergenza** posti in posizioni immediatamente raggiungibili dagli operatori in caso di pericolo. Solitamente di colore rosso, molto grandi e vistosi permettono di interrompere l'operazione in corso ed arrestare l'AGV nel punto in cui si trova (Monte, 2009). Come si può vedere in figura 1.27 infatti tale pulsante è posto sul retro del robot, in una zona accessibile anche durante il trasporto di un carrello;
- **Segnali ottici** posti a bordo dell'AGV in modo che sia visibile anche a grande distanza. Può essere imbastito un sistema d'indicazioni luminose per segnalare lo stato del robot, come per esempio si vede in figura 1.27 dove l'avanzamento è segnalato tramite una banda led colorata tutto intorno al robot (Kulwiec, 1985). Per esempio, il rosso potrebbe indicare lo stop d'emergenza, il giallo che l'AGV è in pausa, il blu che è in movimento e così via;
- **Segnali acustici** ovvero l'emissione di un suono intermittente, solitamente molto acuto e di grande intensità (in modo che si senta anche a distanza), che segnali il movimento dell'AGV (Kulwiec, 1985). In tal modo è possibile indicare la presenza del robot anche in vicoli ciechi o zone in cui la visuale è coperta. Spesso sono disponibili anche altri tipi di suoni (come sirene o voci umane robotizzate) da utilizzare in particolari situazioni;

- **Paraurti** con sensori di contatto che ordinano l'arresto del veicolo in caso di urti con ostacoli. Solitamente sono costituiti da materiali semi-elastici (tipo la plastica) sia per assorbire l'urto con l'ostacolo (che potrebbe anche essere una persona) sia



Figura 1.27 AGV con sistemi di sicurezza (Fonte: MiR,2019,[31])

- **Sistemi di blocco del carico** che permettono di mantenere saldo il materiale trasportato durante curve o frenate in modo da evitare cadute che potrebbero danneggiare cose o persone. Nel caso di rimorchi è necessario che sia presente un sistema di carico/scarico sicuro e che siano impediti sganci accidentali (Monte, 2009). In figura 1.27 si può vedere il sistema di aggancio del carrello nella parte superiore dell'AGV, che permette di mantenerlo saldo durante il trasporto.

per dare il tempo all'AGV di frenare in sicurezza, infatti la distanza percorsa dall'inizio della frenata all'arresto coincide con il limite di deformazione elastica del paraurti (Kulwiec, 1985). In figura 1.27 si può osservare bene il rivestimento paraurti in plastica, che costituisce la

1.2.4 Sistemi anticollisione

Tutti i sistemi di guida illustrati nei precedenti paragrafi funzionano perfettamente in ambienti precedentemente mappati e statici. Tuttavia, in ambienti industriali molto dinamici (in cui vengono movimentate molte merci e transitano tante persone) rischiano di generare molti errori e bloccaggi dei singoli AGV. Per questa ragione i più avanzati sistemi di AGV posseggono un sistema di rilevamento degli ostacoli e di pianificazione dei percorsi, che permettono all'AGV di individuare ostacoli mobili oppure fissi, ma non presenti al momento della mappatura iniziale, e ricalcolare il percorso in modo da evitarli. Nel corso degli anni sono stati proposti diversi algoritmi che potessero svolgere queste funzioni: a partire dal curvature velocity method (Simmons, 1996) che tramite

un'ottimizzazione di una funzione obiettivo contenente variabili di velocità, sicurezza e orientamento alla meta e vincolata da parametri ambientali (ricavati dai sensori) e di velocità permettono all'AGV di ricalcolare il percorso in tempo reale semplicemente aggiungendo vincoli alla funzione di ottimizzazione, nel caso di rilevamento di ostacoli; per poi continuare con il dynamic window approach (Fox et al, 1997) che migliora i precedenti introducendo una finestra dinamica, attorno al robot, allo scopo di limitare la ricerca di vincoli da inserire nella funzione di ottimizzazione e permettere di evitare ostacoli in modo ottimale anche a velocità sostenute; continuando con il moving obstacle avoidance (Pratama et al, 2013) in grado di evitare ostacoli in movimento grazie ad algoritmi capaci di predire la velocità e la direzione dell'ostacolo mobile, che permettono la determinazione delle possibili velocità e traiettorie d'impatto ed il ricalcolo del percorso ottimale; proseguendo poi con l'obstacle avoidance based on obstacle geometric (Dai and Lee, 2014) capace di mappare in tempo reale la struttura geometrica degli ostacoli (fissi o mobili) tramite i sensori all'interno dell'AGV ed infine arrivando al D* Lite algorithm (Pratama et al, 2016). che crea una mappa a griglia dell'ambiente circostante, tramite i sensori interni al robot, e calcola il percorso ottimale di superamento dell'ostacolo tramite algoritmi che incorporano euristiche e code prioritarie per la ricerca dei parametri di velocità e posizionamento.

Tuttavia, per verificare che il percorso pianificato per superare l'ostacolo sia effettivamente seguito è necessario che l'AGV possieda anche un algoritmo per la rilevazione del percorso compiuto. Anche in questo caso esistono diversi metodi come la sliding mode control theory (Hung et al, 2010) che utilizza modelli cinematici e dinamici per costruire un controllore di scorrimento delle ruote dell'AGV, il time varying feedback control law (Tamba et al, 2010) che usa modelli cinematici per la determinazione della posizione del robot in tempo reale in modo da correggerla, nel caso vari rispetto al percorso pianificato oppure lo SLAM algorithm (Pratama et al, 2016) che contemporaneamente rileva la posizione degli ostacoli, tramite laser scanner, e prevede la posizione del robot attraverso un algoritmo EKF [31], che utilizza i dati provenienti dall'encoder, per poi fondere i due risultati in modo da trovare la posizione del AGV rispetto agli ostacoli.

1.2.5 Parametri di progettazione

Quando si vuole progettare un sistema di più AGV è necessario tenere conto di diversi parametri. Stecke and Solberg (1983) propongono un modello di progettazione a quattro fasi: design, planning, scheduling and control, che noi analizzeremo nei seguenti paragrafi.

Design

I due principali parametri nella progettazione di tali sistemi sono il layout dei percorsi e il numero di robot (Vis, 2006).

Layout dei percorsi

La complessità del layout di un sistema di AGV è direttamente proporzionale alla complessità ed all'estensione del sistema produttivo cui è al servizio. Tuttavia, tale problema è stato studiato a fondo nel corso degli anni e sono stati sviluppati diversi tipi di layout, in grado di minimizzare la complessità necessaria per gestire un dato sistema produttivo. Qui di seguito verranno presentati i più diffusi:

Convenzionale: in questo sistema tutti gli AGV sono liberi di servire qualsiasi postazione e si possono muovere liberamente lungo tutti i percorsi possibili. Lo svantaggio di tale sistema è l'incrementarsi della complessità con il crescere del numero di veicoli. In figura 1.28 si può vedere bene che ogni stazione di lavoro può essere raggiunta da ogni AGV perché non ci percorsi chiusi nelle vie di transito. Tra le varie configurazioni possibili due sono particolarmente rilevanti:

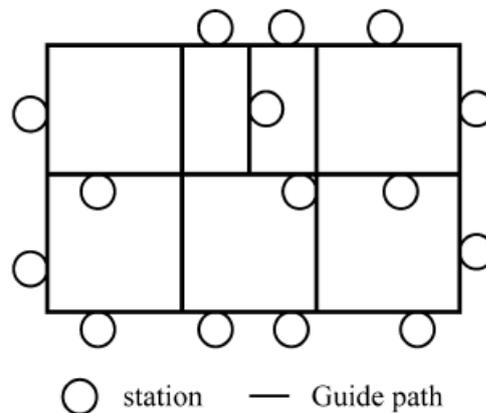


Figura 1.28 Layout convenzionale (Fonte: Kim et al, 2003)

- **Single-loop:** questo modello prevede la ricerca del circuito chiuso più corto che attraversi tutte le postazioni di lavoro (Figura 1.29).

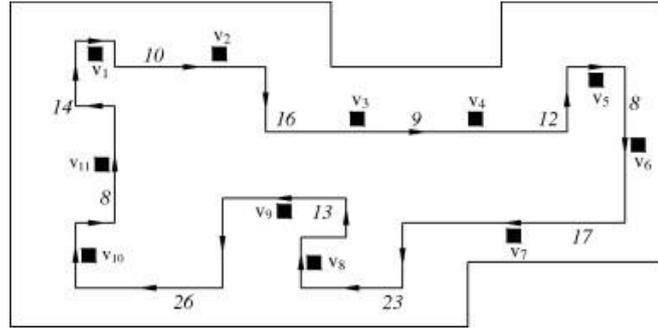


Figura 1.29 Layout convenzionale - single loop (Fonte: Ventura and Rieksts, 2009)

Questa configurazione permette di ridurre al minimo la

complessità di controllo del sistema perché permette di far girare gli AGV tutti nella stessa direzione, evitando collisioni e riducendo il traffico.

- **Bi-directional shortest-path:** questo modello prevede la ricerca del percorso più corto che attraversi tutte le postazioni di lavoro (Figura 1.30). Tale soluzione

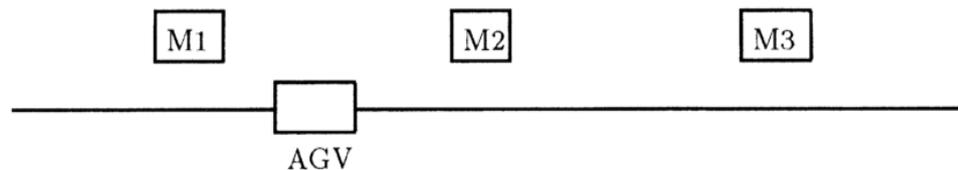


Figura 1.30 Layout convenzionale - shortest bidirectional path (Fonte: Ganesharajah et al, 1998)

massimizza l'efficienza riducendo il tempo di percorrenza e i km percorsi, con una conseguente minore usura del robot.

Tandem: proposto per la prima volta da Bozer and Srinivasan (1991) questo sistema

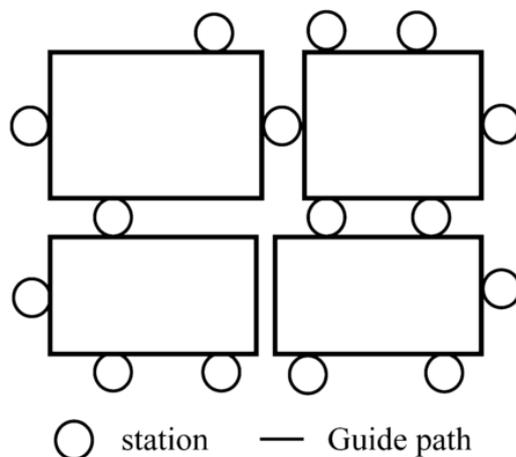


Figura 1.31 Layout tandem - semplice (Fonte: Kim et al, 2003)

prevede la creazione di più aeree, non sovrapposte tra loro, ciascuna servita da un unico AGV. Questo tipo di layout risolve il problema delle collisioni tra robot, elimina la congestione, semplifica il sistema di controllo e permette la facile creazione di ulteriori zone, in quanto l'aggiunta di una

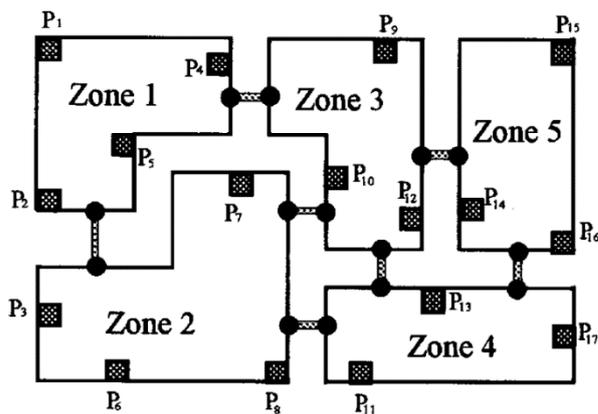


Figura 1.32 Layout tandem – con zone di interscambio (Fonte: Huang, 1997)

con il conseguente aumento dell'investimento e dello spazio richiesto. In figura 1.32 è possibile vedere chiaramente queste zone. Un secondo problema è dato dall'inefficienza del sistema, nel caso non sia saturata la capacità di ciascun robot del sistema. In questo caso, in una zona ad alta densità di viaggi, potrebbe presentarsi la situazione in cui una postazione di lavoro richieda l'intervento dell'AGV mentre è già occupato a servire un'altra postazione. Tale postazione sarebbe allora costretta ad aspettare che il robot torni disponibile quando l'AGV presente nella zona accanto sarebbe disponibile. Infatti, Bozer e Srinivasan sottolinearono la necessità di bilanciare i carichi di lavoro tra le zone per evitare tali problemi e definirono un algoritmo in grado di partizionare le stazioni di lavoro in modo da raggiungere questo obiettivo (Bozer and Srinivasan, 1991). Questo algoritmo riusciva a trovare la disposizione ottimale delle stazioni di lavoro modellando ciascuna di esse come un travelling salesman problem [32].

Infine, questo tipo di sistemi sono più sensibili a guasti dei robot perché un malfunzionamento significa l'impossibilità di asservire la zona coperta da tale AGV e nel caso la zona sia anche di transito per prodotti provenienti da altre zone comporta l'interrompersi di tutti i flussi di materiale transitanti in essa.

Diversi modelli sono stati sviluppati nel tempo, a partire da layout che segmentavano un singolo loop in più segmenti non sovrapposti, contenenti un solo robot che poteva operare in entrambe le direzioni (Sinriech et al, 1996), a layout che ammettevano incroci tra percorsi di diverse zone (Liu and Chen, 1997) fino a layout che permettevano a ciascun robot di entrare in ogni zona, limitando ogni zona ad un solo robot però (Zheng et al, 2013), come mostrato in figura 1.33. Choi et al (1994) e Ross et al (1996) condussero

zona non influisce sulle altre. Tuttavia, genera una serie di problemi: il primo dei quali è la necessità di trasferire il carico tra più AGV, nel caso debba passare tra più zone, con conseguenti ritardi. Inoltre, il trasferimento richiede la creazione di specifiche postazioni di scambio tra zone (Figura 1.31) oppure di centri di trasferimento tra le zone (Huang, 1997),

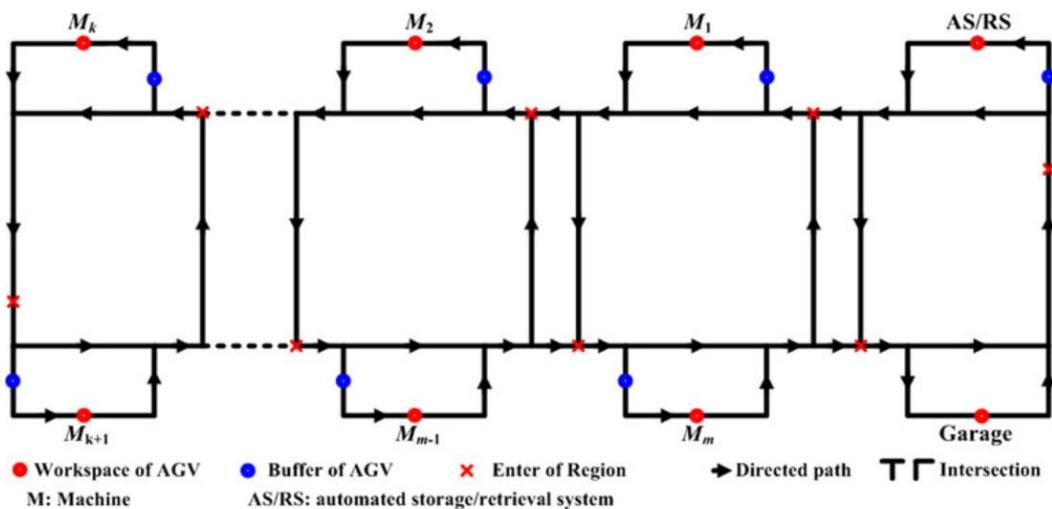


Figura 1.33 Layout tandem – modello regionale (Fonte: Zheng et al, 2013)

vari esperimenti per comparare le performance di un sistema AGV tradizionale con uno tandem. Prendendo come indicatori diversi parametri di performance legati alla produzione, all'utilizzazione dei robot ed al tempo medio di produzione scoprirono che un sistema AGV tandem era in grado di produrre più prodotti, rispetto ad un tradizionale, ma con tempi medi di produzione più alti e minore saturazione dei veicoli. Scoprirono inoltre che la velocità era il fattore più importante nel determinare le performance di tali sistemi.

Numero di veicoli

Esistono due metodi per la valutazione del numero di veicoli ottimale per asservire il sistema produttivo: uno analitico ed uno simulativo. Il primo è più adatto per piccole flotte di AGV mentre il secondo quando il sistema diviene più numeroso e complesso. Per questa ragione in questo lavoro di tesi verrà presentato e applicato solo il primo metodo.

Analitico ovvero tramite l'utilizzo di formule ed equazioni. Una prima tecnica fu sviluppata da (Fitzgerald,1985) e consiste in una semplice equazione in forma chiusa come questa:

$$C = \sum_i \frac{N_i * t_i}{n_i * h}$$

Dove

C = numero di carrelli

N_i = numero di unità di carico da trasportare al giorno per la tipologia di pezzo i -esima

t_i = tempo di trasporto, in ore, del pezzo i che tiene conto dei tempi di carico e scarico

È il parametro più difficile da stimare perché il suo valore dipende dall'interazione dell'AGV con gli altri robot.

n_i = numero di unità di carico trasportate, per ogni carrello, per la tipologia di pezzo i -esima

h = numero di ore lavorative, al giorno, dell'AGV

i = pezzo generico di prodotto finito, semilavorato o materia prima

che mette in rapporto le necessità di trasporto del sistema produttivo (a numeratore) con le caratteristiche del sistema AGV scelto (a denominatore).

In quanto deterministica e approssimativa questa tecnica è soggetta ad elevata incertezza perciò è utilizzato solo per sistemi di AGV di piccole dimensioni, con pochi robot operanti. Per sistemi più estesi viene fatto ricorso a tecniche più complesse che fanno uso dell'ottimizzazione, vincolata a variabili di design (Maxwell and Muckstadt, 1982), costo (Kasilingam, 1991) o performance (Sinreich and Tanchoco, 1992) oppure della schedulazione e del calcolo dei percorsi probabilistico (Mahadevan and Narendran, 1990). azione del minimo costo di produzione.

Controllo

La fase di controllo include al suo interno le sotto-fasi di determinazione dei percorsi e di programmazione temporale dei viaggi, che però possono essere trattate assieme in quanto concernenti l'attività di routine di un sistema AGV. Questi sono due dei principali problemi nella progettazione di un sistema di AGV in quanto determinano l'efficienza del sistema stesso (Muhammad and Tomohiro, 2010). La programmazione e l'instradamento di ogni robot vengono gestite da un calcolatore centralizzato adibito alla gestione della flotta, che ottimizza l'assegnazione delle missioni, lanciate dagli operatori

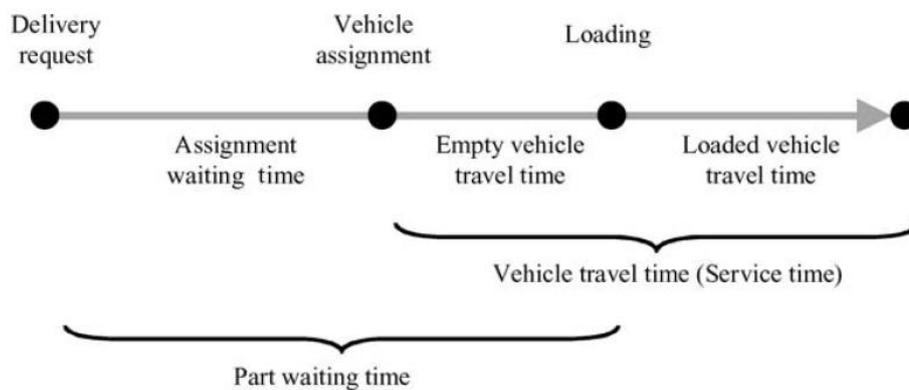


Figura 1.34 Tempi in un sistema AGV (Fonte: Koo et al, 2004)

di linea, in termini di tempo, vicinanza, strada da percorrere e prevenzione delle collisioni o imbottigliamenti. La programmazione diventa più complessa tanto quanto la flotta di AGV cresce oppure la predittibilità della domanda decresce.

Quando si affronta il problema della programmazione temporale dei robot sono da tenere in considerazione tre principali tempi: il tempo d'attesa di assegnazione, il tempo di viaggio senza carico ed il tempo di viaggio con carico. Il tempo d'attesa di assegnazione

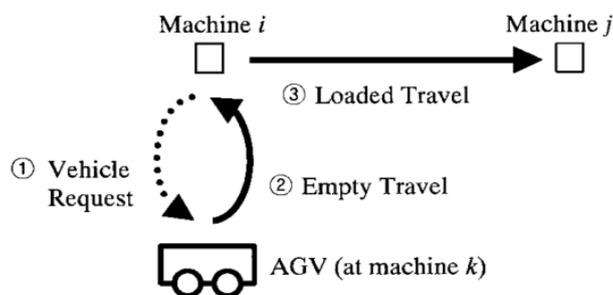


Figura 1.35 Procedura operativa di assegnazione di un compito (Fonte: Koo and Jang, 2002)

è il tempo che un carico deve aspettare prima che venga servito da un AGV e si calcola tramite la teoria delle code. Il tempo di viaggio senza carico è il tempo necessario ad un AGV per spostarsi verso la

nuova postazione di carico, una volta terminato lo scarico precedente. Questo tempo non è calcolabile a priori ma dipende dalla regola di priorità e dal modello adottati. (Koo and Jang, 2002) hanno sviluppato un modello stocastico per il calcolo di tale tempo, secondo diverse regole di trasporto. Il terzo tempo è quello con carico cioè il semplice viaggio da un punto di carico ad uno di scarico che è facilmente calcolabile a priori, noti i parametri (velocità, layout dei percorsi...) del robot. Ciascuno di questi tempi e la loro sequenza logica a livello operativo vengono mostrati nella figura 1.34 mentre in figura 1.35 è mostrata la procedura di assegnazione di una missione ad un AGV, a seguito di una richiesta da parte di una stazione di lavoro. Per quanto riguarda l'instradamento possono essere adottate due strategie diverse: l'instradamento diretto ed il routing via unload/load station (Jawahar et al, 1998). La prima prevede che l'AGV attenda nella postazione in cui ha eseguito l'ultima attività finché non riceve un nuovo compito mentre la seconda che l'AGV raggiunga una specifica posizione d'attesa creata appositamente, al termine di ogni compito. Quest'ultima richiede un viaggio senza carico ogni volta che una missione è terminata, a differenza del direct routing, e la sua efficienza dipende dalla disposizione delle postazioni d'attesa. Infatti (Uluso and Bilge, 1932) hanno dimostrato che l'instradamento diretto è più efficiente del via unload/load station quando il rapporto:

$$r = \frac{ATT}{APT} > 0,4$$

Dove

ATT = Average Travel Time

APT = Average process Time

Cioè quando i tempi di trasporto iniziano a diventare non trascurabili rispetto ai tempi di processo.

In letteratura esistono due grandi casistiche che influenzano la determinazione della programmazione ottimale:

- The **machine-initiated dispatching problem**: questa è la situazione in cui più AGV sono in attesa di ordini al momento del lancio della missione (Figura 1.60).

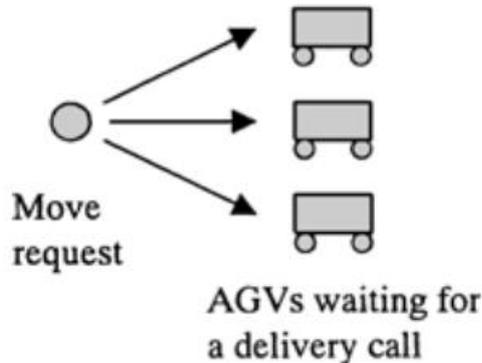


Figura 1.60 Machine-initiated dispatching problem situation (Fonte: Koo and Jang, 2002)

In questo caso sarà il calcolatore a decidere a chi assegnare la missione in base ad una determinata regola di priorità. Il tempo d'attesa di assegnazione in questo caso sarà nullo ed il tempo effettivo d'attesa coinciderà con il tempo di viaggio senza carico oppure sarà nullo, nel caso l'AGV sia già presente davanti la

postazione nel momento di assegnazione del compito;

- The **vehicle-initiated dispatching problem**: questa è la situazione in cui più missioni sono in attesa che si liberi un robot (Figura 1.61). In questo caso sarà

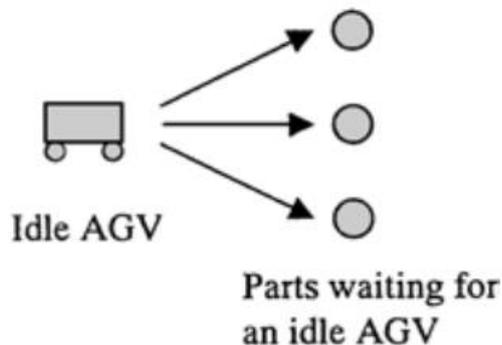


Figura 1.61 Vehicle-initiated dispatching problem situation (Fonte: Koo and Jang, 2002)

formata una coda di missioni dal calcolatore, strutturata in base ad una determinata regola di priorità; Il primo problema tende a verificarsi maggiormente nel caso di bassa saturazione del sistema di AGV mentre il secondo in caso di alta saturazione. Esistono diverse regole di priorità, per ciascuno dei

due problemi, tuttavia verranno citate solo le principali e più interessanti per il nostro caso di studio.

Per quanto riguarda il **machine-initiated dispatching problem** esistono cinque principali regole di priorità (Koo et al, 2004):

- **Random vehicle**: questa regola prevede l'assegnazione dei robot in modo casuale, tramite l'attribuzione di una probabilità di presa in carico del compito a

ciascun AGV, determinata tenendo conto di fattori legati alle necessità di trasporto delle stazioni di carico e scarico;

- **Nearest vehicle**; questa regola prevede l'assegnazione del compito all'AGV più vicino, in modo da minimizzare il tempo di viaggio senza carico;
- **Farthest vehicle**: proceduralmente simile alla nearest assegna il compito al robot più lontano;
- **Longest idle vehicle**: assegna il compito all'AGV che da più tempo attende una missione;
- **Least utilized vehicle**: attribuisce il compito al robot con utilizzazione più bassa;

Per il **vehicle-initiated dispatching problem** invece ne esistono cinque (Confessore et al, 2013):

- **Random machine**: I veicoli sono assegnati in modo casuale alle postazioni, incluse nella coda di richieste;
- **First-call-first-served**: questa regola prevede l'assegnazione del primo veicolo libero alle postazioni seguendo un ordine cronologico delle richieste da parte delle macchine cioè la prima macchina che fa richiesta vedrà assegnarsi il primo robot che si libererà;
- **Shortest travel time**: il primo veicolo libero verrà attribuito alla postazione di lavoro più vicina o col tempo di viaggio senza carico minore, in base al layout dei percorsi, in modo da minimizzare il tempo di viaggio senza carico;
- **Maximum outgoing queue size**: assegna i robot liberi alle postazioni in base ad un massimo valore di unità di carico per ciascuna macchina cioè più il buffer di unità di carico (in attesa) è alto più la priorità cresce;
- **Minimum remaining outgoing queue space**: assegna i robot liberi alle postazioni in base alla minimizzazione di un indice definito come la differenza tra la capacità della coda ed il numero di unità di carico nel buffer della postazione, per ciascuna macchina.

Capitolo 2: Descrizione dell'azienda

In questo capitolo verrà presentata brevemente l'azienda nella quale è svolta tale tesi. Sebbene il nome dell'azienda ed altre informazioni sensibili non possano essere citate, per motivi di privacy, l'impresa verrà presentata a partire da una breve introduzione sul gruppo industriale di cui fa parte l'impianto produttivo esaminato. Verranno poi mostrate le principali caratteristiche a livello storico e strutturale di tale impianto. Infine, sarà presentato il reparto all'interno del quale è stata svolta la tesi, sia a livello strutturale che esecutivo.

2.1 Il gruppo

Il sito fa parte di una grande multinazionale attiva nel settore del “automotive climate control systems” (HVAC), come fornitore di alcune delle più grandi imprese produttrici di automobili. Nata nel 1986 come join venture aprì il primo stabilimento in Corea nel 1989, per poi espandersi in tutto il mondo nei successivi tredici anni. Specializzata nella costruzione di sistemi di gestione termici convenzionali ed elettrici è riuscita nel tempo a diventare uno dei più importanti fornitori di soluzioni per la gestione termica ed energetica per l'automobile. La richiesta crescente di veicoli “green” ha incentivato l'azienda a spingere sempre più sul compartimento elettrico e ad acquistare nel 2019 la business unit di cui fa parte lo stabilimento in questione. Oggi è un'azienda presente in 21 diversi paesi e con più di 22.000 dipendenti, 51 siti di produzione e 23 di ricerca e sviluppo, nel 2018 ha fatturato oltre 4 miliardi di Euro.

2.2 L'impianto di produzione

Lo stabilimento in questione ha subito molte variazioni, sia a livello strutturale che a livello di beni prodotti, e molti passaggi di proprietà con il passare degli anni.

2.2.1 Storia

Il sito produttivo è stato fondato nel 1970, come azienda indipendente, ed era specializzato nello stampaggio di componenti d'illuminazione per auto e nella costruzione di stampi per presse. Con il passare degli anni, l'impianto ha iniziato a diversificare la propria produzione, spostandosi sempre più verso il redditizio settore dell'automobile e basando la sua crescita sulla fornitura di componenti per auto a grandi

clienti del compartimento. Il prodotto che rappresentava il core business del sito era il relè. Tra il 1975 e il 1980 il numero di clienti è cresciuto notevolmente, tra cui tre europei e uno americano.

Nel 1997 la maggioranza della società è stata acquisita da un gruppo inglese, che era specializzato nella produzione di circuiti stampati flessibili, di componenti plastici e di connettori per l'industria automobilistica. A causa di questo passaggio di proprietà i prodotti realizzati sono aumentati sia in volume che in numero.

Nel 2007, la società è stata acquistata da un gruppo austriaco, parte di una società multinazionale con sede in Canada. Nel quadro dei clienti del gruppo sono stati inseriti, oltre a quelli citati sopra, altri tre clienti europei. Dal 2012 si è iniziato a produrre i primi motori elettrici "brushless" per auto, ovvero un motore elettrico a corrente continua o alternata avente il rotore a magneti permanenti e lo statore a campo magnetico stazionario o rotante. A differenza di un motore a spazzole non ha quindi bisogno di contatti elettrici striscianti (spazzole) sull'albero del rotore per funzionare. Successivamente assemblati con la ventola e il corpo (lo shroud). Nei successivi anni, l'incremento della domanda ha determinato la necessità di espandere i volumi tramite l'acquisto di nuove linee produttive, passando da una sola linea a cinque, nel giro di otto anni.

Nel marzo 2019 vi è stata un'ulteriore acquisizione da parte di un gruppo coreano, attuale proprietario dello stabilimento. I soggetti coinvolti sono stati lo stabilimento nel quale è stato effettuato il lavoro di tesi 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 (Electronic Cooling Fan, ECF) per automobili e le pompe dell'acqua a controllo elettronico (electronic Water Pump, eWP). All'interno dello stabilimento vengono ancora prodotti alcuni componenti elettronici, che rappresentano però una parte marginale del business.

2.2.2 Struttura

L'impianto analizzato in questo elaborato è un importante centro produttivo, nonché di ricerca e sviluppo, situato in Piemonte, in cui lavorano quasi seicento dipendenti.

Lo stabilimento è suddiviso in più aree, a seconda del prodotto che deve essere realizzato. Nella Figura 2.1 viene riportato il layout dell'impianto. La realizzazione di una ventola di raffreddamento (ECF) prevede due lavorazioni: l'assemblaggio del motore elettrico ed il montaggio del motore con la ventola e lo shroud. I motori vengono prodotti su cinque linee differenti, ubicate in tre aree diverse (in giallo sulla mappa). La quinta linea è dedicata ad un solo cliente mentre una sesta verrà installata a breve in un'area dedicata.

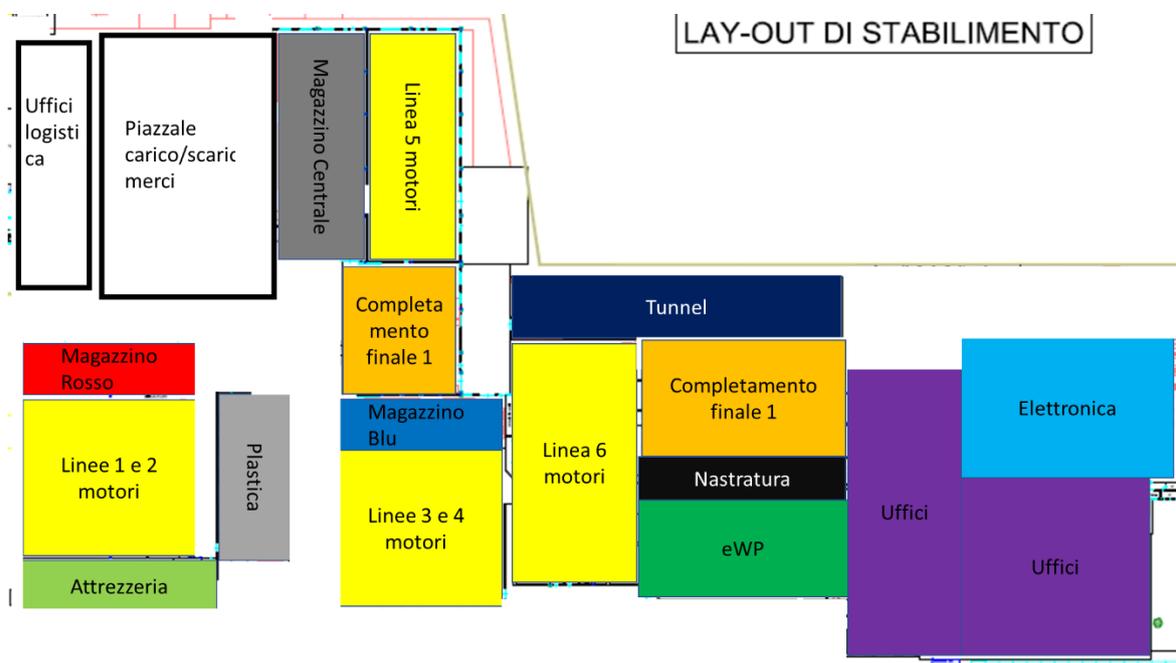


Figura 2.1 Schema a blocchi del layout di stabilimento

I componenti necessari per la produzione di questi motori sono stoccati all'interno del Magazzino Rosso. Tale magazzino è posto a fianco del piazzale di carico e scarico merci, in modo da facilitare le operazioni di rifornimento del magazzino. Questo magazzino approvvigiona sia le Linee 1 e 2 sia le Linee 3 e 4. Una volta realizzati, i motori vengono stoccati nel Magazzino Blu, in due grandi scaffali a gravità. Questo magazzino contiene in realtà anche una piccola scorta di materie prime per le linee 3 e 4, al fine di minimizzare i tempi di trasporto nel momento di necessità. Da qui, i motori vengono portati nelle due aree dedicate all'assemblaggio finale (in arancio nella figura) ovvero dove avviene il

montaggio della ventola e dello shroud. Infine, il prodotto finito viene stoccato sugli scaffali presenti all'interno del magazzino centrale (in grigio scuro in Figura 2.1), in attesa di spedizione. Il magazzino è composto da più di 900 posti pallet ed è anch'esso affacciato sul sopra citato piazzale. Il rettangolo nero rappresenta la zona in cui vengono realizzati i cavi nastrati (nastratura), 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 pompe dell'acqua a controllo elettronico (eWP) sono realizzate in un unico reparto, in verde sulla mappa. Sia i componenti sia il prodotto finito vengono stoccati nel Magazzino Tunnel, ricavato sotto ad una copertura in plastica, posizionata all'esterno dell'edificio, che garantisce una sufficiente protezione da pioggia ed agenti atmosferici, ma non può considerarsi un magazzino coperto a tutti gli effetti (in blu scuro in Figura 2.1). Quest'area viene comunemente identificata come "Tunnel" per via della forma della copertura. Tale magazzino contiene pochi lotti di prodotto finito, in quanto si tratta di una produzione "assembled to order" e non "make to stock", perciò i prodotti vengono assemblati poco tempo prima della spedizione (al massimo 24 ore). 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 azzurro in figura 2.1 rappresenta l'area in cui vengono prodotti i componenti elettronici. I materiali di cui si necessita per realizzarli sono stoccati nel magazzino limitrofo. Il rettangolo viola in figura 2.1 indica la zona del laboratorio, in cui vengono effettuati i vari test e prove sui prodotti, e degli uffici. Lo stabilimento, infatti, rappresenta, per la multinazionale coreana, un importante centro di ricerca e sviluppo, in forte espansione. Le altre due zone colorate (in verde e grigio chiaro) rappresentano l'attrezzatura ed il reparto plastiche dove vengono prodotti alcuni componenti ad uso interno. L'area in alto a sinistra rappresenta gli uffici dell'ente logistica, all'interno del cui è stato sviluppato il presente elaborato di tesi. Infine, le zone bianche rappresentano corridoi e spogliatoi.

2.3 Reparto eWP

Questo reparto è il cuore del lavoro di tesi, in quanto è l'unica area in cui gli AGV possono transitare. Esternamente i robot non possono lavorare perché non sono adatti a condizioni climatiche quali pioggia, vento, alte o basse temperature. Non possono agire nemmeno nel Magazzino Tunnel perché l'area non è totalmente coperta. Il reparto è in forte espansione e nei prossimi mesi vedrà cambiare radicalmente la sua conformazione. Attualmente la sua pianta è suddivisa verticalmente in tre zone, in cui vengono assemblati tre diversi tipi di prodotti, visibili in figura 2.2.

Partendo dalla destra della figura 2.2 è mostrata una porzione del Magazzino Tunnel, dove sono presenti gli scaffali per lo stoccaggio di prodotto finito (tutto sulla destra) e quelli per le materie prime (al centro). A sinistra di tale magazzino c'è una zona in cui è presente una piccola scorta di materie prime per le linee di pompe e quelle di ventole ed una notevole scorta di semilavorato di motori. La scorta di materie prime per le pompe è composta principalmente da ECU, di cui si parlerà nello specifico nel Capitolo 3, perché debbono obbligatoriamente giacere all'interno di strutture integralmente coperte, data la sensibilità delle parti elettroniche. La scorta di materie prime per le ventole è molto piccola perché le linee che le utilizzano sono molto lente e gli imballi che le trasportano molto capienti. La scorta di semilavorati motori invece occupa tutta la zona in basso a destra al reparto, dietro gli uffici, ed è così numerosa perché la linea che ne fa uso è composta da macchine molto veloci, in quanto eseguono dei semplici collaudi. Il reparto del completamento finale è composto da tre linee, una di collaudo motori e due di assemblaggio ventole, diverse in quanto producono differenti modelli di ventole, per vari tipi di cliente.

L'area nastratura invece è la zona in cui vengono prodotti i cavi che verranno assemblati insieme ai motori.

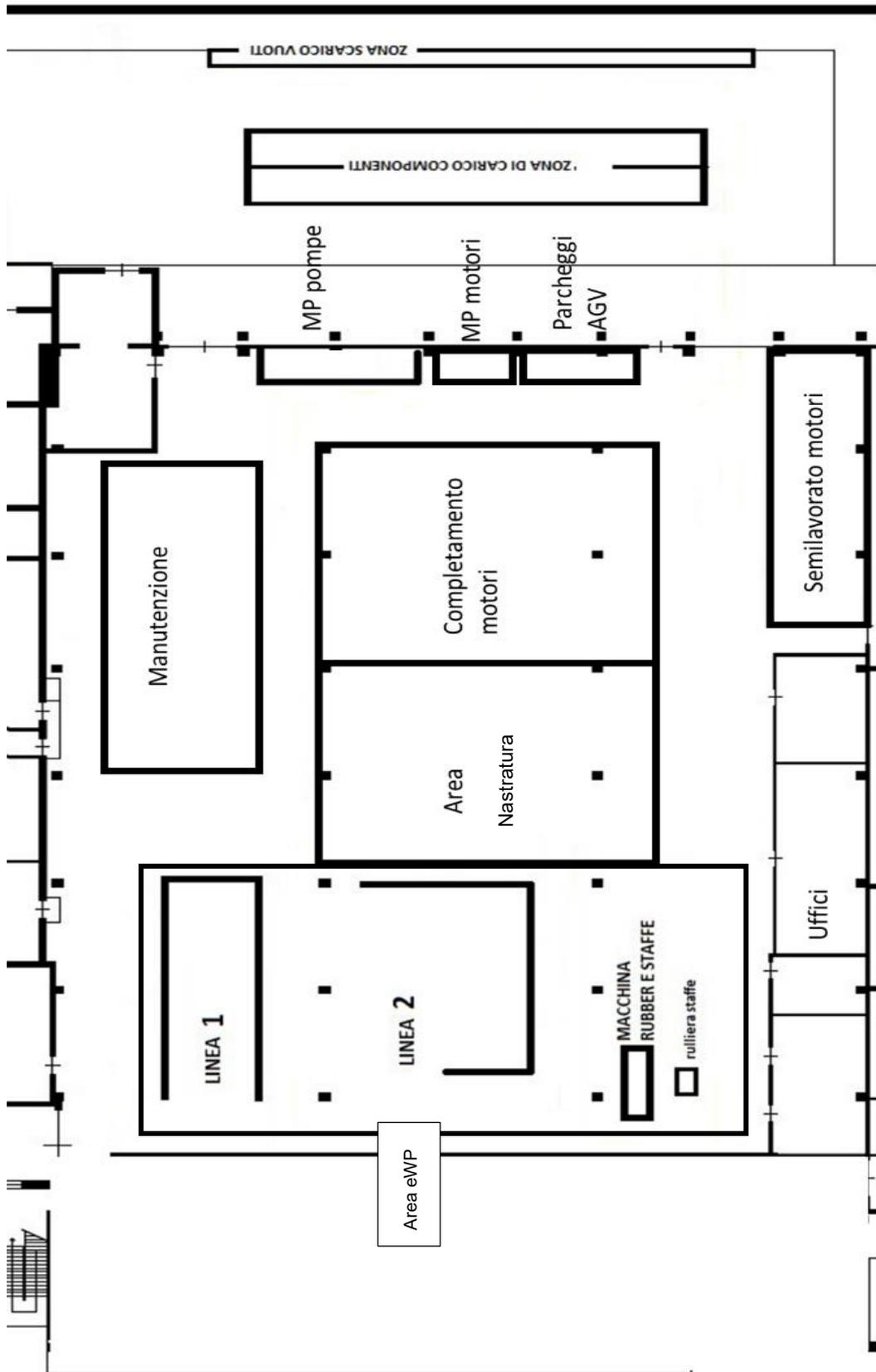


Figura 2.2 Layout del reparto eWP

La zona eWP è composta da due linee più la stazione di rubber e staffe ed è un'area che in futuro occuperà sempre più spazio, a discapito delle altre zone sia perché la domanda di pompe è in crescita sia perché si vuole trasformare il reparto in una zona di sola produzione di pompe. Per questo motivo è in arrivo una nuova linea eWP, che occuperà la zona dove attualmente sono presenti gli uffici, che verranno spostati in un nuovo edificio in costruzione in una zona esterna al fabbricato. Quest'area sorgerà a sud del rettangolo viola nella figura 2.1.

Infine, l'ultima zona è dedicata alla manutenzione, che fornisce i suoi servizi non solo al reparto eWP ma a tutta l'azienda.

Questo tipo di struttura non è ottimale per la circolazione degli AGV perché i corridoi sono troppo stretti: il robot necessita di almeno 1,5 metri per circolare senza problemi mentre in molti tratti i corridoi non superano l'1,1/1,2 metri; cambiano troppo spesso conformazione (in particolare nella zona di deposito semilavorato motori) e sono troppo affollati, cioè transitano troppe persone, carrelli elevatori e unità di carico. Infatti, il corridoio tra la manutenzione, la nastratura ed il completamento è inutilizzabile in quanto non c'è abbastanza spazio per il transito dell'AGV carico.

Capitolo 3: Implementazione dell'AGV

Nella prima parte di questo capitolo verrà analizzato il metodo di approvvigionamento della linea 2. Inizialmente verranno esposte la struttura e le principali caratteristiche della linea 2, a partire da una dettagliata descrizione dei prodotti e dei componenti utilizzati, degli imballi/contenitori utilizzati nel trasporto, delle principali stazioni di lavoro (compresi i buffer), delle postazioni di scarico/carico dei materiali, delle procedure di asservimento e dei sistemi di movimentazione interna attualmente in uso. Infine, verranno presentate le principali criticità di tale metodo di approvvigionamento. Nella seconda parte di capitolo si procederà ad introdurre il funzionamento del nuovo sistema di asservimento della linea tramite AGV. Inizialmente verranno analizzate la frequenza di rifornimento di materie prime ed il tasso di produzione di un generico lotto di prodotto finito, in modo da poter successivamente dimensionare in modo ottimale ed ergonomico i carrelli che dovranno esser trasportati dall'AGV. Successivamente sarà presentato il modello di AGV da implementare, sia a livello hardware che software e verranno discussi i principali problemi a livello della struttura di rete incontrati durante l'esperienza di tesi. In seguito, verranno presentati e discussi diversi layout alternativi, allo scopo di trovare la migliore soluzione, dati i vincoli fisici ed organizzativi del reparto, che permetta la circolazione ottimale dei due AGV presenti, in modo da evitare collisioni ed ingorghi. Si proseguirà con un'analisi delle tempistiche di un sistema di AGV, ed una discussione sulle differenze nei carichi di lavoro di robot e magazzinieri, con l'introduzione del secondo veicolo. Infine, verrà effettuata un'analisi economica costi/benefici su tutto il sistema AGV.

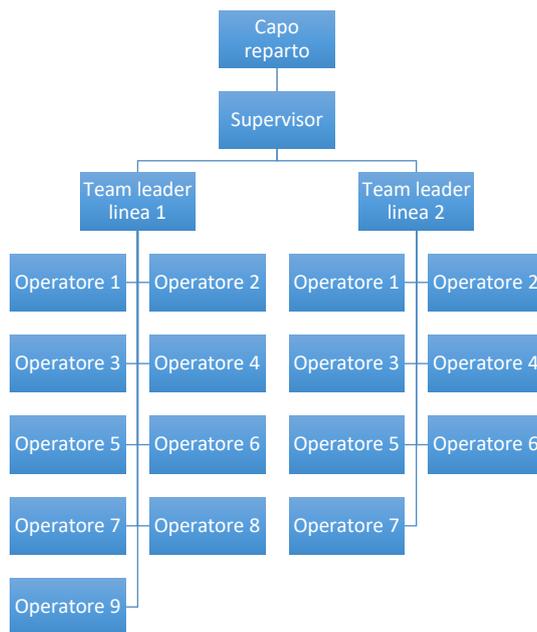
3.1 Metodo attuale di approvvigionamento della linea 2

3.1.1 Caratteristiche

La seconda linea del reparto eWP è una linea semi-automatizzata composta da quindici postazioni di lavoro disposte a semicerchio. È costituita sia da stazioni singole che da moduli di più stazioni, connesse tramite nastri, rulli o bracci robotici. La maggior parte delle operazioni è effettuata in autonomia dalle stazioni, lasciando agli operai due compiti: caricare la macchina con il semilavorato e la materia prima e controllare la corretta esecuzione dell'operazione. La struttura circolare permette una maggiore

Figura 3.1 Organigramma del reparto eWP

vicinanza tra le postazioni di



lavoro, migliorando la comunicazione tra gli operatori, garantendo una maggiore tempestività d'intervento in caso di problemi e consentendo una facile rotazione di personale tra le stazioni. La struttura organizzativa del reparto eWP (Figura 3.1) prevede un capo reparto, al di sotto di cui sono presenti

due figure di controllo: un supervisor, il cui compito principale è coordinare ed armonizzare il lavoro di tutte le linee presenti nel reparto (al momento sono due) e tante team-leader quante sono le linee di produzione, il cui compito è gestire il team di operatori che lavorano sulla linea ed assicurare il buon funzionamento delle macchine. Il numero massimo di operatori che possono lavorare sulla linea due è sette più il team leader. Ciascun operatore è assegnato ad una postazione ma nel caso il numero di operatori disponibili non coincida con il massimo può essere assegnato a più macchine contemporaneamente. In quest'ultimo caso l'operatore sfrutta il tempo di processo di una macchina per caricare le altre. Ogni due ore viene effettuata una rotazione degli operai in modo da garantire la massima attenzione nello svolgimento delle operazioni, tuttavia questa procedura richiede un periodo di formazione superiore nel caso di una nuova assunzione.

3.1.2 Prodotti realizzati e materie prime



Figura 3.2 Pompa d'acqua elettrica (petrogallimoto,2019, [33])

La linea due è in grado di produrre tredici differenti prodotti, ovvero pompe d'acqua elettroniche (Figura 2.2), per due grandi clienti nel settore del automotive. Ciascuna di queste pompe d'acqua è costituita da un minimo di sette componenti fino ad un massimo di nove, visibili in tabella 3.1, che possono differenziarsi in base alla potenza (in Watt) oppure alla

struttura del componente stesso. I due clienti si assestano uno sul 50 Watt e l'altro sull'80 Watt. La combinazione di questi diversi componenti porta alla creazione di tutte e tredici le diverse pompe. Lo statore è il primo componente, in grado di contenere il filo avvolto a bobina e i ganci. Il filo bobinato permette la creazione di un campo magnetico che mette in rotazione il rotore mentre i ganci trasmettono la corrente dall'unità di controllo (ECU) al filo. Lo Shaft Housing è invece il rivestimento metallico interno della pompa, che isola l'ECU dallo statore e lascia passare solo i ganci. La Wet Sleeve è il componente in plastica che permette il contenimento della parte bagnata, ovvero l'acqua o il liquido refrigerante, per impedire il transito del liquido nello statore ed evitare il danneggiamento delle parti elettroniche. Questo componente è inserito trasversalmente allo statore, la Wet Sleeve è la voluta ed occupa l'unica cavità tra la parte bagnata e quella asciutta, per questo motivo è molto importante sia ben sigillata. L'ECU (Electronic Control Unit) è la parte elettronica, che permette il controllo dell'erogazione di potenza e la trasmissione di corrente.

Il Cup Housing è invece il rivestimento in plastica esterno inferiore, che isola il meccanismo da agenti estranei e permette il collegamento con l'ECU dall'esterno. La Voluta invece ha due funzioni: permette l'introduzione e la fuoriuscita del liquido dall'interno e dall'esterno della pompa e isola la parte superiore della pompa. La Rubber Ring ed il Protective Cap sono invece due componenti che non tutti i tipi di pompa montano, a seconda delle richieste del cliente. Il primo ha funzione di protezione della pompa da urti mentre il secondo di protezione delle bocche d'entrata e d'uscita della voluta da impurità e particelle che potrebbero danneggiare il meccanismo. In figura 3.3 si vede chiaramente la collocazione di ciascun componente all'interno del prodotto finito.

Uno dei due clienti richiede inoltre l'inserimento di due particolari staffe, utili ad ancorare la pompa al motore, che vengono montate su una specifica macchina di proprietà del cliente: la staffatrice. Nel caso il prodotto contenga tali staffe la pompa viene montata in linea senza Rubber Ring e Protective Cap, che verranno poi inseriti nella stazione di staffatura insieme alle staffe.

Oltre i componenti principali esistono una serie di piccoli pezzi, chiamati "minuterie".

Componente	
Statore	Statore 50W
	Statore 80W
Shaft Housing	Shaft Housing
Wet Sleeve	Wet Sleeve
Rotore	Rotore 50W
	Rotore 80W
	Rotore LL 50W
	Impeller LL 50W
ECU	ECU
Cap Housing	Cap Housing
Voluta	Voluta
	Voluta Giorgio
Protective Cup	Protective Cap
Rubber Ring	Rubber Ring per cliente 1
	Rubber Ring tipo 1 per cliente 2
	Rubber Ring tipo 2 per cliente 2

Tabella 3.1 Componenti di una pompa

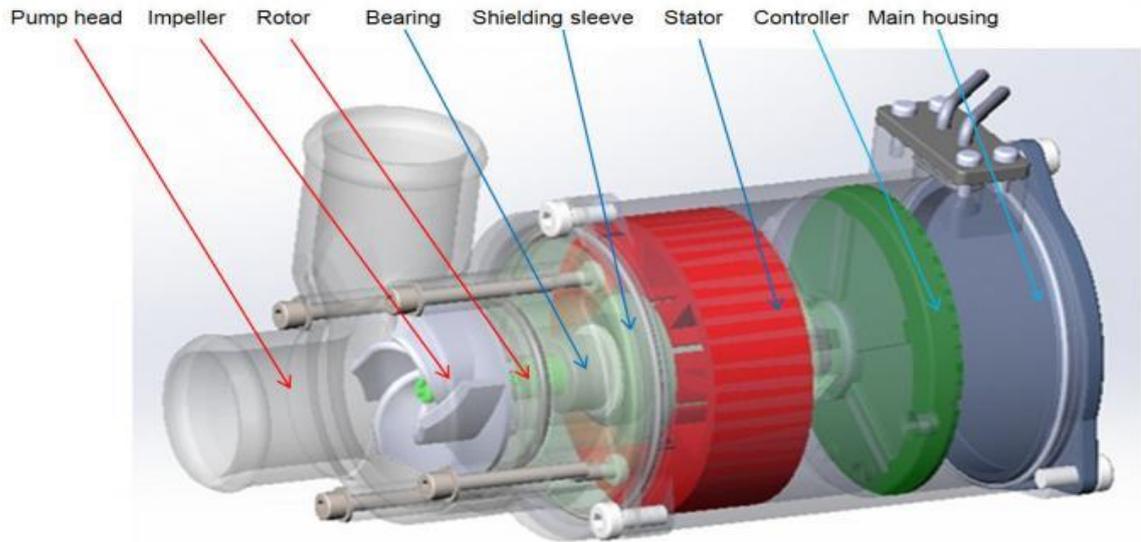


Figura 3.3 Sezione di una pompa (czowo, 2019,[34])

In totale sono undici. Sono posizionate all'interno di uno scaffale a gravità tra le due linee. Sono presenti in aggiunta altri due componenti: il glicerolo vegetale, contenuto all'interno di un frigo in reparto e il filo in rame. Essendo condivise dalle due linee, molto leggere, di ridotta dimensione ed inserite in contenitori ad elevata capacità le undici minuterie non avranno un posto dedicato nel carrello ma saranno trasportate sfruttando gli spazi vuoti nei carrelli delle materie prime, come già avviene per la prima linea.

Imballi e contenitori

Ciascuno dei componenti o delle pompe in esame sono contenuti all'interno di scatole, di diversa forma e configurazione, in modo che possano essere trasportate in modo più

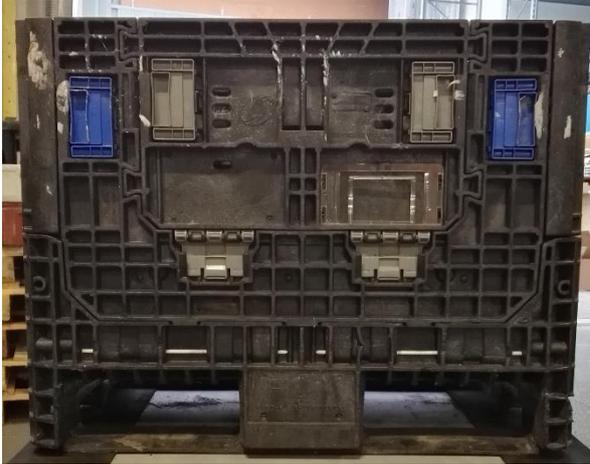


Figura 3.4 Imballo in plastica



Figura 3.5 Alveare a composizione di scatole



Figura 3.6 Imballo in cartone a scatole impilate



Figura 3.7 Alveare a pezzo unico

agevole.

Per quanto riguarda il prodotto finito la forma, la composizione e le dimensioni dell'imballo sono scelti in accordo con il cliente per soddisfare le sue esigenze di trasporto e manipolazione. All'interno dell'azienda esistono sei tipi di imballi per pompe. Anche se i clienti sono solo due gli imballi sono molteplici perché lo stesso cliente ha diverse esigenze a seconda del tipo di stabilimento verso cui viene inviato il prodotto finito. Per il primo cliente vengono usati quattro diversi tipi di imballi mentre il secondo due. I più semplici sono unità di carico a contenitore ripieghevoli, in cartone o plastica (Figura 3.4), all'interno di cui sono presenti più piani. Ciascun piano

contiene un “alveare” ovvero una struttura reticolare in cartone, o plastica, che permette di contenere più pompe, come in figura 3.5, senza che queste vengano a contatto l’una con l’altra ed allo stesso tempo di mantenerle salde, in caso di scossoni. L’alveare può anche non essere un pezzo unico (Figura 3.7) ma un insieme di più scatole composte in tal modo. Ciascun alveare è separato dagli altri tramite un “pianetto” di cartone (o plastica), che è presente anche sopra il piano superiore, nel caso il contenitore non possieda un coperchio. Questo tipo di unità di carico non necessitano per forza di un pallet per poter essere trasportati. Esistono poi unità di carico a blocchi impilati, cioè costituiti da più cassette impilate tra loro secondo un determinato schema (Figura 3.6). Sono presenti anche qui più piani e ciascun piano possiede un numero costante di cassette, disposte secondo uno schema fisso. Ogni cassetta contiene al suo interno uno o più alveari in cartone, disposti su uno o più piani, che possono contenere un numero di pezzi dipendente dalle dimensioni della pompa o dalle specifiche del cliente. Anche qui i piani sono separati da pianetti in cartone ed è sempre presente il pianetto più esterno perché questo tipo di scatole non hanno coperchio. Questo tipo di unità di carico necessita sempre di un pallet perché tale pallet ha funzione di appoggio per le cassette, oltre che di facilitazione al trasporto. I pallet in uso sono di due dimensioni: 1200 mm x 800 mm e 1200 mm x 1000 mm.

Per quanto riguarda le materie prime invece la situazione è più complicata. Ogni tipo componente è posizionato all’interno di una cassetta od un vassoio, la cui tipologia non è identica per tutti i componenti. Gli statori sono contenuti all’interno di vassoi in polistirolo da sedici pezzi, ciascuno infialato all’interno di un’opportuna sede, in modo che durante il trasporto restino saldi e non si danneggino. Ogni vassoio è coperto da un foglio di carta, per evitare che sporcizia e umidità penetrino nel componente. I vassoi sono impilati tra loro per facilitarne il trasporto. Gli shaft Housing invece sono contenuti in cassette da 132 pezzi, sparsi alla rinfusa all’interno di esse e contenute all’interno di un sacchetto, in modo da mantenere i pezzi sempre puliti perché il contenitore non ha coperchio. Le Wet Sleeve, i Cup Housing e le Volute sono prodotti internamente perciò vengono inseriti alla rinfusa in scatole dotate di coperchio e senza sacchetto perché il tragitto è breve ed il rischio di contaminazioni è basso. La quantità di una scatola varia di volta in volta, a seconda dei volumi interni di produzione, ma oscilla sempre tra i 130 e i 200 pezzi. Invece i rotori sono contenuti in vassoi da 42 o 36 pezzi, inseriti in

un'opportuna sede e non coperti da fogli di carta perché la magnetizzazione che subiranno cancellerà ogni traccia di agenti contaminanti. Gli Impeller sono contenuti in scatole di cartone da 140 pezzi. Le ECU sono inserite in contenitori con coperchio e disposte all'interno di vassoi in plastica perché sono molto delicate. Ogni piano è coperto da un vassoio in cartone, come ulteriore misura di sicurezza. Ciascuna scatola contiene 144 unità. Le Rubber Ring sono disposte in una scatola di cartone, il cui numero di pezzi può essere o 100 o 240. Invece le Protective Cap sono disposte in scatole contenenti 3000 pezzi. La quantità e le dimensioni di ciascuna tipologia di scatola saranno molto importanti per il dimensionamento del sistema AGV.

3.1.4 Descrizione del layout e delle postazioni di lavoro

Come si può osservare in figura 3.4 la prima stazione di lavoro è un modulo di più stazioni completamente automatizzato e indipendente. Tramite un rullo di alimentazione (E) i pezzi sono introdotti nel modulo, dove sono prelevati dal primo braccio robotico per essere inseriti nella prima stazione: la pressa. Questa macchina inserisce e comprime tre piccoli ganci (Hook) all'interno di tre apposite cavità dello statore. Successivamente il braccio robotico preleva il semilavorato e lo inserisce nella bobinatrice, che provvederà ad avvolgere un filo in rame all'interno dello statore. Al termine della bobinatura il braccio robotico inserisce il semilavorato ottenuto all'interno del rullo di alimentazione d'uscita (E), che ha anche funzione di buffer, dentro il quale il secondo braccio robotico prende il pezzo più vecchio (logica FIFO) e lo inserisce nella saldatrice, che salderà gli avvolgimenti del filo con lo statore in determinati punti. Terminata la saldatura il pezzo viene raffreddato automaticamente da un getto d'aria per permettere un'ottimale solidificazione della saldatura. Successivamente lo stesso braccio robotico preleverà e inserirà il pezzo nella macchina di pre-collaudò, che eseguirà dei test elettrici e meccanici per valutare l'accuratezza dell'avvolgimento, della saldatura e del montaggio dei ganci. Alla fine i pezzi ottenuti verranno posizionati nella parte più esterna del rullo di alimentazione d'uscita (E) dove verranno prelevati da un operatore e inseriti nel buffer d'attesa (2). Terminata la fase di raffreddamento il semilavorato viene unito allo Shaft Housing tramite rullatura (WS5) e poi l'insieme viene etichettato. Le successive due macchine (WS6, WS7) sono in grado di svolgere due operazioni in parallelo, ovvero il montaggio del semilavorato proveniente dalla fase precedente con il Wet sleeve e con il

Rotore, tuttavia solo la stazione WS7 è autorizzata a montare il rotore magnetizzato insieme agli altri due componenti. Al termine di questa serie di montaggi il semilavorato uscente viene assemblato con l'ECU (WS8). Prima di far ciò vengono svolte altre due operazioni ovvero un controllo sulla forza elettromotrice generata dalla parte elettrica e la distribuzione del Liquid Bond, che servirà a tenere ben saldi l'ECU ed il semilavorato. Il prodotto così ottenuto verrà poi inserito in una guida sul nastro trasportatore automatizzato, insieme al Cup Housing (in giallo). Da questo momento in poi seguono tutta una serie di operazioni automatizzate sul nastro: il posizionamento di tre anelli di stagno sui piedini di sostegno dell'ECU (WS9), la fusione di tali anelli al fine di creare una base d'appoggio stabile (WS10), il controllo AOI ovvero un'ispezione ottica della scheda elettronica effettuata da una stazione d'ispezione automatica che analizza ogni pezzo montato sulla base di più di 2.000 scatti fotografici (WS11) ed infine l'inserimento della resina sul Cup Housing, al fine di mantenere saldi i due componenti (WS12). Al termine del nastro i due componenti vengono assemblati insieme alla Voluta ed avvitati in modo automatico (WS13). Il semilavorato ottenuto viene inserito in un altro nastro automatizzato che lo trasporta a fianco del collaudo EOL (WS 14), dove verranno effettuati tre test: elettronico, fluidodinamico (con aria al posto dell'acqua) e dimensionale rispetto al connettore dell'ECU. Infine, il prodotto verrà inserito nella macchina Rubbatrice che inserirà la Rubber Ring e i due Protective Cup, se necessario. I rotori completi arrivano il linea già montati e magnetizzati, tuttavia l'AGV trasporta gli Impeller e i rotori non magnetizzati separatamente perciò questi due componenti vengono assemblati e magnetizzati in due postazioni di lavoro condivise con la prima linea, dietro la linea uno.

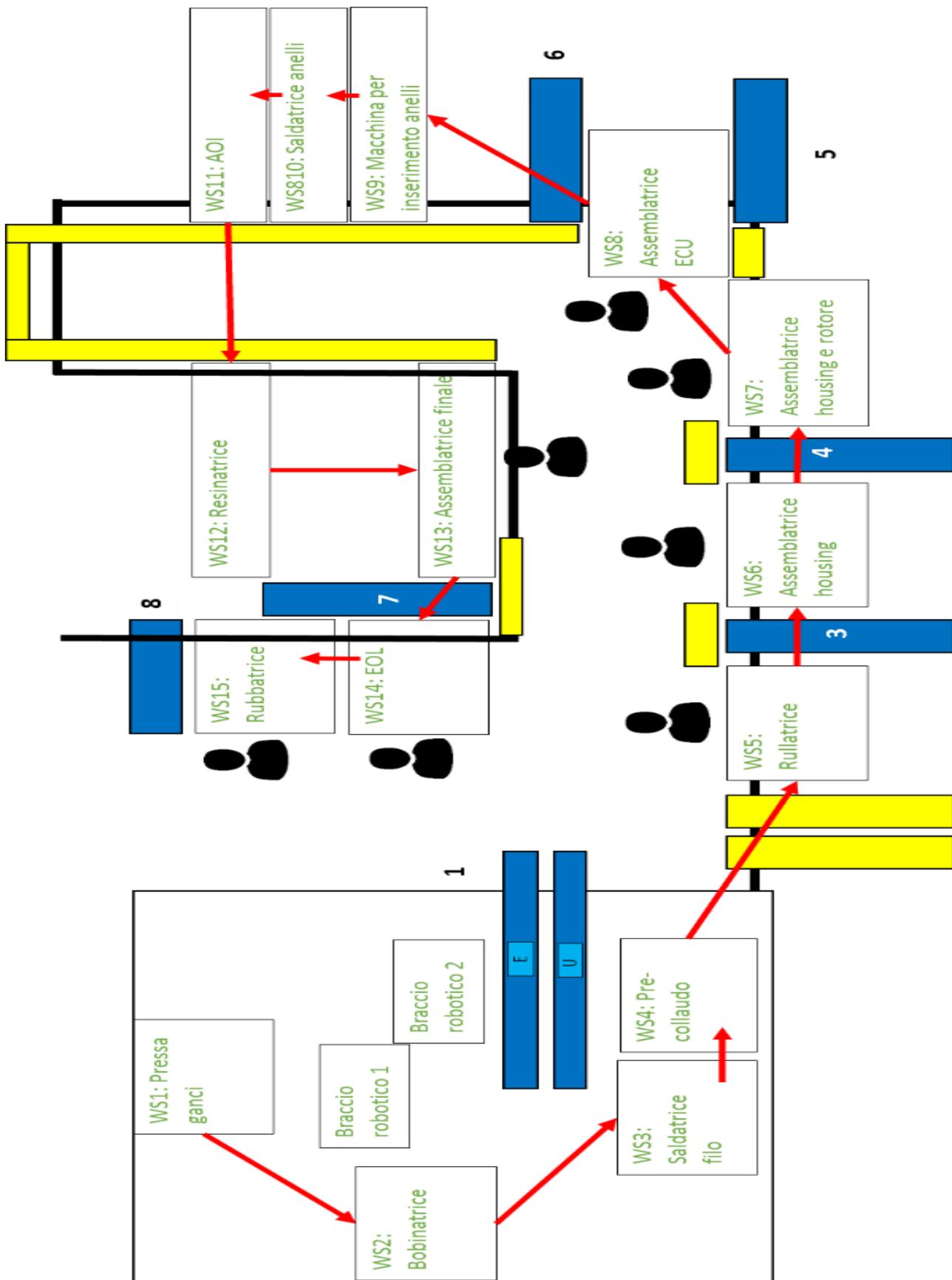


Figura 3.8 Layout della linea 2

3.1.3 Buffer di approvvigionamento

Come è possibile vedere in figura 3.8 sono presenti sette buffer di approvvigionamento, ciascuno corrispondente ad un determinato tipo di componente, e collocato in prossimità delle stazioni che ne fanno uso. Essendo il sistema di alimentazione di tipo kanban ciascun

buffer è dotato di un cartellino contenente le quantità minime e massime di contenitori che possono stazionare nel buffer (Tabella 3.2). La quantità massima indica il numero massimo di scatole che sono ammesse nel buffer e questo numero può essere determinato tenendo conto di vincoli di spazio oppure di quantità massima di materiale immobilizzato sulla linea voluto dall'azienda. L'azienda

Buffer	Quantità minima	Quantità massima
Statore	5	20
Shaft Housing	1	3
Wet Sleeve	1	3
Rotore	2	8
ECU	1	3
Cap Housing	1	3
Voluta	1	4

Tabella 3.2 Dimensione buffer

entro il cui studio è stato sviluppato ha deciso di determinare tale numero in base alla dimensione fisica del buffer. Per quanto riguarda la quantità minima il suo valore determina il numero di viaggi necessari per rifornire costantemente la linea. La determinazione di tale numero verrà approfondita nel paragrafo dedicato al dimensionamento del sistema AGV. Il primo buffer (1) contiene gli statori in procinto di essere lavorati dalla prima stazione automatica ed il semilavorato uscente da tale macchina. Gli Statori sono posizionati all'interno di vassoi, in modo da facilitare il carico e lo scarico da parte dei bracci robotici. Il secondo buffer (2) è un buffer d'attesa in cui il semilavorato staziona finché non necessario, negli stessi vassoi usati nella stazione precedente. Il terzo buffer (3) contiene lo Shaft Housing. Le casse sono contenute all'interno di un carrello a gravità, il cui piano inferiore è occupato dai vuoti e quello superiore dai pieni. Ciascuno degli altri buffer: Wet Sleeve (4), Rotore (5), ECU (6),

Voluta (7) sono contenuti in simili carrelli, a parte le Rubber e i Protective Cap che possiedono un carrellino orizzontale dedicato.

3.1.4 Postazioni per prodotto finito, materie prime e procedure di rifornimento della linea



Figura 3.9 Postazioni prodotto finito

In prossimità dell'ultima stazione di lavoro sono presenti delle specifiche postazioni di stoccaggio del prodotto finito, dove sono posizionate le unità di carico in riempimento, vuote e piene. Il sistema attualmente in uso prevede tre posti, ciascuno dedicato ad una tipologia di unità di carico. Come si può vedere in figura 3.10 il parcheggio EWP L2 è dedicato alle unità di carico piene, in attesa di essere versate e spedite in magazzino. Il parcheggio PFV invece contiene le unità di carico vuote, in attesa di essere riempite appena l'unità di carico in riempimento verrà conclusa. Infine, il parcheggio PFiR è dedicato alle unità di carico in corso di

riempimento. In figura 3.9 si può osservare la procedura di travaso dall'unità di carico in PFV a quella in PFiR. A seconda del tipo d'imballo possono essere usati due o tre parcheggi, infatti le unità di carico a blocchi impilati necessitano di tutti e tre i parcheggi perché l'unità di carico in riempimento va composta impilando le cassette prelevate dall'unità di carico

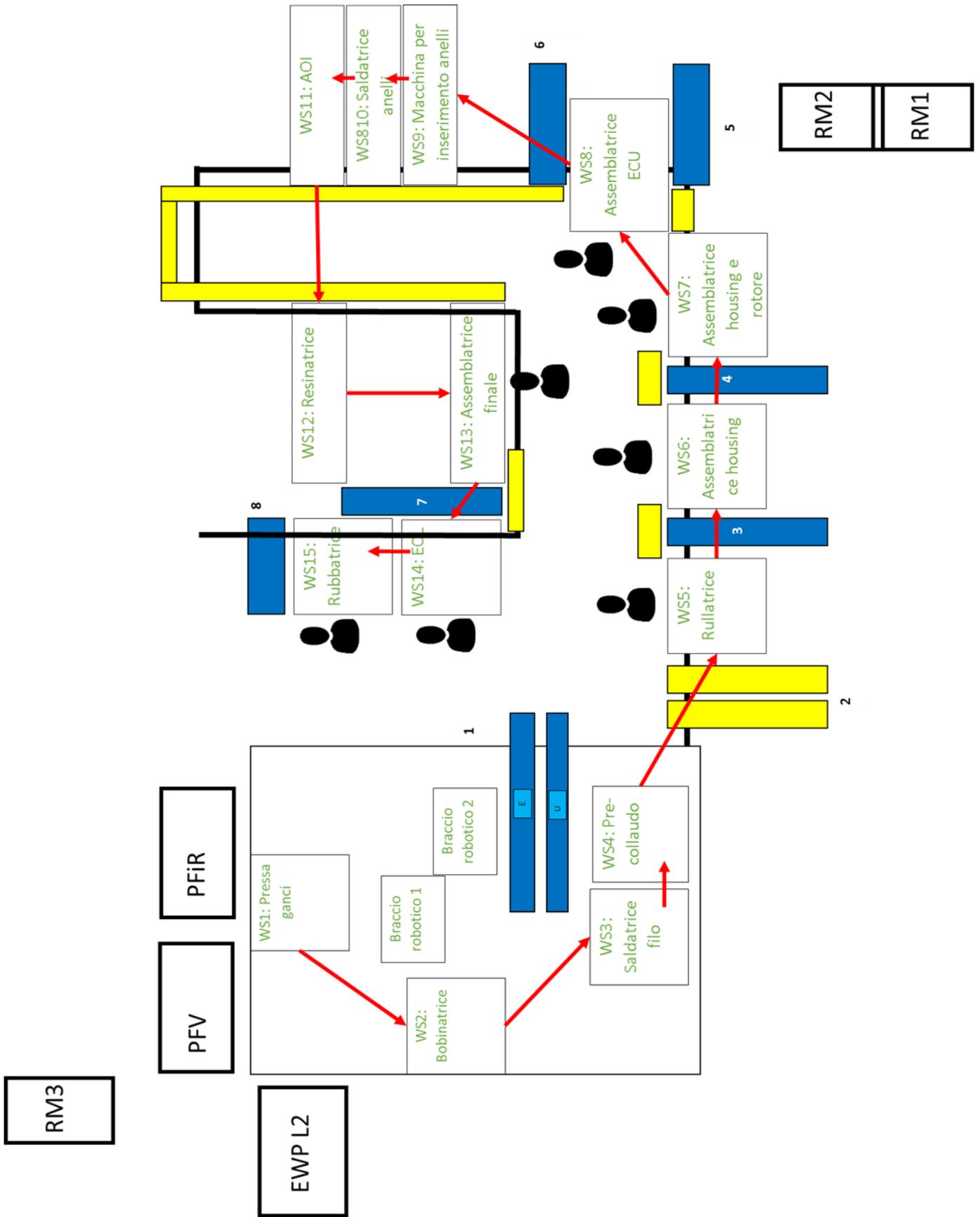


Figura 3.10 Layout dei parcheggi della linea 2

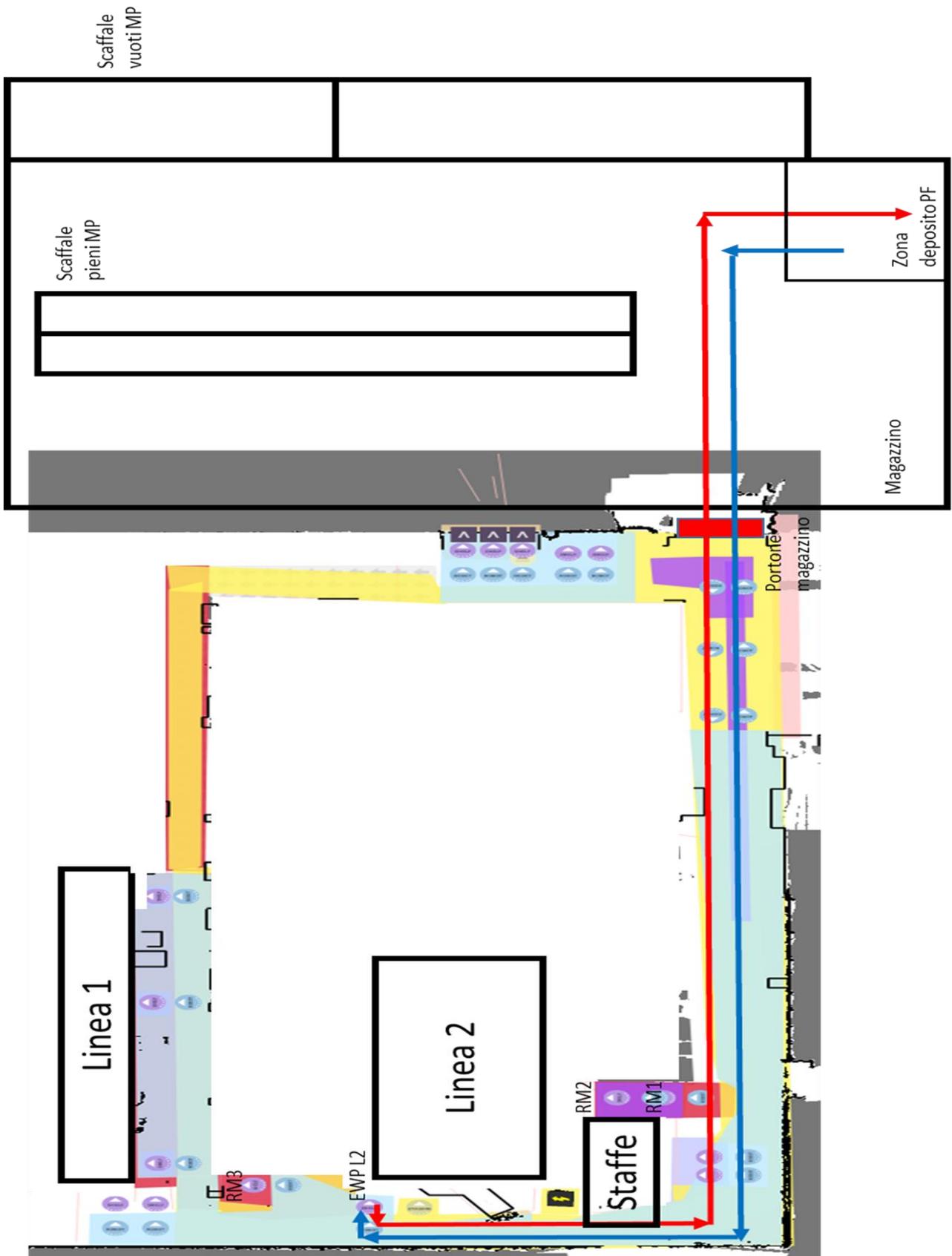


Figura 3.11 Flussi di prodotto finito

vuote e riempite di prodotto finito mentre per le unità di carico a contenitore non è necessaria questa procedura perché il prodotto finito è semplicemente inserito all'interno di un loculo dell'alveare, perciò sono necessari solo due parcheggi (EWP L2 e PFiR).

Come si può osservare nella figura 3.11 la procedura di asservimento prevede che l'unità di carico piena in EWP L2 venga trasportata tramite carrello elevatore nella zona di deposito a lei adibita nel magazzino (freccia rossa) mentre un'unità di carico vuota verrà prelevata dalla stessa zona per essere portata in EWP L2 (freccia blu). Tale parcheggio infatti quando non contiene le unità di carico piene tiene le unità di carico vuote che andranno a sostituire quelle in PFV, che transiteranno a loro volta in PFiR.

Per quanto riguarda le materie prime invece l'asservimento non avviene direttamente dal magazzino ai buffer di alimentazione perché sarebbe inefficiente dedicare una persona al riempimento dei singoli buffer, al momento del bisogno. Invece tutte le casse di materiali vengono raggruppate su due o più pedane e trasportate dal magazzino in tre parcheggi dedicati (Figura 3.12), posizionati ciascuno in prossimità di un gruppo di buffer di alimentazione, in modo che la linea possa essere facilmente alimentata. Da queste postazioni poi un operatore provvederà a caricare le casse sui buffer, al momento del bisogno. Con questo metodo si compie un numero molto minore di viaggi ma si accumula più materiale in linea. Come si può osservare nella figura 3.12 la procedura di asservimento prevede che la pedana con le scatole vuote in RM1, RM2 o RM3 venga trasportata tramite carrello elevatore nella zona davanti allo scaffale dei vuoti materie prime (MP) nel magazzino (freccia rossa) per poi essere svuotata. Successivamente viene portata davanti allo scaffale pieni materie prime (MP), caricata con le scatole di materie prime piene e portata in RM1, RM2 o RM3. Tali parcheggi infatti sono adibiti sia ai pieni che ai vuoti.

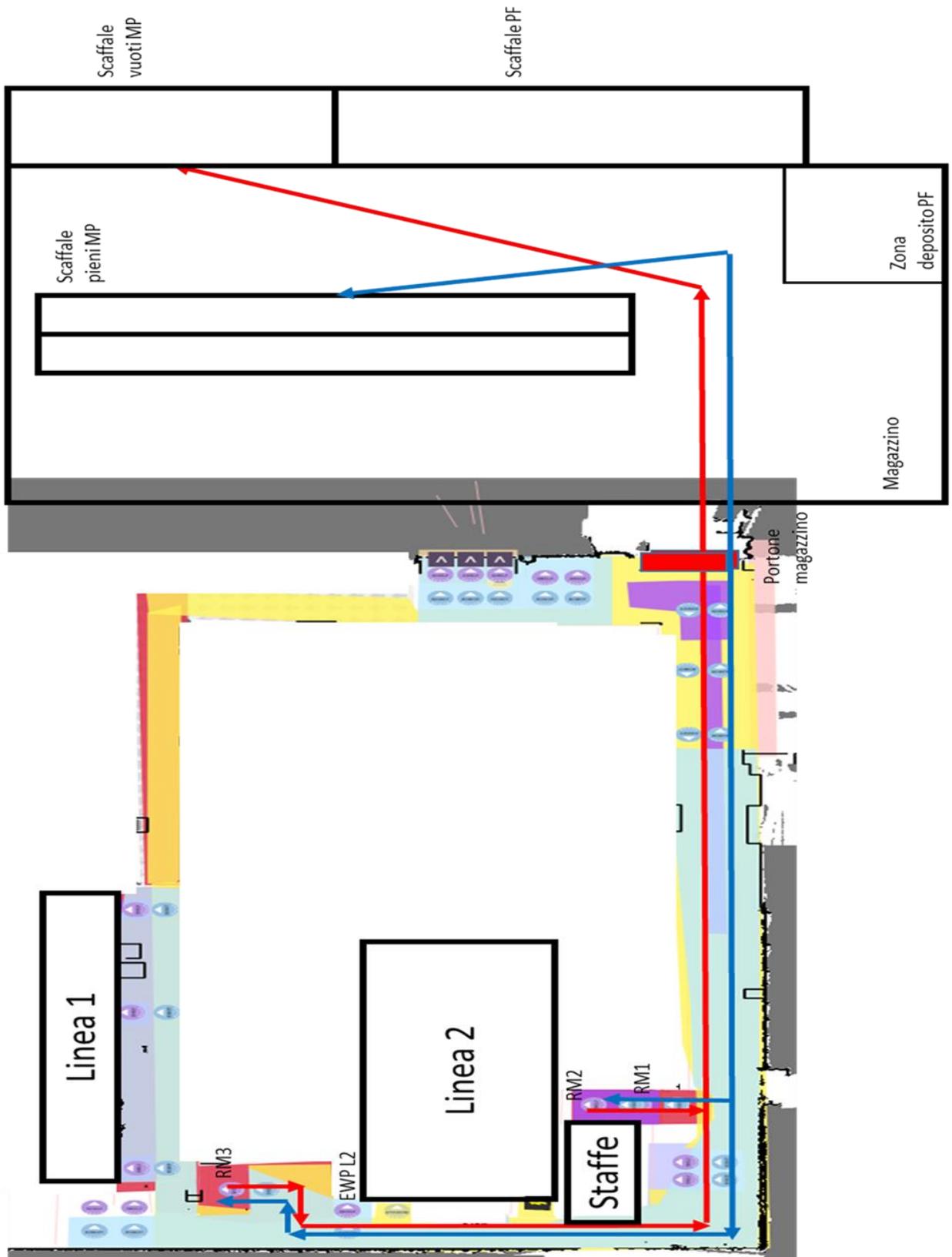


Figura 3.12 Flussi di materie prime

3.1.5 Sistemi di movimentazione utilizzati



Figura 3.14 Transpallet manuale

Attualmente il rifornimento della linea avviene tramite due diverse tipologie di mezzi di movimentazione



Figura 3.13 Carrello elevatore elettrico

interna: il transpallet manuale (Figura 3.14) e il carrello trasportatore/elevatore elettrico (Figura 3.13). Il primo è utilizzato per trasporti interlinea oppure quando non sono disponibili carrelli motorizzati mentre il secondo per trasporti di materiale dal magazzino alla linea, in quanto in questo caso potrebbe essere necessario prelevare materiale sopra degli scaffali. L'asservimento della linea non è un compito attualmente affidato ad uno specifico operatore, in quanto operazione discontinua nel tempo, ma è eseguito dagli operai con patente per il carrello elettrico, al momento del bisogno. Questo comporta che ad ogni turno sia sempre presente un operatore con tale patente. Tutte le teamleader e supervisor hanno comunque questa patente, infatti le mansioni di asservimento vengono effettuate principalmente da loro.

3.1.6 Criticità

Il sistema attualmente in uso sulla linea due, descritto nei paragrafi da 3.1.1 a 3.1.6, porta diversi tipi di svantaggi e problemi:

- **Cali di produttività** dovuti alla necessità di staccare un operatore dalla produzione, quando è necessario asservire la linea. Infatti, le operazioni di movimentazione del materiale non producono valore aggiunto, a differenza della produzione di un pezzo, anche se sono necessarie;
- **Rischi per la salute degli operatori** nel caso di incidenti con il carrello elevatore, durante la movimentazione;
- **Rischi di danneggiamento del materiale** nel caso di urti o cadute di materiale, dovuti alla difficoltà di gestire il mezzo di movimentazione in spazi stretti;
- **Elevate quantità di materiale in linea** dovute alla creazione di grandi unità di carico per minimizzare i viaggi degli operatori;

Ciascuno di questi problemi aumenta notevolmente il costo di movimentazione di un singolo pezzo e può generare anche elevati costi fissi in caso di incidenti o infortuni sul lavoro.

3.2 Nuovo metodo di approvvigionamento della linea 2

3.2.1 Caratteristiche

Data l'inefficienza dell'attuale sistema di asservimento della seconda linea l'azienda ha deciso di implementare un AGV, come già fatto per la prima linea.

È stato scelto lo stesso modello di AGV presente sulla linea uno, ovvero il MIR200 (Figura 3.15) dell'azienda Mobile Industrial Robots [35], data la somiglianza del sistema di asservimento delle due linee e la necessita di inserire i due robot in un sistema di



Figura 3.15 MIR200 (MobileIndustrialRobots, 2019,[35])



Figura 3.16 MIR200 con Hook (MobileIndustrialRobots, 2019, [35])



Figura 3.18 MIR200 con modulo a pistoni



Figura 3.17 MIR200 con moduli specifici (MobileIndustrialRobots,2019,[36])

gestione semi-centralizzato. Il MIR200 è un modello di AGV flessibile, ovvero in grado di trasportare carichi sia per trascinamento che per sollevamento, a seconda del tipo di modulo superiore scelto, oppure di montare specifici moduli per il trasporto di unità di carico. Nel primo caso è necessario montare il modulo “hook”, mostrato in figura 3.16, che è in grado di trasportare carichi fino a 500 Kg, con una pendenza minore dell’1% ed un raggio di sterzata molto ampio mentre nel secondo caso è necessario il modulo dotato di pistoni (figura 3.18), che è in grado di trasportare pesi fino a 200 Kg, con una pendenza massima del 5% e la possibilità di rotazioni fino a 360°. Infine, esistono moduli particolari, customizzati in base alle esigenze di produzione, visibili in figura 3.13. Con un’autonomia di 10 h o 15 Km il robot è in grado di raggiungere una velocità massima di 4 km/h, di superare dislivelli fino a 20 mm e di ruotare su sé stesso fino a 360°, grazie al sistema di sterzo differenziale. Data la mancanza di spazi e la presenza di corridoi stretti in reparto l’azienda ha deciso di puntare sul modulo con pistoni, trasformando l’AGV in un trasportatore di unità di carico a sollevamento dorsale.

Sistema di guida

Il MiR200 utilizza un sistema di guida misto per la navigazione, composto da tre tipologie di sensori: i laser scanner, le telecamere 3D e i sensori ad ultrasuoni. I primi hanno il

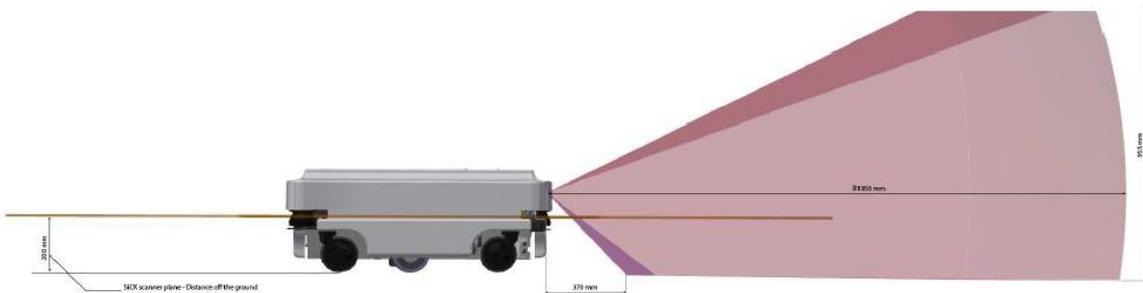


Figura 3.19 Sezione verticale del campo visivo del MIR200 (MiR_Advanced_Training, 2019)

compito di mappare l’ambiente circostante, localizzare il robot nell’ambiente, fornire dati per la pianificazione dei percorsi e continuamente monitorare l’ambiente alla ricerca di ostacoli, per permettere al sistema anticollisione di aggirarli. Sono due in totale e sono in grado di vedere in un angolo di 360°, ad una distanza di 2,5m metri e ed in un piano distante più o meno 200 mm dal terreno (Figura 3.19). Questo significa che tutti gli oggetti sopra e sotto tale misura non sono visibili dai laser scanner. I secondi invece hanno il

compito di riconoscere gli oggetti che ostacolano il cammino, laddove i laser scanner non vedono. Nel nostro modello è attiva una sola delle due telecamere 3D, che raggiunge un angolo di 98°, una distanza di 1,95 m ed un'altezza di 995 mm (Figura 3.20).

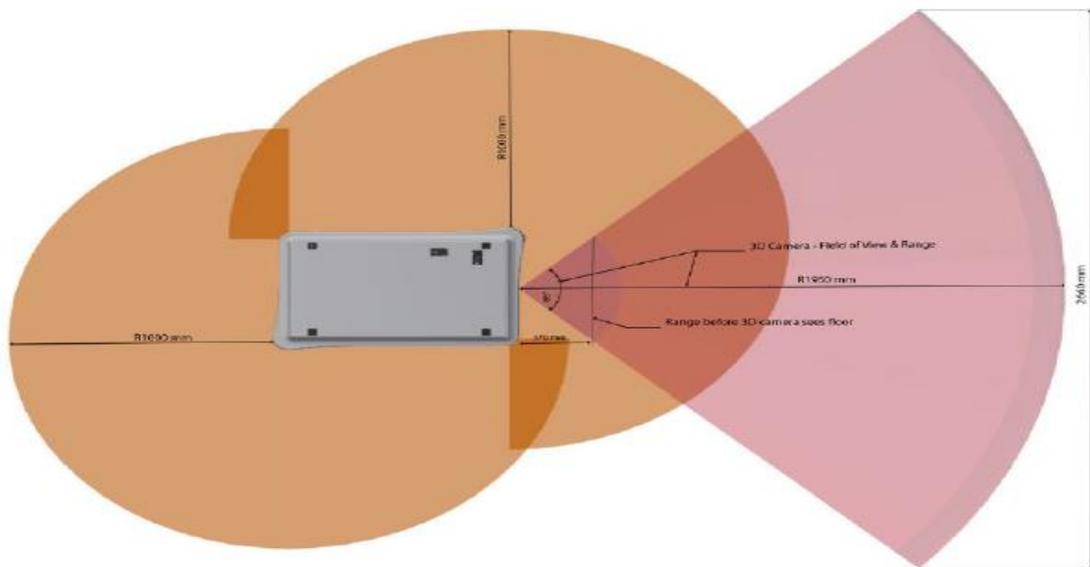


Figura 3.20 Sezione orizzontale del campo visivo del MIR200 (MiR_Advanced_Training, 2019)

Esistono due punti ciechi: uno sul pavimento fino a 370 mm, in cui l'AGV non vede; ed un altro in una striscia sul pavimento, lunga quanto il campo visivo e alta 50 mm dal primo punto visibile (370 mm), che s'incrementa in altezza di 10 mm ogni metro, in cui il robot ignora gli ostacoli. Quest'ultimo punto cieco è stato inserito per evitare che il robot si blocchi o tenti di superare ostacoli molto piccoli tuttavia impedisce all'AGV di vedere le forche dei carrelli elevatori.

Sistemi di sicurezza

Tutti i dispositivi di sicurezza presentati nel primo capitolo sono presenti in questo modello di AGV. Per quanto riguarda i distanziatori di sicurezza è stata creata zone di protezione, la cui dimensione varia in base alla velocità del robot ed al senso di marcia. In figura 3.21 e 3.22 sono mostrate queste zone, divise in base ai due sensi di marcia possibili. Per quanto riguarda i segnali ottici invece sono stati associati diversi colori per

Case	Speed	Field set	Comments
1	-1.14 to 1.80 m/s	30 mm	Reversing and slowly backwards
2	-0.20 to 0.15 m/s	120 mm	
3	0.40 to 0.21 m/s	290 mm	
4	-1.50 to 0.41 m/s	430 mm	Backwards at max. speed

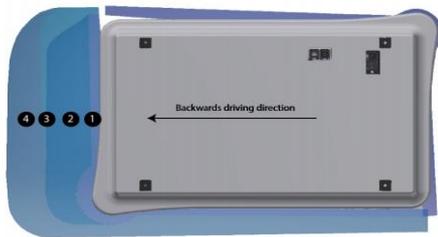


Figura 3.21 Zona di protezione posteriore (MIR200_User_Guide, 2019,[37])

Case	Speed	Field set in front of robot	Comments
1	-1.40 to 0.20 m/s	20 mm	Reversing and slowly forwards
2	0.21 to 0.40 n/s	120 mm	
3	0.41 to 0.80 m/s	290 mm	
4	0.81 to 1.10 m/s	430 mm	
5	1.11 to 2.00 m/s	720 mm	Forwards at max. speed

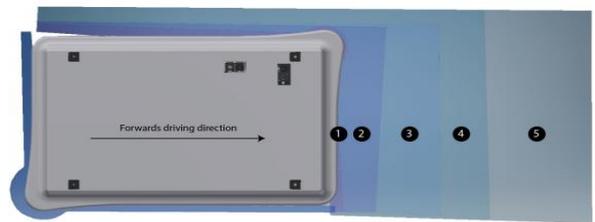


Figura 3.22 Zona di protezione anteriore (MIR200_User_Guide, 2019,[37])

ogni possibile azione, qui mostrato in figura 3.23.

Esistono poi altri quattro tipi di sensori interni: il giroscopio, che misura la velocità angolare e l'orientazione del robot; l'encoder del motore, che misura la velocità e la posizione dell'albero motore; l'encoder delle ruote, che misura gli stessi valori ma del sistema di ruote differenziale e l'accelerometro che misura l'accelerazione non gravitazionale.

Red	Emergency stop
Green	Ready for job
Cyan	Drives to destination
Purple	Goal / Path blocked
White	Planning / Calculating
Yellow	Mission Paused
Yellow wavering	Startup signal before PC is active
Yellow fade	Shutting down robot
Yellow blinking	Relative move, ignoring obstacles
Purple - yellow	General error e.g. hardware, localization
Blue	Manual drive joystick
Blue wavering	Mapping
Contracting white	Charging: Charging station
White wavering	Prompt user / Waiting for user's response

Figura 3.23 Segnali ottici del MIR200 (MiR_Advanced_Training, 2019, [37])

Sistema di trasmissione

Il sistema di trasmissione delle informazioni è via radio, cioè il robot comunica con dei tablet posti vicino agli operatori tramite la rete WIFI del reparto, a cui sono connessi tutti i dispositivi. In figura 3.25 è possibile vedere uno schema logico del sistema di controllo con un singolo AGV. Robot e operatore sono in grado d'interfacciarsi tramite un applicativo di proprietà della MiR, installato sui tablet in uso in reparto. Un estratto di tale

interfaccia è mostrato in figura 3.24. Ciascun robot possiede un'interfaccia propria, da cui è possibile inviare i comandi, ricevere informazioni sullo stato del robot e della missione in corso e modificare i parametri di lavoro. L'interfaccia è suddivisa in quattro sezioni:

- **Dashboard:** questa sezione contiene le schermate che l'utente crea per inviare i comandi al robot. Nel nostro caso sono presenti cinque schermate, due dedicate alle linee, una alla staffatura, e due al magazzino prodotto finito e materie prime. Ciascuna schermata contiene i tasti per lanciare le missioni, ovvero un



Figura 3.24 Interfaccia del sistema di AGV

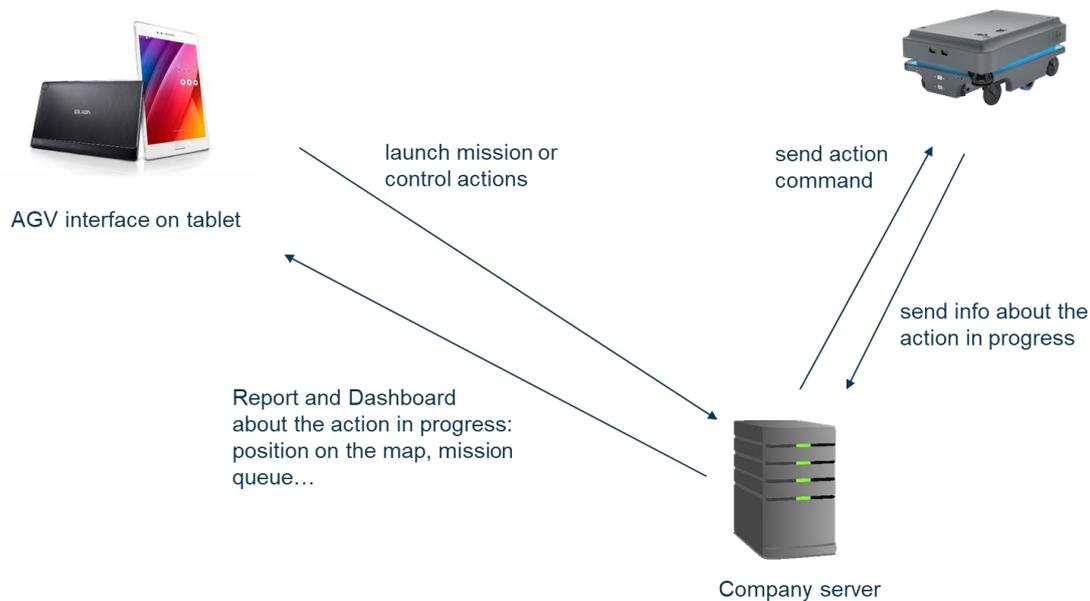


Figura 3.25 Sistema di controllo a singolo AGV

insieme predeterminato di comandi che il robot esegue in successione; una mappa, che mostra la posizione del robot in ogni attimo; un elenco di missioni in corso e in attesa ed un tasto di log-out. Ciascuna dashboard contiene un insieme di missioni customizzate in base alle necessità dell'operatore, per esempio la linea due possiede una missione che comanda al robot di prendere il prodotto finito da una posizione predeterminata e di portarlo nell'area magazzino mentre per il magazzino prodotto finito una missione che comanda al robot di fare il percorso inverso con il vuoto.

- **Setup:** qui sono presenti tutti i comandi che permettono di programmare l'AGV, come l'elenco di tutte le missioni, le varie tipologie di carrello agganciabili e i loro valori di lunghezza, larghezza, altezza o coordinate di aggancio, le mappe, la schermata di gestione dei suoni e dei percorsi fissi che si vuole far seguire al robot;
- **Monitoring:** questa sezione contiene una serie di informazioni per valutare le performance dell'AGV, come l'elenco delle missioni effettuate, l'elenco degli errori o lo stato del sistema;
- **System:** qui sono presenti tutte le informazioni e le variabili di sistema, che se modificate cambiano le procedure di lavoro del robot. Tra le principali troviamo la sezione WIFI, sistema di sicurezza, versioni software, backup, sensori.

3.2.2 Flotta

Dovendo implementare un secondo AGV è stato necessario introdurre un software di controllo, a livello gerarchico superiore, per gestire i possibili conflitti tra robot e per centralizzare le operazioni di lancio delle missioni. Lo schema logico si complica, come è possibile vedere in figura 3.26, perché ogni singolo comando deve passare per la flotta e deve attraversare la rete per due volte. Questa configurazione ha generato rallentamenti nel controllo dei robot, a causa della bassa potenza della rete aziendale, anche se non tale da compromettere il funzionamento del sistema. Tuttavia questo è l'unico modo per evitare collisioni tra robot e gestire situazioni d'ingorgo.

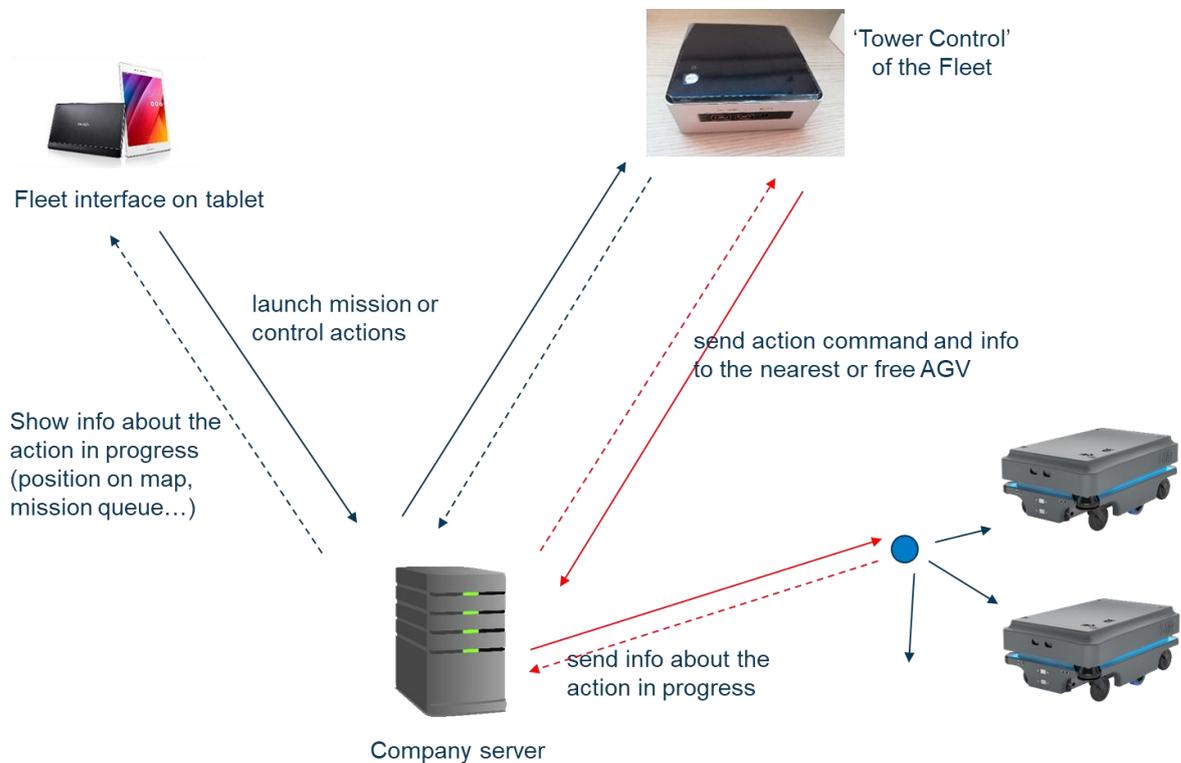


Figura 3.26 Sistema di controllo con flotta

L'interfaccia è anche qui suddivisa in quattro sezioni:

- **Dashboard:** le uniche due differenze con l'interfaccia del singolo robot sono la mappa nel dashboard e i controlli del robot. In questo applicativo è possibile inserire due tipi di mappe nel dashboard: una mappa che mostra un singolo robot oppure una mappa che mostra la posizione di tutti i robot contemporaneamente. Tuttavia, entrambe le mappe non possiedono più i comandi di localizzazione. I controlli presenti nell'interfaccia del singolo robot, come la possibilità di pilotare

manualmente l'AGV o metterlo in pausa non sono più presenti perché il software di flotta non sarebbe in grado di determinare quale robot deve essere controllato;

- **Setup:** qui viene aggiunta una funzione di schedulazione, in cui sono mostrate le missioni ed i robot che le stanno eseguendo, e una funzione di stato dei robot, che mostra lo stato di tutti gli AGV e che permette di raggiungere l'interfaccia del singolo robot;
- **Control:** questa sezione contiene solo più l'elenco degli errori;
- **System:** qui sono presenti solo più tre opzioni: i parametri di autostaging e autocharging, ovvero di gestione automatica delle operazioni di ricarica e attesa, i parametri del sistema anticollisione e i comandi che permettono il reset della flotta.

Questo sistema porta però notevoli vantaggi dal punto di vista della schedulazione e della gestione delle ricariche perché permette di ordinare in tempo reale le missioni in attesa in base all'urgenza, tramite il comando high priority, assegnare ciascuna missione al robot libero più vicino e mandare il robot autonomamente nella piazzola di attesa libera più vicina oppure in ricarica, al termine di ogni missione. Per quanto riguarda la programmazione, data la struttura del sistema di asservimento, vediamo l'alternarsi del machine-initiated dispatching problem e del vehicle-initiated dispatching problem, a seconda del ritmo di produzione delle linee e della coincidenza del giro dei materiali con il giro del prodotto finito. Nel primo caso verrà applicata la nearest vehicle rule mentre nel secondo la first-call-first-served rule, con l'eccezione delle missioni contrassegnate high-priority che scavalcano tutte le missioni a parte quelle già in corso o anch'esse contrassegnate allo stesso modo. Il primo problema si verificherà in situazioni di basso ritmo di produzione oppure in momenti in cui non è richiesto l'asservimento di materie prime mentre il secondo in situazioni di alto ritmo di produzione e coincidenza tra richiesta di trasporto di materie prime e prodotto finito. Per quanto riguarda l'instradamento il sistema prevede la possibilità di utilizzare sia il direct che la routing via unload/load station, tuttavia la mancanza di spazi e la necessità di muovere i carrelli appena scaricati dall'AGV rendono il direct routing. Per questa ragione sono state create due postazioni d'attesa (una per robot) ed una di ricarica condivisa. Inoltre, con l'introduzione della flotta è stato automatizzato il processo di ritorno alle postazioni d'attesa o di ricarica, al termine di una missione e con la coda vuota. La scelta di questo

sistema ha però comportato l'aumentare del tempo di viaggio del veicolo a causa della necessità di effettuare un viaggio senza carico al termine della missione, in caso di coda vuota. Tuttavia, il rapporto:

$$r = \frac{ATT}{APT} = \frac{9,62(min)}{38,57(min)} = 0,249 < 0,4$$

è inferiore a 0,4 perciò il direct routing non è più efficiente. Il valore ATT è stato preso dal paragrafo 3.2.5 ed è il tempo medio di trasporto di un carico, calcolato come media dei tempi medi di trasporto di ogni linea. Il valore ATP è il tempo ciclo di produzione di un imballo. E' stato scelto l'imballo meno capiente (da 90 pezzi) e a partire da questo dato e dalla velocità massima di produzione della linea più veloce (la seconda) è stato calcolato il valore tramite la formula:

$$APT = \frac{90 \text{ pz}}{140 \text{ pz/h}} \times 60 \text{ min} = 38,57 \text{ min}$$

3.2.3 Implementazione dell'AGV

In questo paragrafo verranno approfonditi i principali problemi riscontrati nel dimensionamento del sistema AGV e le soluzioni trovate.

Frequenza di rifornimento

Prodotto finito

La linea due del reparto eWP può produrre fino ad un massimo di 140 pezzi/l'ora, tuttavia a causa della presenza di pause caffè e della pausa pranzo la produzione non rimane

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
117	140	117	140	117	70	140	117

Tabella 3.3 Produzione oraria

costante durante il turno, nemmeno se son presenti tutti e sette gli operatori. In tabella 3.3 è possibile vedere la distribuzione oraria della produzione a pieno regime.



Figura 3.27 Kanban per prodotto finito

Nelle ore in cui sono prodotti 117 pezzi l'orario effettivo di lavoro è 50 minuti mentre nella sesta ora si arriva solo a 70 pezzi con un orario effettivo di lavoro di 30 minuti. Per stabilire quali tipologie di pezzi debbano essere prodotti e in quali imballi vadano inseriti la produzione si avvale di una pianifica degli ordini di produzione. Per la comunicazione degli ordini tra produzione e magazzino invece viene utilizzato un sistema kanban a cartellini (Figura 3.27), che vengono inseriti in apposite tasche sui carrelli in movimento. Ogni kanban

corrisponde ad un imballo di prodotto finito in viaggio o in attesa. Il sistema funziona in questo modo: nel momento in cui viene terminato il terzultimo lotto prima del cambio d'imballo l'operatore inserisce nel taschino un kanban del nuovo imballo che verrà utilizzato, in modo che il magazziniere possa accorgersi del cambio imminente e preparare il carrelli. In tabella 3.4 è mostrata la procedura:

PIANIFICA	Lotto di produzione	Carrello	Kanban
Imballo 1	1	I	Imballo 1
Imballo 1	2	II	Imballo 1
Imballo 1	3 	III	Imballo 2
Imballo 1	4 	I	Imballo 2
Imballo 1	5 	II	Imballo 2
Imballo 2	1	III	Imballo 2
Imballo 2	2	I	Imballo 2
Imballo 2	3	II	Imballo 2
Imballo 2	4	III	Imballo 2

1. Quando l'operatore firma la fine del lotto tre deve mettere un kanban del nuovo imballo, insieme al kanban già presente e coincidente con l'imballo in circolo;

2. Il magazziniere mette i kanban del carrello pieno in quello vuoto e inizia a preparare il nuovo imballo;

3. All'arrivo del quinto lotto pieno il magazziniere scambia il carrello pieno,

contenente l'imballo vecchio, con il carrello vuoto, contenente l'imballo nuovo;

4. Il magazziniere toglie i kanban del vecchio tipo d'imballo e il carrello torna ad averne uno solo;

Tabella 3.4 Logica per il cambio tipo d'imballo

Nel caso di passaggio da due a tre carrelli in linea, cioè il passaggio all'imballo con scatole impilate, sarà necessario aggiungere due kanban alla fine del terzo lotto perché il magazziniere invierà in linea due carrelli (nel momento del cambio tipo d'imballo): uno con le scatole vuote e uno senza niente sopra, che servirà come base per comporre la pedana con le scatole riempite di prodotto finito.

Materie prime

La frequenza di rifornimento di materie prime dipende da due fattori: la quantità di pezzi l'ora prodotti e la capacità di carico dell'AGV. Del primo fattore ne abbiamo parlato nello specifico precedentemente mentre del secondo ne parleremo nel prossimo paragrafo.

Dato l'elevato carico di lavoro dei magazzinieri dedicati all'asservimento delle materie prime e la necessità di condividere le postazioni di scarico/carico in prossimità del magazzino con la linea uno è impossibile utilizzare un sistema di rifornimento a necessità, ovvero in modo che il carrello venga chiamato quando il materiale in linea scende sotto un livello minimo, perciò è stato deciso di instaurare un sistema di chiamata ad orari fissi, sfasato rispetto alla prima linea, in modo che i magazzinieri sappiano a che ora liberarsi. In tabella 3.5 e 3.6 è possibile vedere gli orari di chiamata

GIRO DEL RM L1							
I TURNO				II TURNO			
7:30	9:30	11:30	13:30	15:30	17:30	19:30	21:30

Tabella 3.5 Giro delle materie prime sulla linea uno

GIRO DEL RM L2							
I TURNO				II TURNO			
06:30	08:30	10:30	12:30	14:30	16:30	18:30	20:30

Tabella 3.6 Giro delle materie prime sulla linea due

per turno e per le due linee. Il sistema di chiamata utilizza anche qui i kanban (Figura 3.28), però in questo caso uno di essi corrisponde a più tipi di componenti

Prodotto 1			
CARRELLO 2			
CODICE	Descrizione	Quantità massima	QUANTITA' RICHIESTA
C1	Shaft Housing	2	
C2	Rotore 80W	8	
C3	Wet Sleeve	2	
C4	Statore 80W	12	

Figura 3.28 Kanban per materie prime

perché un carrello ne trasporta fino a quattro tipologie. Non è stato possibile asservire direttamente ogni buffer di materia prima a causa della mancanza di spazi nel reparto, con una conseguente minore efficienza dovuta al fatto che è necessario impegnare parte del tempo recuperato con l'introduzione dell'AGV

a caricare e scaricare i carrelli. In figura 3.29 è possibile vedere un diagramma temporale della procedura di chiamata ad orari fissi, che funziona in questo modo:

1. All'orario stabilito il team leader inizia a preparare i carrelli, svuotando i buffer pieni di contenitori vuoti ed inserendoli sul carrello. Inoltre, avvisa i magazzinieri. Ha 15 minuti di tempo;
2. Il team leader chiama il robot, che trasporta il carrello tre fino al magazzino in circa 5 minuti e torna in linea con lo stesso tempo. In 25 minuti dall'avviso il magazziniere deve essere pronto a preparare il primo carrello;

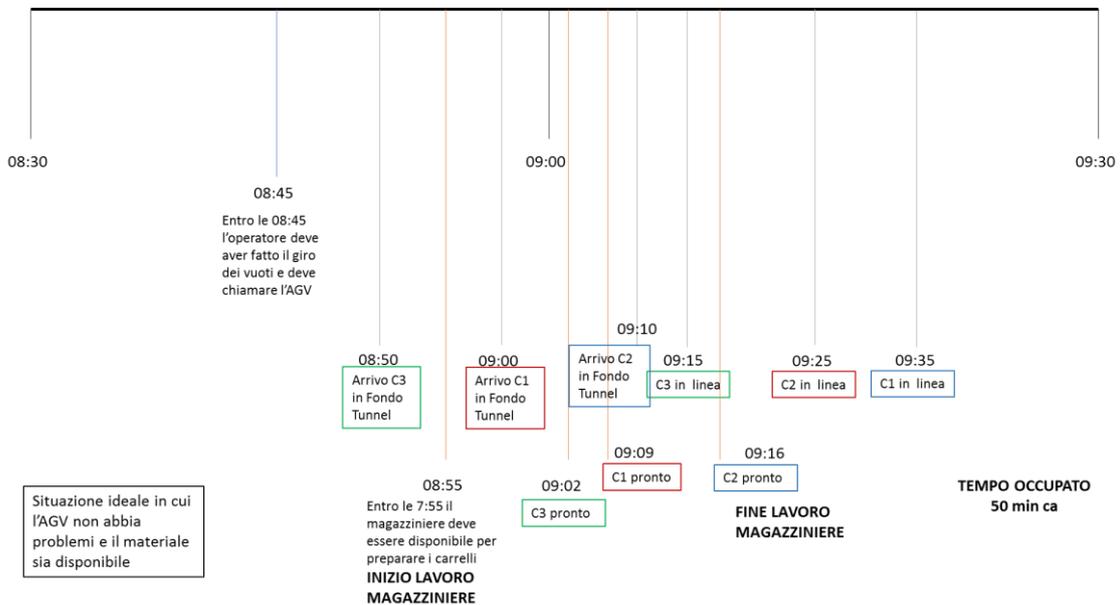


Figura 3.29 Sequenza temporale di asservimento materie prime

3. Dopo altri 5 minuti l'AGV ha trasportato anche il carrello uno e in 5 minuti ritorna in linea. Sette minuti dopo l'arrivo del magazziniere il carrello tre è pronto. Intanto 10 minuti dopo il deposito del carrello uno arriva anche il carrello due;
4. Dopo l'arrivo del carrello due, il carrello tre è in linea in 5 minuti il carrello tre. Intanto il carrello uno è pronto.
5. In 10 minuti l'AGV porta il carrello uno in linea ed il carrello due è pronto;
6. In altri 10 minuti il robot porta l'ultimo carrello in linea.

KANBAN MINUTERIE [1 SACCHETTO DI 2]	
CODICE MATERIALE	M1
DESCRIZIONE MATERIALE	O-RING Ø25,07 mm – sØ2,62 mm
UBICAZIONE WAREHOUSE	TUNNEL GRAVITY
UBICAZIONE LINEA	GRAVITY

I 5 minuti necessari al robot per portare un carico da magazzino a linea sono stati estratti dall'analisi dei tempi del paragrafo 3.2.5. L'AGV impiega perciò 30 minuti ad portare un carrello pieno di materie prime e 50 per asservire l'intero sistema. Le minuterie invece utilizzano un sistema a necessità perché è possibile inserirle tra i carrelli e durano molto a lungo. Ogni volta che si scenderà sotto il livello minimo, sarà richiesta la minuteria spedendo il kanban (Figura 3.30) tramite il primo

carrello in partenza. Ogni cartellino di minuteria corrisponde ad un contenitore, come un sacchetto od una scatola.

Figura 3.30 Kanban per minuterie

Dimensionamento dei carrelli

Il dimensionamento dei carrelli verrà fatto solo per le materie prime perché il prodotto finito è trasportato all'interno di unità di carico a contenitore o ad impilamento di blocchi. Ogni carrello può trasportare solo una di queste un unità di carico e la dimensione è fissata dal cliente.

Invece le materie prime sono trasportate all'interno di carrelli multipiano, come si vede in figura 3.31, in cui sui ciascun piano possono essere trasportate una o più cassette, o vassoi. Al fine di ottimizzare il numero di viaggi e la quantità di materiale in linea è necessario dimensionare tali carrelli cioè stabilire la quantità di cassette (o vassoi) per ogni piano e la ripartizione dei diversi tipi di componenti sui piani. Per quanto riguarda la quantità totale di cassette di ogni componente da posizionare sui carrelli verrà tenuto conto della frequenza di rifornimento

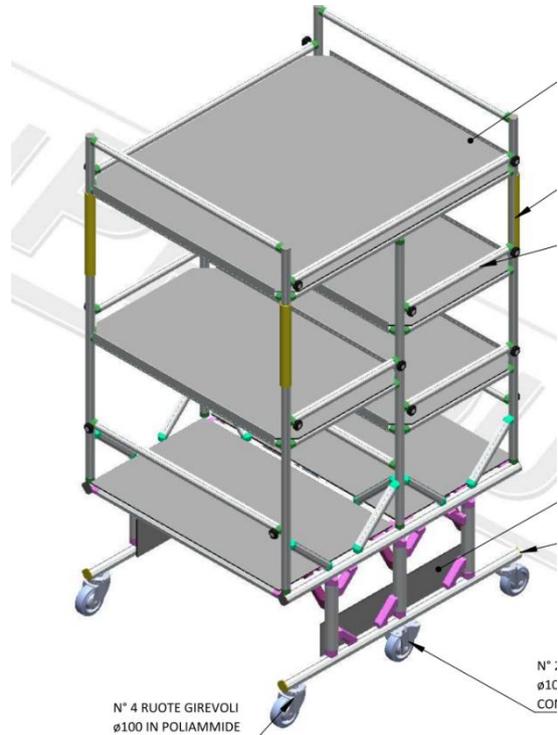


Figura 3.31 Carrello multipiano per AGV

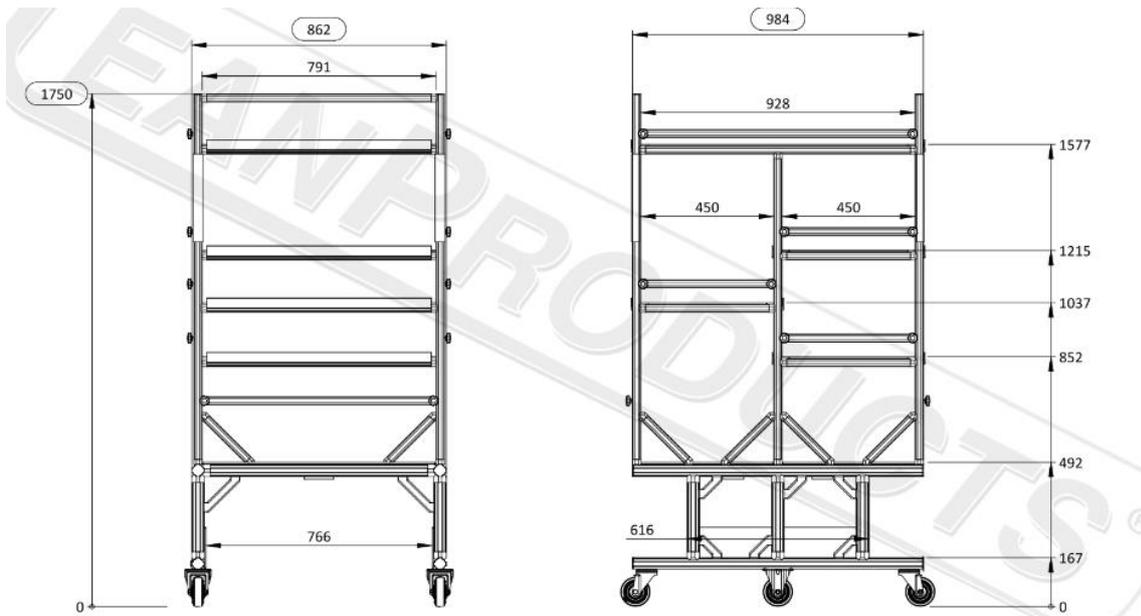


Figura 3.32 Dimensioni carrello multipiano per AGV

della linea, della saturazione dell'AGV, della disponibilità dei magazzinieri a rifornire il robot e della quantità di materiale in linea desiderata. Per ciò che concerne la ripartizione dei componenti sui carrelli verrà tenuto conto invece del peso delle cassette, per evitare

Componente		Quantità	Tipo imballo	Dimensioni [ln x lg x h] in cm	Peso [kg]
Statore	Statore 50W	24	Vassoio	40 x 30 x 5	3.8
	Statore 80W	24	Vassoio	40 x 30 x 6	3.8
Rotore	Rotore 50W	42	Vassoio	40 x 40 x 6	3.1
	Rotore 80W	42	Vassoio	40 x 40 x 6	3.1
	Rotore LL 50W	36	Vassoio	40 x 40 x 4	2.3
	Impeller LL 50W	140	Scatola di cartone	40 x 30 x 17	4.5
ECU	ECU	144	Scatola di plastica	60 x 40 x 30	8.8

Componente		Qtà	Tipo imballo	Dimensioni [ln x lg x h] in cm	Peso [kg]
Cup Housing	Cup Housing	200	Scatola di plastica	60 x 40 x 30	10.2
Voluta	Voluta	200	Scatola di plastica	60 x 40 x 22	16.3
	Voluta Giorgio	200	Scatola di plastica	60 x 40 x 22	16.3
Protective Cap	Protective Cap	3000	Scatola di cartone	60 x 40 x 25	10.3
Rubber Ring	Rubber Ring per cliente 1	240	Scatola di cartone	60 x 40 x 40	11.6
	Rubber Ring per cliente 2	100	Scatola di cartone	40 x 40 x 40	7.5

Tabella 3.7 Misure delle cassette di materie prime

sbilanciamenti e ribaltamenti dei carrelli, e di considerazioni a livello ergonomico per quanto riguarda il carico, lo scarico ed il trasporto sulla linea dei contenitori, da parte degli operatori. I carrelli a disposizione per l'asservimento della linea due sono tre, ciascuno con una propria postazione dedicata per il carico e lo scarico. Ognuno di essi mette a disposizione 5 piani perché il piano superiore non viene utilizzato, per ragioni

ergonomiche e di sicurezza. Infatti, come si può vedere in figura 3.32, il piano superiore giace ad un'altezza di oltre un metro e mezzo ed lo scarico di un peso rilevante da questo livello potrebbe provocare infortuni agli operatori che lo stanno eseguendo. Ciascun piano può tenere un numero di cassette, o vassoi, dipendente dalle dimensioni del contenitore stesso. La dimensione di un piano è 450 mm in lunghezza per 862 in larghezza per 360/545 mm in altezza (Figura 3.30). Osservando i dati in Tabella 3.7 si nota che non è possibile posizionare due contenitori in plastica in verticale rispetto al piano perché la loro lunghezza supera quella del piano mentre è possibile farlo per i vassoi ed alcuni tipi di scatole in cartone. Sia vassoi che scatole in plastica possono essere impilati tra loro ma per i contenitori in plastica è possibile solo nel piano ad altezza 545 mm e il limite è due, data l'altezza, mentre di vassoi ne possono essere impilati fino a quattro nel piano da 360 mm e sette nel piano da 545. In realtà entrambi i tipi di piani potrebbero accogliere ancora un vassoio impilato ma è stato deciso di non permetterlo per questioni di sicurezza, infatti i vassoi sono molto pesanti e ridurre lo spazio necessario per il sollevamento può provocare problemi ed incidenti agli operatori.

L'eccessivo carico di lavoro dei magazzinieri e la mancanza di postazioni vincola il dimensionamento dei carrelli a fornire una copertura di minimo due ore di produzione, vale a dire 257 pezzi per componente. I componenti più critici sono le Rubber Ring di tipo uno e due e le Shaft Housing perché sono inseriti in grandi scatole dalla bassa capacità. A partire da questi dati è ora possibile determinare la ripartizione e la quantità di cassette ottimale.

Per quanto riguarda i carrelli due e tre sono state considerate due possibili configurazioni, sulla base dello sbilanciamento e l'ergonomia dello scarico per gli operatori mentre per il carrello uno la soluzione è unica. In figura 3.32 e 3.33 è mostrata la disposizione dei componenti sui vari ripiani, il numero di cassette per piano, il peso di ogni piano, per ogni carrello. Al di sotto dei carrelli sono presenti una serie di dati per il calcolo dello sbilanciamento del carrello. I primi dati mostrano il peso per ogni lato del carrello e il delta peso che determina lo sbilanciamento, sia in valore assoluto che in percentuale rispetto al totale. Non essendo stato possibile ottenere dai fornitori dei carrelli un piano di ripartizione del carico, che avrebbe permesso di determinare con esattezza se ciascuna delle due alternative era stabile o meno, la possibilità di ribaltamento è stata valutata tenendo conto del peso totale del carrello, della sua portata massima di 160 Kg e dello

sbilanciamento di peso di un lato rispetto all'altro. Per quanto riguarda il carrello uno, di identica configurazione in entrambe le alternative, si può affermare che il basso peso totale, rispetto alla portata, permetta di trasportare materiali anche con un alto sbilanciamento tra i due lati. Infatti, il pericolo di ribaltamento aumenta con l'avvicinarsi del peso totale alla portata massima ma con un rapporto peso portata così basso è accettabile tenere uno sbilanciamento del 20%. In ogni caso il carrello uno non determinerà la scelta dell'alternativa ottimale perché è presente un'unica configurazione. Questo perché tale carrello contiene le tre scatole di rubber ring, che se spostate in altri carrelli, dato il loro basso peso, sbilancerebbero troppo tali carrelli. Invece sono perfetti per stare insieme alle casse di ECU perché di peso simile.

La prima alternativa (Figura 3.33) è la migliore a livello di ergonomia per gli operatori perché posiziona quasi tutti i componenti vicino ai rispettivi buffer sulla linea però è molto sbilanciata, soprattutto sul carrello tre, che è anche il più pesante di tutti ed il più pericoloso. Per il carrello tre sono presenti tre casistiche perché non sono sempre presenti le Rubber e la ripartizione del peso può cambiare.

La seconda alternativa (Figura 3.34) è migliore a livello di bilanciamento tuttavia è peggiore a livello di ergonomia perché posiziona gli Impeller lontani dai buffer sulla linea e costringe gli operatori a trasportare carichi per un tratto più lungo.

La migliore alternativa è la seconda sia perché è più sicura a livello di ribaltamento sia perché gli Impeller sono leggeri da trasportare.

ALT 1

Carrello 1

Peso in Kg	Ecu	Ecu
	8,8	8,8
Rubber		Rubber
	7,5	7,5
	11,6	Rubber
		7,5

Pesi	Caso 1	Totale
% pesi	16,3	40,1
Delta sbilanciamento	41%	59%
Rapporto sbilanciamento/peso		7,5
Rapporto peso/portata		19%
		25%

Pesi	Caso 2	Totale
% pesi	20,40	29,20
Delta sbilanciamento	70%	30%
Rapporto sbilanciamento/peso		11,6
Rapporto peso/portata		40%
		18%

Pesi	Caso 3	Totale
% pesi	8,80	17,60
Delta sbilanciamento	50%	50%
Rapporto sbilanciamento/peso		0
Rapporto peso/portata		0%
		11%

Carrello 2

Housing	Impeller x2
	9
15,5	Housing
	15,5
WetX2	Housing
15,5	15,5

Pesi	Totale
31	71
44%	100%
	9
	13%
	44%

Portata 160 Kg

Carrello 3

Statore x 12	Rotore x 7
	21,7
45,6	Cap
	10,2
Volute x 2	Cap
16,3	10,2

Pesi	Totale
61,9	104
60%	100%
	19,8
	19%
	65%

Figura 3.33 Dimensionamento – alternativa 1

ALT 2

Carrello 1

Ecu	8,8	Ecu	8,8
Rubber	7,5	Rubber	7,5
Rubber	7,5	Rubber	7,5
Rubber	11,6	Rubber	7,5

Pesi	Caso 1	16,3	23,8	Totale	40,1
% pesi	con tutto	41%	59%		100%
Delta sbilanciamento		7,5			
% sbilanciamento		19%			
Rapporto		25%			
peso/portata					

Pesi	Caso 2	20,40	8,8	Totale	29,20
% pesi		70%	30%		100%
Delta sbilanciamento	solo	11,6			
% sbilanciamento	rubber da	40%			
Rapporto	11,6 kg				
peso/portata		18%			

Pesi	Caso 3	8,80	8,80	Totale	17,60
% pesi	No rubber	50%	50%		100%
Delta sbilanciamento		0			
% sbilanciamento		0%			
Rapporto					
peso/portata		11%			

Carrello 2

Wet X2	15,5	Housing	15,5
Cap X2	20,4	Housing	15,5
		Housing	15,5

Caso 1	35,9	46,5	Totale	82,4
Tutto	44%	56%		100%
	10,6			
	13%			
	52%			

Portata 160 Kg

Carrello 3

Statore	30,4	Rotore x 7	21,7
		Statore	15,2
Volute x 2	16,3	Impeller x 2	9

	46,7	45,9	Totale	92,6
	50%	50%		100%
	0,8			
	1%			
	58%			

Figura 3.34 Dimensionamento – alternativa 2

L'analisi del bilanciamento sul lato corto del carrello non è stata necessaria sia perché da quella parte il carrello è molto più compatto attorno al centro, e perciò l'effetto leva è trascurabile, sia perché i carichi vengono disposti in modo simmetrico sul piano, rispetto al centro del piano stesso (uno a destra ed uno a sinistra).

In figura 3.33 si può osservare che è stato inserito anche il numero di contenitori ottimale per la copertura della linea. Con l'obiettivo di minimizzare la quantità di materiale in linea e tenendo conto della dimensione massima e minima dei buffer è stato deciso di garantire una copertura di due ore.

Si è potuto così procedere con il calcolo del numero di scatole per ogni componente. Per questa operazione è sufficiente calcolare il fabbisogno di pezzi durante il tempo di riapprovvigionamento, in questo caso due ore e dividerlo per la quantità contenuta in ogni scatola.

$$\text{n° scatole} = \frac{\text{produzione oraria}_1 \left(\frac{pz}{h}\right) + \text{produzione oraria}_2 \left(\frac{pz}{h}\right)}{\text{n° componenti per scatola (pz)}} + \text{scorta di sicurezza}$$

Con produzione oraria₁ s'intende ad ora di lavoro piena mentre con produzione oraria₂ un tempo di lavoro di 50 min. In questo modo si dimensiona la scatola nella peggiore situazione possibile. Di seguito vengono riportati i calcoli effettuati per la determinazione del numero di contenitori necessari, di conseguenza il numero di scatole massimo da trasportare ad ogni giro trascurando la scorta di sicurezza.

$$\text{n° statori} = \frac{(140+117) pz/h}{24 pz/scatola} = 10,7 \quad \text{n° shaft housing} = \frac{(140+117) pz/h}{132 pz/scatola} = 1,95$$

$$\text{n° rotori} = \frac{(140+117) pz/h}{42 pz/scatola} = 6,12 \quad \text{n° impeller} = \frac{(140+117) pz/h}{140 \frac{pz}{scatola}} = 1,84$$

$$\text{n° ECU} = \frac{(140+117) pz/h}{144 \frac{pz}{scatola}} = 1,78 \quad \text{n° wet sleeve} = \frac{(140+117) pz/h}{160 \frac{pz}{scatola}} = 1,61$$

$$\text{n° cup housing} = \frac{(140 + 117) pz/h}{200 \frac{pz}{scatola}} = 1,29 \quad \text{n° voluta} = \frac{(140 + 117) pz/h}{200 \frac{pz}{scatola}} = 1,29$$

$$\begin{aligned} \text{n}^\circ \text{ rubber ring} &= \frac{(140 + 117) \text{ pz/h}}{100 \text{ pz/scatola}} = 2,57 \text{ n}^\circ \text{ statori} = \frac{(140 + 117) \text{ pz/h}}{3000 \text{ pz/scatola}} \\ &= 0,086 \end{aligned}$$

Per i componenti con più tipologie di scatole è stato preso il componente a minore capacità, in modo da dimensionare il sistema nel peggiore dei casi. Approssimando poi i valori ottenuti per eccesso il numero di scatole ottimale è quello visibile in tabella 3.8.

Componenti	n° scatole teorico	N° scatole reale	Scorta di sicurezza [Unità]	Totale [Unità]
Statori	10,7	11	1	12
Shaft Housing	1,95	2	1	3
Rotori	6,12	7	0	7
Impeller	1,84	2	0	2
ECU	1,78	2	0	2
Wet Sleeve	1,61	2	0	2
Cup Housing	1,29	2	0	2
Voluta	1,29	2	0	2
Rubber Ring	2,57	3	0	3
Protective Cap	0,086	1	0	1

Tabella 3.8 Dimensionamento del numero di scatole

Nel descrizione della procedura di asservimento a chiamata fissa si è potuto vedere come siano necessari almeno 30-50 minuti per fornire alla linea un carrello pieno, dal momento

di chiamata del robot, tuttavia spesso sopraggiungono ritardi non prevedibili che fanno slittare ulteriormente l'arrivo dell'AGV. Per questo motivo è necessaria una scorta di sicurezza. Il dimensionamento di tale valore è stato fatto tenendo conto della copertura garantita dal numero di scatole scelto. La formula usata per la copertura è:

$$\text{copertura (in ore)} = \frac{\text{n}^\circ \text{ pezzi per scatola (pz)} \times \text{n}^\circ \text{ scatole reale (pz)}}{\text{produzione oraria } \left(\frac{\text{pz}}{\text{h}}\right)}$$

Come produzione oraria è stata usata la media tra le due produzioni usate per il calcolo del numero di scatole. Di seguito vengono riportati i calcoli effettuati per la determinazione della scorta di sicurezza.

$$\text{copertura statori} = \frac{24 \text{ pz} \times 11 \text{ pz}}{128,5 \text{ pz/h}} = 2,05 \quad \text{copertura shaft housing} = \frac{132 \text{ pz} \times 2 \text{ pz}}{128,5 \text{ pz/h}} = 2,05$$

$$\text{copertura rotor} = \frac{42 \text{ pz} \times 7 \text{ pz}}{128,5 \text{ pz/h}} = 2,29 \quad \text{copertura impeller} = \frac{140 \text{ pz} \times 2 \text{ pz}}{128,5 \text{ pz/h}} = 2,18$$

$$\text{copertura ECU} = \frac{144 \text{ pz} \times 2 \text{ pz}}{128,5 \text{ pz/h}} = 2,24 \quad \text{copertura wet sleeve} = \frac{160 \text{ pz} \times 2 \text{ pz}}{128,5 \text{ pz/h}} = 2,49$$

$$\text{copertura cup housing} = \frac{200 \text{ pz} \times 2 \text{ pz}}{128,5 \text{ pz/h}} = 3,11 \quad \text{copertura voluta} = \frac{200 \text{ pz} \times 2 \text{ pz}}{140 \text{ pz/h}} = 3,11$$

$$\text{copertura rubber ring} = \frac{100 \text{ pz} \times 3 \text{ pz}}{140 \text{ pz/h}} = 2,33 \quad \text{copertura statori} = \frac{3000 \text{ pz} \times 1 \text{ pz}}{140 \text{ pz/h}} = 23,35$$

Osservando i dati si può notare che i componenti più critici sono gli statori e gli shaft housing perché in caso di ritardi dell'AGV, nel trasportare il carico, o dei magazzinieri nel caricare i carrelli la linea sarebbe coperta per soli tre minuti. Questo valore è stato calcolato con la formula:

$$\text{scorta di sicurezza temporale} = 60 \text{ min} * (\text{copertura componente} - 2)$$

Per tutti gli altri componenti la scorta di sicurezza è già compresa nel numero di scatole precedentemente scelto e sufficiente a coprire eventuali ritardi. Infatti l'impeller, cioè il terzo componente più critico, ha una scorta di 10-15 min, considerata sufficiente. Il nuovo valore di copertura diventa allora:

$$n^{\circ} \text{ statori} = \frac{24 \text{ pz} \times 12 \text{ pz}}{128,5 \text{ pz/h}} = 2,24 \text{ n}^{\circ} \text{ shaft housing} = \frac{132 \text{ pz} \times 3 \text{ pz}}{128,5 \text{ pz/h}} = 3,08$$

Problemi Informatici

Di fondamentale importanza nell'implementazione di un sistema AGV è l'infrastruttura di rete interna all'azienda. Questi sistemi necessitano di una rete interna aziendale che

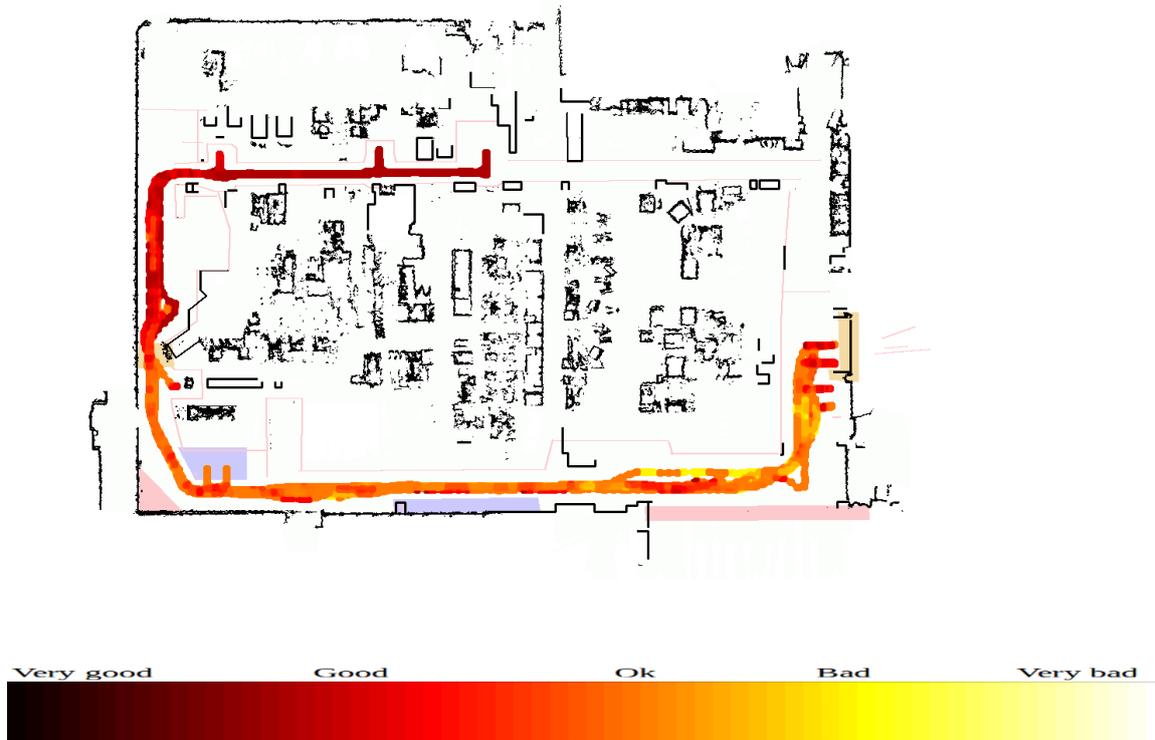


Figura 3.35 Intensità di segnale

supporti il collegamento sia WIFI che ethernet perché gli AGV e i dispositivi d'interfaccia uomo-macchina (per esempio dei tablet) hanno necessità di collegarsi via WIFI mentre la flotta solo via ethernet. Sono necessari inoltre dei router con funzionalità di access point lungo tutto il percorso, in modo che gli AGV in transito dispongano sempre di un

collegamento ottimale con la rete. In figura 3.35 è possibile vedere l'intensità del segnale WIFI in tutte le zone del reparto, e come si può notare la zona a destra (quella vicino al tunnel) è quella più critica in quanto il segnale è più debole. Infatti in questa zona l'AGV ha occasionalmente problemi di comunicazione con la flotta a causa della debolezza del segnale. A seconda del tipo di struttura di rete potrebbe essere necessario autorizzare ciascun dispositivo del sistema AGV all'accesso alla rete, tramite mac address. Precedentemente al cambio di proprietà dell'azienda la rete aziendale era a libero accesso e sia l'AGV che la flotta potevano connettersi all'unica rete esistente senza alcun tipo di restrizione. In seguito al cambio di proprietà, avvenuto durante lo svolgimento di questo studio, la precedente rete è stata divisa in tre diverse reti: una rete per gli ospiti, con accesso ad internet ma vincolata alla creazione di un account aziendale e senza accesso ai macchinari di produzione; una rete dedicata alla produzione, senza accesso ad internet e vincolata all'autorizzazione di ogni dispositivo tramite mac address; una rete per dipendenti, con accesso ad Internet ed ai macchinari di produzione ma utilizzabile solo tramite i personal computer con account aziendale.

Il sistema di AGV è in grado di lavorare sia con IP dinamici che con IP statici, tuttavia l'assegnazione di un indirizzo statico rende il sistema molto più stabile perciò si è deciso di assegnare a ciascun AGV ed alla flotta un IP statico. Tuttavia, con il cambio di proprietà il controllo della rete è stato affidato ad un ente centralizzato della multinazionale perciò sia il procedimento di richiesta di autenticazione di un dispositivo tramite mac address che la richiesta di un IP fisso sono diventati procedimenti dalle tempistiche lunghe.

Altro problema derivato dalla chiusura della rete è stata l'impossibilità per i fornitori di accedere da remoto per fornire supporto tecnico. In precedenza, i tecnici della MiR si collegavano tramite l'applicativo di loro proprietà, in uso presso l'impianto, poiché avevano tutte le porte di accesso alla rete aperte. E' stato necessario creare una VPN (virtual private network) all'interno della rete aziendale con tutte le porte aperte, ma solo agli indirizzi fissi del sistema di AGV.

Determinazione layout ottimale

I percorsi

Precedentemente all'introduzione del secondo AGV, l'unico robot in funzione utilizzava un modello convenzionale bidirectional shortest path e transitava lungo un percorso composto da quattro corridoi (in giallo), come nel allegato 3. Erano presenti tre zone di carico/scarico: una in prossimità della prima linea, in cui erano presenti tre postazioni adibite al carico e allo scarico dei carrelli di materie prime e due postazioni per il prodotto finito (una per il vuoto ed una per il pieno), una vicino alla staffatura, dove venivano caricati i pieni e depositati i vuoti ed una in fondo al reparto, vicino al magazzino, nella quale i magazzinieri ricevevano i carrelli vuoti/ pieni e facevano partire i pieni/vuoti.

Al fine di permettere l'asservimento della linea sono stati considerati vari layout dei percorsi possibili ed alla fine è stato scelto il migliore in base ai vincoli di spazio del reparto.

Data la quasi totale mancanza di corridoi sufficientemente larghi per il passaggio di due AGV affiancati il primo modello preso in esame è stato quello tandem, con i due AGV assegnati ciascuno ad una zona non sovrapposta all'altra. In base alla geometria dei corridoi a disposizione per il passaggio dei robot si era deciso di assegnare un AGV alla zona di carico e scarico sulle linee mentre l'altro alla zona di carico e scarico lato magazzino. In questo modo un robot avrebbe asservito le linee ed uno il magazzino, scambiandosi il carichi a metà strada. Nell'allegato 4 è mostrato il possibile layout, con le zone assegnate a ciascuna AGV, i corridoi di transito (in giallo) e le postazioni di scambio tra zone (in rosso). Per permettere un funzionamento di questo sistema sono necessarie almeno due postazioni di scambio tra le due zone, in modo che entrambi gli AGV possano scaricare il carico prima di prendere quello portato dall'altro robot. Questa zona sarebbe stata creata ruotando di 90 gradi le postazioni RM1 e RM2 (vicino alla staffatura), in modo da creare spazio per i due parcheggi di scambio (Figura 3.36). Per effettuare questa rotazione però sarebbe stato necessario ridurre lo stock di semilavorato e materie prime fianco della zona di scambio, in modo da creare un corridoio per il passaggio del robot. Per far ciò si sarebbe potuto asservire anche quest'area con l'AGV (attualmente non asservita). Le due alternative possibili sono mostrate in figura 3.37, tuttavia, entrambe sono irrealizzabili perché quella a sinistra permette di creare solo tre

parcheggi ruotati, a causa dell'assenza di spazio, mentre quella a destra non permette di creare un corridoio sufficientemente largo per il passaggio del robot. Per questo motivo e



Figura 3.36 Zona di scambio

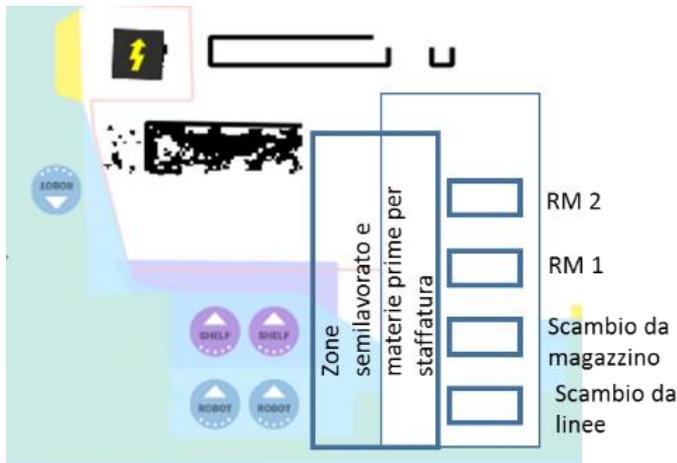


Figura 3.37 Alternative per zona di scambio

per alcune difficoltà, intrinseche al software di flotta, nel gestire scambi di carico tra due AGV, all'interno di una singola missione, hanno reso impossibile adottare questa soluzione.

Un secondo modello considerato è stato quello a single loop. La prima idea è

stata quella di utilizzare un corridoio pedonale per formare un circolo chiuso, in cui far passare i due AGV sempre seguendo lo stesso verso, in modo che non potessero mai incontrarsi in due sensi opposti. Tuttavia, a seguito di diverse analisi sulla larghezza del nuovo corridoio è stato deciso di non perseguire questa soluzione per la mancanza di sufficiente spazio laterale. Infatti la larghezza minima richiesta dai fornitori dell'AGV, per il funzionamento ottimale, è il 40% della larghezza dell'AGV, da entrambi i lati. Considerando un ingombro massimo, con il carrello del prodotto finito, di 850 mm circa la larghezza totale richiesta è minimo 1,5 metri per un carrello e 3 metri per il passaggio di due carrelli affiancati. Il nuovo corridoio da utilizzare, come è possibile vedere nell'allegato 5, è troppo stretto rispetto alle specifiche minime e sarebbe stato impossibile far transitare il robot in condizioni di sicurezza e senza continui blocchi. In ogni caso non

sarebbe stato possibile implementare totalmente il sistema neanche se il corridoio fosse stato sufficientemente largo perché in prossimità delle postazioni di materie prime della linea uno ci sono solo 1,3 metri, sufficienti per il solo passaggio dei carrelli dei materiali, più stretti rispetto a quelli del prodotto finito.

Una seconda idea è stata quella di allargare un corridoio (in blu) già in uso, per permettere il passaggio di due AGV affiancati in più zone, e di allargare un altro corridoio ad uso pedonale per formare un piccolo circolo chiuso (in rosso nell'allegato 6). In questo modo si sarebbero fatti girare gli AGV nello stesso verso all'interno del piccolo circuito. Come si può vedere nell'allegato 7 tutti i carrelli si muovono in senso orario e non possono mai incontrarsi in direzioni opposte e bloccarsi a causa della mancanza dei tre metri di larghezza. Fuori dal circuito si sarebbero inserite delle zone a "traffico limitato ad un solo AGV" (zone in blu), laddove non ci fossero stati i tre metri minimi. Tuttavia, anche questa seconda idea si è rivelata inapplicabile data l'impossibilità di allargare i due corridoi. Infatti, l'allargamento avrebbe richiesto lo spostamento o la riduzione del buffer della nastratura. La riduzione sarebbe stata impossibile data la già minima dimensione del buffer mentre lo spostamento non è stato possibile effettuarlo data la mancanza di spazio in altre zone dell'impianto.

L'unica soluzione perseguibile è stata l'utilizzo di un modello convenzionale bidirectional shortest path. Quest'ultimo modello è molto simile a quello utilizzato con un solo AGV, tuttavia l'impossibilità di far transitare due AGV affiancati, se non nel tratto vicino al portone, ha richiesto l'utilizzo di una zona a "traffico limitato ad un solo AGV" per la maggior parte del tratto percorribile, come è possibile vedere nell'allegato 8. La zona in azzurro è quella a "traffico limitato" e copre la maggior parte del percorso. Questo sistema riduce l'efficienza ma permette di far lavorare due AGV senza creare ulteriori spazi dedicati.

Le postazioni

Le logiche di carico e scarico per le postazioni sulla linea uno e sulla staffatura rimangono inalterate mentre viene aggiunta una postazione di materie prime con le stesse logiche sulla linea due. È aggiunta inoltre una postazione per lo scarico dei vuoti ed il carico dei pieni di prodotto finito dietro la bobinatura della linea 2. A differenza della linea 1 qui la postazione è unica sia per i pieni che per i vuoti a causa della mancanza di spazio. Questo

non compromette in funzionamento del sistema in utilizzo per l'asservimento perché rimangono comunque due postazioni libere per le unità di carico in uso (PFV e PFiR) ma riduce gli spazi di manovra per gli operatori. Per quanto riguarda le due rimanenti postazioni di materie prime sono posizionate dietro la batteria principale di stazioni in verticale rispetto alla linea. Questa disposizione genera dei problemi per il carico e lo scarico, tuttavia la mancanza di spazi ha determinato l'impossibilità di modificare tale sistema. Per questo motivo si è dovuta cambiare la logica di carico/scarico per questi due parcheggi.

Per tutti gli altri parcheggi la logica è molto semplice: l'AGV si posiziona davanti alla postazione, segnata sulla sua mappa interna ed inserita nella programmazione, grazie ad un'ulteriore postazione denominata robot position, inserita davanti alla posizione di parcheggio (shelf position) sulla mappa, all'interno della programmazione. Poi entra semplicemente nella postazione per caricare o scaricare. L'AGV potrebbe raggiungere la shelf position anche senza l'aiuto della robot position ma si è preferito adottare questa soluzione perché migliora la traiettoria d'entrata e permette d'inserire alcuni controlli d'errore sul tragitto e sull'entrata stessa. Se si volesse applicare questa logica anche per i due parcheggi verticali sarebbe necessario eseguire delle azioni correttive ad ogni carico e scarico. Per il carico sarebbe necessario distinguere due casi: se vengono mandati tutti e due i carrelli o solo uno. Nel primo caso sarebbe necessario controllare che ciascun carrello sia nella giusta postazione, prima del lancio di una missione, scambiando i carrelli nel caso così non fosse. Nel secondo andrebbe invece fatto un controllo per verificare se il carrello da mandare fosse coperto all'altro carrello perché altrimenti l'AGV non riuscirebbe a caricarlo. In questo caso andrebbe fatto lo scambio tra carrelli. Per lo scarico invece ci potremmo trovare nella situazione in cui il primo carrello portato è quello più esterno rispetto alla linea perciò il secondo non potrebbe essere depositato a meno che il primo non venga spostato nel momento dell'arrivo dell'AGV. Chiaramente questo sistema porta con sé la necessità di effettuare troppi scambi di carrelli perciò si è deciso di adottare un sistema che minimizzi tali scambi. In figura 3.38 si può vedere la logica di carico e scarico pensata per questi parcheggi.

Per questi due parcheggi si è cancellata l'identità delle due postazioni. In carico permangono sempre le due casistiche: in caso di due carrelli mandati all'operatore basta

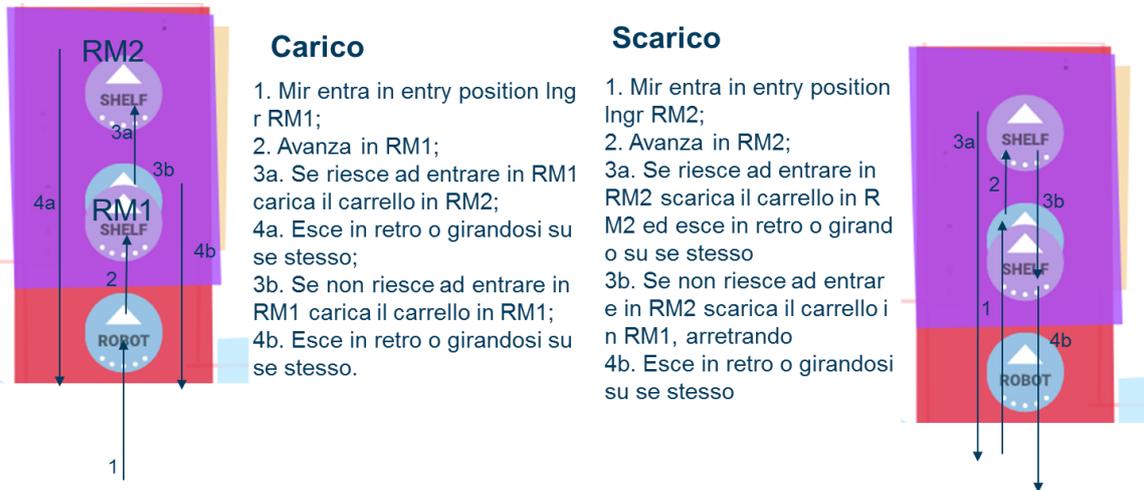


Figura 3.38 Logica di carico/scarico delle materie prime

lanciare le due missioni e l'AGV verrà a prendere prima il carrello più esterno e poi quello più interno, senza sapere quale dei due sia; nel caso di un solo carrello mandato invece sarà necessario effettuare lo scambio. Con questo metodo non sono necessari controlli sulla posizione dei carrelli perché non c'è corrispondenza tra numero di carrello e postazione. In scarico invece l'AGV posizionerà in sequenza i due carrelli sempre prima nella postazione più interna e poi in quella più esterna, nel caso non riesca in quella interna. In questo modo vengono minimizzati gli scambi, limitandoli solo al caso di carico di un unico carrello.

Per l'area tunnel le logiche cambiano, anche se di poco. In precedenza, per lo scarico di prodotto finito, staffatura e materie prime erano state dedicate tre postazioni in comune ed ogni carrello in arrivo tentava di posizionare il carico in uno dei parcheggi, seguendo una sequenza ben definita. Per la partenza invece era stata dedicata una postazione al prodotto finito ed una alla staffatura mentre per le materie prime si dividevano le postazioni d'arrivo a causa dell'impossibilità di creare nuovi parcheggi causa il poco spazio.

Con l'introduzione della seconda linea è stato necessario condividere quattro postazioni tra il prodotto finito e le materie prime. L'unico parcheggio rimasto dedicato è quello della staffatura.

secondo robot dalla zona a “traffico limitato” mentre l’altro robot riusciva ad entrare in ricarica anche con un altro AGV nelle vicinanze.

3.2.4 Tempi di AGV e magazzinieri

Dell’AGV

Tempo AGV [min]						
	Verso magazzino	Da magazzino	Totale		Formule usate	
RM1 L1	7,95	6,76	14,71			
RM2 L1	7,07	6,49	13,56			
RM3 L1	5,49	4,94	10,44			
PF L1	4,02	5,21	8,96			
ST	3,45	3,75	7,01			
RM1 L2	4,68	4,86	9,53		ST+1,23; ST+ 1,11	
RM2 L2	4,56	4,74	9,29		ST+ 1,11 ; ST+ 0,99	
RM3 L2	4,61	4,71	9,32		MEDIA(RM3 L1;PF L2)	
PF L2	3,73	4,48	8,21		MEDIA(PF L1;ST)	
Totale	5,06	5,10	10,11			

Al fine di possedere un quadro chiaro dei tempi di percorrenza dell’AGV sono stati presi dati per un arco di 5 mesi, per ogni tipologia di

Tabella 3.9 Tempi di trasporto dell’AGV

missione. In tabella 3.9 sono mostrati i risultati dell’elaborazione di questi dati mentre negli allegati 1 e 2 è possibile vedere un estratto di tale mole di dati. I tempi della linea 1 e della staffatura sono stati raccolti giorno per giorno e ciascuna missione è stata inserita all’interno di una fascia oraria, facente parte di un turno (Tabella 3.10). Per le missioni di materia prima le fasce orario erano di due ore, così come deciso in fase di dimensionamento mentre per il prodotto finito l’intervallo era orario. Questi dati sono stati poi raggruppati tramite la media giornaliera, che a loro volta sono stati uniti in una media complessiva della missione. I dati delle missioni di materie prime non comprendono il turno notturno perché l’azienda non possiede ancora il personale per garantire il funzionamento del sistema. Il tempi per la linea 2 invece sono stati stimati perché non è stato possibile raccogliere un campione sufficiente di dati dal momento dell’implementazione a quello di termine del tirocinio. Tuttavia, la stima è stata effettuata calcolando delle media tra i tempi osservati per le missioni della linea 1 e della staffatura. Per esempio per la missione PF L2 è stata fatta la media tra i tempi di ST e PF L1 perché la postazione si trovava a metà fra queste due.

Vuoti											
Turno	1				2						
Ore	7,00	9,00	11,00	13,00	15,00	17,00	19,00	21,00			
Data	1	2	3	4	5	6	7	8	# missioni	Tot tempi [minuti]	Media tempi [minuti]
19/06/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,19	0,00	0,00	1,00	6,19	6,19
20/06/2019	0,00	0,00	6,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	6,20	6,20
21/06/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	11,47	0,00	0,00	0,00	1,00	11,47	11,47
02/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	8,27	0,00	0,00	0,00	1,00	8,27	8,27
04/07/2019	0,00	7,11	10,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	17,81	8,91
05/07/2019	0,00	8,00	7,42	0,00	0,00	7,23	0,00	0,00	3,00	22,65	7,55
08/07/2019	0,00	7,45	0,00	5,48	0,00	5,33	0,00	0,00	3,00	18,26	6,09

Tabella 3.10 Tempi di trasporto dell'AGV

Questi dati sono stati poi utilizzati per il calcolo dei carichi di lavoro e all'interno dell'analisi sforzo/benefici. Nella sezione allegati è possibile vedere un estratto dei dati raccolti durante tutto l'arco temporale.

I magazzinieri

Per magazzinieri del prodotto finito è stato calcolato il tempo di trasporto di un carrello dal magazzino all'area di carico, e viceversa, con l'aggiunta di un piccolo surplus di

regettare?	si	no
tempo uomo [min]	8	6

Tabella 3.11 Tempi di trasporto dei magazzinieri del prodotto finito

tempo in caso di reggiatura dell'unità di carico (Tabella 3.11).

Per quelli delle materie prime invece è stato considerato il tempo

di trasporto da e verso il magazzino più il tempo di riempimento del carrello (Tabella 3.12). I valori sono stati raccolti osservando lo svolgimento delle operazioni, da parte di un magazziniere, per un breve periodo di tempo.

Tempo Uomo/carrello [min]
7

Tabella 3.12 Tempi di trasporto dei magazzinieri delle materie prime

I tempi di tutti i prodotti vengono poi sommati a fondo tabella. Le tabelle 3.14 e 3.15 mostrano la stessa cosa per il prodotto finito della linea 2 e della staffatura.

nro imballi riempiti/sett	AGV porta quel box?	Tempo A/R [min]	Tempo AGV / sett [min]	box necessita regetta?	Tempo pieno/vuoto [min]	Tempo uomo / sett [min]
0,00	si	8,21	0,00	no	6,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	no	6,00	0,00
0,00	no	0,00	0,00	si	0,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	no	6,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	si	8,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	no	6,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	no	6,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	no	6,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	no	6,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	no	6,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	no	6,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	no	6,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	si	8,00	0,00
0,00	si	8,21	0,00	si	8,00	0,00
1,00	si	8,21	8,21	si	8,00	8,00
12,00	si	8,21	98,54	si	8,00	96,00
4,00	si	8,21	32,85	si	8,00	32,00
1,00	si	8,21	8,21	si	8,00	8,00
2,00	si	8,21	16,42	si	8,00	16,00
4,00	si	8,21	32,85	si	8,00	32,00
2,00	si	8,21	16,42	si	8,00	16,00
3,00	si	8,21	24,63	si	8,00	24,00
3,00	si	8,21	24,63	si	8,00	24,00
3,00	si	8,21	24,63	si	8,00	24,00
2,00	si	8,21	16,42	si	8,00	16,00
1,00	si	8,21	8,21	si	8,00	8,00
3,00	no	0,00	0,00	si	0,00	0,00
3,00	no	0,00	0,00	si	0,00	0,00
7,00	no	0,00	0,00	si	0,00	0,00
0,00	no	0,00	0,00	si	0,00	0,00
		Totale AGV	312,03		Totale uomo	304

Tabella 3.14 Carichi di lavoro della linea 2, per il prodotto finito

permettergli di avere sufficiente tempo per asservire entrambe le linee. Per quanto riguarda l'AGV in vece l'incremento delle ore di lavoro ha prodotto la necessità d'inserire un secondo robot. Per verificare l'effettiva necessità di un secondo veicolo è stata usata la formula:

$$C = \sum_i \frac{N_i * t_i}{n_i * h} = \frac{(2,83 + 1,04 + 4,37)h}{1 * 22h} + \frac{(4,46 * 2)h}{22h * 1,08} = 0,7499$$

Nelle tabelle 3.18, 3.19, 3.20 si possono vedere i calcoli effettuati per il numeratore della parte a sinistra, ovvero il contributo del prodotto finito. Ogni riga di una tabella rappresenta uno specifico prodotto, di cui è stato calcolato il tempo di trasporto tramite

	Tempo uomo / sett [min]		Tempo AGV / sett [min]	
	Pre linea 2	Con linea 2	Pre linea 2	Con linea 2
L1	610,00	610,00	849,05	849,05
L2		304,00		312,03
ST	920,00	920,00	827,31	827,31
RM	1260,00	2520,00	2322,10	4011,18
Somma	2790,00	4354,00	3998,45	5999,57
Ore/sett	46,50	72,57	66,64	99,99
Delta	26,07		33,35	
Ore turno	3,10	4,84	4,44	6,67
Delta	1,74		2,22	
Minuti turno	186,00	290,27	266,56	399,97
Delta	104,27		133,41	

Tabella 3.17 Carichi di lavoro totali

3.2.5 Analisi sforzo/benefici

L'analisi è stata effettuata tenendo conto dei Full Time Equivalent (FTE) e non dei dati di costo, per ragioni di riservatezza riguardo i dati sensibili dell'azienda. Per questo motivo l'analisi è definita di "sforzo", che in questo caso s'intende come ore di lavoro necessarie al compimento dell'attività di supporto all'AGV, perché equipara le ore di lavoro spese dal magazziniere per seguire i robot ad un costo economico per l'azienda. I dati raccolti sui tempi dei magazzinieri e sui carichi di lavoro sono stati utilizzati per il calcolo del numero di FTE necessari per l'asservimento tramite AGV. Questi valori sono poi stati messi a confronto con gli FTE pre-AGV, al fine di determinare i potenziali risparmi generali dal sistema. Questi ultimi sono stati forniti dal capo reparto dell'area eWP, in seguito ad uno studio sulle risorse necessarie per l'asservimento delle linee. In questo caso un FTE coincide con un turno di 7,5 ore. Per il calcolo degli FTE è stata usata la formula:

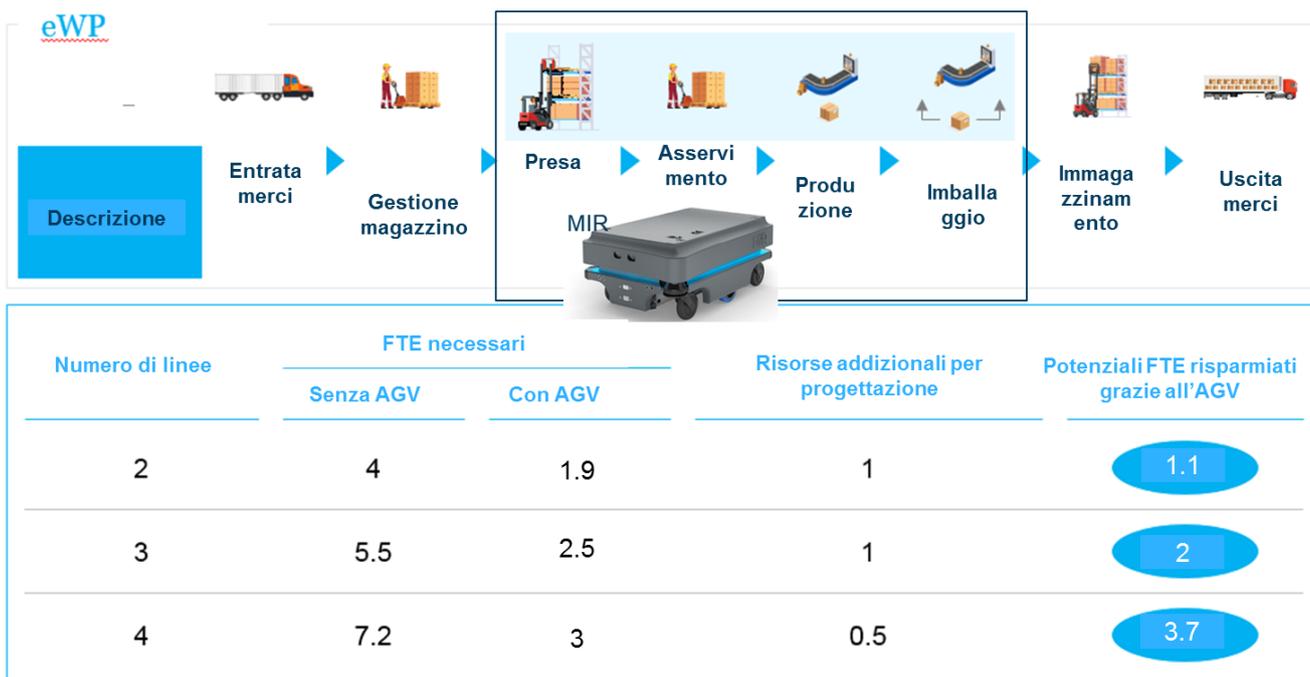
$$FTE = \frac{\text{tempo uomo giornaliero (ore)}}{7,5 \text{ ore}}$$

		Tempo uomo / sett [ore]	FTE
Due linee	PF	6,11	1,94
	RM	8,40	
Tre linee	PF	6,11	2,50
	RM	12,60	
Quattro linee	PF	6,11	3,06
	RM	16,80	

Tabella 3.22 FTE

Il tempo uomo giornaliero per il prodotto finito è stato considerato costante, indipendentemente dal numero di linee asservite, perché il calcolo è stato basato sulla domanda dell'anno 2020 perciò il carico di lavoro per i magazzinieri non varia. Il valore è stato calcolato sommando i tempi uomo totali delle

tabelle 3.13, 3.14, 3.15 e convertendoli in tempi giornalieri espressi in ore. Invece per le materie prime è stato usato il valore di tempo uomo della tabella 3.21, moltiplicato per il numero di linee e per tre turni. In tabella 3.22 è possibile vedere tutti questi dati.



1 Risorse d'ingegneria necessarie per l'avvio del progetto

Schema di lavoro: 3 turni

Fonte: Team logistico di analisi

1
6

Figura 3.40 Confronto FTE pre e post AGV

In figura 3.40 è possibile vedere la sintesi dei dati pre e post AGV. Il risparmio nasce dal fatto che l'AGV riduce notevolmente il carico dei magazzinieri o degli operatori di linea assegnati alle funzioni di asservimento, abbassandone conseguentemente il costo. Gli unici costi che genera il sistema sono il consumo di corrente elettrica, trascurabile rispetto agli emolumenti da garantire ai dipendenti per svolgere tale funzione, e l'impiego di una risorsa ingegneristica per la progettazione della struttura. In ogni caso questi costi risultano inferiori al beneficio ottenuto nel liberare risorse da un'attività a scarso valore aggiunto come quella eseguita dai robot. Si può notare l'aumento del risparmio con la crescita delle linee asservite perché il tasso di crescita delle risorse dedicate all'asservimento è minore di quelle assegnate all'AGV.

Capitolo 4: Conclusioni

Dopo aver descritto il metodo d'implementazione del secondo AGV (vedere paragrafo 3.2.3 del Capitolo 3) ora verranno analizzati i benefici apportati all'azienda dal progetto, i punti debolezza, e gli eventuali sviluppi futuri.

4.1 Benefici apportati all'azienda

L'introduzione di un secondo AGV sulla linea 2 del reparto eWP ha apportato notevoli benefici all'azienda, sia a livello di efficienza che di know-how nella gestione di una flotta di robot.

Per quanto riguarda la prima, l'implementazione del nuovo veicolo ha apportato numerose migliorie a livello di performance, ergonomia e sicurezza. Il metodo utilizzato precedentemente all'introduzione dell'AGV risultava inadatto per gli sviluppi futuri del reparto eWP perché riduceva le risorse dedicate alla produzione, aumentava la quantità di materiale stoccata in linea, incrementava il numero di incidenti e le cadute di materiale, che comportavano il danneggiamento dei componenti. In particolare quest'ultimo provocava il deterioramento della qualità del prodotti finito oppure un aumento della percentuale di scarti. Il sistema scelto e dimensionato durante l'attività di tirocinio apporta numerose migliorie: rende il processo standardizzato (gestito a braccio dai capituono ma funziona in modo preciso e definito attraverso l'uso di kanban). Pur non rinunciando alla flessibilità, permette di seguire ed assecondare il trend di crescita dei volumi di produzione, minimizzando le quantità trasportate a bordo linea ed abbattendo la possibilità di errore dovute al cambio tipo d'imballo. Inoltre permette di con maggior rigore una gestione First In First Out (FIFO) del materiale. Proprio a questo scopo è stata effettuata l'analisi del dimensionamento dei carrelli di materie prime.

Per quanto riguarda il know-how invece l'inserimento del secondo AGV ha comportato l'introduzione di un software di flotta, capace di gestire i conflitti tra più robot, che ha determinato la necessità di acquisire maggiori competenze nella programmazione delle missioni e nella definizione di una struttura di rete più solida (vedere la parte sui problemi informatici del Capitolo 3).

Un ulteriore beneficio apportato da questo studio di tesi è stata la capacità di strutturare layout sempre più complessi, con un maggiore numero di robot in circolo, che sarà molto utile nelle future fasi di ridisegno del layout, dovute all'introduzione di nuove linee produttive.

Lo studio ha fornito anche un'analisi dei tempi di lavoro dei robot, per ogni missione, che ha permesso lo sviluppo di un'analisi sforzi/benefici del sistema di AGV.

4.2 Limitazioni al progetto di tesi

Per quanto il sistema preso in esame sia di grande miglioramento rispetto alla situazione attuale e si presti bene anche agli sviluppi futuri del reparto, non è esente anch'esso da problematiche e limiti.

Esistono alcune criticità che emergono ancor prima dell'implementazione.

In primo luogo, occorre non sottovalutare l'aumento materiale del circolante all'interno dell'area: per quanto riguarda il prodotto finito il numero di imballi circolante rimane lo stesso perché le dimensioni di tali unità di carico sono costanti e definite a priori dal cliente mentre per le materie prime la situazione cambia. Con il sistema precedente il materiale veniva movimentato indicativamente una o due volte a turno perché caricato in grande quantità sulle pedane mentre con il sistema di AGV vengono effettuati quattro giri turno.

In seconda istanza non si può non far notare che la contemporanea presenza di due AGV all'interno del reparto comporta un aumento dei tempi di transito di ciascun singolo robot a causa dell'impossibilità di far passare due veicoli affiancati (vedere l'analisi del layout del Capitolo 3), con una conseguente riduzione dell'efficienza del sistema.

Un altro problema è la maggiore richiesta di postazioni dedicate all'AGV in un reparto molto saturo a livello di spazi. Questa difficoltà ha prodotto infatti la necessità di strutturare un sistema personalizzato sia per lo scarico ed il carico delle materie prime nella linea due che per l'area di ricarica dei robot (vedere l'analisi delle procedure di carico/scarico e ricarica del Capitolo 3).

Un limite del sistema è la necessità che la rete sia sempre funzionante ed il segnale WIFI degli access point di reparto sempre forte perché la mancanza di soltanto uno di questi

elementi impedirebbe agli AGV di comunicare con la flotta, generando collisioni e impedendo l'assegnazione delle missioni ai robot. In sostanza la caduta della rete blocca il rifornimento delle linee. Queste cadute possono essere provocate da interruzioni di corrente nella linea elettrica oppure da problemi prettamente informatici. Inoltre, nel caso di caduta di corrente il supporto hardware del software di flotta deve essere riavviato manualmente.

Un ultimo problema è dato dalla necessità di mantenere sempre sgombre le vie di transito dell'AGV per garantirne il funzionamento ottimale. In un reparto ad alta densità di persone, materiale e macchinari, come quello preso in esame in questo elaborato, non è possibile assicurare tali condizioni in modo perenne, per questa ragione i robot avranno sempre qualche blocco o problema per cui è necessario l'intervento umano. Tuttavia, supportare il sistema in caso di guasti significa staccare una risorsa dalla produzione o dal magazzino, riducendo la produttività. Tale difficoltà si può ridurre agendo sulla programmazione delle missioni, in modo che l'AGV sappia come comportarsi nelle situazioni complicate, tuttavia è impossibile prevedere tutti i possibili casi d'interazione con l'uomo e non è detto che il software dia la possibilità di gestire ciascuna di essa.

4.3 Sviluppi futuri

L'attività di tirocinio ed il progetto di tesi hanno considerato l'analisi dei flussi di materiale legati al reparto produzione delle pompe dell'acqua a controllo elettronico, settore in forte sviluppo all'interno dell'azienda, al fine di migliorare la movimentazione dei componenti necessari all'assemblaggio del prodotto e degli imballi di prodotto finito.

L'arrivo di una nuova linea produttiva, nel giro di pochi mesi dal termine di questo progetto, comporterà tuttavia la totale ridefinizione del layout di reparto e con questo la revisione dei flussi di materiale, trasportati via AGV. Come possibile vedere in figura 4.1 la terza linea verrà inserita nella zona in cui precedentemente erano presenti gli uffici e la staffatura. Mentre la staffatura verrà spostata al centro del reparto gli uffici saranno spostati in un nuovo edificio in costruzione in una zona esterna al fabbricato. Per far spazio sia alla linea che alla staffatura l'area nastratura verrà spostata nella zona dell'azienda precedentemente dedicata alla produzione delle plastiche ad uso interno (vedere schema a blocchi dell'impianto nel Capitolo 3). Quest'ultima verrà esternalizzata in quanto attività a poco valore aggiunto. Invece la parte di reparto dedicata al

completamento finale dei motori verrà in parte esternalizzata, per far spazio ad un nuovo magazzino interno di materie prime, ed in parte ricollocata all'interno del reparto. Quest'ultima è una linea di collaudi per motori, attualmente posta verticalmente rispetto all'estensione del reparto (Figura 4.2), che allo stato attuale delle cose ostruirebbe uno dei futuri corridoi di passaggio dell'AGV. Per tale ragione all'interno del nuovo layout sarà necessario accorciare la lunghezza della linea, togliendo alcune macchine, oppure spezzandola, come in figura 4.1. Per quanto riguarda il magazzino interno invece, verrebbe creato per soddisfare il requisito di stoccaggio all'interno di un fabbricato, richiesto da uno dei nuovi clienti per cui è stata acquistata tale linea. Lo stoccaggio interno dei componenti garantisce infatti un maggiore livello di pulizia dei materiali e li espone ad un minore sbalzo termico, con una conseguente maggiore qualità del prodotto finito. Il magazzino tunnel non garantisce questi standard perché è classificato come struttura non completamente chiusa, a differenza di un edificio. Nel Tunnel rimarrà solamente il prodotto finito, che potrà godere di un maggior numero di posti pallet, necessari in seguito all'aumento dei volumi previsto. In figura 4.1 è possibile anche vedere una zona dedicata alle postazioni di carico e scarico del sistema di AGV, posizionata nell'area in cui precedentemente era presente uno stock di semilavorato per motori. Questi ultimi saranno riallocati nello scaffale del Tunnel attualmente dedicato alle materie prime delle pompe, che passeranno nel magazzino interno. Con questo nuovo layout sarà possibile dedicare una postazione per ciascuna tipologia di missione, a differenza di adesso che è necessario condividere le postazioni dell'area vicino al magazzino tra missioni del prodotto finito e delle materie prime. Per questo motivo verranno create tre postazioni per le materie prime per ogni linea e una postazione di prodotto finito per linea. Verrà inoltre assegnato un posto ulteriore per la staffatura.

Sempre in figura 4.1 è possibile vedere una possibile ipotesi sui futuri flussi di materiale, trasportati tramite AGV. In viola è mostrato il percorso del prodotto finito, che seguirebbe un tragitto ad L e vedrebbe il transito dei robot in entrambe le direzioni contemporaneamente secondo uno schema "bidirectional shortest path". Per questo motivo andrebbe usata una "zona a traffico limitato", come fatto per il lavoro di tesi. In rosso invece è mostrato il percorso delle materie prime, che sarebbe invece un circolo chiuso. Questo permetterebbe di far circolare contemporaneamente più AGV senza che

s'incontrino in direzioni opposte. Infine il flusso in gialla riguarda i motori, che non sarebbero comunque asserviti dal sistema AGV.

Tramite questa configurazione si potrebbero separare i flussi di pompe e motori, utilizzando i due portoni mostrati in figura 4.1, in modo da evitare contatti tra robot e carrellisti. Inoltre, grazie alla maggiore disponibilità di corridoi sarebbe possibile separare parzialmente i flussi di materie prime e prodotto finito, minimizzando la probabilità di imbottigliamenti che causerebbero ritardi nelle consegne di materiale.

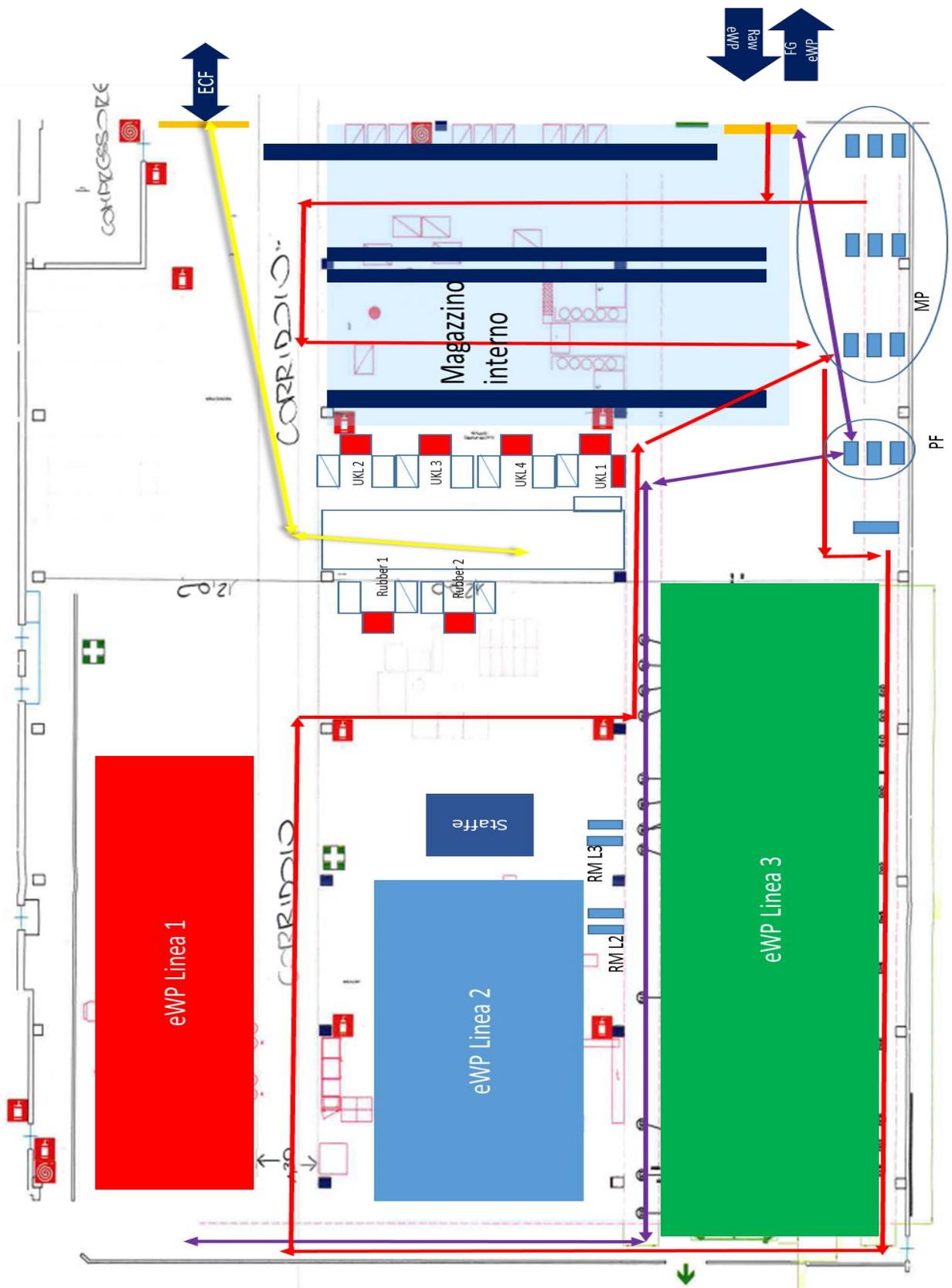


Figura 4.1 Nuovo layout

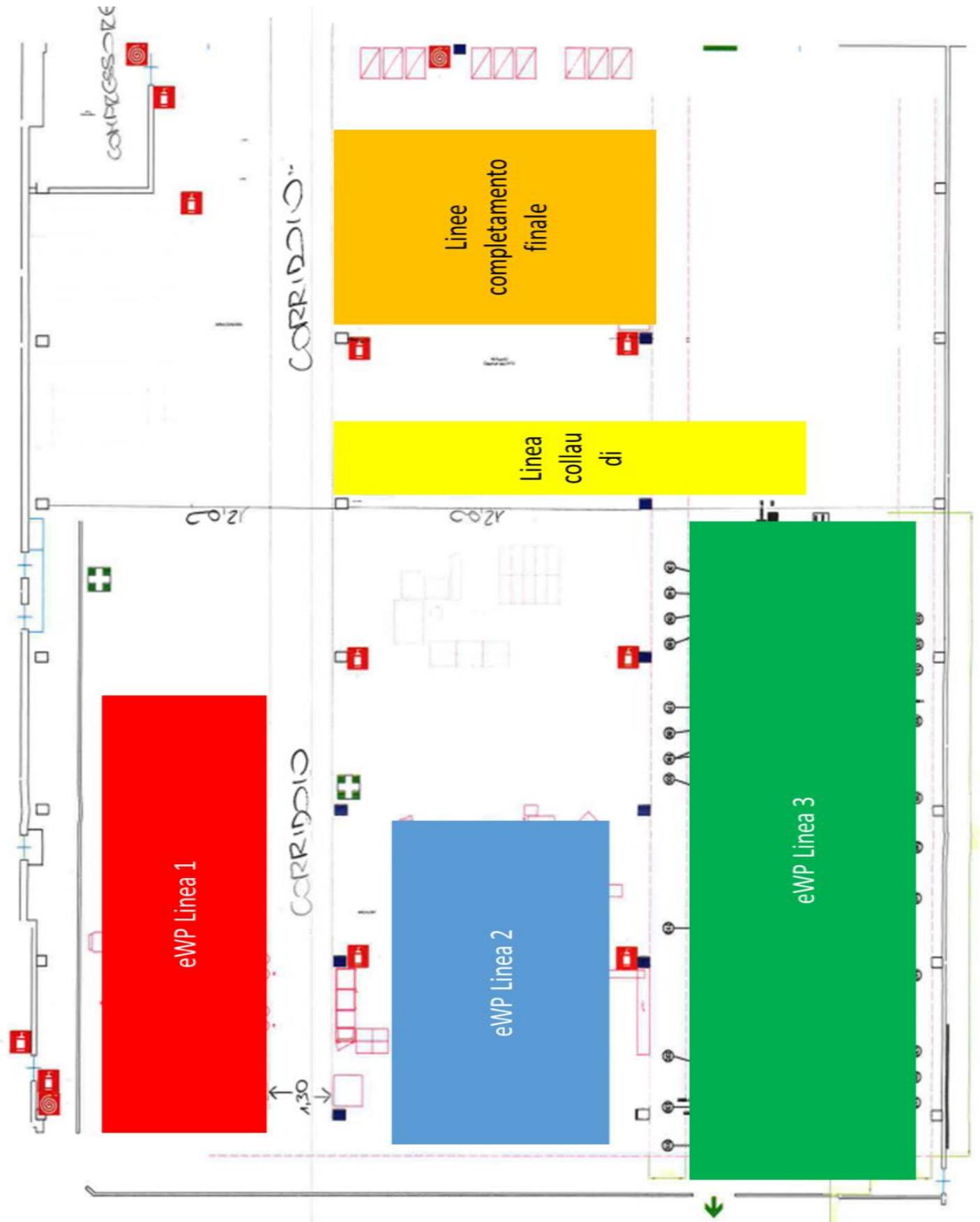


Figura 4.2 Vecchio layout con linea 3 inserita

Bibliografia

Ali, M. and Khan, W.U. (2010), “Implementation Issues of AGVs in Flexible Manufacturing System: A Review”, *Global Journal of Flexible Systems Management*, Vol.11, No. 1 & 2, pp 55-62

Benvenuti, M. (2019), “La movimentazione dei materiali nelle linee di trasporto”, disponibile su: <https://blog.rw-italia.it/movimentazione-materiali-linee-trasporto> (visitato il 18/01/2020)

Bozer Y.A. and Srinivasan M.M. (1991). “Tandem Configurations for Automated Guided Vehicle Systems and the Analysis of Single Vehicle Loops”, *IIE Transactions*, Vol. 23, No. 1, pp. 72-82.

Bozer Y.A., Srinivassan, M.M. (1992), “Tandem AGV systems: a partitioning algorithm and performance comparison with conventional AGV systems”. *European journal of operational research*, Vol. 63, No. 2, pp. 173–191.

Choi, H.G, Kwon, H.J, Lee, J. (1994), “Traditional and tandem AGV system layouts: a simulation study”, *Simulation*, Vol. 63, No. 2, pp. 85–93.

Confessore, G., Fabiano M., Liotta G. (2013), “A network flow based heuristic approach for optimising AGV movements”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 24, No. 2, pp. 405–419.

Dai, Y. and Lee, S.G. (2014), “Formation control of mobile robots with obstacle avoidance based on GOACM using onboard sensors,” *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol. 12, No. 5, pp. 1077-1089.

Di Sofia, L. (2018), “Qual è la differenza tra AGV e LGV?”, disponibile su: <https://www.alumotion.eu/2018/12/agv-e-lgv/> (visitato il 19/02/2020)

Fitzgerald, K.R. (1985), "How to estimate the number of AGVs you need", *Modern Materials Handling*, October 1985, p. 79.

Fox, D., Burgard, W., Thrun, S. (1997) “The dynamic window approach to collision avoidance,” *IEEE Robotics and Automation*, Vol. 4, No. 1, pp. 23-33.

Ganesharajaha, T., Hallb, N.G., Sriskandarajahc, C. (1998), “Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems”, *Annals of Operations Research* 76, pp 109–154.

Huang, C. (1997) “Design of material transportation system for tandem automated guided vehicle systems”, *International Journal of Production Research*, Vol. 35, No. 4, pp. 943–953.

Hung, N., Im, J.S, Jeong, S.K, Kim, H. K., Kim, S. B. (2010), “Design of a sliding mode controller for an automatic guided vehicle and its implementation,” *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 81-90.

Jawahar, N., Aravindan, P., Ponnambalam, S.G., Suresh, R.K. (1998), “Schedule Integrated with Production in Flexible Manufacturing Systems”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 14, No. 6, pp. 428–440.

Kasilingam, R. G. (1991), "Mathematical modeling of the AGVs capacity requirements planning problem", *Engineering Cost and Production Economics*, Vol. 21, No. 2, pp. 17-175.

Koff, G.A. and Boldrin, B. (1985),” *Automated Guided Vehicles*”, Kulwiec, R., *Materials Handling Handbook*, John Wiley & Sons, New York, pp. 273-314.

Koo, P.H, Jang, J., Suh, J. (2004), “Estimation of Part Waiting Time and Fleet Sizing in AGV Systems”, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol 16, No. 3, pp. 211–228.

Koo, P.H. and Jang, J. (2002), “Vehicle Travel Time Models for AGV Systems under Various Dispatching Rules,” *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 14, No. 3, pp. 249–261.

Kulwiec, R. A. (1985),” *Basic Material Handling Concepts*”, Kulwiec, R., *Materials Handling Handbook*, John Wiley & Sons, New York, pp. 1-18.

Lee, S and Yang H. (2012), “Navigation of automated guided vehicles using magnet spot guidance method”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 28, No. 3, pp. 425-436.

Liu, F.H, Chen, J.T. (1997), “Analytical framework for designing the divided automated guided vehicles system”, *International Journal Industrial Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp.90–1027.

Mahadevan, B. and Narendran, T. T.(1990), "Design of an automated guided vehicle-based material handling system for a flexible manufacturing system", *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 9, pp. t61t-1622.

Maxwell, W. L., Muckstadt, J. A. (1982), "Design of automatic guided vehicle systems", *IIE Transactions*, Vol. 14, No. 2, pp. 114-124.

Monte, A. (2009), *Elementi di impianti industriali: Volume I*, Libreria Cortina Torino, Torino.

Muhammad H.F. bin M.F. and Tomohiro M. (2010), “Makespan Minimization of Machines and Mutomated Guided Vehicles Schedule Using Binary Particle Swarm Optimization”, *Proceedings of the International Multi Conference of Enginers and Computer Scientists*, IMECS 2010, Hong Kong, pp. 1897-1902.

Pratama, P. S., Jeong, S. K, Park, S. S., Kim, S. B (2013), “Moving object tracking and avoidance algorithm for differential driving AGV based on laser measurement technology”, *International Journal of Science and Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 11-15.

Pratama, P.S, Nguyen, T.H, Kim, H.K, Kim, D. H, Kim, S.B (2016), Positioning and Obstacle Avoidance of Automatic Guided Vehicle in Partially Known Environment, *International Journal of Control, Automation and Systems*, Vol. 14, No. 6, pp. 1572-1581

Raballand, G.J.R.F and Aldaz-Carroll, E. (2007),”How Do Differing Standards Increase Trade Costs? The Case of Pallets”,working paper[3519], World Bank, World, February 2005.

Ross, E.A, Mahmoodi, F., Moisiej, C.T. (1996), “Tandem configuration automated guided vehicle system: a comparative study”, *Decision Science*, Vol. 27, No. 1, pp. 81–102.

Simmons, R. (1996) "The curvature-velocity method for local obstacle avoidance," in Proceedings of International Conference on Robotics and Automation, USA, 1996, School of Computer Science Carnegie Mellon University, Pittsburgh, pp. 3375-3382, 1996.

Sinreich, D. and Tanchoco, J. M. A. (1992), "An economic model for determining AGV fleet size", International Journal of Production Research, Vol. 30, No. 6, pp. 1255-1268.

Sinriech, D., Tanchoco, J.M.A, Herer, Y.T (1996), "The segmented bi-directional single-loop topology for material flow systems", IIE Transactions, Vol. 28, No. 1, pp. 40–54.

Stecke, K.E, Solberg, J.J (1983). "Loading and Control Policies for a Flexible Manufacturing System", International Journal of Production Research, Vol. 19, No. 5, pp. 481-490.

Tamba, T. A., Hong, B. H., Hong, K. S. (2009), "A path following control of an unmanned autonomous forklift," International Journal of Control, Automation, and Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 113-122.

Travelers (2016), "Injury Impact Report", available at https://mms.businesswire.com/media/20160516005965/en/525010/1/Injury_Impact_Report_Final_5.16.16.pdf?download=1 (accessed 05 December 2019).

Ulusoy G. and Bilge U. (1993), "Simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles", International Journal of Production Research, Vol. 31, No. 12, pp. 2875-2873.

Ventura, J.A., Rieksts, B.Q. (2009), "Optimal location of dwell points in a single loop AGV system with time restrictions on vehicle availability", European Journal of Operational Research, Vol.192, No. 1, pp. 93-104.

Vis, I.F.A. (2006), "Survey of Research in the Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems", European Journal Operation Research, Vol. 170, No. 3, pp. 677–709

Wang, T., Tong, C., Xu, B. (2018), “AGV navigation analysis based on multi-sensor data fusion”, Springer Science+Business Media, 26 June 2018, pp 1-3.

Sitografia

- [1]<https://www.logisticaefficiente.it/wiki-logistica/supply-chain/material-handling.html>
- [2]https://mms.businesswire.com/media/20160516005965/en/525010/1/Injury_Impact_Report_Final_5.16.16.pdf?download=1
- [3]<http://intergon.net/mh20principles.html>
- [4]<http://www.treccani.it/vocabolario/meccanizzazione>
- [5]<https://hieker.com/material-handling-systems-market-global-outlook-and-forecast-2019-2026/43403>
- [6]<https://pledgetimes.com/2019/12/03/material-handling-equipment-market-to-witness-huge-growth-over-period-2019-2025-prominent-players-integrated-inc-columbus-mckinnonkuka-ag/>
- [7]<https://www.manelservice.com/shop/trasporto-e-stoccaggio-merci/carrelli-elevatori-e-stocicatori/pramac-lifter-carrello-elevatore-elettrico-lx16-25-hl516000000>
- [8]<http://www.ceratec.eu/en/solutions/detail/automated-guided-vehicles>
- [9]<https://www.businessmanagementideas.com/project-report/materials-management/unit-load-concept-characteristics-and-types/6686>
- [10]<https://www.smurfitkappa.com/it/products-and-services/packaging/pallet-pack>
- [11]<https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/magazzino/unita-di-carico>
- [12] <http://empaguesint.com/files/mce/images/2.jpg> image103581155
- [13]<https://www.tacchellaflli.it/prodotti/pallets-in-legno/pallet-a-4-vie/pallet-a-4-vie-perimetrale>
- [14]<https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/contenitori-industriali>

- [15]https://www.ansaloni.com/eng/contenitori/sheet-metal-containers_1.html
- [16]<https://www.fer-plast.com/index.php/prodotti/movimentazione-e-magazzino/cassoni-e-contenitori/contenitori-in-plastica/cf-700-ripiegabili-in-plastica-piena-detail>
- [17]<https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/contenitori-industriali/klt>
- [18]<https://contenitoriindustriali.it/portfolio/cassette-odette-rl-kltl>
- [19]<http://www.leanproducts.eu/dolly-pallet?parentCategory=1135>
- [20]<https://www.bricoman.it/n/utensileria/sollevamento-trazione/transpallet/idraulico-manuale-lifter-portata-22t/10027526/>
- [21]<https://tuttologistica.it/collections/carrelli-elevatori-elettrici/products/tlg-lx14-45triplexfreelift>
- [22]<https://monroengineering.com/blog/what-is-a-flexible-manufacturing-system/>
- [23]<https://www.gruppomovincar.com/AGV-tipologia-di-guida.html>
- [24]<http://www.levantelift.it/case-history/automazione/traino-automatizzato-con-agv-a-guida-ottica-e-strisce-monocolore.html>
- [25]<https://www.indevagroup.it/notizie/sistemi-intelligenti-di-sollevamento-e-sistemi-di-manipolazione-automatici/>
- [26]https://www.agvnetwork.com/images/banners/TuggerAGV/lgv_tugger_AIM_banner_big.jpg
- [27]<http://www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-technology/types-of-agv/tugger-agv-what-is-an-agv-tugger-train>
- [28]<https://www.flexqube.com/news/automated-guided-vehicle-systems-5-things-to-know-before-introducing-agvs-to-your-shop-floor/>
- [29]<http://www.warehouseautomation.org/tag/unit-load-agv/>
- [30]<https://www.agve.it/2019/06/04/i-tipi-di-agv>

[31]<https://towardsdatascience.com/extended-kalman-filter-ee9bd04ac5dc>,
<https://towardsdatascience.com/an-intro-to-kalman-filters-for-autonomous-vehicles-f43dd2e2004b>

[32]http://home.deib.polimi.it/amaldi/Laboratori/TSP/euristichetsp/Modulo%203_b_%20-%20Problemi%20di%20routing%20e%20scheduling%20II%20Problema%20del%20Commesso%20Viaggiatore.htm

[33]<https://www.petrogallimoto.com/shop/it/pompa-acqua-elettrica/6720-Pompa-acqua-elettrica-BOSCH-12V-3165143419496.html>

[34]<http://www.czowo.com/sale-10257932-200w-auto-electric-water-pump-electric-powered-water-pump-for-electric-vans-cooling.html> d'acqua

[35]<https://www.mobile-industrial-robots.com/it/>

[36]<http://www.alumotion.eu/wp-content/uploads/2017/05/MiR200-flotta.jpg>

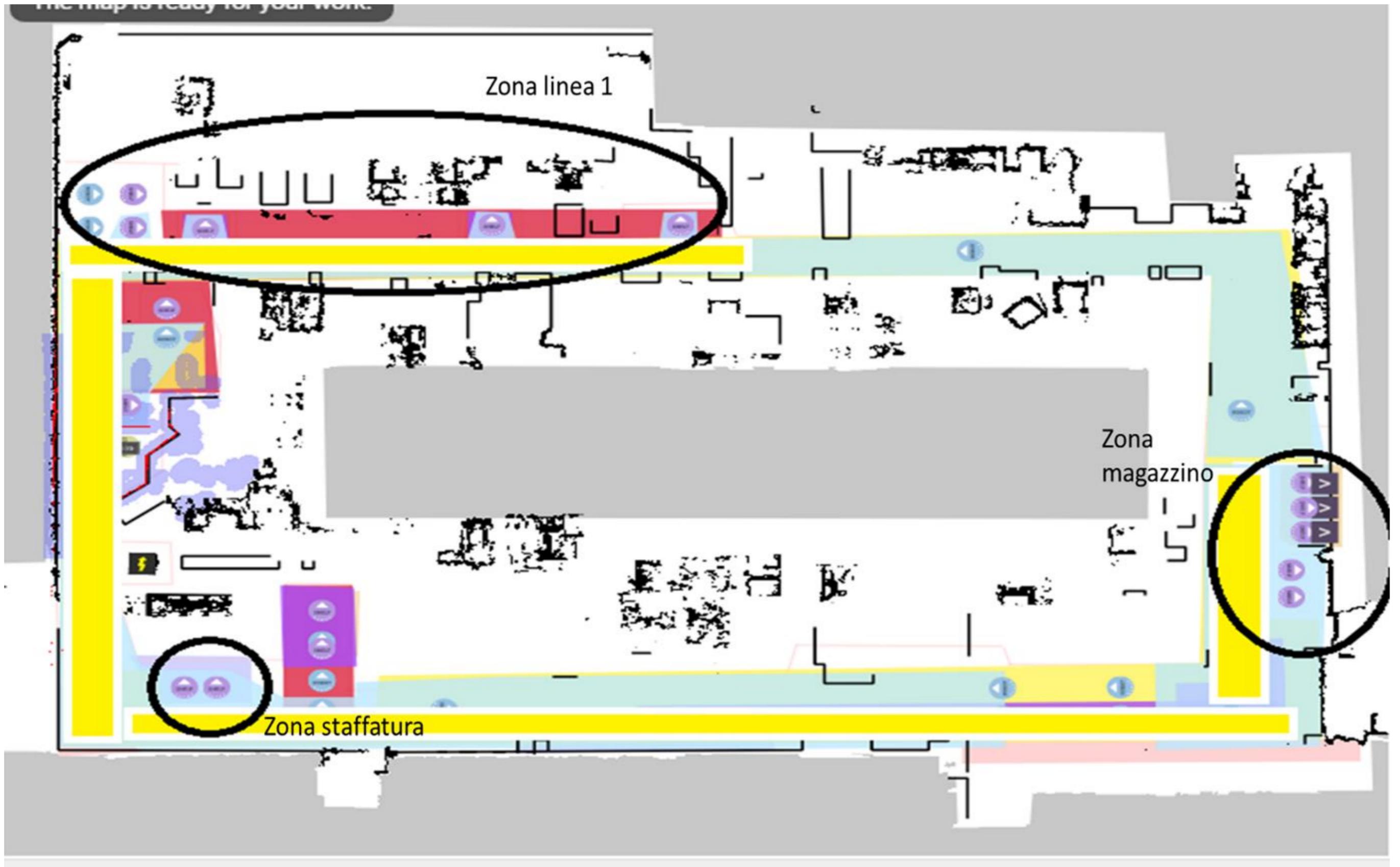
[37]https://www.mobile-industrial-robots.com/media/7489/mir200_user_guide_14_en.pdf

Allegati

Allegato 1 - Tempi di percorrenza dell'AGV per il carrello uno della linea 1

RM 1																								
Turno Ore	Vuoti								# missioni	Tot tempi	Media tempi	Turno Ore	Pieni								# missioni	Tot tempi	Media tempi	
	7,00	9,00	11,00	13,00	15,00	17,00	19,00	21,00					7,00	9,00	11,00	13,00	15,00	17,00	19,00	21,00				
Data	1	2	3	4	5	6	7	8				Data	1	2	3	4	5	6	7	8				
19/06/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,19	0,00	0,00	1,00	6,19	6,19	19/06/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20/06/2019	0,00	0,00	6,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	6,20	6,20	20/06/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21/06/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	11,47	0,00	0,00	0,00	1,00	11,47	11,47	21/06/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	8,27	0,00	0,00	0,00	1,00	8,27	8,27	02/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04/07/2019	0,00	7,11	10,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	17,81	8,91	04/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05/07/2019	0,00	8,00	7,42	0,00	0,00	7,23	0,00	0,00	3,00	22,65	7,55	05/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08/07/2019	0,00	7,45	0,00	5,48	0,00	5,33	0,00	0,00	3,00	18,26	6,09	08/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	09/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10/07/2019	0,00	0,00	6,00	0,00	7,70	0,00	0,00	0,00	2,00	13,70	6,85	10/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,24	0,00	0,00	1,00	8,24	8,24	11/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12/07/2019	0,00	9,30	0,00	0,00	0,00	10,52	0,00	0,00	2,00	19,82	9,91	12/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15/07/2019	0,00	7,80	7,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	14,92	7,46	15/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,37	0,00	9,20	2,00	16,57	8,29	16/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17/07/2019	5,43	0,00	7,11	8,21	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	20,75	6,92	17/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18/07/2019	0,00	0,00	0,00	8,21	7,30	0,00	0,00	0,00	2,00	15,51	7,76	18/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19/07/2019	8,16	7,35	0,00	8,13	0,00	5,37	0,00	0,00	4,00	29,01	7,25	19/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22/07/2019	0,00	0,00	7,38	7,90	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	15,28	7,64	22/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23/07/2019	0,00	7,38	6,59	0,00	5,39	0,00	0,00	0,00	3,00	19,36	6,45	23/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24/07/2019	0,00	7,42	0,00	7,15	9,27	0,00	0,00	0,00	3,00	23,84	7,95	24/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25/07/2019	0,00	7,13	11,43	0,00	0,00	6,57	0,00	0,00	3,00	25,13	8,38	25/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26/07/2019	0,00	6,25	8,54	8,18	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	22,97	7,66	26/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31/07/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01/08/2019	0,00	0,00	0,00	5,30	0,00	8,12	0,00	0,00	2,00	13,42	6,71	01/08/2019	0,00	0,00	6,29	5,29	0,00	7,16	0,00	0,00	3,00	18,74	6,25	6,25
02/08/2019	8,39	0,00	5,48	0,00	7,45	0,00	7,31	0,00	4,00	28,63	7,16	02/08/2019	0,00	6,13	5,20	0,00	10,18	6,25	0,00	0,00	4,00	27,76	6,94	6,94
05/08/2019	0,00	7,28	8,45	0,00	0,00	0,00	0,00	5,50	3,00	21,23	7,08	05/08/2019	0,00	5,32	5,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	10,86	5,43	5,43
06/08/2019	0,00	0,00	0,00	7,59	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	7,59	7,59	06/08/2019	0,00	10,40	0,00	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	15,60	7,80	7,80
07/08/2019	0,00	9,30	7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	16,90	8,45	07/08/2019	0,00	5,59	5,19	6,39	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	17,17	5,72	5,72
08/08/2019	0,00	7,58	7,31	8,30	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	23,19	7,73	08/08/2019	0,00	6,36	13,42	7,31	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	27,09	9,03	9,03
09/08/2019	0,00	7,41	7,17	9,80	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	24,38	8,13	09/08/2019	0,00	7,47	7,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	14,92	7,46	7,46
12/08/2019	0,00	7,55	0,00	0,00	0,00	10,04	0,00	0,00	2,00	17,59	8,80	12/08/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,10	0,00	0,00	1,00	6,10	6,10	6,10
13/08/2019	0,00	0,00	7,33	6,30	0,00	8,16	0,00	0,00	3,00	21,79	7,26	13/08/2019	0,00	0,00	6,06	5,19	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	11,25	5,63	5,63
14/08/2019	0,00	7,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	7,21	7,21	14/08/2019	0,00	5,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	5,53	5,53	5,53
19/08/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19/08/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21/08/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	0,00	0,00	1,00	8,33	8,33	21/08/2019	0,00	0,00	0,00	6,53	0,00	6,55	0,00	0,00	2,00	13,08	6,54	6,54
22/08/2019	8,10	0,00	0,00	8,46	0,00	7,23	0,00	0,00	3,00	23,79	7,93	22/08/2019	4,46	0,00	0,00	4,22	0,00	6,92	0,00	0,00	3,00	15,60	5,20	5,20
23/08/2019	6,26	9,60	0,00	7,33	0,00	8,30	0,00	0,00	4,00	31,49	7,87	23/08/2019	5,21	5,94	0,00	4,60	0,00	6,48	0,00	0,00	4,00	22,23	5,56	5,56
27/08/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27/08/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/08/2019	0,00	0,00	10,19	0,00	8,82	0,00	0,00	0,00	2,00	19,01	9,51	28/08/2019	0,00	0,00	7,78	0,00	6,11	0,00	0,00	0,00	2,00	13,89	6,95	6,95
29/08/2019	0,00	0,00	8,23	0,00	6,12	0,00	0,00	0,00	2,00	14,35	7,18	29/08/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30/08/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30/08/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02/09/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	02/09/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03/09/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	03/09/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04/09/2019	6,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	6,36	6,36	04/09/2019	0,00	0,00	6,61	0,00	0,00	6,22	0,00	0,00	2,00	12,83	6,42	6,42
05/09/2019	6,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	6,51	6,51	05/09/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06/09/2019	0,00	0,00	8,65	0,00	6,37	0,00	0,00	7,59	3,00	22,61	7,54	06/09/2019	10,75	0,00	5,78	0,00	9,19	0,00	0,00	4,60	4,00	30,32	7,58	7,58
09/09/2019	0,00	7,33	7,45	0,00	0,00	8,18	8,26	0,00	4,00	31,22	7,81	09/09/2019	0,00	6,75	5,16	0,00	0,00	6,53	7,82	14,60	5,00	40,86	8,17	8,17
10/09/2019	0,00	8,42	5,22	9,76	10,24	0,00	0,																	

Allegato 3 – Layout con un solo AGV

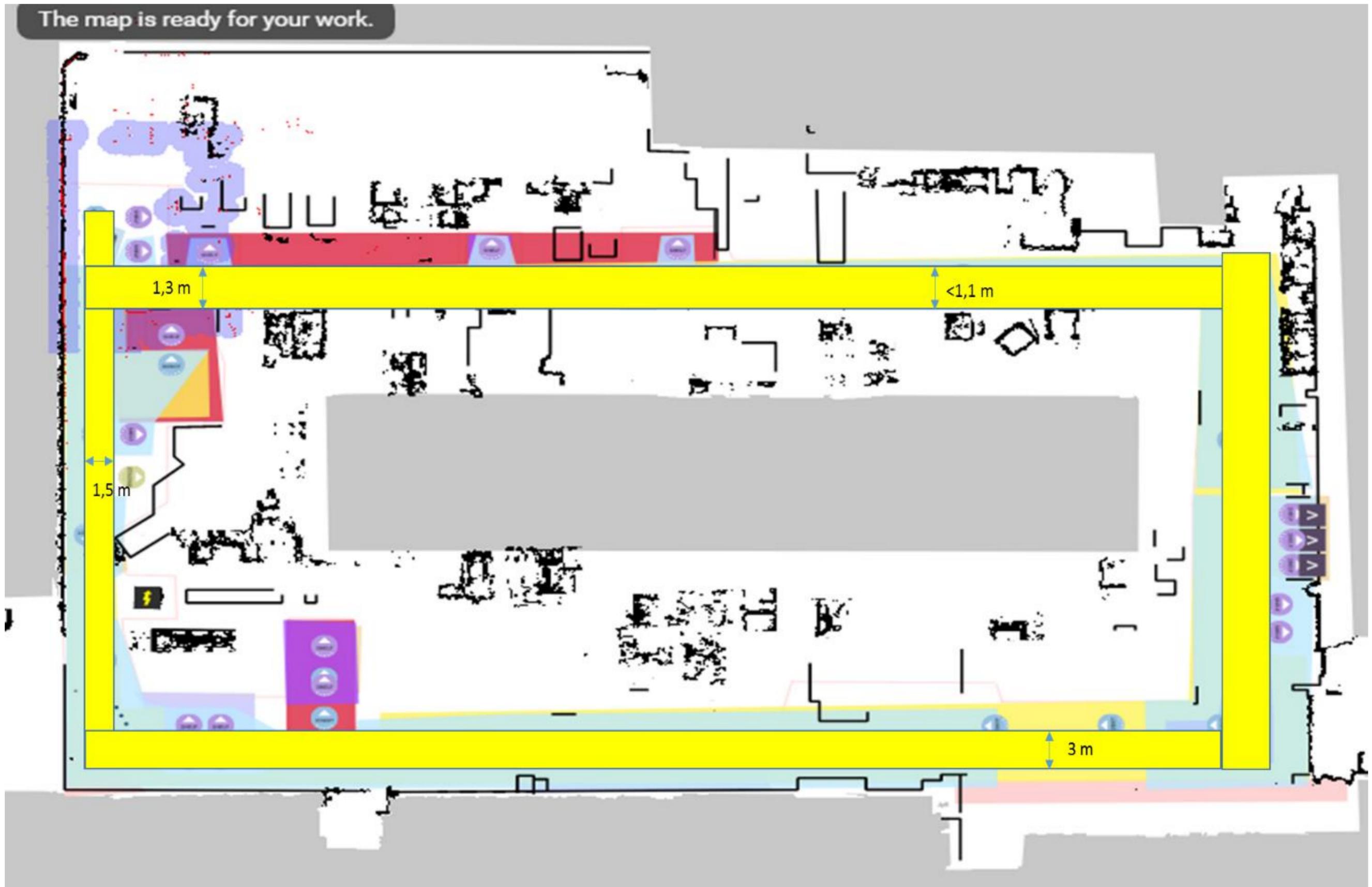


Allegato 4 – Layout tandem

The map is ready for your work.



Allegato 5 – Larghezza corridoi



Allegato 6 – Progetto di allargamento corridoi



Allegato 7 – Flusso layout single loop



Allegato 8 - Flussi layout bidirectional shortest path

