

POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria della Produzione Industriale e dell’Innovazione Tecnologica

Tesi di Laurea Magistrale

**Riduzione delle working hours attraverso l’implementazione
di un sistema AGV in linea di assemblaggio per il ritorno
automatico del cart secondo la filosofia del TPS**



Relatore

Prof. Eleonora Atzeni

Candidato

Alessandro Piras

Ottobre 2020

Indice

Introduzione	4
1 Descrizione dell'azienda.....	6
1.1 Prodotti	10
1.1.1 Il gruppo di sollevamento.....	10
1.1.2 Alzata libera	11
1.1.3 Carrellini porta forche	14
1.2 Politica aziendale.....	17
1.2.1 I principi del Toyota Way	17
1.2.2 Mission & Policy	18
1.2.3 Salute & Sicurezza.....	19
1.2.4 Politica ambientale.....	19
2 Toyota Production System	21
2.1 Le origini del sistema.....	21
2.2 Il modello del Toyota Production System	23
3 Identificazione ed analisi del problema in area assemblaggio	29
3.1 Layout di assemblaggio e focus sull'area critica.....	29
3.2 Attività di trasporto del carrello.....	33
3.2.1 Spreco (muda) di tempo.....	34
3.2.2 Problema ergonomico e indice traino-spinta	38
4 Analisi delle possibili soluzioni.....	48
4.1 Formazione del team	50
4.2 Definizione del target	51
4.3 Metodi e tecniche utilizzati per la scelta dell'AGV	52
4.4 Il TAE 050 versione HD.....	61

4.4.1	Tecnologia di guida	61
4.4.2	Caratteristiche tecniche	63
4.4.3	Unità di comunicazione ottica – OCU	70
4.5	Punti critici e problemi per implementazione	71
4.5.1	Studio del timone di aggancio	72
4.5.2	Studio del bloccaggio delle ruote del carrello.....	74
4.6	Studio del percorso	77
4.7	Programmazione del software e relativi test pratici	84
4.7.1	Regole di programmazione	84
4.7.2	Istruzioni posizionamento markers e tags	89
4.7.3	Programmazione del percorso finale	91
5	Fotografia del post implementazione del sistema	95
5.1	Previsione del flusso finale	95
5.2	Prossimi steps e pianificazione delle attività	97
5.2.1	Area dedicata al posizionamento del carrello vuoto	100
5.2.2	Sistema Poka-Yoke per il bloccaggio delle ruote.....	100
5.3	Possibili scenari futuri	101
5.3.1	Prolungamento del percorso	102
5.3.2	Sistema di biberonaggio.....	104
5.3.3	Scasso sul pavimento.....	106
6	Analisi economica-finanziaria del progetto.....	107
	Conclusioni	109
	Bibliografia.....	111

Introduzione

Per le imprese manifatturiere che si affacciano alla competizione del mercato globale, la ricerca continua dell'innovazione è un elemento chiave per imporre la propria presenza. Adottare strategie di innovazione significa rivolgere lo sguardo al futuro. Attraverso l'implementazione di sistemi innovativi ed automatici, le aziende puntano ad essere sempre più efficienti e rispondere rapidamente alle richieste del cliente. Ad esempio, un modo per migliorare le condizioni di lavoro e favorire la produttività degli impianti è rappresentato dalla scelta di veicoli a guida automatica in grado di sostituire l'operatore in attività caratterizzate da movimenti ripetitivi. Le aziende si stanno concentrando sempre più sull'utilizzo di tali sistemi per aumentare l'efficienza delle loro operazioni in linea con la crescente domanda per i loro servizi.

L'obiettivo dell'elaborato è quello di analizzare il flusso di carrelli utilizzati per movimentare il materiale in una linea di assemblaggio attraverso l'introduzione di un Automated Guided Vehicle (AGV), focalizzandosi sui cambiamenti e i miglioramenti che esso porta a livello aziendale. Nello specifico, si vuole porre una certa attenzione ai vantaggi e agli svantaggi del nuovo sistema di movimentazione, trattare tutte le attività svolte e le modifiche al processo necessarie per poter realizzare il sistema.

Questo documento è stato redatto durante un tirocinio curricolare di 6 mesi in azienda.

L'elaborato è stato suddiviso in 6 capitoli. Il primo capitolo è puramente descrittivo e introduce la realtà aziendale sulla quale è stato introdotto il sistema di AGV. All'interno di questa sezione saranno presenti alcuni riferimenti storici dell'azienda, il tipo di suddivisione aziendale e i principali clienti. Verrà inoltre posta particolare attenzione alle caratteristiche dei diversi tipi di prodotto, oltre alla descrizione del loro funzionamento. Sarà presente anche una parte relativa alla politica aziendale, in particolare ai valori e all'approccio dell'azienda su temi ambientali, di salute e di sicurezza.

Il secondo capitolo è anch'esso descrittivo e spiega il Toyota Production System (TPS), metodo di produzione della Toyota basato sull'eliminazione degli sprechi ad ogni livello aziendale. Verrà brevemente descritta la nascita del sistema, i punti di forza e gli strumenti ed i metodi utilizzati per una corretta gestione delle problematiche aziendali.

All'interno del terzo capitolo si analizza la situazione precedente all'introduzione del sistema AGV. In particolare, è stato dedicato un intero paragrafo per la descrizione dell'area sulla quale implementare il sistema ed è presente uno studio sul flusso di materiale nel periodo pre-installazione dell'AGV. Vengono poi trattate e valutate le criticità presenti nell'area e i principali problemi che riducono l'efficienza dell'attività di trasporto del materiale.

Il quarto capitolo descrive tutte le attività che sono state svolte dall'azienda affinché i problemi descritti nel terzo capitolo e presenti in azienda possano essere risolti. È presente quindi uno studio e uno confronto tra le possibili soluzioni da adottare oltre al sistema AGV, in modo da sottolineare le differenze e le ragioni per le quali è stato preferito implementare il sistema di guida automatica.

Il quinto capitolo invece è una fotografia del post-implementazione del sistema. Come detto precedentemente, la tesi è il risultato di un progetto ancora in corso, non ancora terminato, e per queste ragioni all'interno del capitolo non è presente una descrizione del flusso finale del materiale, ma verrà fatta una previsione in base ai test che sono stati svolti. Inoltre, sono state elencate alcune delle attività da portare avanti una volta terminato il periodo di tirocinio, necessarie per la realizzazione del sistema definitivo e alcuni dei possibili spunti di miglioramento per il futuro.

Il sesto capitolo affronta tematiche riguardanti l'analisi economica e finanziaria. È presente un confronto tra le diverse offerte proposte dal fornitore dell'AGV e un'analisi dei costi aziendali per la realizzazione dell'intero progetto.

1 Descrizione dell'azienda

La **L.T.E. Lift Truck Equipment S.p.A.** è un'azienda metalmeccanica situata presso l'Area S.I.SPRO. di San Giovanni di Ostellato (FE), uno dei comparti produttivi più estesi della provincia di Ferrara e polo industriale strategico per la regione Emilia-Romagna. L'azienda nasce nel 1976 come costruttore di gruppi di sollevamento per carrelli elevatori e il suo successo è merito della sua capacità di progettare e produrre montanti speciali con gli stessi standard qualitativi dei prodotti di serie. Infatti, grazie al know-how acquisito, L.T.E. S.p.A. viene riconosciuta come **OEM** (Original Equipment Manufacturer) dai maggiori costruttori di carrelli elevatori.



Figura 1.1 - Linea temporale sulla storia dell'azienda

Sin dagli esordi, l'azienda segue un costante percorso di crescita, diventando ben presto un'importante realtà industriale, fino a quando nel 2005, a circa trent'anni dalla fondazione, viene acquisita dal Toyota Material Handling Group (TMHG), primo costruttore mondiale di carrelli elevatori. Durante i primi anni dalla sua acquisizione, l'azienda attraversa un periodo di forte cambiamento ed evoluzione, dettato principalmente dall'influenza della cultura giapponese e dall'introduzione del Toyota Production System (TPS), un sistema di gestione della produzione di cui parleremo in maniera più approfondita nel capitolo 2. L'applicazione di questo nuovo sistema, unito ad un costante e continuo affiancamento da

parte di esperti di Lean Management del gruppo Toyota, portano l'azienda a migliorare costantemente le performances aziendali. LTE nel corso degli anni ha lavorato a stretto contatto con alcuni tra i maggiori esponenti del TPS a livello internazionale come Mr. Nomura, uno dei massimi "sensei"¹ per quanto riguarda la qualità: il suo metodo si focalizza prevalentemente sulla diminuzione del numero dei difetti all'interno del processo produttivo attraverso un processo di analisi standard composto da 8 steps.

Un altro importante contributo per l'azienda è arrivato dagli insegnamenti e lavori di gruppo svolti con Mr. Kuramitsu: i suoi insegnamenti si concentrano perlopiù sul miglioramento continuo dei processi attraverso il loro studio ed analisi mediante l'utilizzo di determinati strumenti e documenti finalizzati ad individuare le maggiori criticità sulle quali intervenire.

Infine, Mr. Shibue e Mr. Miura hanno dato un significativo contributo in termini di conoscenze e metodo per quanto riguarda l'apparato logistico: importanti strumenti come il Material & Information Flow e alcuni sistemi di riapprovvigionamento dei materiali, come il Kanban, il Junjo e il Kittaggio hanno permesso di perfezionare ed efficientare l'apparato logistico interno.

Nel 2014 si assiste ad un altro importante cambiamento in LTE: la produzione interna raddoppia come conseguenza della scelta strategica del gruppo di internalizzare la produzione di montanti per TMHMF (azienda produttrice di carrelli elevatori situata in Francia e appartenente al Toyota Material Handling Group). Precedentemente i montanti per i carrelli di TMHMF venivano prodotti dalla concorrente Manitou, azienda francese produttrice di carrelli elevatori situata ad Ancenis vicino al sito produttivo di TMHMF. Dopo circa 5 anni anche la svedese TMHMS (azienda del gruppo Toyota e produttrice di carrelli elevatori situata in Svezia) delocalizza parte della produzione in LTE contribuendo ad incrementarne i volumi interni.

¹ Sensei: nella lingua giapponese significa "maestro".

Il 2016 rappresenta un anno molto importante per l'espansione dell'azienda: l'acquisto di un'area di 40.000 m², situata accanto all'esistente stabilimento produttivo, è il risultato di un continuo percorso di crescita e sviluppo aziendale. Nell'area verrà infatti costruita una nuova palazzina per ospitare i nuovi uffici tecnici per la progettazione e sviluppo montanti, la stazione R&D per i test interni sulle pre-serie e il nuovo stabilimento produttivo dei cilindri.

Dal punto di vista geografico, il Toyota Material Handling Group è diviso in 5 macroaree, come mostrato nell'immagine seguente (figura 1.2).

Toyota Material Handling Group



Figura 1.2 - Suddivisione geografica di Toyota Material Handling

La **L.T.E. Lift Truck Equipment S.p.A.** è una delle 5 aziende situate all'interno dell'area europea. Le altre 4 aziende si trovano negli stabilimenti di:

- *Ancenis*, Francia
- *Milano*, Italia
- *Bologna*, Italia
- *Mjolby*, Svezia

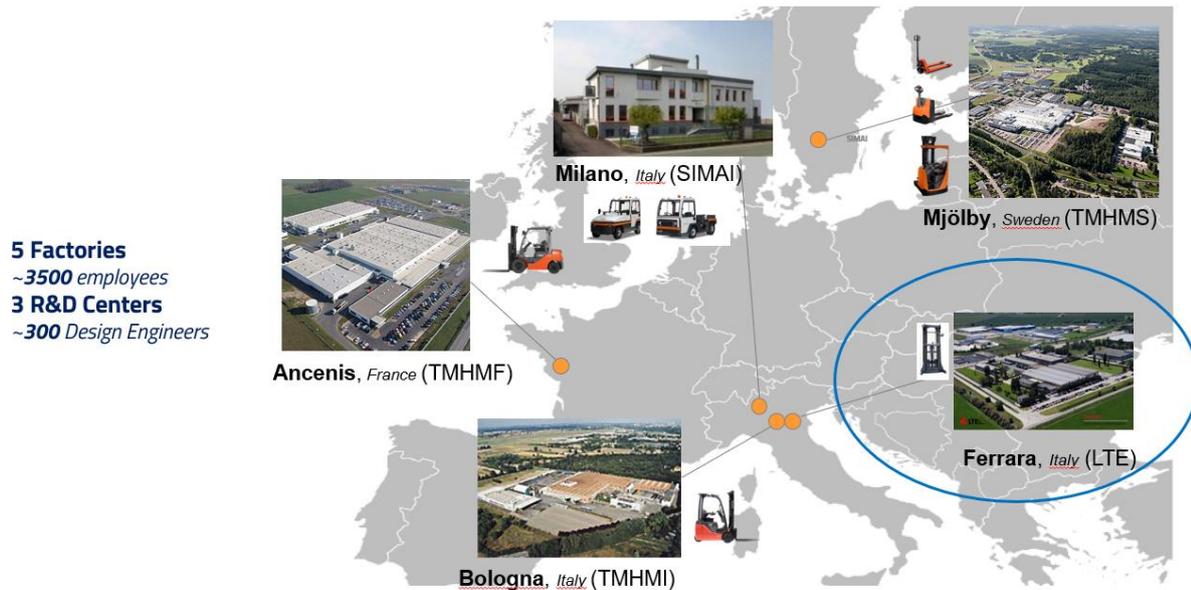


Figura 1.3 - Principali clienti aziendali

Attualmente l'azienda vanta una solida competenza progettuale: il Centro di Ricerca & Sviluppo Prodotto, forte della sua lunga esperienza nel settore e grazie ad avanzati sistemi di progettazione e di calcolo strutturale, è in grado di concepire e sviluppare gruppi di sollevamento ed attrezzature dedicati ai più specifici campi di applicazione in stretta collaborazione con il cliente.

1.1 Prodotti

Come accennato nel paragrafo precedente, l'azienda si dedica alla produzione di gruppi di sollevamento e attrezzature specifici per carrelli elevatori.

1.1.1 Il gruppo di sollevamento

Il gruppo di sollevamento è la struttura telescopica collocata nella parte anteriore di un carrello elevatore ed è la parte che consente l'operatività. La caratteristica principale per cui viene scelto è la capacità di sollevare un determinato carico ad una certa altezza. Il gruppo di sollevamento è costituito da sfili (detti altresì montanti), ovvero da sezioni telescopiche che tramite cilindri idraulici azionati da un impianto idraulico permettono il sollevamento. Gli sfili scorrono gli uni dentro gli altri grazie ad appositi rulli che rotolano nelle piste dei profili.

Il montante è composto da:

- Montante **fisso** (outer mast): è la sezione ancorata al carrello elevatore e contiene gli sfili (intermedio e mobile)
- Montante **intermedio** (middle mast): è la sezione che scorre nel fisso e nella quale scorre il mobile, non è presente per montanti a due sfili (fisso e mobile)
- Montante **mobile** (inner mast): è la sezione più interna, nella quale scorre il carrellino.

Essi vengono classificati in base alla capacità di carico, all'altezza massima raggiunta dalle forche, alla presenza o meno di alzata libera, etc. e possono essere a due stadi (DUPLEX), tre stadi (TRIPLEX) o quattro stadi (QUADRUPLEX), in base al numero di sfili di sollevamento.

1.1.2 Alzata libera

L'alzata libera si riferisce alla quota raggiunta dalle forche prima che lo sfilo del montante inizi ad estendersi oltre l'ingombro minimo. Lo scopo è quello di consentire il sollevamento e lo spostamento del carico in zone con altezze disponibili ridotte. In base alle necessità del cliente, i montanti realizzati da LTE possono essere:

- **con alzata libera totale (ALT):** le forche raggiungono il punto più alto del montante prima che questo inizi a far scorrere gli sfili, (vedi *figura 1.4*);
- **senza alzata libera con visibilità totale (VT):** il montante inizia ad estendersi appena le forche si alzano. Questi tipi di montanti prevedono un'ampia finestra di visuale, (vedi *figura 1.5*).

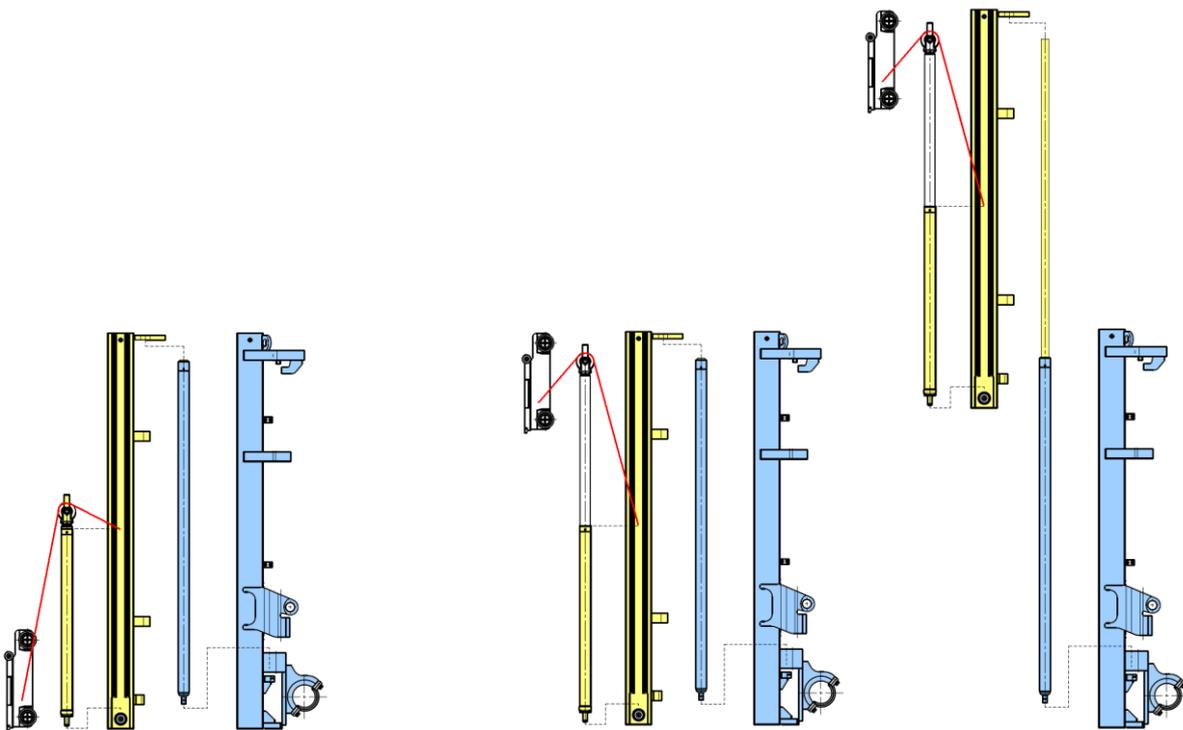


Figura 1.4 - Funzionamento alzata libera totale (ALT)

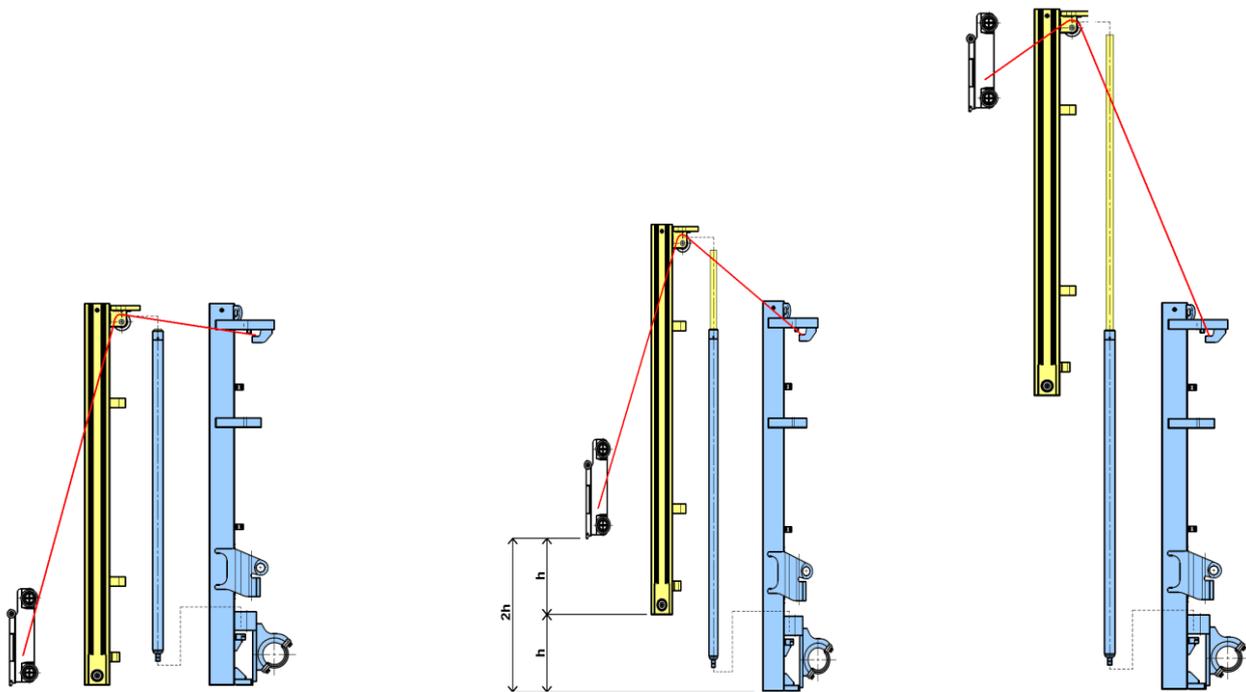


Figura 1.5 - Funzionamento alzata libera con visibilità totale (VT)

1.1.2.1 Montante a due stadi - DUPLEX

Il montante presenta due sezioni: quella più esterna (*montante fisso*) è ancorata al carrello elevatore, quella interna (*montante mobile*) scorre nella prima e si sfilà grazie all'elevazione dei cilindri. Il carrello con forche scorre assieme al mobile (DUPLEX VT).

Per realizzare l'alzata libera vengono montati due cilindri sullo sfilo mobile che hanno il compito di sollevare il carrellino porta forche (DUPLEX ALT).



Figura 1.6.1 - DUPLEX VT



Figura 1.6.2 - DUPLEX ALT

1.1.2.2 Montante a tre stadi - TRIPLEX

Sul carrello elevatore è montata la sezione esterna, all'interno della quale scorre lo sfilo intermedio. Di conseguenza il mobile scorre all'interno dell'intermedio. I cilindri presenti sul montante fisso agiscono direttamente sullo sfilo intermedio tramite un sistema di catene e carrucole sul mobile; la corsa compiuta dal mobile è uguale a quella compiuta dall'intermedio ma rispetto al fisso risulterà doppia. Per realizzare una certa quota di alzata libera è previsto un ulteriore cilindro montato sullo sfilo mobile che ha il compito di azionare il carrellino (TRIPLEX ALT).



Figura 1.7.1 - TRIPLEX VT



Figura 1.7.2 - TRIPLEX ALT

1.1.2.3 Montante a 4 stadi - QUADRUPLEX

La sezione esterna è fissa ed è montata sul carrello elevatore. Sono presenti due sfili intermedi, uno esterno che scorre nel fisso ed uno interno nel quale scorre il mobile. Per primo si eleva il carrellino, a seguire lo sfilo mobile e infine le sezioni intermedie. Questi montanti di solito prevedono l'utilizzo di un cilindro centrale in modo da consentire una certa alzata libera delle forche. I montanti a quattro sfili garantiscono il minor ingombro per una determinata altezza di sollevamento.



Figura 1.8 - QUADRULEX

1.1.3 Carrellini porta forche

Il carrellino è la parte che scorre nello sfilo mobile del montante, su cui sono ancorate le forche. Oltre allo spostamento in verticale per il sollevamento del carico, alcuni carrellini permettono di poter traslare lateralmente in modo da consentire il corretto posizionamento delle forche durante la presa ed il deposito senza il bisogno di spostare il carrello elevatore. Nel caso in cui si volessero sollevare diverse tipologie di pallet (con interassi per la presa del carico differenti) è indispensabile che il carrellino abbia la possibilità di variare la distanza tra le forche.

1.1.3.1 Piastre fisse

Il sistema a piastra fissa non consente la traslazione del carrellino ed è possibile aumentare o diminuire la distanza tra le forche solo manualmente. Infatti, le forche sono agganciate al carrellino attraverso un sistema di fissaggio *hook type*, come mostrato nella figura 1.9.1, che non permette l'apertura e la chiusura delle forche in modo automatico.

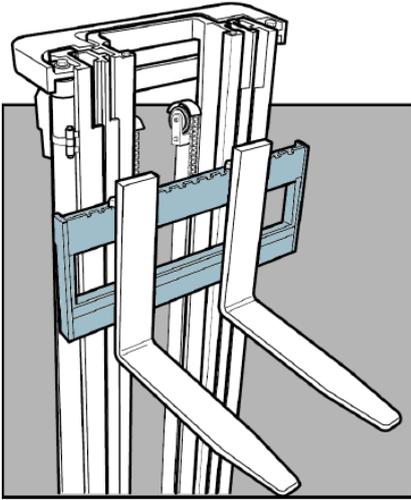


Figura 1.9.1 – Aggancio tramite sistema hook type

1.1.3.2 Piastre con traslatori integrati

Il sistema a piastra con traslatori integrati permette una traslazione orizzontale del carrellino in modo da poter allineare le forche con il pallet nel caso in cui si trovasse in una posizione non allineata al carrello elevatore. Di solito le forche sono del tipo standard hook type e vanno regolate manualmente.

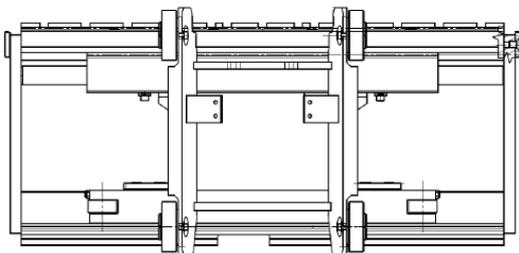


Figura 1.9.2 - Traslatore integrato

1.1.3.3 Piastre con traslo-posizionatori con attacchi FEM

Le piastre con traslo posizionatori prodotte dall'azienda possono essere composte da 2 o 3 cilindri. Le piastre con 2 cilindri permettono il posizionamento dello scartamento delle forche *pin type* tramite pistone e lo spostamento laterale del carico. Quest'ultimo rimane vincolato all'apertura assegnata alle forche, che ne limitano la corsa.

Alcune di queste piastre sono caratterizzate dalla presenza di una traversa centrale:

- Con forche completamente chiuse non si potrà traslare le forche poiché saranno ostacolate nel movimento dal fianchetto della piastra o dalla traversa centrale
- La massima traslazione consentita si avrà nel caso in cui le forche avranno un'apertura pari alla metà di quella massima effettuabile, come mostrato in *figura 1.9.3*.

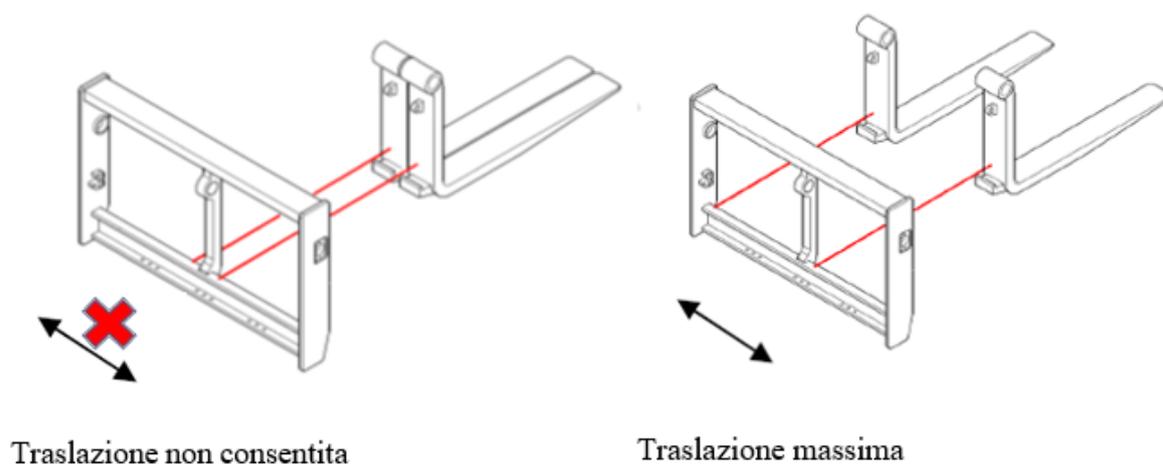


Figura 1.9.3 - Traslazione delle forche

Al contrario, esistono anche alcune piastre che sono prive di traversa centrale:

- Con forche completamente aperte non si potrà effettuare la traslazione
- La massima traslazione consentita si avrà nel caso in cui le forche saranno chiuse, come mostrato in *figura 1.9.4*.

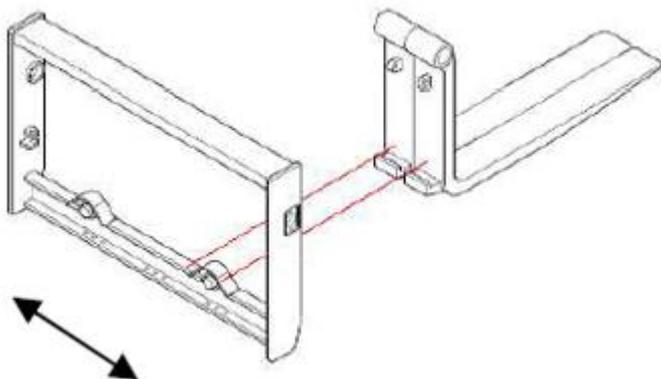


Figura 1.9.4 - Traslazione massima delle forche

Per quanto riguarda invece le piastre con traslo posizionatori composte da 3 cilindri, il movimento laterale del carrello e quello tra le forche è realizzato utilizzando cilindri indipendenti, in modo da non avere un limite sulla corsa laterale del carrellino dovuto allo scartamento delle forche.

1.2 Politica aziendale

Il comportamento adottato da LTE rispecchia la politica aziendale adottata dal Gruppo Toyota, la quale si basa sui principi del *"Toyota Way"*. Vediamo ora di cosa si tratta e alcuni dei temi principali di cui è composta.

1.2.1 I principi del Toyota Way

L'approccio ed i valori che caratterizzano le azioni di LTE si basano sul *"Toyota Way"*, un insieme di principi e comportamenti personali da adottare nel luogo di lavoro, ai quali tutti i dipendenti devono ispirarsi e conformarsi durante il lavoro quotidiano e nel rapporto con gli altri:

- **Il lavoro di squadra**

L'azienda stimola la crescita professionale e personale attraverso la condivisione delle opportunità di sviluppo e la valorizzazione delle performance individuali e di gruppo.

- **Il rispetto**

L'azienda crede nel rispetto delle altre persone quale fondamento per la creazione di un ambiente di lavoro positivo nel quale tutti possano esprimere al meglio le proprie potenzialità.

- **Kaizen**

È un termine composto da due termini giapponesi, "kai" (miglioramento, cambiamento) e "zen" (buono, migliore) e identifica tutte quelle attività mirate al miglioramento continuo. Secondo questo principio, nessun processo produttivo potrà essere definito perfetto, poiché la perfezione è irraggiungibile: sarà quindi sempre possibile migliorarsi.

- **Genchi Genbutsu**

L'azienda pratica il "Genchi Genbutsu", che significa "andare alla fonte", in modo da trovare i presupposti che consentano di prendere decisioni corrette e di raggiungere gli obiettivi aziendali prefissati.

- **La sfida**

L'azienda persegue una visione a lungo termine ed insegna ad affrontare tutte le sfide con impegno, coraggio e creatività.

1.2.2 Mission & Policy

Consapevole dell'importanza di proporre ed attuare un modello aziendale competitivo basato sull'eccellenza nella qualità, L.T.E. Lift Truck Equipment S.p.A. mira a:

- Essere fornitore numero uno per tutti quei clienti che cercano soluzioni per la movimentazione delle merci;
- Creare un clima di fiducia e confidenza con i clienti offrendo prodotti e servizi di qualità in grado di portare valore aggiunto all'interno delle loro attività;
- Essere ampiamente apprezzati non solo per il prodotto e i servizi innovativi che l'azienda offre ma anche per il rispetto per la Società;
- Soddisfare le aspettative e le ambizioni degli stakeholders (dipendenti, collaboratori, clienti, fornitori, associazioni sindacali, istituzioni pubbliche, ecc.).

Inoltre, l'azienda vuole essere partner affidabile di tutti i suoi clienti, ricercare l'eccellenza ed essere un modello di riferimento per il mondo dell'impresa. Per il perseguimento della Mission aziendale, l'azienda ritiene che i lavoratori siano un pilastro fondamentale e che solo attraverso il sostegno e l'impegno di tutti sia possibile raggiungere risultati d'eccellenza. Per questo motivo, essa si pone come obiettivo quello di fornire la formazione necessaria per poter consentire ai propri lavoratori di operare in sicurezza, nel rispetto delle normative ambientali ed in accordo alle specifiche tecniche.

1.2.3 Salute & Sicurezza

La Lift Truck Equipment S.p.A. è consapevole della rilevanza che temi quali la Salute e la Sicurezza hanno nel mondo economico ed imprenditoriale. L'azienda crede in una irrinunciabile protezione di tutte le persone coinvolte quale fattore chiave di competitività e distinzione, ma anche come risultato di un impegno sociale: sono state definite adeguate procedure e standard aziendali a cui tutto il personale deve attenersi con il costante obiettivo di prevenire incidenti, infortuni e malattie professionali. Tutte le attività devono essere indirizzate a soddisfare l'obiettivo di zero infortuni, raggiungibile solo attraverso il coinvolgimento e la responsabilizzazione di tutte le parti, sia quelle interne all'azienda che quelle esterne. Infatti, è di fondamentale importanza sostenere ed incoraggiare la crescita di una *"cultura della sicurezza"* attraverso l'informazione e l'adozione di comportamenti virtuosi.

1.2.4 Politica ambientale

Negli ultimi vent'anni, l'ambiente è diventato un obiettivo centrale per le attività industriali. La salvaguardia e il rispetto per l'ambiente è uno degli obiettivi fondamentali perseguiti da L.T.E. S.p.A., in linea con le politiche di Toyota Material Handling Group, di cui essa fa parte. Essere in grado di garantire il rispetto per l'ambiente ed il territorio in un'area protetta come il Parco del Delta del Po è un impegno imprescindibile per l'azienda: attraverso un'attenta organizzazione industriale, l'azienda si concentra e porta avanti solo le attività produttive che risultano essere compatibili con il territorio e l'ambiente. A riguardo,

l'azienda ha deciso di intraprendere un programma mirato a ridurre le emissioni di CO₂ ed utilizzare sempre più energia proveniente da fonti rinnovabili. Infatti, si è deciso di certificare il Sistema di Gestione Ambientale secondo lo standard UNI EN ISO 14001, che impegna il personale a mantenere e migliorare gli standard sulle emissioni, la gestione dei rifiuti e la scelta delle sostanze utilizzate nel processo produttivo. Tale certificazione è di fondamentale importanza in quanto espressione della maturità raggiunta da una organizzazione che affronta il tema ambientale in modo strutturato e sistematico, con sensibilità e rigore. L'obiettivo è quello di prevenire i rischi grazie a sistemi di monitoraggio e controllo che consentono l'attivazione di interventi tempestivi ed efficaci in caso di necessità. In sintesi, l'azienda rivolge particolare attenzione a:

- Progettare tutte le nuove infrastrutture nel rispetto dei criteri di costruzione ecosostenibile;
- Monitorare costantemente l'utilizzo ed il consumo di risorse focalizzandosi sulla sensibilizzazione del personale verso consumi "responsabili" ed attenzione all'ambiente (green spirit);
- Gestire, preservare e ottimizzare l'utilizzo delle risorse;
- Identificare gli aspetti ambientali significativi delle proprie attività e valutarne gli impatti sull'ambiente;
- Ridurre al minimo la produzione di sostanze inquinanti nell'ambito delle attività direttamente influenzabili secondo criteri di fattibilità e sostenibilità economica;
- Collaborare con i propri fornitori per identificare le opportunità di miglioramento delle loro prestazioni ambientali allo scopo di supportare la crescita;
- Identificare opportunità ed iniziative volte all'efficientamento energetico stimolando a riguardo la cultura, la comunicazione, le idee e le proposte a tutti i livelli aziendali.

Per garantire il rispetto di tali principi, l'azienda attua azioni continue, sistematiche e capillari mirate a progettare prodotti sempre più ecocompatibili. L'applicazione di tecniche Lean ai temi della sostenibilità garantisce un'ottima combinazione di efficienza ed eccellenza dei processi aziendali.

2 Toyota Production System

Il **Toyota Production System** (*TPS* o *Toyotismo*) è un metodo di organizzazione della produzione di origine giapponese, basato sulla logica “*Pull*”, secondo la quale il processo di produzione inizia solamente dopo che il cliente ha effettuato l’ordine di acquisto. Il sistema è considerato l’opposto della produzione di massa (“*Push*”) di Henry Ford, basata sulla realizzazione di una grande quantità di prodotti standardizzati in anticipo rispetto al fabbisogno effettivo dei clienti.

2.1 Le origini del sistema

I primi anni del 1900 rappresentano per il Giappone un periodo di forte crescita economica, soprattutto nel settore alimentare e in quello tessile. Nel 1918, Sakichi Toyoda, noto imprenditore e padre della rivoluzione industriale giapponese, fondò l’azienda tessile Toyoda, grazie all’aiuto del governo giapponese che al tempo promuoveva la nascita delle piccole imprese. È considerato l’inventore del primo telaio a vapore in grado di fermarsi automaticamente una volta rilevata la presenza di un filo spezzato. Questo tipo d’innovazione sta alla base dello *Jidoka*, o *automazione con tocco umano*, uno dei pilastri del TPS di cui parleremo in maniera più approfondita nel paragrafo successivo. Alcuni anni dopo, Sakichi mandò suo figlio Kiichiro presso la Platt Brothers & Co., nota azienda tessile inglese, per negoziare la compravendita del brevetto del telaio automatico. Durante il viaggio in Inghilterra, Kiichiro notò quanto fosse importante spostarsi in macchina per le famiglie londinesi e capì che il veicolo a motore sarebbe stato il futuro del business. Una volta tornato in Giappone, convinse la famiglia a investire tutta la somma ricevuta per la vendita del brevetto nella creazione di un’area all’interno dell’azienda tessile da dedicare interamente alla produzione di veicoli. Nacque così nel 1937 la Toyota Motor Corporation. Kiichiro analizzò il concetto di *Jidoka* del padre e sviluppò una filosofia complementare, basata sul *Just In Time (JIT)*, l’altro pilastro del TPS, di cui parleremo in dettaglio sempre nel paragrafo successivo.

Dopo la Seconda Guerra Mondiale, nelle aziende nasceva sempre più la necessità di produrre veicoli in maniera efficiente. Il giovane cugino di Kiichiro, Ejii, che lavorava anche lui presso la Toyota Motor Corporation, incaricò uno dei giovani ingegneri della sua azienda, Taiichi Ohno, di aumentare la produttività e la performance aziendale. Nel 1953, Ohno si recò in USA per studiare il metodo di produzione di massa basato sull'utilizzo di catene di montaggio fisse, ma fu ispirato e attratto principalmente dal funzionamento dei supermarket americani: lui aveva notato che i clienti prendevano dagli scaffali solo quello di cui avevano bisogno in quel preciso momento e rimase incuriosito dal sistema di rifornimento degli scaffali. Secondo la sua visione, il supermercato era il sistema perfetto di ubicazione del materiale, poiché la quantità di materiale in entrata era sempre la stessa in uscita e il tempo di immagazzinamento del materiale era abbastanza basso. Quando rientrò in Giappone, Ohno sviluppò e perfezionò l'idea: con l'aiuto dei suoi ingegneri iniziò a sperimentare e mettere in pratica tutto quello che aveva visto: nacque così il metodo kanban. Durante il passare degli anni, Ohno cercò sempre di migliorare sempre più il proprio sistema di produzione: il risultato finale ha portato alla definizione del modello di produzione della Toyota, il cosiddetto TPS. Al giorno d'oggi, il sistema di produzione della Toyota viene applicato in diverse realtà aziendali ed è il risultato di una serie di mutamenti e perfezionamenti del metodo di produzione originale di Ohno.

2.2 Il modello del Toyota Production System

Il TPS si basa su un insieme di principi, valori e metodologie raggruppati all'interno del cosiddetto "tempio del TPS", mostrato in figura 2.1.

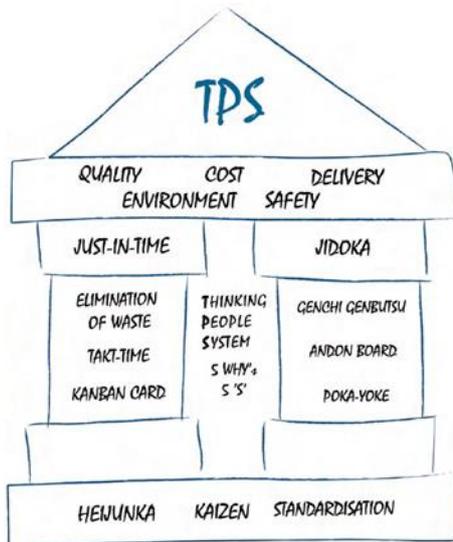


Figura 2.1 - Rappresentazione del tempio del TPS

Alla base del tempio troviamo i tre concetti fondamentali considerati il punto di partenza per poter implementare il TPS in una realtà aziendale:

- Heijunka
- Standardization
- Kaizen

Heijunka

Il termine Heijunka significa "livellamento della produzione" e corrisponde a un metodo di miglioramento, ottimizzazione e bilanciamento del flusso di produzione. L'obiettivo principale è quello di produrre ad un ritmo costante, in modo che ogni operatore nella sua postazione di lavoro abbia più o meno lo stesso carico di lavoro. In questo modo si riduce il sovraccarico dell'operatore (*muri*, in lingua giapponese) e la variabilità o irregolarità del sistema (*mura*, in lingua giapponese).

Standardization

Standardizzare la postazione di lavoro significa organizzare le singole attività svolte dall'operatore e definire tutti gli steps necessari al completamento del processo, oltre ad avere degli standard che catalogano le attività che l'operatore deve fare da quelle che non deve fare, nel rispetto dei vincoli di sicurezza e della qualità del prodotto. Per garantire infatti un alto livello di qualità è opportuno che l'operatore sia a conoscenza di tutte le azioni necessari al completamento dell'attività in modo corretto per poterle ripetere seguendo un metodo prestabilito. La standardizzazione rende il processo più organizzato e le opportunità di miglioramento diventano più evidenti. Taichii Ohno diceva che *"Where there is no standard there can be no kaizen"*, che tradotto significa che non è possibile svolgere attività di kaizen se non sono stati definiti precedentemente degli standards. Ad esempio, un metodo utilizzato per standardizzare la postazione di lavoro è il 5S: è l'acronimo di 5 termini giapponesi che indicano una serie di attività basate sulle tecniche del Visual Management da fare nella propria postazione lavorativa:

- **SEIRI**: separare ciò che serve da ciò che non serve
- **SEITON**: sistemare e organizzare
- **SEISON**: pulire e ispezionare in modo da rendere visibili i problemi
- **SEIKETSU**: standardizzare e rendere visibili questi standard
- **SHITSUKE**: sostenere e rispettare gli standard adottati nel tempo

Un ambiente di lavoro organizzato secondo questo sistema è allineato con i principi Lean e porta ad avere una serie di benefici, come ad esempio la riduzione dello spazio occupato e la riduzione del tempo richiesto dall'operatore nella ricerca dell'utensile da utilizzare.

L'implementazione di questi principi crea una "visual factory" che permette di vedere rapidamente se qualcosa si trova fuori posto. L'obiettivo è quello di consolidare nel personale operativo l'abitudine di mantenere il proprio posto di lavoro pulito e nelle condizioni di massima efficienza e sicurezza.

Kaizen

In molte organizzazioni il processo di cambiamento può essere impegnativo. Si cerca infatti di restare nella propria “*comfort zone*” poiché ci si sente più sicuri e meno esposti ai problemi. Al contrario, in Toyota il cambiamento è uno stile di vita, e ciò avviene grazie al kaizen, termine giapponese che sta ad indicare tutte quelle attività di miglioramento continuo che portano beneficio all’azienda. Per apportare modifiche di miglioramento, è opportuno ricercare la causa radice del problema e della criticità, in modo da risolverla definitivamente ed evitare che si possa presentare una seconda volta. La ricerca della causa radice viene effettuata attraverso l’utilizzo del metodo delle “5W”, una tecnica interrogativa che viene utilizzata per trovare la relazione tra causa ed effetto del problema. Lo scopo primario è quello di risalire alla causa radice grazie alla ripetizione per 5 volte del quesito “Perché?”. In realtà, può accadere che il quesito possa essere ripetuto per un numero maggiore di volte per arrivare alla causa radice.

Oltre ai 3 concetti che stanno alla base del sistema, notiamo che l’intera struttura si poggia su i due pilastri accennati nel paragrafo 2.1, che sono il frutto del lavoro di Sakichi Toyoda e di suo figlio Kiichiro:

- Just in Time
- Jidoka

Just in Time

Il Just in Time (JIT) è insieme di tecniche industriali applicate alla gestione della produzione, delle scorte e della supply chain. È un’espressione che significa letteralmente “appena in tempo”, e sta ad indicare una produzione o una consegna di materiale corretto, nella giusta quantità, al momento giusto e utilizzando le risorse minime indispensabili. In pratica si tratta di coordinare e sincronizzare i tempi di effettiva necessità dei materiali con la loro acquisizione e disponibilità nella stazione di lavoro nella quale essi devono essere utilizzati. Questo sistema riduce al minimo indispensabile l’inventario e previene sia la produzione anticipata che quella posticipata. Produrre in modo JIT espone rapidamente i problemi: con una quantità inferiore di buffer nel sistema produttivo è molto più probabile che il flusso si

interrompa e che vengano a galla le problematiche del processo. Per evitare dei fermi produttivi, la maggior parte delle aziende preferisce infatti avere un'alta quantità di materiale in magazzino, ciò nonostante porti ad una riduzione dello spazio disponibile e rappresenti del capitale fermo ed immobilizzato. Infatti, l'idea del metodo di produzione della Toyota è quella di ridurre sempre più l'inventario per far emergere i problemi dalla linea di produzione e applicare i metodi e gli strumenti di risoluzione. Qualsiasi scorta di materiale, semilavorato o prodotto finale è considerato come materiale in attesa di essere processato, e quindi rappresenta dello spreco. Il tema fondamentale è il valore percepito dal cliente: tutto ciò che non aggiunge valore al prodotto finale, aumentandone la qualità, viene considerato spreco o *muda*¹.

Il TPS identifica 7 tipi di muda:

1. *Trasporto*
2. *Scorte*
3. *Movimento*
4. *Attesa*
5. *Sovrapproduzione*
6. *Processi inutili*
7. *Difetti o rilavorazioni*

Un metodo largamente utilizzato per lavorare Just in Time è ad esempio l'utilizzo dei "kanban system". Il Sistema Kanban consiste in un sistema pull che reintegra le scorte solamente ogni qual volta esse vengono consumate. Si basa sull'utilizzo di cartellini che regolano l'avanzamento del materiale in base al fabbisogno delle fasi successive del processo. Rappresenta un metodo efficiente di reintegro delle scorte poiché riduce la quantità in stock presente a bordo linea e i costi relativi ad essa. Inoltre, rende il flusso di lavoro fluido, continuo e ottimizzato con i cicli di lavoro pianificati.

Inoltre, il Just in Time mira ad una perfetta sincronizzazione tra la domanda del cliente e la produzione aziendale. Per permettere ciò, è stato introdotto il concetto di Takt time.

Il Takt time è il tempo necessario per produrre un singolo prodotto in modo da poter soddisfare la domanda del cliente. Occorre quindi che la produzione sia flessibile ai cambiamenti di domanda del cliente per non generare ritardi nella consegna del prodotto finale. Il Takt time può essere calcolato e variare giornalmente, settimanalmente o mensilmente in base alla fluttuazione della domanda del cliente. Per calcolarlo, si utilizza la seguente formula:

$$Takt\ Time = \frac{t_a}{t_d}$$

dove il t_a rappresenta il tempo disponibile durante l'intervallo di tempo considerato, mentre t_d rappresenta la quantità di prodotti richiesta dal cliente nell'intervallo di tempo. Per il calcolo occorre definire l'orizzonte temporale per il quale si vuole calcolare tale takt time, il volume di vendita previsto nel periodo e il tempo lavorativo a disposizione al netto delle pause programmate. Il risultato rappresenta l'intervallo di tempo stabilito per la produzione di un prodotto e stabilisce quindi il ritmo di produzione. Ad esempio, se l'azienda lavora su due turni da 8 ore (960 min in totale se consideriamo due turni) e la domanda giornaliera è di 96 montanti, significa che ogni 10 minuti l'azienda deve produrre un montante finito.

Jidoka

L'altro pilastro è lo Jidoka, termine giapponese che viene tradotto con "autonomazione". Il significato esatto è da ricercare nella struttura stessa della parola, costituita da tre ideogrammi: "ji", ovvero il lavoratore, colui che è in grado di percepire qualcosa di anomalo nella produzione, "do", ovvero risposta o movimento, e "ka", che equivale al suffisso italiano *-zione*. Il concetto sta ad indicare una particolare tipologia di automazione intelligente dotata di un "tocco umano", orientato a minimizzare le difettosità interagendo con il ciclo produttivo. Lo scopo è quello di rendere i processi autonomi, in grado di prendere decisioni intelligenti e bloccarsi automaticamente al primo segnale di una condizione anomala, come ad esempio la presenza di un difetto qualitativo. Di fronte al sopraggiungere di una difettosità, la macchina dovrà quindi essere in grado di attuare una reazione immediata tale da correggerla efficacemente. Questa azione di arresto dell'attività consente di evitare che il

prodotto difettoso avanzi alla stazione successiva, di prevenire lesioni e di limitare i danni alla macchina. Infatti, è di fondamentale importanza fermare la macchina al primo segnale di problema piuttosto che continuare l'attività produttiva. Il termine Jidoka racchiude inoltre anche un altro significato, che consiste nel separare l'operatore dalla macchina. Infatti, quando le macchine sono capaci di fermarsi automaticamente, non è necessario che l'operatore impieghi del tempo per monitorare e controllare l'attività di produzione. Questo metodo permette di "costruire la Qualità" (build-in quality) ad ogni stadio del processo, riducendo il numero di difetti e le interruzioni del flusso produttivo. L'individuazione e la risoluzione dell'errore nel processo produttivo sono dei concetti affrontati non solamente dallo Jidoka, ma li ritroviamo anche in altri metodi e strumenti utilizzati in azienda, come ad esempio l'Andon Board e il sistema Poka-Yoke. L' Andon Board è un segnale elettronico semplice e visibile che mostra lo stato della linea di produzione. Esso viene utilizzato per comunicare rapidamente al management la stazione della linea produttiva nella quale l'operatore trova difficoltà nel completare la sua attività. Infatti, ogni qualvolta l'operatore rileva una irregolarità del processo o necessita di aiuto, ha la possibilità di fermare temporaneamente la linea fino a quando il problema viene risolto. Invece, il sistema Poka-Yoke, che viene tradotto dal giapponese come "sistema a prova di errore", identifica quei metodi o dispositivi che sono stati progettati e studiati per rendere inesistente la possibilità di compiere un errore. Attraverso questo metodo, l'operatore è impossibilitato a generare errori e difetti durante la lavorazione del pezzo. Nel paragrafo 5.2.2 vedremo un esempio di un sistema Poka-Yoke studiato in LTE per evitare dimenticanze dell'operatore.

Per un'individuazione chiara dell'errore, il TPS suggerisce anche di adottare il "*Genchi Gembutsu*". Il termine definisce un approccio di problem solving che consiste nel recarsi fisicamente nel luogo di lavoro per identificare realmente la natura del problema. Questa parola, sempre di origine giapponese, è stata coniata da Taiichi Ohno e significa letteralmente 'andare alla fonte'. Ohno sottolinea l'importanza del *Gemba*, o "luogo reale": lui portava i giovani ingegneri davanti alla linea produttiva, disegnava un cerchio sul pavimento che delimitava l'area all'interno della quale l'ingegnere poteva muoversi, in modo da visualizzare, capire e "toccare con mano" tutti i problemi che riuscivano a scorgere.

3 Identificazione ed analisi del problema in area assemblaggio

Come abbiamo visto nel capitolo precedente, il trasporto di materiale rientra all'interno di uno dei 7 muda e rappresenta uno spreco economico che dovrebbe essere eliminato o ridotto al minimo. All'interno di LTE, gli operatori di fine ed inizio linea di assemblaggio impiegano del tempo e una grande forza per svolgere un'attività di trasporto manuale. In particolare, l'attività di trasporto consiste nello spingere manualmente un carrello di 500 kg per un tratto di 55m. Vediamo ora in dettaglio l'attività e l'area nella quale essa viene svolta.

3.1 Layout di assemblaggio e focus sull'area critica

Per avere una visione completa del problema relativo al trasporto del carrello, oltre a identificare il luogo e l'area critica, occorre individuare il motivo per il quale l'attività viene svolta dall'operatore ed analizzare il flusso di materiale. Nel nostro caso l'attività di trasporto del carrello viene effettuata in area assemblaggio. L'area, delineata dalla linea rossa in *figura 3.1*, è situata tra l'impianto di verniciatura e l'area di spedizione dei montanti finiti. Una volta terminata la fase di verniciatura, i montanti in uscita vengono caricati sopra un conveyor a rulli necessario a farli scorrere fino all'inizio della linea di assemblaggio. Quest'ultima è composta da 16 stazioni di lavoro disposte nel tratto rettilineo delimitato dai punti ① e ②.

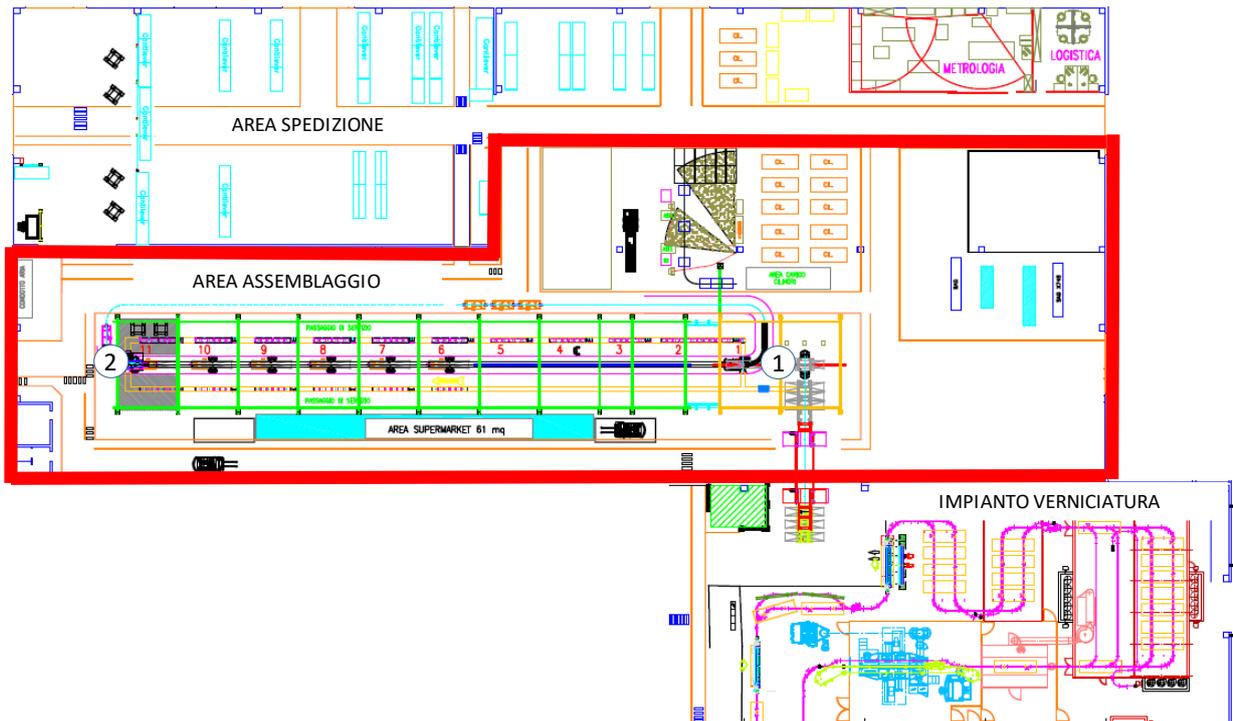


Figura 3.1 - Layot dell'area assemblaggio

Per il trasporto del montante tra le diverse postazioni in linea di assemblaggio viene utilizzato un carrello in ferro mostrato in *figura 3.2*, sul quale viene posizionato il montante verniciato.

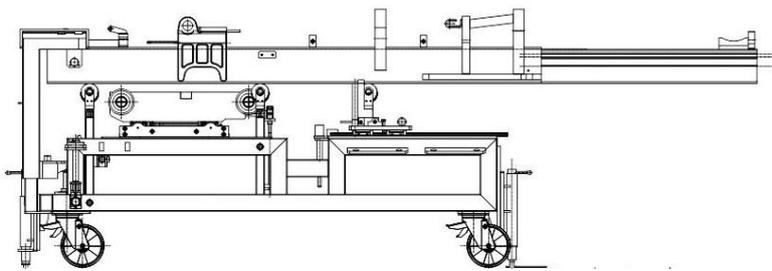


Figura 3.2 - Carrello utilizzato per il trasporto dei montanti

Nella parte posteriore e anteriore del carrello è presente un perno che viene inserito all'interno di una catenaria interrata, che permette la movimentazione del carrello tra le diverse postazioni di lavoro per tutto il tratto rettilineo della linea di assemblaggio. La velocità della catenaria viene regolata attraverso una centralina esterna dove è possibile impostare la velocità di traino in funzione del takt time necessario.



Figura 3.3.1 – Carrello caricato con il montante



Figura 3.3.2 – Carrello vuoto senza montante

Una volta che sono state eseguite tutte le operazioni di assemblaggio, il montante esce dalla linea e viene posizionato su un trespolo per raggiungere l'area di spedizione.



Figura 3.4 – Montante posizionato sul trespolo

Il carrello sul quale era stato posizionato il montante viene quindi liberato, sganciato manualmente dalla catenaria e trasportato dall'operatore ad inizio linea per poter essere riutilizzato.

Questa operazione di trasporto viene svolta sia dall'operatore in L20 (penultima postazione di lavoro) che da quello in L21 (ultima postazione di lavoro). Infatti, le ultime due postazioni di lavoro in linea di assemblaggio sono complementari. Ciò significa che i due operatori svolgono le stesse attività. Per questo motivo il punto di uscita del carrello dalla linea di assemblaggio non è unico: alcune volte infatti il carrello esce dalla postazione di L20 e altre volte da quella di L21. Nella *figura 3.5*, i due punti di uscita del carrello sono identificati dagli esagoni di colore diverso.

- PERCORSO CARRELLO VUOTO
- PERCORSO CARRELLO PIENO
- ▲ PUNTO DI ENTRATA
- ⬡ PUNTO DI USCITA L21
- ⬡ PUNTO DI USCITA L20

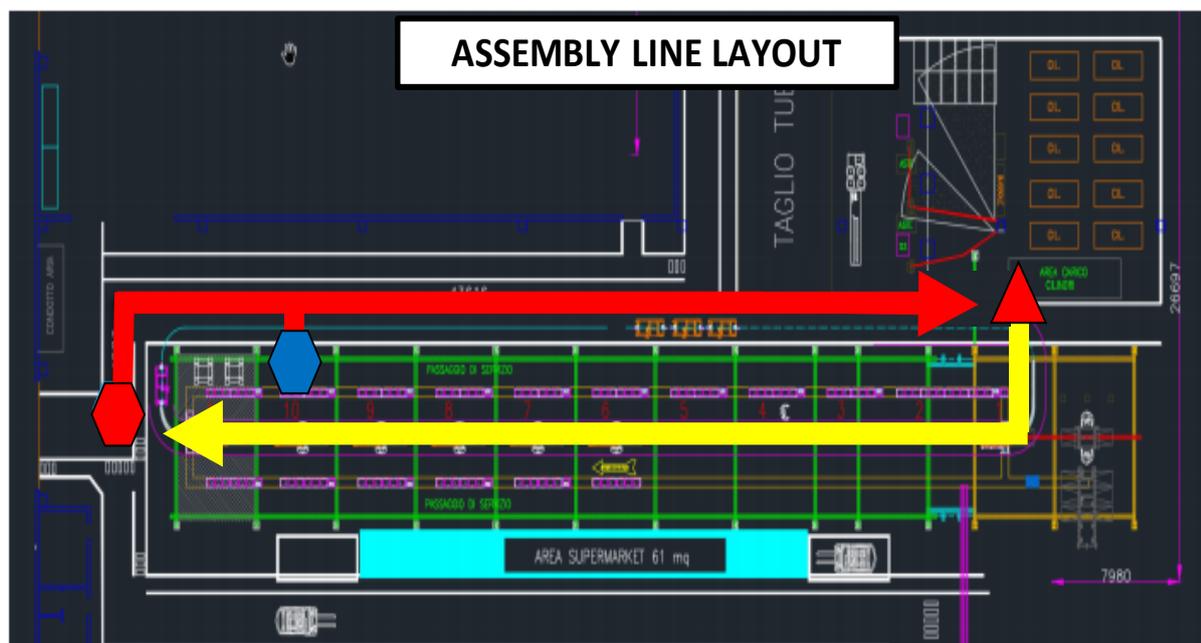


Figura 3.5 – Flusso del carrello utilizzato per il trasporto del montante

Dal punto di uscita, il carrello vuoto viene trasportato dall'operatore fino ad inizio linea di assemblaggio. Il tratto percorso dall'operatore durante il trasporto del carrello è identificato con la linea rossa in *figura 3.5*.

Nell'ultimo tratto del corridoio sono state delimitate tre aree di buffer con della segnaletica orizzontale sul pavimento in modo che il carrello venga rilasciato e posizionato dall'operatore nello stesso punto. Una volta che il carrello è in posizione l'operatore di inizio linea comincia la fase di preparazione del carrello: come prima cosa viene caricato il carrellino porta forche e successivamente i cilindri. Il carrello è così pronto ad entrare nuovamente in linea di assemblaggio dove verrà agganciato alla catenaria e verrà caricato il rispettivo montante verniciato da assemblare. Il percorso compiuto dal carrello è quindi circolare e ad anello chiuso.

3.2 Attività di trasporto del carrello

Una volta che il montante viene posizionato sul trespole per raggiungere l'area spedizione, l'operatore di fine linea spinge il carrello vuoto fino a inizio linea di assemblaggio per poter essere riutilizzato e caricato con un nuovo montante, come abbiamo visto prima. Durante questa attività, l'operatore applica una grande forza per spingere il carrello. Oltre a spingere il carrello in avanti, l'operatore applica delle forze laterali per garantire una traiettoria stabile durante l'intero percorso. Questa instabilità del carrello durante lo spostamento è dovuta alla presenza di quattro ruote pivotanti, necessarie per gestire l'ingresso del carrello ad inizio linea di assemblaggio. Le *figure 3.5.1 e 3.5.2* mostrano come il carrello tende a scodare durante lo spostamento, aumentando lo spazio necessario per la movimentazione e il conseguente rischio di collisione.



Figura 3.5.1 – Trasporto manuale del carrello



Figura 3.5.2 – Trasporto manuale del carrello

Oltre a questo problema di instabilità del carrello, al giorno d'oggi non sono presenti degli standard che regolano l'attività di trasporto, che risulta perciò essere non standardizzata. Capita spesso infatti che l'operatore di fine linea rilasci il carrello a metà percorso piuttosto che spingerlo fine ad inizio linea, e attenda che l'operatore di inizio linea se lo vada a prendere. Altre volte invece è l'operatore di fine linea che posiziona il carrello ad inizio linea e quindi compie l'intera attività di spostamento del carrello. Inoltre, non avendo delle regole fisse per il trasporto del carrello, il punto di applicazione della forza non è sempre lo stesso: alcuni operatori preferiscono spingere il carrello dalla parte posteriore, altri invece si posizionano lateralmente e trainano il carrello, come mostrato nella prima *figura 3.5.1*.

Oltre ad applicare la forza necessaria per spingere il carrello, nel caso in cui fosse presente un ostacolo sul percorso, l'operatore è costretto ad applicare un'ulteriore forza per fermare il moto del carrello ed evitare il tamponamento.

3.2.1 Spreco (muda) di tempo

L'attività di trasporto del carrello vuoto ricade all'interno di quell'insieme di attività di movimentazione di materiale e *walking muda* che rappresentano uno spreco per l'azienda. L'operazione di trasporto si ripete a fine di ogni Takt Time (T.T.= 7:20, dato aggiornato al 05/03/2020) per 60 volte a turno (Shift Target = 60, dato aggiornato al 05/03/2020). Ogni cambiamento del Takt Time di linea assemblaggio genererà una conseguente variazione del numero di volte di trasporto del carrello vuoto. Ad esempio, se a Marzo 2020 sono stati prodotti 124 montanti al giorno, l'attività di trasporto carrello verrà svolta 124 volte al giorno. Se invece a Luglio 2020 sono stati prodotti 96 montanti al giorno, l'attività verrà svolta 96 volte al giorno.

Per identificare tutte quelle azioni svolte dall'operatore che rappresentano dello spreco, occorre analizzare in dettaglio la Yamazumi Chart, nel nostro caso quella relativa alle postazioni di lavoro in linea di assemblaggio.

La Yamazumi Chart (vedi *figura 3.6*) è un istogramma utilizzato dalle aziende che applicano il TPS per mostrare e bilanciare il carico di lavoro di ogni operatore all'interno di una linea composta da diverse postazioni. All'interno del grafico, ogni colonna rappresenta la somma dei tempi delle operazioni elementari svolte dall'operatore di una precisa stazione di lavoro. Queste attività vengono categorizzate in:

- Attività a valore aggiunto (VA)
- Attività a non valore aggiunto (NVA)
- Controllo qualitativo (CQ)
- Spreco (MUDA)

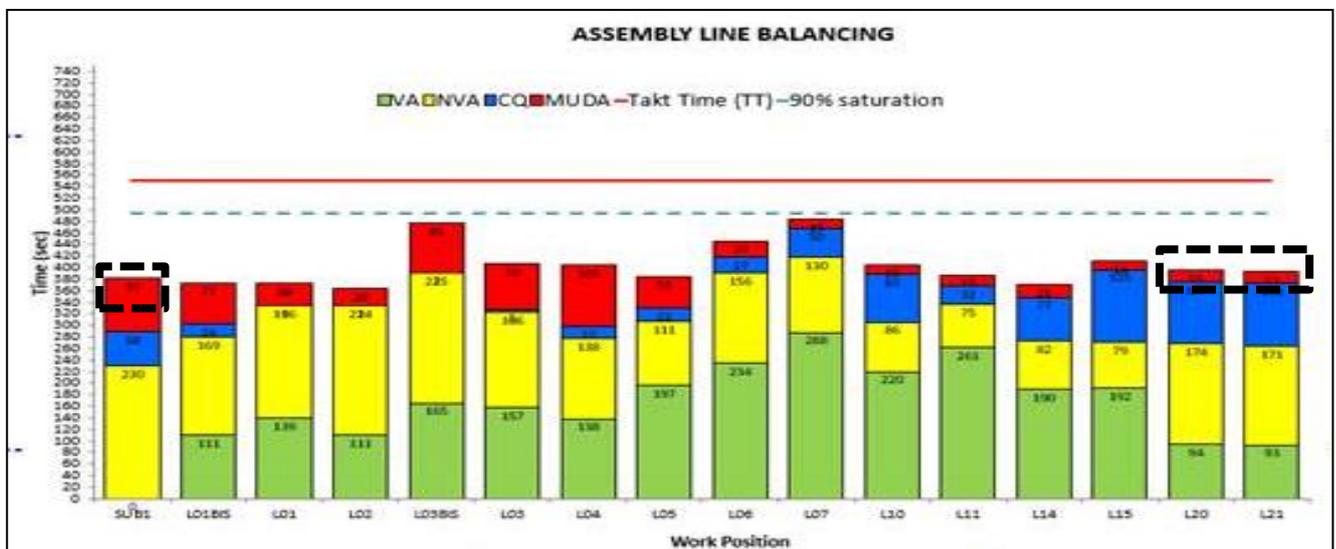


Figura 3.6 – Bilanciamento della linea di assemblaggio

L'operazione di trasporto del carrello ricade all'interno dell'area rossa (muda) dell'operatore di inizio linea in SUB1 e dei due operatori di fine linea in L20 e L21. Se diamo un'occhiata in dettaglio alla lista delle operazioni elementari (Work element sheet, WEL²) svolte dall'operatore di inizio linea di SUB 1 (*figura 3.6.1*) e consideriamo il punto di rilascio del carrello degli operatori a metà percorso tra l'operatore di inizio e quello di fine linea, vediamo che l'operatore impiega circa 45 secondi per ritirare il carrello da fine linea e tornare alla propria postazione di lavoro. Questa attività è stata considerata interamente

² WEL: Work element sheet, è una lista contenente le operazioni elementari di assemblaggio che ogni postazione deve compiere per ogni modello di montante. Ad ogni operazione viene attribuito un tempo attraverso una raccolta dati in reparto ed è la base di partenza per lo studio ed il bilanciamento delle postazioni e la creazione della Yamazumi.

come un'attività di muda. Nella tabella, il tempo necessario per compiere l'operazione è stato incrementato del 10%, in modo da considerare una serie di variabilità dovute all'operatore che potrebbero aumentare il tempo impiegato nello svolgere l'operazione, come ad esempio il coefficiente di affaticamento.

POSTAZIONE	NUMERO PROGRESSIVO PER OGNI POSTAZIONE	CONCATENA POSTAZIONE	OPERAZIONI ELEMENTARI	TEMPO (sec) OPERAZIONE ELEMENTARE	TEMPO TOTALE (sec) (+10%)				
					VA	NVA	CQ	M	
SUB1	.1	SUB1.1	Prelevare cilindri	35	39		32,0		7,0
SUB1	.2	SUB1.2	Portare i cilindri alla postazione	22	24				24,0
SUB1	.3	SUB1.3	Prelevare kit tubi	21	23		17,0		6,0
SUB1	.4	SUB1.4	Prelevare kit catene	13	14		10,0		4,0
SUB1	.5	SUB1.5	Depositare kit su rulliera	4	4		3,0		1,0
SUB1	.6	SUB1.6	Depositare kit tubi	13	14		11,0		3,0
SUB1	.7	SUB1.7	Ritirare cart da metà linea	41	45				45,0
SUB1	.8	SUB1.8	Confrontare la bolla della piastra e caricare la piastra sul cart	60	66		66,0		
SUB1	.9	SUB1.9	Setup cart	10	11		11,0		
SUB1	.10	SUB1.10	Attesa	5	6				6,0
SUB1	.11	SUB1.11	Caricare i cilindri sul cart	10	11		11,0		
SUB1	.12	SUB1.12	Prelevare la bolla	1	1		1,0		
SUB1	.13	SUB1.13	Confrontare la bolla del montante e compilare la Check List	45	50			50,0	
SUB1	.14	SUB1.14	Depositare la Check List	5	6		4,0		2,0
SUB1	.15	SUB1.15			0				
SUB1	.16	SUB1.16			0				

Figura 3.6.1 – Work element sheet della postazione di SUB1

Come abbiamo detto in precedenza, gli operatori delle postazioni di L20 e L21 svolgono le stesse attività e perciò, per una questione di facilità, analizzeremo solamente una lista delle operazioni elementari relativa a una delle due stazioni, che risulta essere uguale all'altra.

L'operatore di fine linea impiega 43 secondi per trasportare il carrello fino a metà corridoio e tornare nella propria postazione di lavoro. Anche qua l'operazione è stata considerata interamente come muda.

POSTAZIONE	NUMERO PROGRESSIVO PER OGNI POSTAZIONE	CONCATENA POSTAZIONE	OPERAZIONI ELEMENTARI	TEMPO (sec) OPERAZIONE ELEMENTARE	TEMPO TOTALE (sec) (+10%)	VA	NVA	CQ	M
L20	.14	L20.14	Prelievo fascette e forbici	3	3				
L20	.15	L20.15	Applicazione fascette e forbici	12	13	13,0			
L20	.16	L20.16	Taglio fascetta	3	3			3,0	
L20	.17	L20.17	Getto scarti e deposito forbici	2	2			2,0	
L20	.18	L20.18	Prelievo grasso nero	2	2			2,0	
L20	.19	L20.19	Applicazione grasso nero a boccole e perni	29	32	32,0			
L20	.20	L20.20	Deposito grasso nero	3	3			3,0	
L20	.21	L20.21	Applicazione montante su pedana	92	101			87,0	14,0
L20	.22	L20.22	Togliere paranco dal montante	14	15			11,0	4,0
L20	.23	L20.23	Controlli richiesti da Check List	22	24			24,0	
L20	.24	L20.24	Segnare montante sul cartellone e scarico bolla sul montante	26	29			29,0	
L20	.25	L20.25	Compilazione Check List	20	22			22,0	
L20	.26	L20.26	Applicazione Book al montante	2	2			2,0	
L20	.27	L20.27	Portare cart fuori linea per flusso di ritorno	39	43				43,0
L20	.28	L20.28	Prelievo seggiolino e avvitatore	7	8			6,0	2,0
L20	.29	L20.29	Prelievo blocchetti	6	7			5,0	2,0
L20	.30	L20.30	Applicazione blocchetti più tensionamento tubi	64	70	70,0			
L20	.31	L20.31	Deposito avvitatore	2	2			2,0	

Figura 3.6.2 – Work element sheet della postazione L20

Essendo a conoscenza del tempo impiegato dagli operatori, possiamo calcolare il tempo totale in ore giornaliere dell'intera attività di trasporto del carrello, utilizzando la seguente formula:

$$\text{Tempo totale trasporto carrello} = \frac{n^{\circ} \text{ montanti al giorno} * \text{durata attività (secondi)}}{3600}$$

Se consideriamo il numero dei montanti pari a 90 al giorno, mentre il tempo impiegato dagli operatori per compiere l'attività in tutte le postazioni pari a (43sec + 45sec) = 88sec, abbiamo che il tempo totale del trasporto del carrello è pari a circa 2,2 ore al giorno.

Se consideriamo che i giorni lavorativi in un anno sono pari a 227, l'attività viene svolta per circa 500 ore in un anno. Se consideriamo invece una distanza di camminamento pari a 110 m (andata e ritorno) e un numero dei montanti prodotti al giorno pari a 90, l'operatore percorre circa 2.247 Km in un anno solamente per trasportare il carrello vuoto ad inizio linea e tornare alla sua postazione di lavoro.

3.2.2 Problema ergonomico e indice traino-spinta

All'interno di una realtà aziendale è necessario valutare e quantificare il rischio al quale l'operatore è esposto durante la giornata lavorativa. L'attività di trasporto del carrello vuoto ricade all'interno della MMC (Movimentazione Manuale dei Carichi), un complesso di operazioni di trasporto o di sostegno di un carico che vengono compiute da uno o più lavoratori. La MMC comprende tutte quelle attività di sollevamento, spinta, tiro e spostamento di un carico che a causa delle condizioni ergonomiche sfavorevoli, comportano rischi di patologie da sovraccarico biomeccanico, in particolare di quelle dorso-lombari.

In linea di principio, la movimentazione manuale dei carichi dovrebbe essere sempre evitata, poiché rappresenta un potenziale pericolo per i lavoratori. Attualmente, risulta essere necessario qualificare e quantificare gli elementi che determinano il rischio in modo da migliorare le condizioni operative legate alle attività da compiere. Ai fini della valutazione dei rischi, per l'attività di trasporto del carrello vuoto è stato utilizzato l'approccio previsto dalla norma ISO 11228, la quale si divide in tre parti in base all'attività svolta dall'operatore:

ISO 11228-1 → relativa al Sollevamento e Trasporto;

ISO 11228-2 → relativa al Traino e Spinta;

ISO 11228-3 → relativa alla Movimentazione dei carichi leggeri ad alta frequenza.

La *figura 3.7* mostra i presupposti per i quali le normative elencate precedentemente risultano essere valide.

<p>1. Applicazione della normativa ISO 11228-1 Sono presenti azioni di sollevamento o trasporto manuale di un oggetto di 3kg o più pesante? NO - questa norma non è specifica, procedere alle prossime Domande Chiave riguardo altre norme. SI - procedere allo <u>Step 2</u>, Valutazione Rapida.</p>
<p>2. Applicazione della normativa ISO 11228-2 Sono presenti azioni di spinta e traino di carichi a due mani, o con tutto il corpo? NO - questa norma non è specifica, procedere alle prossime Domande Chiave riguardo altre norme. SI - procedere allo <u>Step 2</u>, Valutazione Rapida.</p>
<p>3. Applicazione della normativa ISO 11228-3 Sono presenti una o più azioni ripetitive degli arti superiori con una durata totale di 1h o più a turno?</p> <p>Dove la definizione di "azioni ripetitive" è: - compiti caratterizzati da cicli lavorativi ripetuti - compiti durante i quali le stesse azioni lavorative vengono ripetute per più del 50% del tempo NO - questa norma non è specifica, procedere alle prossime Domande Chiave riguardo altre norme. SI - procedere allo <u>Step 2</u>, Valutazione Rapida.</p>

Figura 3.7 – Applicazioni delle diverse normative ISO 11228

Nel nostro caso, l'attività svolta dall'operatore ricade in quelle applicazioni della normativa ISO 11228-2, poiché *"sono presenti azioni di spinta e traino di carichi a due mani o con tutto il corpo"*.

Si procede quindi con lo Step 2, che consiste in una valutazione rapida che mira a identificare la presenza di due condizioni d'esposizione opposte, senza bisogno di calcoli:

- L'assenza di rischio o la presenza di un rischio accettabile;
- La presenza di un rischio importante (o la presenza di inaccettabili fattori di rischio estremamente pericolosi), definita anche condizione critica (codice critico).

Quando persiste una di queste condizioni non è necessario fare una valutazione più dettagliata dei livelli d'esposizione usando le norme corrispondenti. Ad ogni modo, quando non persiste nessuna delle due condizioni estreme, è necessario condurre una valutazione del rischio tramite i metodi delle norme corrispondenti.

Per la valutazione rapida del rischio da lesioni dorso-lombari derivanti da attività di traino e spinta prevista dallo Step 2 della norma ISO/TR 12295, occorre rispondere preliminarmente alle seguenti domande riportate in figura:

Spinta e traino: condizioni dell'ambiente lavorativo
I pavimenti sono scivolosi, instabili? Presentano crepe? Ci sono dislivelli, piccole salite o discese?
Ci sono percorsi ristretti o che limitano i movimenti?
La temperatura è alta?
Caratteristiche dell'oggetto spinto o trainato
L'oggetto (trolley, transpallet, ecc) limita la visuale dell'operatore o ne ostacola i movimenti?
L'oggetto è instabile?
L'oggetto (trolley, transpallet, ecc) ha caratteristiche scomode, lati appuntiti, protuberanze, etc. che possano ferire l'operatore?
Le ruote/rotelle sono usurate, rotte o senza manutenzione?
Le ruote/rotelle non sono adatte alle condizioni di lavoro?
<p>Se è stato risposto "NO" a tutte le domande, continuare la valutazione rapida. Se è stato risposto "SI" ad almeno una domanda, APPLICARE LA NORMA ISO 11228-2 I rischi specifici complementari che ne conseguono DEVONO essere considerati per ridurre al minimo tali rischi.</p>

Figura 3.7.1 Condizioni per l'applicazione della norma ISO 11228-2

La Valutazione Rapida può essere usata per identificare condizioni accettabili o critiche riguardanti traino e spinta. Per stabilire un rischio accettabile fare riferimento alla tabella in figura 3.7.2 (basata sul metodo 1 delle norme ISO 11228-2).

PERICOLO	Entità della forza L'entità della forza non supera approssimativamente 30N (o 50N per una frequenza di una volta ogni 5 min. fino a 5 min.) per sforzi continuativi e prolungati, e approssimativamente 100N per sforzi massimi iniziali. In alternativa, lo sforzo/fatica percepito (ottenuto intervistando i lavoratori sulla base della scala CR-10 di Borg) mostra la presenza, durante i compiti di spinta e traino, di una MINIMA forza esercitata (sforzo percepito) (≤ 2 sulla scala CR-10 di Borg)
PERICOLO	Durata del compito Il/i compito/i che prevede spinta/traino dura fino a 8 ore al giorno?
PERICOLO	Altezza della presa La forza di traino o spinta è applicata all'oggetto tra le anche e la metà del torace
PERICOLO	Postura L'azione di traino o spinta viene eseguita col tronco eretto (non ruotato né piegato)
PERICOLO	Area di movimentazione Le mani sono mantenute dentro l'ampiezza delle spalle e davanti al corpo
	<p>Se a tutte le domande è stato risposto "SI", il compito in questione risulta nell'area verde (ACCETTABILE), non è quindi necessario continuare con la valutazione del rischio. Se è stato risposto "NO" ad almeno una domanda, valutare la mansione secondo le norme ISO 11228-2</p>

Figura 3.7.2 – Presupposti per una condizione accettabile

Se si è in presenza di tutte le condizioni elencate (risposta affermativa nella tabella), il compito in esame è accettabile e non è necessario continuare la valutazione del rischio.

Se almeno una delle condizioni riportate in *figura 3.7.3* si verifica, si è in presenza di una condizione critica riguardante la spinta e/o il traino; un intervento ergonomico risulta urgente.

PERICOLO	Entità della forza
	A) Forze massime iniziali di traino o spinta (per superare lo stato di fermo, oppure per accelerare o decelerare un oggetto): almeno 360N (uomini) o 240N (donne). B) Spinta/traino continuo e prolungato (per mantenere un oggetto in movimento): almeno 250N (uomini) o 150N (donne). In alternativa, lo sforzo/fatica percepito (ottenuto intervistando i lavoratori sulla base della scala CR-10 di Borg) mostra la presenza, durante i compiti di spinta/traino, di picchi di forza (sforzo/fatica percepito) (≥ 8 sulla scala CR-10 di Borg)
PERICOLO	Postura
	L'azione di traino o spinta viene eseguita col tronco ruotato o piegato in maniera significativa
PERICOLO	Esercizio della forza
	Il compito di spinta/traino viene eseguito in maniera irregolare o non controllata
PERICOLO	Area di movimentazione del carico
	Le mani sono al di fuori dell'ampiezza delle spalle oppure non davanti al corpo
PERICOLO	Altezza della presa
	Le mani vengono tenute più in alto di 150 cm o più in basso di 60 cm
PERICOLO	Direzione della forza
	La forza dell'azione di traino o spinta viene maggiorata dai relativi componenti della forza verticale ("sollevamento parziale).
PERICOLO	Durata del compito
	Il/i compito/i che prevede spinta/traino dura fino a 8 ore al giorno?

Figura 3.7.3 – Presupposti per una condizione critica

Qualora dallo Step 2 non si fosse in presenza né di una condizione accettabile né di una critica, si procede con lo Step 3, che consiste su una valutazione del rischio di lesioni dorso-lombari attraverso l'utilizzo delle tavole di Snook & Ciriello. Tale metodo prevede di rilevare alcuni parametri, come ad esempio l'altezza e la posizione del punto di applicazione della forza, la distanza da percorrere, l'intensità della forza impiegata, la frequenza di applicazione e la percentuale di composizione (maschile o femminile) della popolazione lavorativa.

La figura 3.7.4 mostra i valori misurati direttamente in linea di assemblaggio simulando l'attività di trasporto del carrello. Nel nostro caso l'operatore spinge il carrello e per questo sono stati calcolati solamente i valori relativi alla spinta di un carico.

Parametri	Traino	Spinta
Altezza media delle mani (maschi) [cm]	/	110
Frequenza [atti/min] ⁽¹⁾	/	1/8 min
Distanza [m]	/	20
Misure di forza iniziale (F.I.) [kg]	/	11,5
	/	11,0
	/	12,0
	/	13,0
	/	13,5
	/	14,0
	/	18,0
	/	18,5
Forza iniziale media (F.I.) [kg]	/	14,5
Misure di forza di mantenimento (F.M.) [kg]	/	5,0
	/	6,0
	/	5,5
Forza mantenimento media (F.M.) [kg]	/	6,0

Figura 3.7.4 – Parametri dell'attività misurati in azienda

Si definisce a questo punto l'indice di rischio (*IR*), che viene calcolato come rapporto tra la forza reale e la forza ideale:

$$\text{Indice di rischio (IR)} = \frac{\text{Forza reale}}{\text{Forza ideale}} = \frac{F_{reale}}{F_{ideale}}$$

La forza reale (F_{reale}) è il valore della forza applicata dall'operatore nel punto di spinta o traino e si calcola attraverso la seguente formula:

$$\text{Forza reale} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n}$$

Essa rappresenta infatti la media di tutti i valori della forza che vengono misurati con il dinamometro. Più è alto il numero di misurazioni (n) e più sarà preciso il valore della forza reale.

La forza ideale (F_{ideale}) è invece il valore limite della forza massima che l'operatore dovrebbe imprimere nel punto di applicazione della forza, oltre la quale la quale non dovrebbe spingersi. Questo valore limite viene ricavato dalle "Tabelle Psicofisiche" di Snook & Ciriello, le quali forniscono importanti informazioni sulle capacità e limitazioni dei lavoratori riguardanti la movimentazione manuale dei carichi. Nel nostro caso verranno prese in esame solamente le tabelle relative alla spinta a due mani, escludendo le tabelle relative al traino a due mani, poiché l'operatore di fine linea spinge e non traina il carrello fino ad inizio linea.

Il metodo di Snook & Ciriello differenzia l'indice di rischio (IR) in due categorie:

- Indice di rischio per la forza iniziale ($IR F.I.$)
- Indice di rischio per la forza sostenuta o di mantenimento ($IR F.M.$)

Nel nostro caso la forza iniziale è quella forza applicata dall'operatore al carrello fermo che permette di metterlo in movimento, mentre la forza di mantenimento è la forza che l'operatore applica al carrello una volta che è stato già messo in movimento durante tutto il suo tragitto. Ovviamente la forza iniziale sarà sempre maggiore della forza di mantenimento, poiché l'operatore deve vincere la forza di attrito statico per mettere in movimento l'oggetto.

La formula dell'indice di rischio (IR) viene utilizzata per il calcolo di entrambi gli indici di rischio. Tuttavia, nel calcolo della forza reale e ideale degli indici di rischio per forza iniziale e forza di mantenimento, si utilizzano le misurazioni e le tabelle relative rispettivamente alle due situazioni differenti.

Dalla tabella in *figura 3.7.5* è possibile ricavare i dati relativi alla forza iniziale mentre dalla tabella in *figura 3.7.6* quelli relativi alla forza sostenuta o di mantenimento.

Altezza delle mani		Spinta a due mani - Massima forza accettabile iniziale - 90% della popolazione N																
		Frequenza di spinta																
		10/min 0,1667 Hz		5/min 0,0833 Hz		4/min 0,0667 Hz		2,5/min 0,042 Hz		1/min 0,0167 Hz		1/2min 0,0083 Hz		1/5min 0,0033 Hz		1/8h $3,5 \times 10^{-5}$ Hz		
m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	
2 m di distanza di spinta																		
144	135	200	140	220	150					250	170			260	200	310	220	
95	89	210	140	240	150					260	170			280	200	340	220	
64	57	190	110	220	120					240	140			250	160	310	180	
8 m di distanza di spinta																		
144	135					140	150			210	160			220	180	260	200	
95	89					160	140			230	160			250	190	300	210	
64	57					130	110			200	140			210	160	260	170	
15 m di distanza di spinta																		
144	135							160	120	190	140			200	150	250	170	
95	89							180	110	220	140			230	160	280	170	
64	57							150	90	190	120			200	130	240	150	
30 m di distanza di spinta																		
144	135									150	120			190	140	240	170	
95	89									170	120			220	150	270	180	
64	57									140	110			190	120	230	150	
45 m di distanza di spinta																		
144	135									130	120			160	140	200	170	
95	89									140	120			190	150	230	180	
64	57									120	110			160	120	200	150	
60 m di distanza di spinta																		
144	135												120	120	140	130	180	150
95	89												140	120	160	130	200	160
64	57												120	100	140	110	170	130

m maschi.
f femmine.
Per una popolazione lavoratrice interamente maschile, usare i limiti per i maschi, per una popolazione interamente femminile o mista maschile/femminile, usare i limiti per le femmine. Altezze più basse delle mani sono sconsigliate.

Figura 3.7.5 – Tabella della forza di spinta iniziale

Altezza del manico		Spinta a due mani - Massima forza accettabile sostenuta - 90% della popolazione N																	
		Frequenza di spinta																	
cm		10/min 0,1667 Hz		5/min 0,0833 Hz		4/min 0,0667 Hz		2,5/min 0,042 Hz		1/min 0,0167 Hz		1/2min 0,0083 Hz		1/5min 0,0033 Hz		1/8h 3,5 × 10 ⁻⁵ Hz			
m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f	m	f		
2 m di distanza di spinta																			
144	135	100	50	130	80					150	100			180	110	220	140		
95	89	100	50	130	70					160	90			190	100	230	130		
64	57	100	40	130	60					160	80			180	90	230	120		
8 m di distanza di spinta																			
144	135					60	50			130	70			150	80	180	110		
95	89					60	50			130	80			150	90	180	110		
64	57					60	50			120	70			140	80	180	110		
15 m di distanza di spinta																			
144	135							60	40	110	40			130	70	160	90		
95	89							60	40	110	40			130	70	160	100		
64	57							60	40	110	40			120	70	150	90		
30 m di distanza di spinta																			
144	135									60	40			120	60	160	80		
95	89									60	40			120	60	160	90		
64	57									60	40			110	60	150	80		
45 m di distanza di spinta																			
144	135									50	40			100	50	130	80		
95	89									50	40			90	60	130	80		
64	57									50	40			90	50	130	70		
60 m di distanza di spinta																			
144	135													70	30	80	40	110	60
95	89													70	30	80	40	110	60
64	57													70	30	80	40	100	60

m maschi.
f femmine.
Per una popolazione lavoratrice interamente maschile, usare i limiti per i maschi, per una popolazione interamente femminile o mista maschile/femminile, usare i limiti per le femmine. Altezze più basse delle mani sono sconsigliate.

Figura 3.7.6 – Tabella della forza di spinta di mantenimento

Nel nostro caso i parametri misurati durante la simulazione in area assemblaggio (figura 3.7.4) si discostano leggermente da quelli presenti in tabella: risulta perciò essere necessario utilizzare la formula seguente dell'interpolazione lineare per i diversi parametri da confrontare con quelli delle tabelle:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$$

Ad esempio, per quanto riguarda il calcolo dell'altezza delle mani è preferibile utilizzare la formula dell'interpolazione lineare poiché nella tabella sono presenti i valori 144 cm e 95 cm per una popolazione prettamente maschile, mentre il nostro valore misurato è di 110 cm. Allo stesso modo verranno calcolati tutti quei parametri che si discostano dai valori presenti in tabella. Una volta che sono stati trovati i valori della forza reale e di quella ideale, si calcola l'indice di rischio F.I. e l'indice di rischio F.M. Ai fini della classificazione del rischio di lesione complessivo, occorre valutare il valore dell'indice di rischio per le due situazioni differenti, in particolare:

- Se il valore è >1 significa che la forza reale è maggiore della forza iniziale e quindi il rischio non è accettabile e viene classificato come **ROSSO**;
- Se il valore è <1 significa che la forza reale è minore della forza iniziale e quindi il rischio è accettabile e viene classificato come **VERDE**.

Nel nostro caso i valori calcolati dei due indici sintetici di rischio sono entrambi minori di 1, per questo l'attività risulta essere in zona accettabile.

ISR F.I. (maschi)	/	0,69
ISR F.M. (maschi)	/	0,44

Figura 3.7.7 – Indici sintetici di rischio calcolati in azienda

I dati misurati sono gli unici dati che l'azienda ha calcolato per quantificare il rischio al quale gli operatori di inizio e fine linea sono esposti durante l'attività di trasporto del carrello. La simulazione e le relative misurazioni sono state fatte nel 2017 utilizzando un dinamometro applicato sulla parte anteriore del carrello. Dalla simulazione ad oggi sono state fatte delle modifiche al carrello che hanno generato una variazione del suo peso ed è variata anche la distanza di percorrimto. Inoltre, il metodo di Snook & Ciriello non considera la forza laterale applicata al carrello dall'operatore nel gestire la traiettoria instabile durante tutta la durata dello spostamento. Per calcolare tutte le forze impiegate durante lo spostamento

occorre compiere un'analisi più accurata e precisa dell'attività che però risulta essere alquanto onerosa per l'azienda.

4 Analisi delle possibili soluzioni

Per risolvere il problema ergonomico e lo spreco di tempo presente in linea di assemblaggio, il reparto di ingegneria logistica insieme all'ingegneria di processo ha valutato diverse possibili soluzioni:

1. Prolungamento della catenaria dalla posizione di fine linea fino ad inizio linea;
2. Creazione di una guida esterna sul pavimento del corridoio;
3. Implementazione di un sistema AGV;

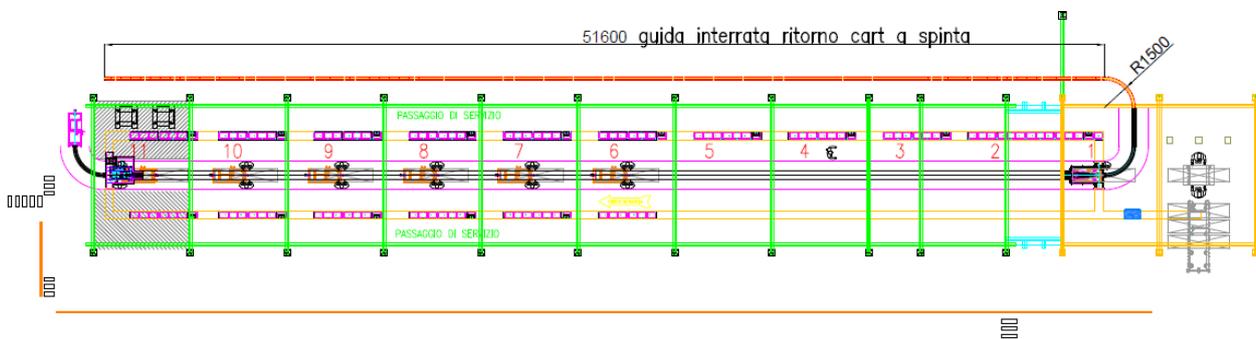


Figura 4 – Layout della linea di assemblaggio

Dall'analisi delle tre soluzioni è emerso che il prolungamento della catenaria comporta un alto costo per la realizzazione dello scasso sul pavimento e durante il trasporto è presente un problema relativo alla sicurezza del trasporto. Infatti, nel caso in cui si volesse compiere il trasporto tramite catenaria senza la presenza dell'operatore per evitare appunto il camminamento, il carrello non sarebbe in grado di arrestarsi autonomamente in caso di presenza di un ostacolo, salvo tramite l'installazione di fotocellule o altri sistemi di sicurezza lungo tutto il corridoio. Ciò rappresenterebbe un rischio elevato per l'azienda. Inoltre, questa soluzione è poco flessibile in caso di modifiche del layout della linea di assemblaggio.

Si è considerata anche l'opzione di creare una guida posizionata sul pavimento del corridoio, ma in questo modo l'attività deve essere sempre svolta dall'operatore e quindi si risolve parzialmente il problema dell'ergonomia ma rimane sempre quello relativo al camminamento.

Per questo motivo, si è deciso che l'opzione migliore da implementare fosse quella di implementare un sistema AGV (Automated Guided Vehicle) in grado di trasportare il carrello vuoto autonomamente senza la presenza dell'operatore.

Un **Automated Guided Vehicle** o **Automatic Guided Vehicle** (AGV) è veicolo a guida autonoma in grado di spostare, muovere e trasportare oggetti all'interno di impianti manifatturieri, magazzini e centri di distribuzione attraverso un software che ne regola la movimentazione, il percorso e le azioni da compiere.

Il primo AGV della storia risale agli anni 50, quando la Barrett Electronics di NorthBrook, Illinois, introdusse nel mercato un camion di rimorchio rudimentale che seguiva un filo sul pavimento anziché una rotaia. Il veicolo era stato studiato per spostarsi autonomamente all'interno di un magazzino di generi alimentari. Con il passare degli anni, le aziende hanno cercato sempre più d'investire in sistemi automatici di trasporto di materiali che aumentassero il livello di automazione, innovazione ed efficienza dei loro processi aziendali.

Al giorno d'oggi, la diffusione di questi sistemi è dovuta ai differenti vantaggi che essi portano all'interno della realtà aziendale: oltre a una diminuzione dei costi e del tempo di movimentazione dei materiali, ad un aumento dell'efficienza del processo e della produttività, l'AGV è in grado di seguire un percorso che può essere modificato tranquillamente in base alle esigenze dell'azienda.

Secondo un rapporto di Grand View Research, Inc, il mercato globale dei veicoli a guida automatica raggiungerà un valore di 9,1 miliardi di dollari entro il 2027, e si prevede che il mercato dei veicoli a guida automatica vedrà un CAGR³ del 14,1% dal 2020 al 2027.

³ CAGR: è il tasso annuo di crescita composto e rappresenta il tasso di crescita di un certo valore in un dato arco di tempo. Il CAGR non è il rendimento effettivo nella realtà. Si tratta di un numero immaginario che descrive la velocità con cui un investimento sarebbe cresciuto se fosse cresciuto ad un tasso costante

4.1 Formazione del team

Per la realizzazione del progetto sull'AGV è stato formato un team di 8 persone. Come di consueto, per ogni progetto viene definito un organigramma per stabilire i legami funzionali e gerarchici tra i diversi componenti del team.

Team

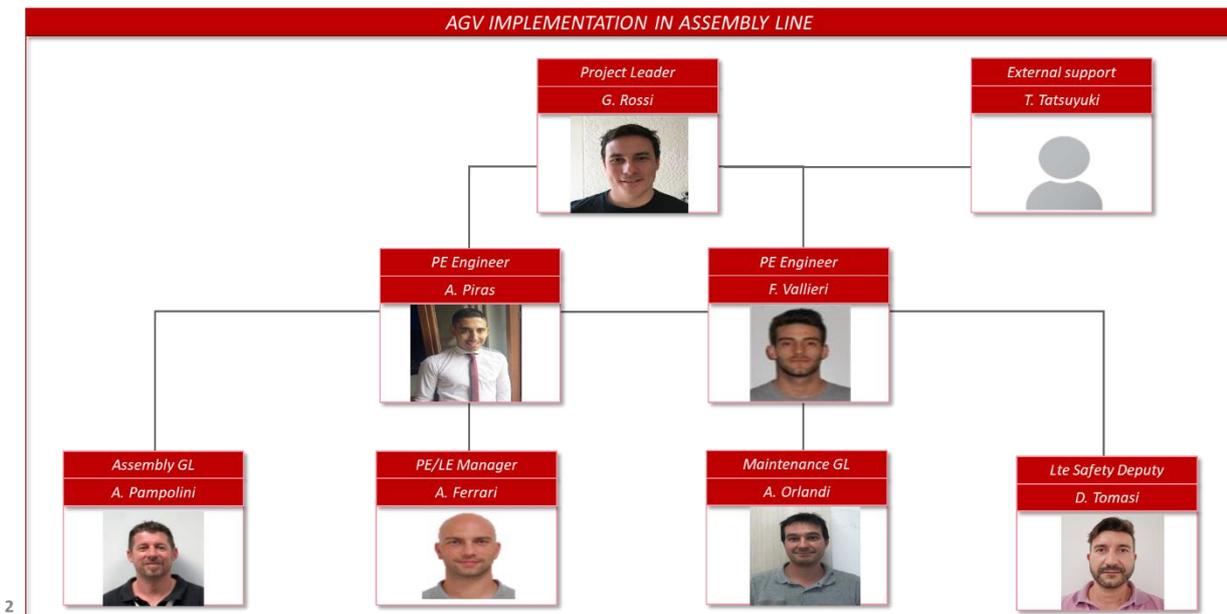


Figura 4.1 – Organigramma del team

La *figura 4.1* mostra i componenti del team designato per la realizzazione del progetto sull'AGV. Il project leader è Giacomo Rossi, Logistic Engineer e responsabile dell'area di assemblaggio. Sono presenti anche due ingegneri di processo, Alessandro Piras e Francesco Valieri. Constatata la complessità del progetto e le diverse aree interessate, sono state inserite all'interno del team anche altre figure come Amedeo Pampolini, Group Leader dell'area di assemblaggio, Andrea Ferrari, Process Engineering & Logistic Engineering Manager, Andrea Orlandi, Group Leader della manutenzione e Daniele Tomasi, responsabile della sicurezza aziendale. Durante tutta la durata del progetto, il team avrà il supporto esterno di Tanahashi Tatsuyuki, Manufacturing Engineer proveniente dallo stabilimento Toyota di Takahama in Giappone.

4.2 Definizione del target

Il progetto sull'AGV è uno dei tanti progetti in corso mirati ad aumentare l'efficienza dell'intera linea di assemblaggio e ridurre quindi il numero degli operatori necessari per l'assemblaggio del montante. L'idea di implementare il sistema nasce principalmente per affrontare i due problemi relativi alle attività dell'operatore di fine e inizio linea, già evidenziati in precedenza. In particolare, il target da raggiungere consiste in:

- Eliminare il muda di camminamento relativo al trasporto dei carrelli vuoti;
- Migliorare l'ergonomia azzerando l'indice sintetico di rischio relativo alla spinta del carrello;

Inoltre, visto il poco spazio disponibile in area assemblaggio e considerata la larghezza limitata del corridoio, si preferisce utilizzare lo stesso spazio utilizzato attualmente durante l'attività di trasporto del carrello.

Sono stati quindi definiti i seguenti KPI per il raggiungimento del target:

KPI	ATTUALE	TARGET
ISR F.I.	0,69	0
ISR F.M.	0,44	0
TC trasporto manuale (sec/montante)	88	0
Spazio (m ²)	110	110

Figura 4.2.1 – Target da raggiungere

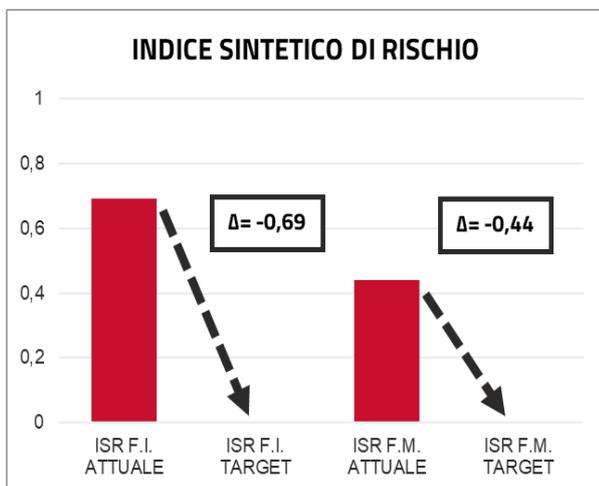


Figura 4.2.2 – Grafico target dell'indice di rischio

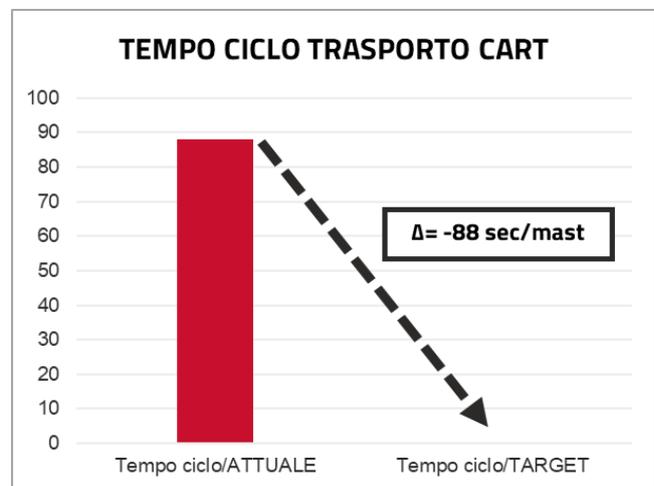


Figura 4.2.3 – Grafico target sul tempo ciclo

4.3 Metodi e tecniche utilizzati per la scelta dell'AGV

Piccole e grandi aziende stanno optando sempre più per sistemi di veicoli a guida automatica e per questo il mercato degli AGV è in costante crescita. I principali produttori di AGV offrono una vasta gamma di prodotti, a partire dai veicoli da rimorchio, trasportatori di carico unitario, veicoli per linee di assemblaggio e carrelli elevatori in grado di soddisfare i diversi requisiti del cliente. Per questo il team ha dovuto svolgere una serie di attività per identificare l'AGV migliore per il processo aziendale.

Il primo step è stato quello di recarsi in area assemblaggio per osservare in dettaglio l'attività del trasporto del carrello vuoto e per elencare tutte le criticità presenti nel processo da considerare nella scelta dell'AGV. Dal primo sopralluogo sono emersi i seguenti fattori da considerare:

- Instabilità del carrello per la presenza di 4 ruote pivotanti;
- Corridoio di attraversamento dell'AGV molto stretto;
- Sicurezza relativa alla visione anteriore e laterale dell'AGV;

Sono stati quindi elencati su un foglio e identificate alcune soluzioni possibili da implementare in una fase successiva per risolvere il problema. La figura 4.3.1 mostra la bozza iniziale creata dal team durante l'osservazione dell'attività in Gemba.

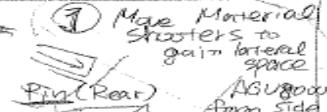
Problem Category	Causes	Solution	OK
1 Low stability (don't go straight)	4WS 	<ol style="list-style-type: none"> ① 2WS  ② 4WS +  ③ 180° rotation @ end of line  	✓
2 Space AGV workout	- Narrow Area @ AGV end point + - kart pin or Rear.	<ol style="list-style-type: none"> ① Make Material Shelters to gain lateral space  ② make up skid kart AGV go out from Rear  	?
3 Safety - Lateral side - Forward			

Figura 4.3.1 – Bozza iniziale sviluppata durante il primo sopralluogo

Come possiamo notare dalla figura 4.3.1, per il problema dell'instabilità del carrello il team ha pensato al bloccaggio delle due ruote posteriori del carrello, di tutte e quattro le ruote oppure alla creazione di uno scavo sul pavimento da poter utilizzare come binario o guida per le ruote del carrello. Come detto in precedenza nel paragrafo 3.2, l'operatore di inizio linea necessita delle quattro ruote pivotanti per gestire l'ingresso del carrello in linea di assemblaggio (vincolo tecnico). Il sistema del bloccaggio delle ruote dovrebbe perciò essere

utilizzato solamente durante l'attività di trasporto del carrello, mentre ad ingresso linea esso dev'essere rimosso per permettere di poterlo ruotare di 180° su sé stesso.

Per quanto riguarda il problema del corridoio ristretto si è pensato alla rimozione di materiale presente sulla parte laterale del corridoio attraverso una leggera modifica del layout.

Invece, per compiere una movimentazione in sicurezza, si preferisce la scelta di un AGV dotato di un sensore in grado di avvertire la presenza di un ostacolo, in modo tale che il carrello possa evitare collisioni durante il suo trasporto.

Durante questa fase di analisi, il team ha ricevuto del materiale dallo stabilimento di Takahama utile per la scelta dell'AGV. Per esempio, la *figura 4.3.2* mostra uno studio condotto in Giappone che mette in confronto quattro possibili tipi di AGV.

AGV selection

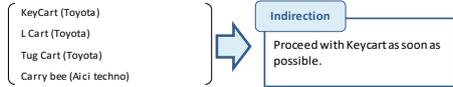
1.Result

Adopt "Toyota L & F AGV(Keycart)"

2.Background

Make comparison table

Select 4 candidates with comparisontable.



3.Selection Contents

1) KeyPoint

(1) Simplify

To be simple, simplify the way of loading/unloading components

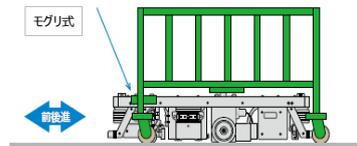
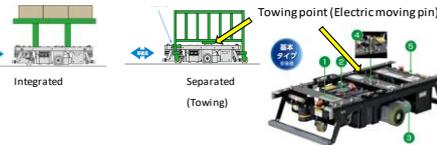
Conventional loading/unloading with conveyer on AGV
 Suggestion Not set conveyer on AGV



(2) Ease of maintenance

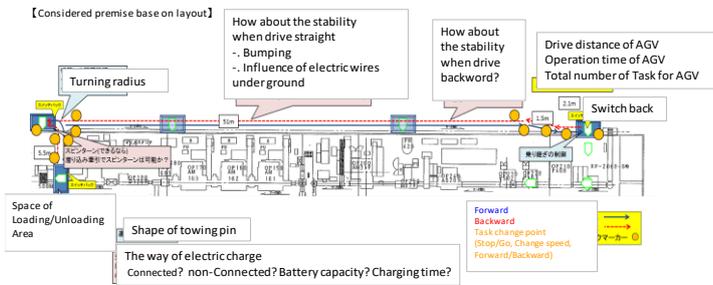
When AGV has trouble, easy maintenance is required.

Conventional Mount part is integrated with cart
 Suggestion Mount part is separated with cart
 -> towing style



2) Premise

【Considered premise base on layout】



【Premise】

- Switch back (Go forward and backward)
- Cart width under 760mm
- Towing capacity over 200kg
- Driving speed changeable (Changing point : 10)
- MAX speed over 40m/min
- Separated towing is available (Ex. Electric moving pin)

3) Compare

Manufacture	L&F			Aici Techno
	Keycart	L Cart	Tug cart	Carry bee
Switch back	○	×	×	○
Width 760mm	○	○	○	○
Towing Cap. 200kg	○	○	○	○
Speed changeable	○	×	○	○
Max speed 40m/min	○	○	○	○
Towing in bottom seide	○	○	×	×

【Result of compare】 Key cart is the best sollution

4. Merit and Demerit of Keycart (Grasp some problems beforehand)

【Merit】

- Already installed in other process ⇒ Stored knowhow, Common spare parts
- Evaluation with spare AGV is possible ⇒ Reduction of the initial trouble

【Demerit】(Challenge items)

- In case of towing in bottom side, towing capacity is reduced (50 kg on catalog)
- Concerning about stability of going straight
- Battery capacity is not so much -> Times of electric charge will increase

Sollution, Countermeasure has to be considered.

Figura 4.3.2 – Confronto tra 4 tipi di AGV condotto nello stabilimento Toyota di Takahama in Giappone

È stata quindi creata una matrice all'interno della quale sono state elencate ulteriori criticità emerse durante i successivi sopralluoghi e tutti i punti da considerare ogniqualvolta si desiderasse inserire un sistema AGV, come ad esempio il peso del carrello da movimentare, le caratteristiche della batteria e il dispositivo di aggancio.

Category	Item	Problems/Points to take in consideration	Priority	Check	Possible solutions	Approach and activities to do
① System Overview	AGV	Weight	x	→	<input type="checkbox"/> load towing at least 550 kg (500 kg cart weight + 10%)	<input type="checkbox"/> Direct the choice using the AGV benchmarking sheet <input type="checkbox"/> Scout a possible supplier and share all the information with him <input type="checkbox"/> Gather information at Gemba to realize actual ideal method <input type="checkbox"/> Rent an AGV to test it in Gemba during the next setps <input type="checkbox"/> Discuss with Safety department and manufacturing department <input type="checkbox"/> Create the ideal condition <input type="checkbox"/> Define rules and a plan of maintenance
		Battery Capacity	x	→	<input type="checkbox"/> At least 8 hours	
		Recharge Battery		→	<input type="checkbox"/> Opportunity charging (Biberonaggio)	
				→	<input type="checkbox"/> Manual battery exchange	
		Direction		→	<input type="checkbox"/> Automatic battery exchange	
				→	<input type="checkbox"/> Unidirection	
		How to hook device AGV-cart		→	<input type="checkbox"/> Bidirection	
				→	<input type="checkbox"/> Automatic	
	Brand		→	<input type="checkbox"/> Manual		
			→	<input type="checkbox"/> Toyota		
Budget		→	<input type="checkbox"/> External supplier <input type="checkbox"/> (Depends on the company availability)			
Cart	Handling		→	<input type="checkbox"/> Study of AGV position in relation to the cart <input type="checkbox"/> Push the cart / Pull the cart / Load up the cart		
			→	<input type="checkbox"/> Lock direction 2 wheels		
	Instability (don't go straight)		x	→	<input type="checkbox"/> Lock direction 4 wheels + creation internal guide	
			→	<input type="checkbox"/> Lock direction 4 wheels + creation external guide <input type="checkbox"/> Chain system		
Route (Layout)	Corner	x	→	<input type="checkbox"/> In case of not straight route create soft and not 90 °curves		
② Safety	Collision	How to isolate?	x	→	<input type="checkbox"/> Creation of dedicated area (speed limit MAX 0,8 m/sec) <input type="checkbox"/> Change the floor color to indicate AGV route	
		How to avoid?	x	→	<input type="checkbox"/> Bumper <input type="checkbox"/> Laser scanner	
③ Maintenance	Sensor can not interpret the TAG	Sensor too far from the floor		→	<input type="checkbox"/> Move sensor closer to the floor	
		Dirty sensor		→	<input type="checkbox"/> Clean the sensor	
		Worn out magnetic stripe		→	<input type="checkbox"/> Place a protective layer <input type="checkbox"/> Define control and maintenance rules (1day-1wk)	
	Smooth floor	Dirty floor		→	<input type="checkbox"/> Ordinary cleaning	
		Low grip to move on		→	<input type="checkbox"/> In case change the paint of the floor with grainy material	

Figura 4.3.3 – Matrice standard dei punti critici

Ad esempio, nel nostro caso l'AGV deve essere in grado di trasportare un carico di almeno 550 kg (500 kg peso carrello + 10% margine di sicurezza) e la batteria deve garantire un funzionamento minimo di 8 ore (un turno lavorativo).

Vista la numerosità degli AGV sul mercato e le loro caratteristiche, il team ha preferito considerare solamente gli AGV utilizzati fino ad allora nei diversi stabilimenti Toyota, per evitare di compiere un'analisi di mercato da zero. Questa scelta evita inutili sprechi di tempo ed energia e in Toyota rientra all'interno del concetto di *Yokoten*⁴.

⁴ Yokoten: è un termine giapponese traducibile come "sviluppo orizzontale" e consiste nella condivisione della soluzione al problema in modo da poter essere applicata e replicata anche in stabilimenti nei quali è presente lo stesso tipo di problema.

Tutti questi AGV sono presenti ed elencati all'interno dell'AGV Benchmarking sheet, un catalogo mostrato in *figura 4.3* che l'azienda mette a disposizione dei propri dipendenti ogniqualvolta si volesse implementare un sistema AGV. All'interno del catalogo sono riportate alcune informazioni utili su ciascun AGV, come ad esempio la tecnologia di guida, il brand, la velocità minima e massima durante il trasporto, il tipo di carico da movimentare etc.

Una volta definiti tutti i punti critici, abbiamo applicato tutte le restrizioni e i vincoli da rispettare sulla tabella del Benchmarking sheet per individuare il miglior AGV per il nostro processo.

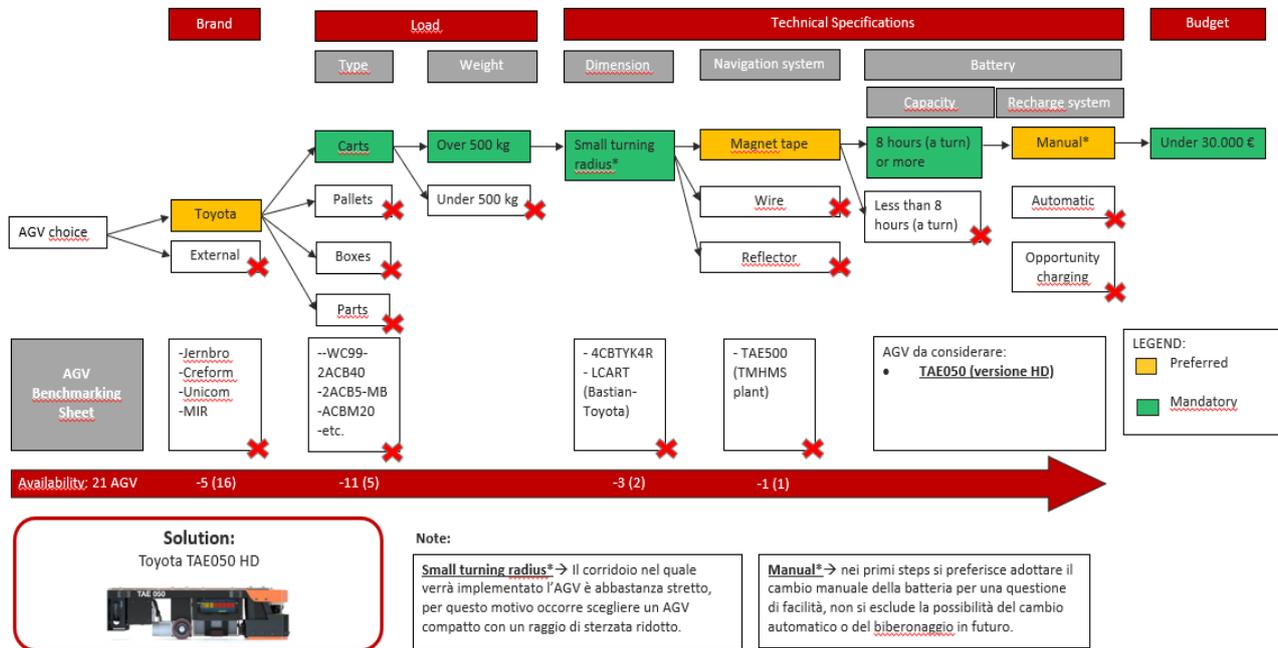


Figura 4.4 – Diagramma ad albero sulla scelta dell'AGV

Il team è partito con l'analisi di tutti i 21 AGV presenti all'interno del documento e in base ai vincoli del processo e alle necessità aziendali ha applicato dei filtri in modo da trovare il miglior AGV. Sono stati applicate delle restrizioni su:

- **Brand:** per policy aziendale, si preferisce la scelta di un AGV prodotto dal Gruppo Toyota piuttosto che da un esterno. Sono stati scartati quindi cinque tipi di AGV prodotti da aziende quali Jembro, Creform, Unicom e MIR.
- **Carico:** il sistema AGV dev'essere in grado di movimentare carrelli di almeno 500 kg. Con questa restrizione sono stati scartati tutti gli AGV progettati per lo spostamento di pallets, scatole e componenti.

- **Specifiche tecniche:** considerate le dimensioni ristrette del corridoio, il team ha valutato solamente gli AGV di dimensioni ridotte in grado di poter fare manovra e muoversi in totale sicurezza su quella determinata area.

Inoltre, per questioni di semplicità si preferisce l'utilizzo di AGV a banda magnetica piuttosto che quelli a filo o a riflettori. Oltre a questioni di facilità, la scelta della banda magnetica risulta essere meno costosa rispetto al resto dei sistemi di navigazione.

Per quanto riguarda la batteria, essa deve garantire un funzionamento di almeno 8h, pari alla durata di almeno un turno lavorativo. Invece, per il metodo di ricarica della batteria, il team ha preferito utilizzare nel primo periodo il cambio manuale. Non ha escluso comunque la possibilità di implementare un sistema di ricarica della batteria in modo automatico oppure di adottare un sistema di biberonaggio.

- **Budget:** il costo totale del sistema deve rientrare all'interno di 50.000€, cifra designata dal management per la realizzazione del progetto.

Una volta applicati tutti i filtri, il team è arrivato alla scelta dell'AGV più idoneo per il processo e che risponde maggiormente alle esigenze aziendali: il TAE050 versione HD.

4.4 Il TAE 050 versione HD

Il TAE 050 versione HD è un Automated Guided Vehicle prodotto dal Gruppo Toyota progettato per la movimentazione di carichi in ambienti chiusi. Questo sistema di automazione va a supporto della filosofia snella o Lean Production, poiché ottimizza i processi aziendali, aumenta la produttività e riduce i costi. Uno dei suoi principali vantaggi, oltre al costo ridotto, è la semplicità d'installazione.



Figura 4.5 – Il TAE 050 HD

4.4.1 Tecnologia di guida

Il TAE 050 versione HD utilizza una tecnologia di guida basata su dei nastri magnetici. Il veicolo infatti segue una banda magnetica che viene posizionata sul pavimento. Al suo avvio, la macchina è in grado di rilevare la presenza o meno del nastro grazie a un sensore di marcia situato nella parte inferiore del veicolo. Esso attiva l'unità di sterzo e i motori affinché la sua parte centrale si trovi sempre sopra l'asse longitudinale della banda magnetica. L'AGV dispone di una funzione di ricerca automatica che inizia a cercare la banda magnetica dopo che il veicolo è stato avviato con il comando di avvio o start. Se il sensore di marcia non rileva la banda magnetica, l'AGV si sposta lateralmente varie volte senza procedere in avanti. Se invece il sensore di marcia rileva la banda magnetica, l'AGV si sposta in avanti e inizia a compiere il percorso.

Accanto al nastro magnetico vengono posizionati dei marker o "tag" magnetici (100 x 50 mm) utilizzati per trasmettere i diversi comandi al veicolo. Questi marker sono dei magneti rettangolari di colore verde che vengono numerati con multipli di 10, partendo dal primo che per comodità viene posizionato sul punto di partenza del percorso, come mostra la *figura 4.5.1*.

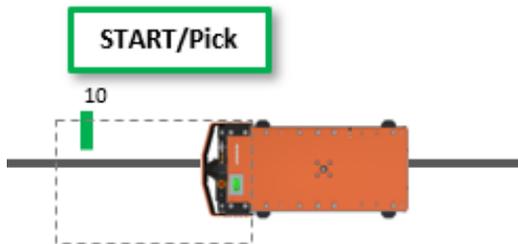


Figura 4.5.1 – Posizione del marker nell'area di partenza

Il fatto di numerare i marker con multipli di 10 è stata una scelta interna in modo da poter inserire eventuali markers aggiuntivi successivamente senza modificare completamente il resto dei markers.

A seconda dell'operazione e delle esigenze, i comandi possono variare da alta o bassa velocità, arresto o ripartenza, a compiti più complessi e avanzati.

Il TAE 050 versione HD è in grado di compiere fino a 100 percorsi, chiamati TASKs, che possono essere modificati a piacimento dal cliente in base alle proprie necessità.

4.4.2 Caratteristiche tecniche

Il TAE 050 HD ha una struttura molto compatta e di dimensioni ridotte rispetto alla maggior parte degli AGV presenti sul mercato. Il veicolo ha una lunghezza di 1167 mm, una larghezza di 551 mm ed è alto 316 mm, come mostrato in *figura 4.5.2*.

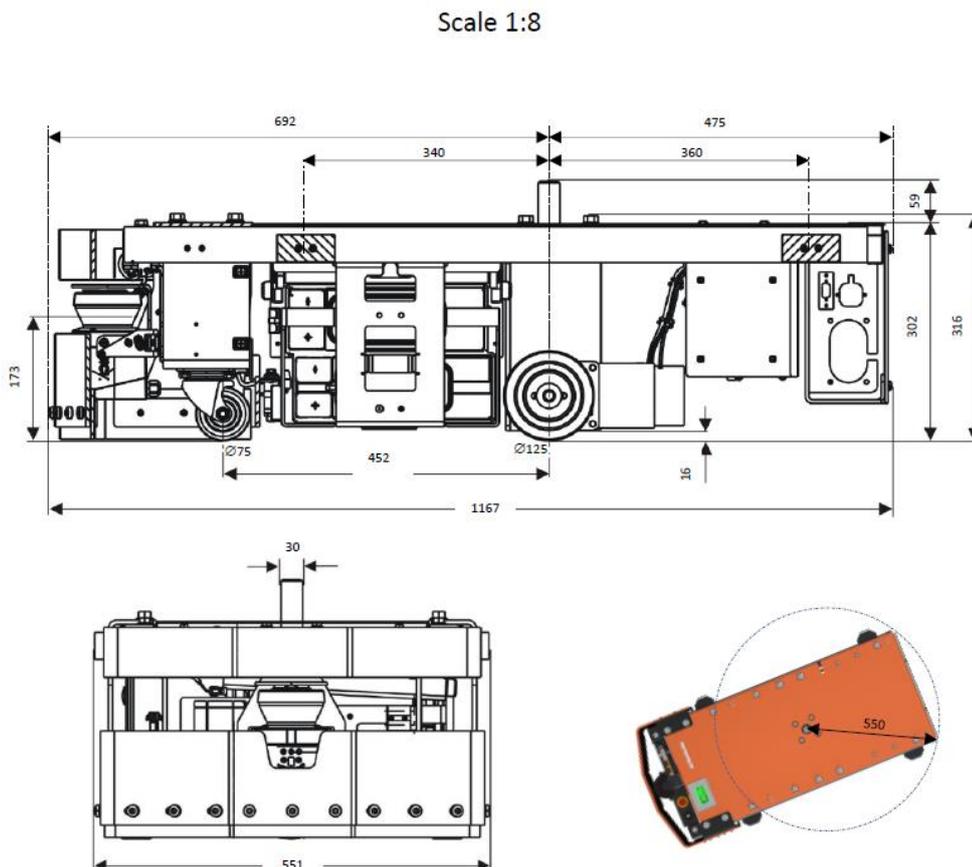


Figura 4.5.2 – Dimensioni del TAE 050 HD

Il veicolo pesa 144 kg compreso di batterie ed è in grado di movimentare fino a 750kg di carico in traino. Ha una ruota pivotante posizionata sulla parte anteriore e due ruote di trazione poste ai lati azionate singolarmente da un motore provvisto di riduttori ed è provvisto di un freno a molla installato su ogni ruota. L'unità di trazione comanda le ruote destra e sinistra con due motori indipendenti. L'azione sterzante è ottenuta variando la velocità dei motori. Il veicolo è dotato di un perno elettrico posizionato sulla parte superiore (vedi *figura 4.5.3*) che si abbassa e si alza per permettere le fasi di sgancio e aggancio del carrello. Infatti, vista l'altezza ridotta del veicolo, esso è in grado di passare al di sotto del carrello da trainare, attivare il pin elettrico e ripartire. Per consentire la fase di aggancio, sul

carrello deve essere fissata una boccola all'interno della quale poter inserire il perno. Durante la fase di sgancio del carrello, l'AGV si ferma su una determinata area e abbassa il pin elettrico, proseguendo la corsa in avanti.



Figura 4.5.3 – Perno elettrico del veicolo

Il TAE050 HD è disponibile anche con carrelli in alluminio Toyota adattabili a tutti i carichi. Per carichi leggeri fino a 140 kg, sono disponibili degli scaffali imbullonati che sostengono il carico (figura 4.5.4). Per carichi più pesanti, la macchina può venire abbinata a un carrello di dimensioni Euro pallet regolabile per rimorchiare il piano di carico (figura 4.5.5).



Figura 4.5.4 Scaffali imbullonati sul veicolo



Figura 4.5.5 Carrello regolabile

4.4.2.1 Batteria e sistema di ricarica

Il veicolo è alimentato da due batterie XFC 24V/64Ah piombo/acido con regolazione a valvola e ricombinazione dei gas (64 Ah/C20). L'elettrolita viene assorbito in un tappetino in fibra di vetro, che riduce il rischio di versamenti durante l'uso. Questo tipo di batterie non necessita di alcun rabbocco con acqua (distillata/demineralizzata). Per questo motivo, esse possono essere ricaricate anche in ambienti chiusi, poiché l'emissione dei gas è talmente minima da non considerarsi come innesco per un possibile incendio. Questo metodo di ricarica è comodo e semplice in quanto verrà definita una stazione di ricarica interna alla linea di assemblaggio dove l'AGV potrà essere ricaricato. Il team ha pensato di creare un percorso da far compiere all'AGV per raggiungere la postazione di ricarica nel caso in cui il livello della batteria fosse basso. L'attività di ricarica della batteria avviene attraverso un caricatore integrato sulla parte posteriore della macchina.

Le batterie raggiungono la carica completa dopo tre cicli di carica e scarica. Esse sono studiate per essere caricate con alta tensione durante le pause di lavoro. Infatti, il tempo di raggiungimento della piena carica è di circa 1-2 ore. Per questo motivo è possibile implementare un sistema di ricarica a biberonaggio, di cui parleremo nel paragrafo 5.3.2, senza dover necessariamente sostituire le batterie. Nel nostro caso, il team ha valutato che ricaricando le batterie durante le pause e a fine turno riusciamo a garantire la copertura dei 2 turni di lavoro.

Nel caso di utilizzo frequente del carrello e di maggiore sforzo nel traino, si preferisce utilizzare un sistema di cambio batteria. L'operatore dovrà quindi sostituire la batteria scarica con una carica. L'AGV utilizzerà perciò la batteria carica precedentemente sostituita per poter funzionare durante il turno successivo. Questa situazione potrebbe accadere nel caso in cui si decidesse di allungare in futuro il percorso della macchina.

Secondo quanto comunicato dal fornitore dell'AGV, le due batterie montate sul veicolo garantiscono un funzionamento dalle 8 alle 16 ore in base al peso del traino trasportato e anche alla numerosità dei tratti del percorso nei quali l'AGV viaggia con o senza traino. In LTE è stata testata la durata delle due batterie nel percorso definitivo svolto dall'AGV ed

esso è in grado di coprire tutti e due i turni lavorativi, e quindi l'intera giornata di 16 ore. L'operatore di fine linea verrà incaricato di collegare l'AGV alla stazione di ricarica a fine turno, in modo che la batteria venga ricaricata correttamente e sia pronta per il giorno successivo.

4.4.2.2 Sistemi di sicurezza

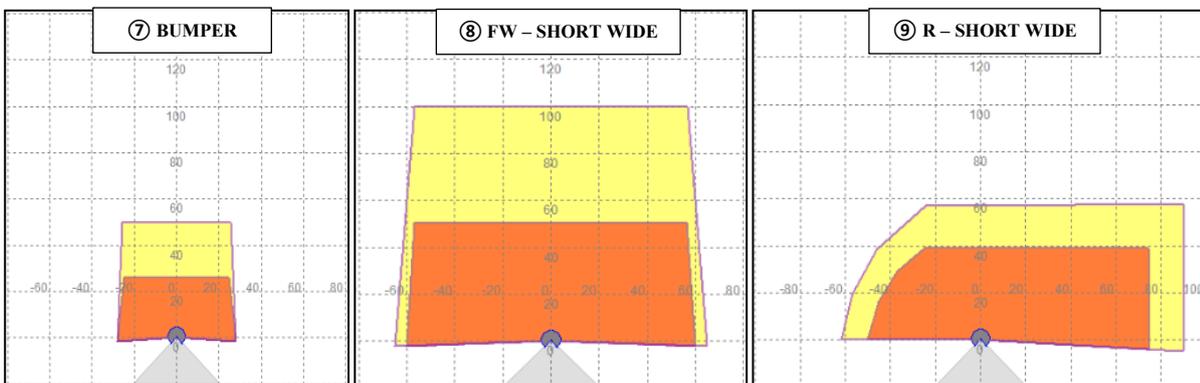
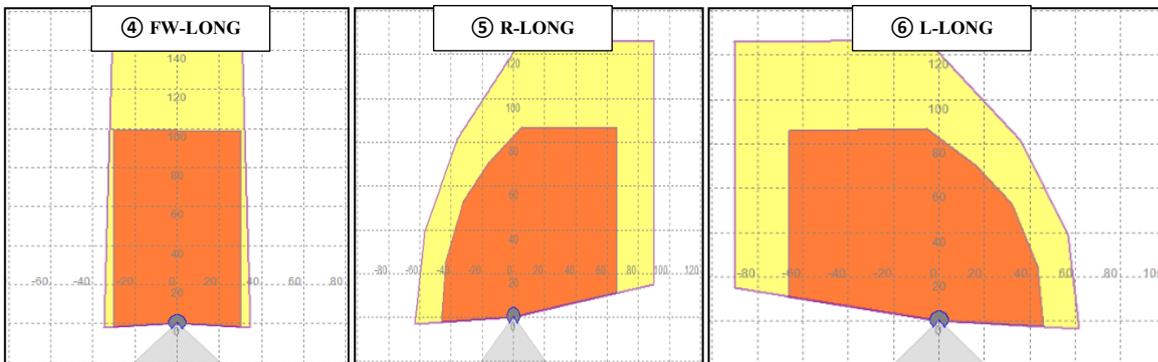
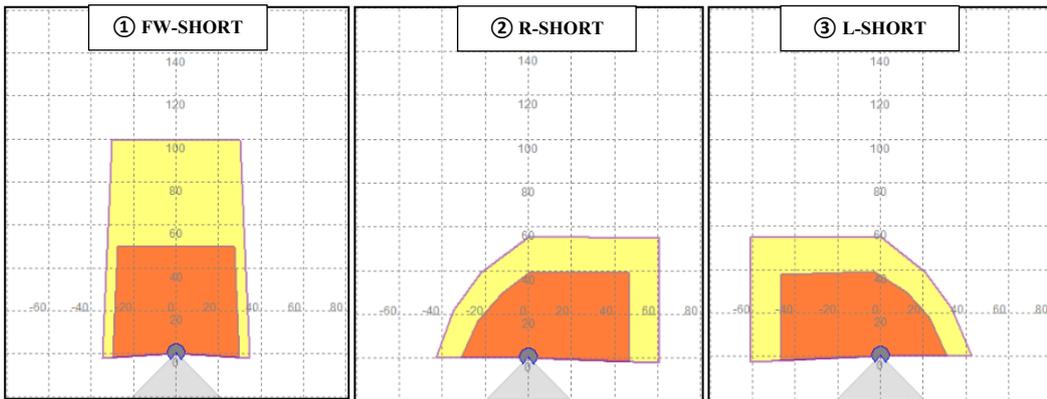
Il TAE 050 versione HD è dotato di uno scanner laser SICK S300 EXP di sicurezza posizionato sulla parte anteriore. La funzione principale dello scanner è quella di proteggere il personale in prossimità del veicolo: infatti il sistema è stato studiato per fare arrestare il carrello prima dell'impatto contro un qualsiasi oggetto. L'area di rilevamento dello scanner è bidimensionale ed è attiva a 173 mm al di sopra del pavimento. Esso possiede 8 campi di monitoraggio predefiniti, anche se è possibile aumentare il numero dei campi predefiniti fino a 16. Questa implementazione è stata studiata per avere un livello maggiore di sicurezza in aree altamente trafficate. Nel nostro caso, il team ha optato per i 16 campi, poiché il corridoio in area assemblaggio ha dimensioni ridotte e risulta essere abbastanza trafficato.

Ognuno di questi 16 campi possiede:

- un'area di arresto (colorata di rosso);
- un'area di avviso (colorata di giallo);

Se un ostacolo entra all'interno dell'area di arresto, l'AGV si ferma immediatamente ed emette un segnale acustico. Fino a quando l'ostacolo non viene rimosso dall'area rossa, il veicolo resta fermo. Diversamente, il veicolo riprende la sua corsa solamente quando il sensore non rileva più la presenza dell'ostacolo all'interno dell'area rossa. Se invece l'ostacolo si trova all'interno dell'area di avviso, il veicolo non si arresta, ma riduce la velocità ed emette un segnale di avviso.

Vediamo ora in dettaglio tutti i campi di sicurezza, numerati da 1 a 16, che sono indispensabili durante la programmazione del veicolo: ogni casella corrisponde a 20cm x 20cm e la posizione del sensore corrisponde al simbolo , al di sotto del quale è presente un'area blu rivolta verso il veicolo che identifica la porzione di area non leggibile dal sensore.



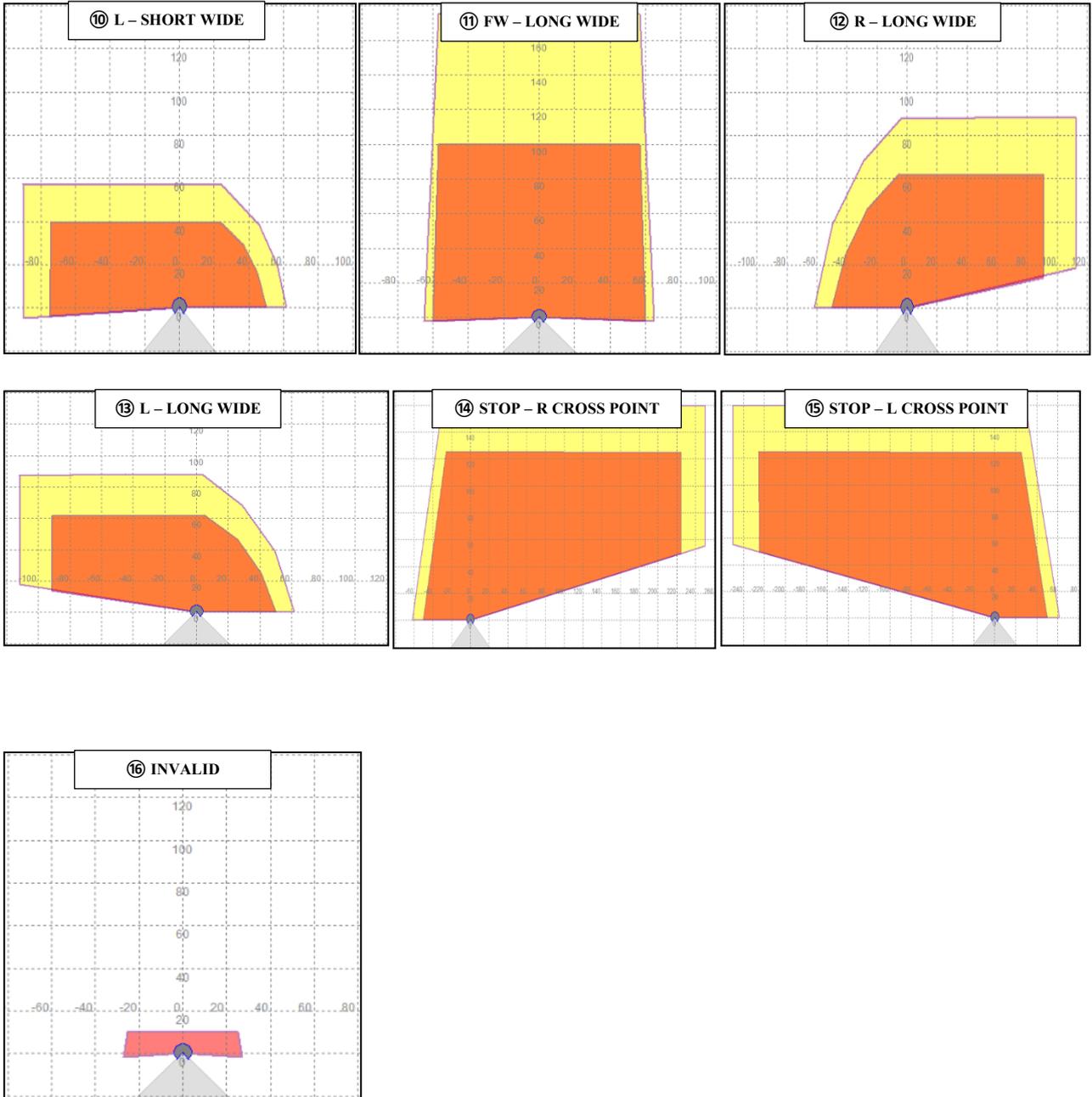


Figura 4.6 – Elenco campi di sicurezza del sensore del veicolo

Per questioni di sicurezza, il TAE 050 HD possiede un clacson integrato utilizzato per emettere due diversi suoni:

- **Segnale di allarme:** il clacson viene attivato per segnalare un allarme o un errore, per esempio in caso di livello basso di carica della batteria, di errore del sensore di protezione oppure di errori di lettura del nastro magnetico;
- **Melodia:** il veicolo è in grado di emettere una melodia per avvertire gli operatori del suo passaggio. Questa opzione risulta essere molto utile nei punti di sgancio e aggancio del carrello oppure in zone altamente trafficate;

Il team ha programmato la macchina per poter suonare in prossimità dei punti di aggancio e sgancio del carrello in modo da avvisare gli operatori presenti in zona. Per aumentare il livello di sicurezza durante il trasporto, si sta valutando la possibilità di emettere un segnale acustico anche durante il tratto rettilineo sul corridoio, visto la distanza ridotta del percorso dalle aree di pre-assemblaggio.

Sulla parte anteriore del veicolo è presente un pulsante di emergenza in grado di arrestare il movimento del veicolo in qualsiasi momento, cerchiato di rosso in *figura 4.6.1*.



Figura 4.6.1 – Pulsante di emergenza

4.4.3 Unità di comunicazione ottica – OCU

L'unità di comunicazione ottica è un sistema di trasmissione dei comandi da remoto. È composta da due parti, di cui una è montata sulla parte anteriore del veicolo, mentre l'altra viene posizionata di solito accanto alla postazione dell'operatore.

Viene utilizzata per:

- Fornire istruzioni di avvio e spegnimento al carrello
- Fornire istruzioni di avvio al carrello quando si trova in attesa prima di un attraversamento
- Fornire istruzioni sui numeri dei compiti e sui numeri dell'indirizzo
- Attivare il pulsante di emergenza

Grazie a questo sistema, l'operatore comanda il veicolo direttamente dall'unità situata vicino alla sua postazione di lavoro (vedi *figura 4.6.2*), senza doversi spostare per raggiungere il veicolo. Vedremo successivamente le posizioni scelte dal team sulle quali implementare questo tipo di sistema.



Figura 4.6.2 – Stazione di comando



Figura 4.6.3 – Trasmissione del segnale all'AGV

4.5 Punti critici e problemi per implementazione

Come abbiamo visto precedentemente nel paragrafo 4.4.2, il TAE 050 HD in realtà è stato creato per passare al di sotto del carrello e agganciarsi tramite il sollevamento del pin elettrico al carrello. Nel nostro caso questa operazione risulta alquanto complicata, poiché se osserviamo il carrello in *figura 4.7*, notiamo che dalla parte centrale del carrello fuoriescono dei perni in ferro ① utilizzati per il sollevamento meccanico del carrellino porta forche. Inoltre, è presente un perno anteriore ② e uno posteriore ③, creati per poter essere incastonati sugli anelli della catenaria e permettere il trasporto tra le stazioni di lavoro. Questi ingombri fissi non permettono al TAE 050 HD di passare sotto il carrello ed è stato quindi necessario pensare ad una soluzione alternativa per il traino.

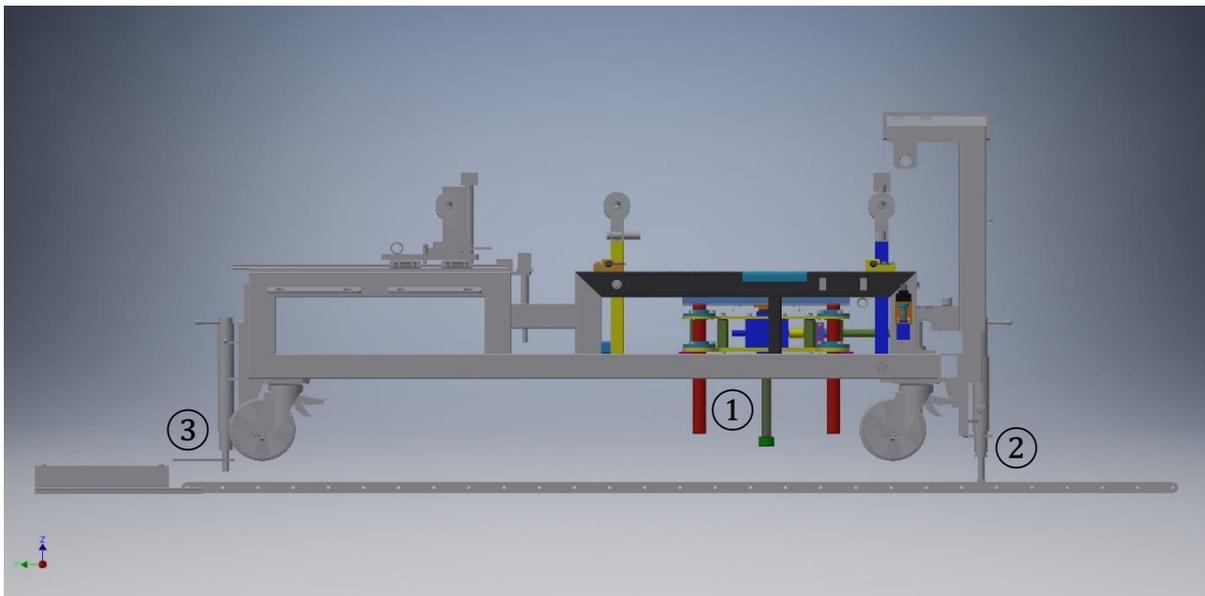


Figura 4.7 – Immagine laterale del carrello e punti critici

Il carrello ha 4 ruote pivotanti posizionate sui quattro angoli del telaio che permettono una movimentazione in qualsiasi direzione. Esse sono però anche la causa dell'instabilità del carrello durante il suo trasporto.

A causa della presenza di queste limitazioni e scartata la possibilità di sostituire tutti i carrelli con dei nuovi per questioni di costi elevati, il team ha pensato che le soluzioni migliori fossero la creazione di un sistema di aggancio e di un sistema di bloccaggio ruote per permettere il trasporto del carrello in sicurezza.

4.5.1 Studio del timone di aggancio

Vista la complessità del problema, il team ha pensato di realizzare un timone provvisorio in area Manutenzione per poter fare i primi test. È stata realizzata una bozza, mostrata in *figura 4.7.1*, con l'idea di agganciare il timone sulla barra anteriore del carrello attraverso due supporti a C in grado di garantire maggiore stabilità durante la fase di trasporto rispetto ad un solo punto di aggancio. Dall'altro lato del sistema di aggancio invece si pensava ad un occhiello all'interno del quale inserire il pin elettrico dell'AGV.

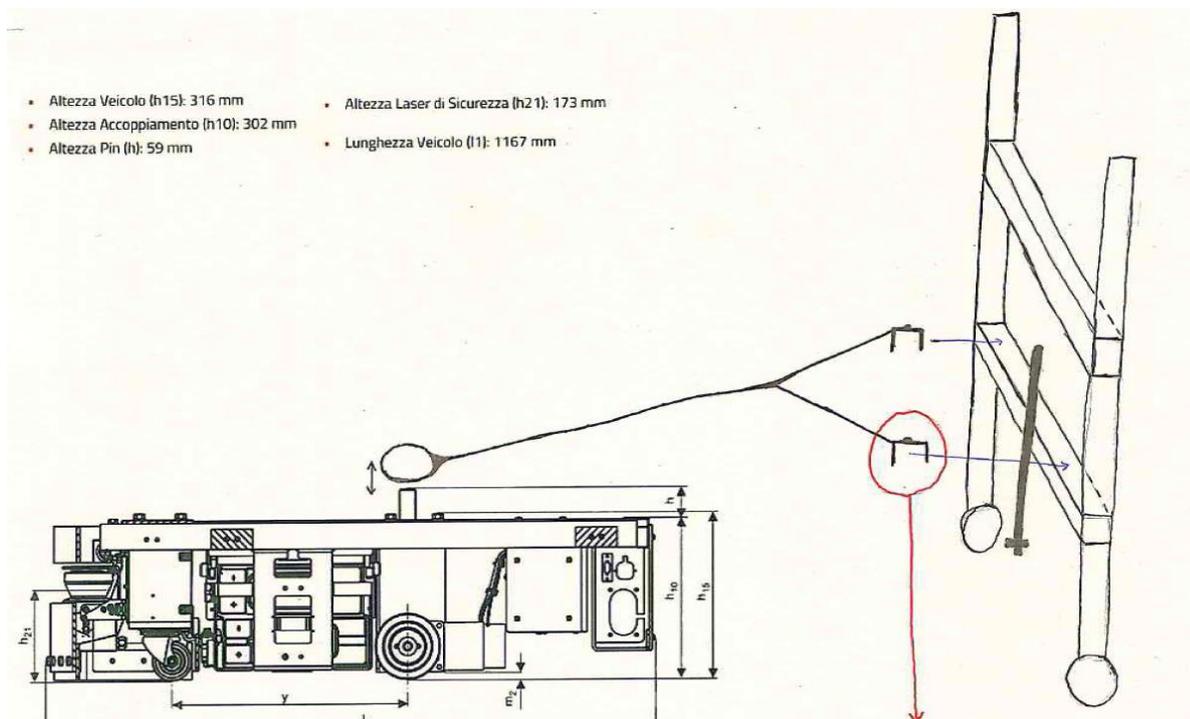


Figura 4.7.1 – Bozza sullo studio del timone provvisorio

Il timone è stato realizzato interamente in ferro ed è mostrato in *figura 4.7.2*. Come detto in precedenza, il sistema realizzato è provvisorio: attualmente le fasi di sgancio e aggancio devono essere svolte dall'operatore. L'idea sarebbe quella di avere un timone finale in grado di agganciarsi e sganciarsi automaticamente senza la presenza dell'operatore.



Figura 4.7.2 – Timone provvisorio



Figura 4.7.3 – Aggancio tra timone e perno elettrico



Figura 4.7.4 – Sistema di aggancio

4.5.2 Studio del bloccaggio delle ruote del carrello

L'altro problema da affrontare è quello dell'instabilità del carrello durante il suo trasporto a causa della presenza di quattro ruote pivotanti. Il team ha pensato principalmente a due possibili soluzioni:

1. Fissaggio di un sistema di leva a pedale posizionata sulla parte posteriore del carrello.

L'idea di un sistema di leva a pedale nasce da un progetto simile già implementato precedentemente su dei carrellini porta-bobine in area d'assemblaggio. Il sistema, costituito da una leva a pedale al di sotto della quale è presente un piatto d'appoggio, è stato studiato per frenare il carrello e tenerlo in posizione fissa. L'operatore infatti attraverso il pedale fa in modo che il piatto di appoggio possa abbassarsi e poggiare sul pavimento. In questo modo le ruote pivotanti esterne risultano essere rialzate da terra di qualche millimetro e quindi disabilitate.



Figura 4.8.1 – Sistema a leva azionato



Figura 4.8.2 – Sistema di leva non azionato

Il team ha pensato di sostituire il piatto d'appoggio con una ruota fissa e fissare l'intero sistema sulla parte posteriore del carrello. In questo modo il carrello non tende a scodare verso l'esterno perché la ruota poggia sul pavimento e garantisce una direzione stabile. Il sistema rimane sempre costituito da una leva a pedale che l'operatore può attivare prima che il carrello venga trasportato, senza doversi chinare. Vista la presenza del perno centrale, si pensava di fissare il sistema tra la ruota e appunto il perno centrale. Per testare il funzionamento del sistema, per il

fissaggio sono state utilizzate due piastre rettangolari forate sui quattro angoli, viti e bulloni.



Figura 4.8.3 – Sistema a leva posizionata sulla parte posteriore del carrello

2. Creazione di due sistemi manuale a U fissati sulla parte posteriore del carrello

La seconda possibile soluzione prende spunto invece da un sistema di bloccaggio delle ruote già implementato in Toyota, precisamente nello stabilimento CESAB di Bologna. La soluzione studiata da loro consiste in una maniglia sulla quale sono stati saldati due perni in ferro. Questi due perni, distanziati tra loro di una distanza leggermente maggiore della larghezza della ruota, vengono posizionati lateralmente alla ruota, bloccandone la direzione. Per poter abbassare o alzare la maniglia, è stato creato un sistema a molla che, azionato manualmente dall'operatore, serve per fare pressione su uno dei due perni e mantenere la posizione fissa del sistema. Per alzare o abbassare la maniglia e quindi disattivare o attivare il sistema, l'operatore deve prima tirare il sistema a molla. Quando l'operatore alza la maniglia, i perni in ferro non poggiano più lateralmente alla ruota, la quale è libera di muoversi di 360° su sé stessa. Al contrario, quando l'operatore abbassa la maniglia, i perni vanno a posizionarsi a lato della ruota, limitandone la sua rotazione.



Figura 4.8.4 – Sistema di bloccaggio delle ruote

Figura 4.8.5 – Sistema di bloccaggio delle ruote

Nel nostro caso, il team ha preferito realizzare un sistema provvisorio a bassissimo costo, costruito internamente in area Manutenzione. A differenza del sistema utilizzato in CESAB, non è presente la maniglia e al posto del tirante a molla sono stati realizzati due fori passanti sul perno a diverse altezze sui quali inserire in modo delle viti e bloccarne quindi la posizione. La parte finale delle due C poggia sulla protezione in giallo della ruota. Il sistema è stato progettato solamente per il bloccaggio della direzione delle ruote: infatti l'altezza corretta dei fori sul perno verticale garantisce al sistema di non poggiare sulla ruota e quindi evita di frenarla.



Figura 4.8.6 – Sistema a di bloccaggio a C

Figura 4.8.7 – Sistema di bloccaggio a C completo

Il sistema è comunque provvisorio e verrà utilizzato solamente in fase iniziale durante i test pratici. Se fosse implementato così senza alcuna variazione, gli operatori sarebbero costretti a chinarsi ogni volta per azionare il bloccaggio delle ruote e ciò potrebbe causare problemi di ergonomia della postazione di lavoro.

Definite quindi le possibili soluzioni da implementare, il team ha optato per la realizzazione del sistema a C, che risultava essere meno costoso rispetto alla creazione del sistema con la leva a pedale. Inoltre, il sistema a pedale risulta essere troppo ingombrante ed essendo posizionato sulla lato destro o sinistro (a causa del perno centrale), esso urtava contro la ruota impedendole di ruotare facilmente di 360° su sé stessa.

4.6 Studio del percorso

Una volta creati gli equipaggiamenti necessari allo svolgimento del test, si è passati allo studio del percorso. Questa attività è molto importante nella realizzazione del progetto, non soltanto perché richiede molto tempo ma anche perché vanno fatte una serie di considerazioni sulle possibili interferenze ed ostacoli che l'AGV potrebbe incontrare durante il tragitto. Per prima cosa occorre stabilire il punto di partenza e il punto di arrivo, e le operazioni di carico e scarico che si desiderano compiere. Nel nostro caso, come mostra la *figura 5*, il punto di partenza è unico e si trova a fine linea d'assemblaggio, dove il carrello viene svuotato e sganciato dalla catenaria. Questo punto coincide anche con il punto di aggancio del carrello, poiché da questa posizione deve essere trasportato fino ad inizio linea. Il punto di arrivo invece si trova sulla postazione di buffer ad inizio linea assemblaggio. La distanza tra i due punti, considerando l'angolo di 90° necessario per poter movimentare il carrello sul corridoio è di circa 55 m.

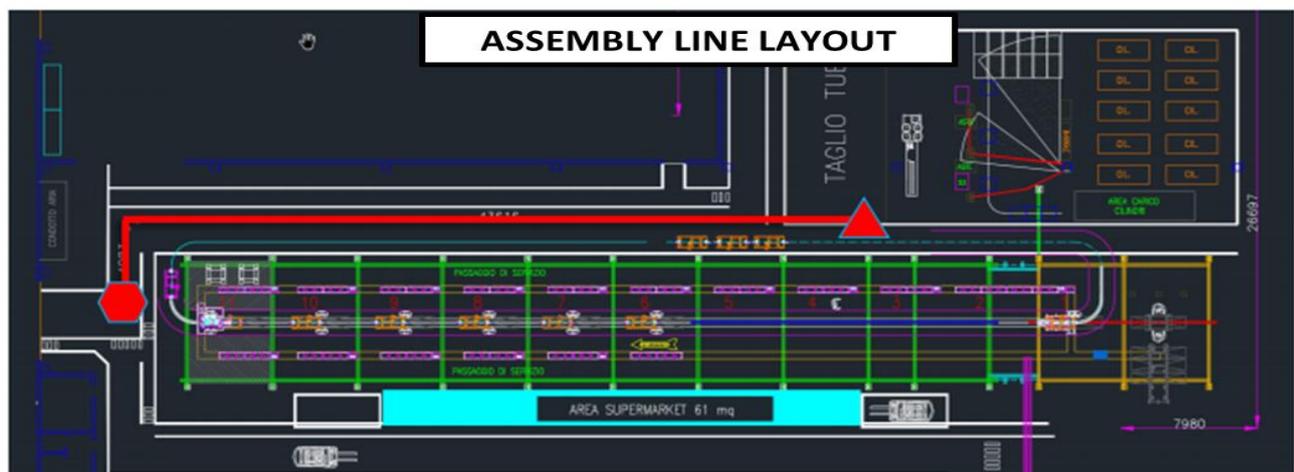


Figura 5 – Tratto sul corridoio da far compiere all'AGV

Come visto precedentemente, l'ampiezza limitata del corridoio impedisce di poter creare una corsia dedicata solamente per il passaggio dell'AGV. Infatti, il corridoio viene utilizzato sia dai muletti per la movimentazione dei trespoli (sui quali vengono posizionati i montanti finiti) sia dagli operatori di logistica per il rifornimento del materiale negli scaffali a bordo linea e quindi risulta essere abbastanza trafficato.

Preso atto dell'importanza di questi fattori e del layout dell'area assemblaggio, il team ha proposto un primo percorso da far compiere all'AGV:

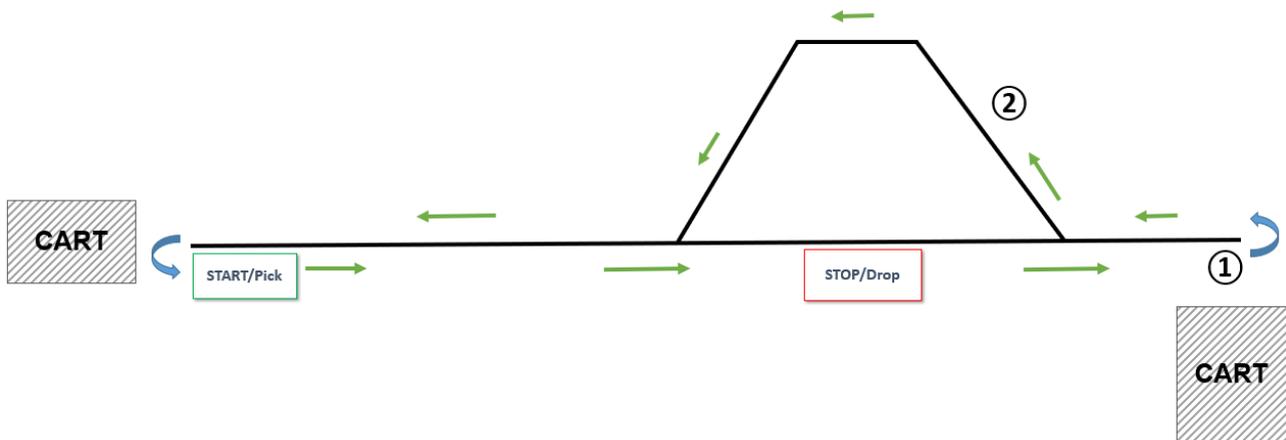


Figura 5.1 – Definizione del primo percorso

Il punto di partenza (START/Pick) coincide con il punto di aggancio tra AGV e carrello. Una volta conclusa la fase di aggancio, l'AGV inizia la sua corsa e traina il carrello fino alla posizione del buffer, situata sull'area STOP/Drop. In questo punto l'AGV si sgancia dal carrello e riprende la traiettoria dritta fino al punto ①. Qua compie una rotazione di 180° in senso orario su sé stessa e riprende la corsa passando per la deviazione al punto ②, creata appositamente dal team per evitare il carrello rilasciato precedentemente ed affiancarlo durante la manovra di ritorno. L'AGV continua la sua corsa percorrendo il tratto rettilineo in senso opposto fino al punto di partenza, dove compie una rotazione di 180° su sé stessa ed attende di essere agganciato al carrello.

Durante i test, il team ha notato che sia nel punto ① che nel punto ②, il rischio di collisione è elevato. Infatti, se osserviamo la *figura 5.1.1* notiamo che durante la rotazione di 180°, l'AGV esegue la manovra molto vicino al carrello posizionato all'ingresso della linea di assemblaggio. Anche durante la percorrenza del tratto al punto ②, l'AGV esegue delle curve di 45° molto vicino al carrello.



Figura 5.1.1 – Rischio di collisione ad ingresso linea

Figura 5.1.2 - Rischio di collisione con il carrello

Per la risoluzione di questi due punti critici, si è passato al secondo percorso, mostrato in *figura 5.2*.

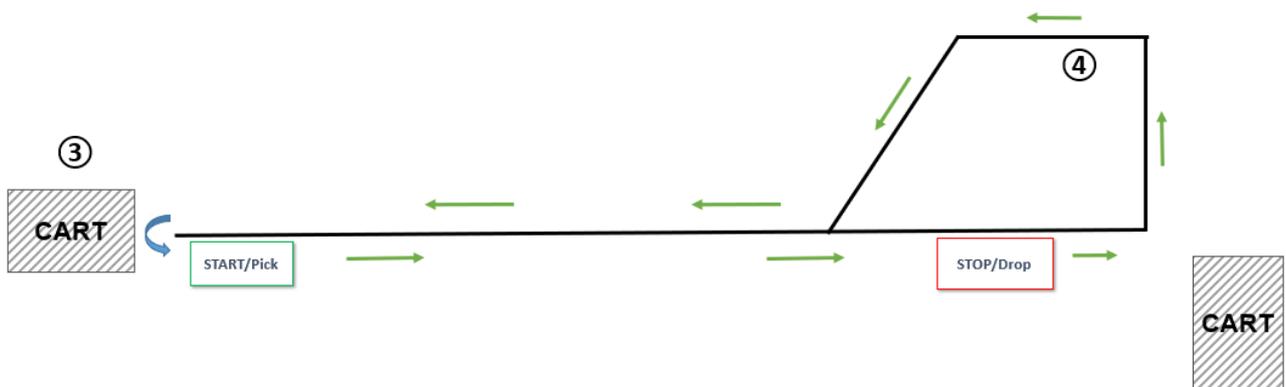


Figura 5.2 – Definizione del secondo percorso

Il team ha deciso di cambiare il percorso iniziale scegliendo di compiere la manovra leggermente prima e optando per due curve da 90° piuttosto che una rotazione di 180°. Con l'implementazione di questa soluzione, l'AGV esegue le due curve da 90° leggermente distanti sia dal carrello ad ingresso linea, sia da quello precedentemente rilasciato. Infatti, una volta terminate le due manovre, l'AGV percorre un tratto rettilineo costeggiando lateralmente il carrello rilasciato precedentemente.

Il percorso è stato quindi testato e durante la prova sono emersi ulteriori aspetti critici da considerare. Nel punto ③ della *figura 5.2*, il carrello occupa dello spazio del corridoio mentre attende l'arrivo dell'AGV. Se osserviamo la *figura 5.2.1*, vediamo infatti che quando è presente questa situazione, il milk-run non riesce a raggiungere gli scaffali a bordo linea per la presenza del carrello, che rappresenta un ostacolo per il passaggio, ed è costretto ad attendere che il corridoio venga liberato per poter rifornire la linea.

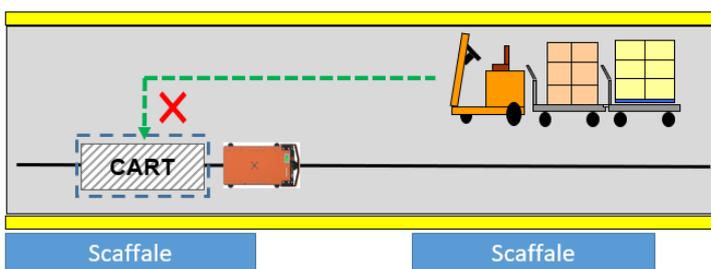


Figura 5.2.1 – Problema relativo al passaggio del milk-run

L'altro punto critico è emerso sul tratto rettilineo nel punto ④, mostrato sempre nel tratto di percorso in *figura 5.2*: durante la percorrenza del tratto rettilineo parallelo alla stazione di sgancio del carrello, il sensore di sicurezza dell'AGV legge la ruota posteriore del carrello posizionato precedentemente e arresta la corsa, come mostra la *figura 5.2.2*.



Figura 5.2.2 – Lettura della ruota posteriore del carrello

Per la risoluzione di questi due punti critici, si è passato al terzo percorso, mostrato in *figura 5.3*.

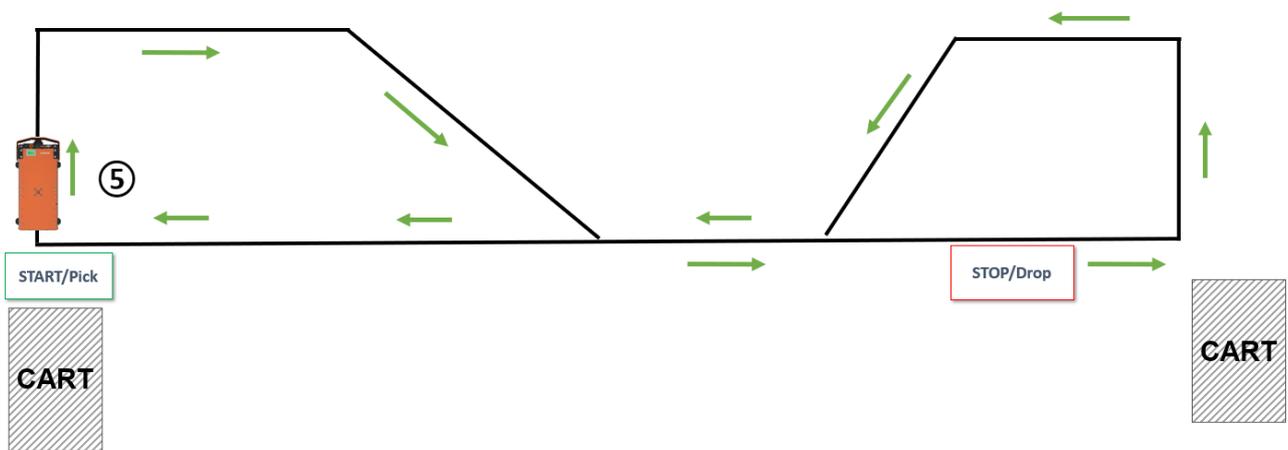


Figura 5.3 – Definizione del terzo percorso

Nel terzo percorso, la zona designata per l'attesa del carrello è stata spostata dal corridoio e posizionata in un'area libera a bordo corridoio. In questo caso, il carrello che attende l'arrivo dell'AGV non rappresenta più un ostacolo al rifornimento degli scaffali di bordo linea. Inoltre, è stata aumentata la distanza tra le due bande magnetiche nel tratto accanto all'ingresso in linea di assemblaggio in modo che la distanza tra l'AGV e il carrello rilasciato precedentemente fosse abbastanza da permettere al sensore dell'AGV di non leggere la ruota posteriore del carrello.

Durante il test del terzo percorso, è emerso una ulteriore criticità simile al problema visto precedentemente sul punto ③ del secondo percorso in *figura 5.2*. In particolare, nel caso in cui l'AGV avesse completato il suo giro, esso dovrebbe attendere l'arrivo del carrello in un'area situata sul corridoio (vedi punto ⑤ in *figura 5.3*). Ciò rappresenta un problema per il passaggio dei muletti e quindi un intralcio alla movimentazione dei trespolti utilizzati per riporre i montanti finiti.

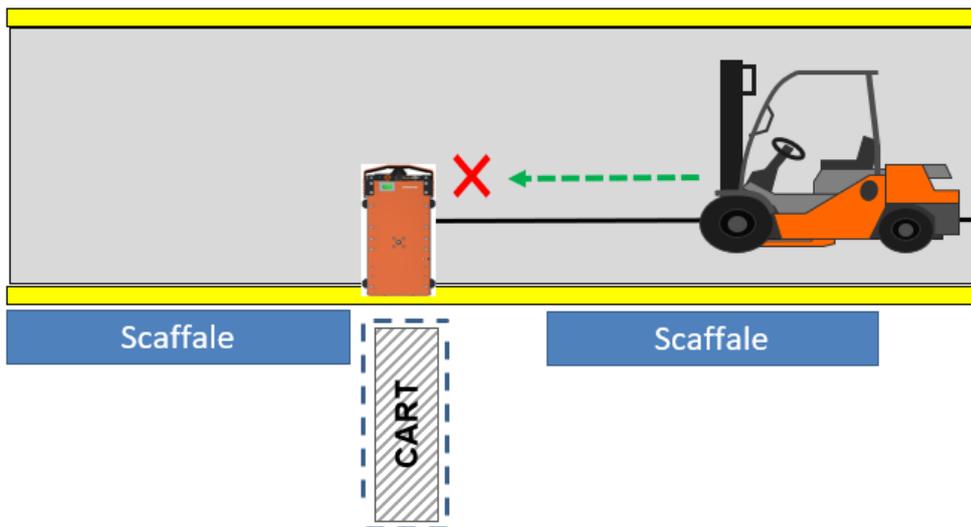


Figura 5.3.1 – Problema relativo al passaggio dei muletti

Per la risoluzione di questo punto critico, si è passato al percorso finale, mostrato in *figura 5.4*.

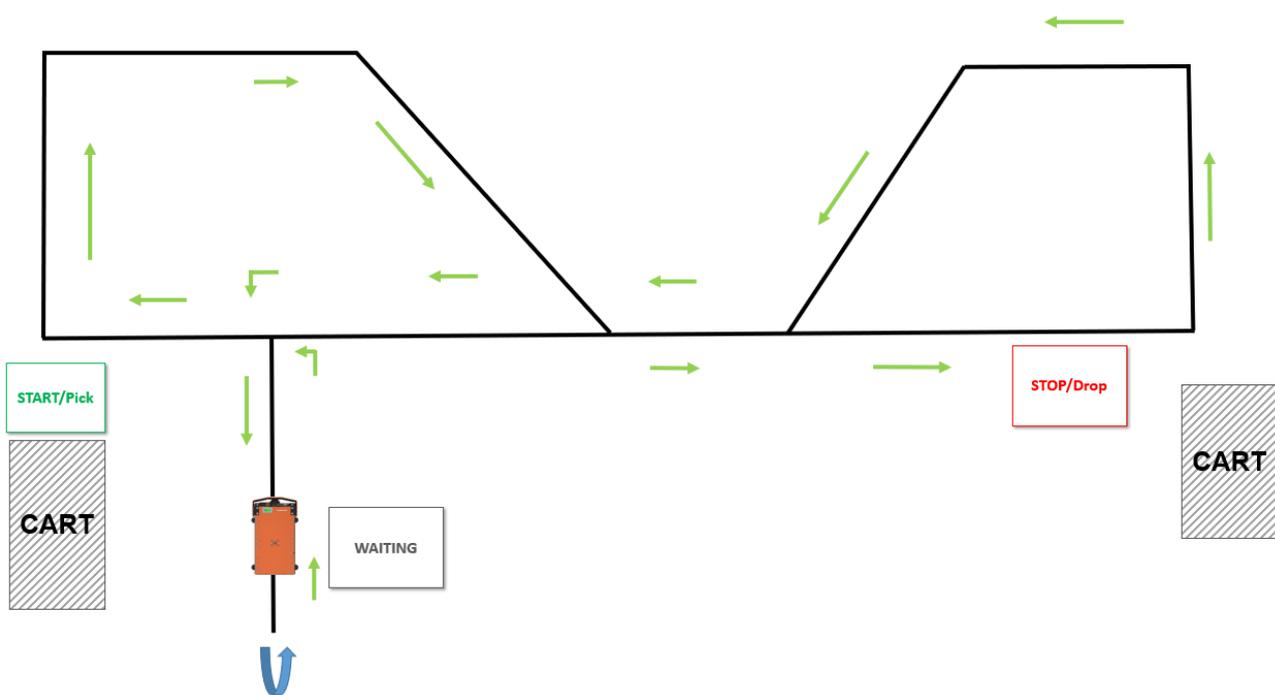


Figura 5.4 – Definizione del percorso finale

Sul percorso è stata aggiunta un'area di attesa (WAITING), all'interno della quale l'AGV attende che il carrello vuoto venga posizionato nel punto di partenza per poter essere agganciato. Durante il ritorno, l'AGV compie una curva a sinistra ed entra nell'area di attesa. Qua compie una rotazione di 180° su sé stesso, si arresta subito dopo e attende fino a quando

l'operatore di fine linea dà il consenso di poter ripartire per raggiungere il punto di partenza. Questa soluzione ha anche un duplice vantaggio: oltre a risolvere il problema visto nel punto ⑤ in *figura 5.3*, una volta che l'operatore dà il consenso all'AGV di ripartire dalla zona di attesa, potrebbe essere studiato un timone in grado di agganciarsi automaticamente al carrello, poiché solamente in questo percorso si è sicuri della presenza del carrello vuoto nel punto di partenza. In questo modo si evita un doppio camminamento dell'operatore, perché non c'è più la necessità che esso debba spostarsi e raggiungere il punto di partenza per poter agganciare manualmente il carrello all'AGV.

Potrebbe anche capitare che il carrello vuoto sia già pronto e che l'AGV non necessita quindi di entrare nell'area di attesa, ma potrebbe direttamente raggiungere la posizione di aggancio. In questo caso, il team sta lavorando con il fornitore dell'AGV per poter creare un dispositivo che permetta all'operatore di dare un segnale all'AGV in modo che esso possa continuare il tratto dritto e raggiungere direttamente il punto di partenza, senza dover sostare all'interno dell'area di attesa.

Definito quindi sulla carta il percorso da far compiere, è possibile passare all'attività di programmazione dell'AGV.

4.7 Programmazione del software e relativi test pratici

Per la programmazione del TAE 050 HD si possono utilizzare due metodi:

- **Comandi controllati dal programma (Program Controlled Commands – PCC)**

Si utilizza questo metodo nei casi in cui occorre posizionare molti markers vicini l'uno all'altro, oppure quando devono essere trasmessi vari tipi di comando. I markers a pavimento utilizzati per i comandi PCC sono sempre singoli e di colore verde. I comandi sono impostati dal programma e salvati nella memoria dell'AGV. Come detto in precedenza il marcatore ha un numero virtuale (address) e ciascun marcatore impartisce uno o più comandi all'AGV;

- **Comandi fissi dal pavimento (Fixed Floor Commands – FCC)**

Con questo metodo di programmazione il veicolo legge un marcatore lungo il percorso ed esegue i comandi corrispondenti al modello del marcatore. Infatti, i markers non sono tutti dello stesso colore, ma sono combinazioni di blu e verde, ed ogni combinazione corrisponde ad un diverso comando. In questo caso, la presenza di una memoria interna non è necessaria.

In LTE è stato utilizzato il metodo PCC per la possibilità di impartire più di un comando ad ogni marker.

4.7.1 Regole di programmazione

La programmazione avviene tramite la compilazione di un file standard in Excel. Il file, mostrato in *figura 6*, viene consegnato al cliente dal fornitore dell'AGV. Una volta compilato, è possibile caricare il file sulla memoria dell'AGV attraverso un cavo seriale RS232.

letto dal sensore, in modo tale che l'AGV possa eseguire il comando. Per questo viene sempre inserito l'address del tag precedente di quel tratto di percorso. Se ad esempio, l'AGV viene posizionato nel tratto delimitato dal Tag numero 50 e il Tag numero 60, occorre inserire il numero 50 nella casella dell'Address, in modo che l'AGV svolga i comandi situati sulla riga con Address 50.

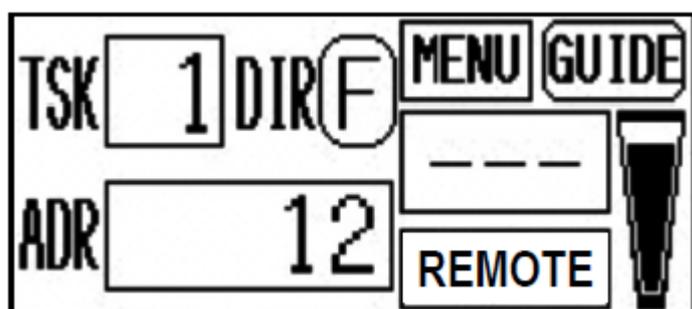


Figura 6.1 – Display sull' AGV

- **FW / RV:** corrisponde al senso di marcia, nel nostro caso va inserita sempre la lettera "F" che sta per "Forward", "dritto". Essendo il TAE050 HD monodirezionale, non è possibile inserire altri sensi di marcia.
- **Branching:** in questa casella è presente un menu a tendina con tutte le possibili manovre che l'AGV è in grado di compiere. Ad esempio, il simbolo 'I' rappresenta la traiettoria dritta, la lettera 'R' curva a destra di 45° e la lettera 'L' curva a sinistra di 45°. È possibile inoltre far ruotare l'AGV di 180° su sé stesso oppure di compiere una rotazione di 90°, in senso orario oppure in senso antiorario. Inoltre, è possibile compiere manovre di 90° o 180° con diversi raggi di curvatura. La *figura 6.2* mostra tutte le possibili manovre che l'AGV può eseguire.

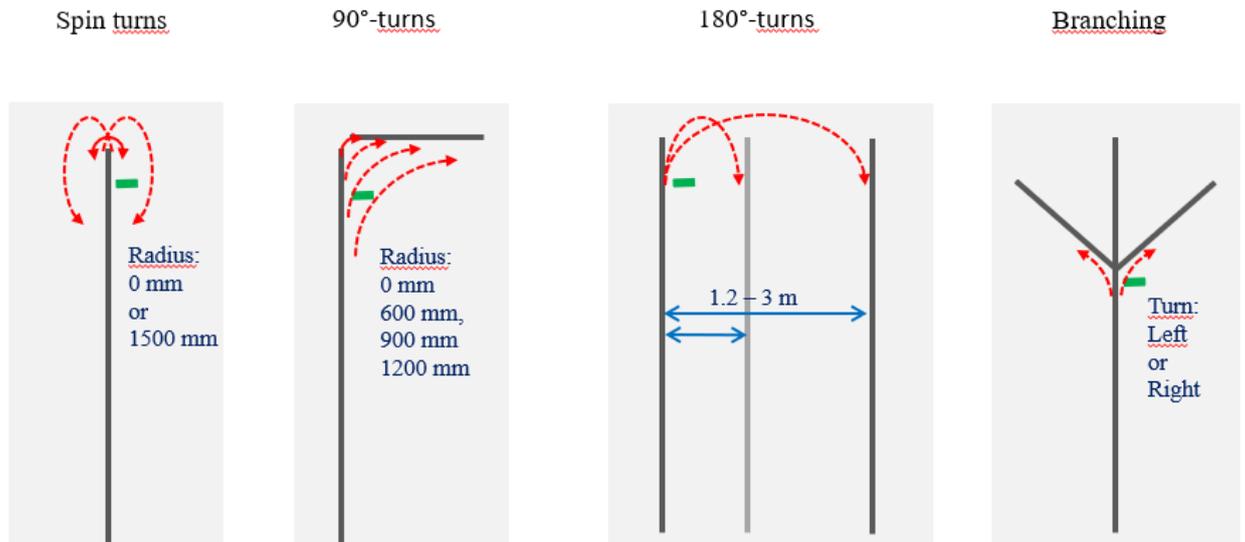


Figura 6.2 – Possibili manovre effettuate dall'AGV

- Jump:** Questa opzione viene utilizzata solamente se la macchina deve passare da una Task ad un'altra. Il passaggio ad un'altra Task risulta essere molto utile quando il livello della batteria è basso e l'AGV deve seguire un altro percorso (quindi un'altra Task) per recarsi presso la stazione di ricarica. All'interno delle caselle in alto a destra mostrate in *figura 6.3* occorre scegliere l'opzione 'Charge to' ed inserire l'Address e la Task del nuovo percorso. L'opzione 'Jump to' invece permette sempre di passare ad un altro percorso indifferente dal livello della batteria.

	Task	Address
Jump to		
Charge to		

Figura 6.3 – Parte del foglio di programmazione relativa al salto su un percorso differente

- Speed:** In questa sezione va inserita la velocità con la quale compiere il tratto di percorso. Nel nostro caso, visto l'elevato peso del carico da movimentare, è preferibile non superare una velocità massima di 30 m /min (0.5 m/s). La velocità potrebbe essere aumentata in aree dedicate solamente al passaggio dell'AGV o quando si è in presenza di carichi più leggeri.

- **Stop:** È il comando di arresto della macchina. In questa casella è possibile scegliere il comando '*STOP*', quando la macchina si ferma e riparte solamente dopo che l'operatore preme il pulsante di ripartenza, oppure il comando '*WAIT*', quando la macchina si ferma e aspetta un numero di secondi scelto dal programmatore. Questo numero va inserito nella colonna successiva "*Start*".
- **Start:** come detto precedentemente, va inserito la durata in secondi di attesa prima che l'AGV riparta automaticamente. Questa casella va compilata solamente nel caso in cui si scegliesse l'opzione '*WAIT*' nella colonna precedente.
- **Time Up:** questo comando viene utilizzato quando si vuole far emettere un segnale acustico all'AGV in seguito a una fermata. Il segnale acustico può iniziale direttamente se in questa casella viene inserito il numero '*0*', oppure potrebbe essere inserito il numero di secondi dopo il quale l'AGV emette il segnale.
- **Obstacle Sensor:** in questa sezione va inserito il numero di uno dei 16 campi di sicurezza visti precedentemente da utilizzare durante quel tratto di percorso. Se ad esempio all'AGV viene dato il comando di girare a destra, è necessario inserire un campo di sicurezza adeguato alla manovra da fare e alla velocità utilizzata. È possibile scegliere solamente uno dei 16 campi di sicurezza disponibili a comando.
- **Electric Pin:** è il comando utilizzato per alzare o abbassare il pin elettrico. Dal menu a tendina infatti è possibile scegliere l'opzione '*UP*' o '*DOWN*', rispettivamente per alzare (o tenere alzato) e abbassare (o tenere abbassato) il pin elettrico, necessario per l'aggancio e lo sgancio del carrello.
- **Ignoring Marker:** questa opzione viene utilizzata per ignorare la presenza di un marker nel percorso. Nella casella occorre inserire la distanza tra il marker da non considerare e quello precedente.
- **Melody:** è l'opzione che permette all'AGV di emettere un segnale acustico nel tratto del percorso considerato. Dal menu a tendina è possibile selezionare la voce '*ON*' o '*OFF*'.

- **Error judgement of distance between markers:** questa opzione consente di controllare la distanza tra i marker per evitare errori di percorso nel caso in cui un tag venisse perso o rimosso casualmente. Nel caso in cui si dovesse inserire il numero '0', il sistema non si attiva e il controllo non viene effettuato. È preferibile adottare questa opzione una volta definito il percorso finale e posizionati i relativi tag.

4.7.2 Istruzioni posizionamento markers e tags

Per la realizzazione del percorso occorre rispettare una serie di regole sul posizionamento dei markers e dei tag che permettono alla macchina di effettuare le manovre correttamente e in totale sicurezza. Vediamo ora in dettaglio quelle più importanti:

- La macchina ha il lettore di scansione della banda magnetica (in giallo nella *figura 6.4*) situato leggermente a destra rispetto all'asse centrale. Per questo, durante il posizionamento della banda magnetica, bisogna considerare una traslazione di 45 mm verso sinistra;

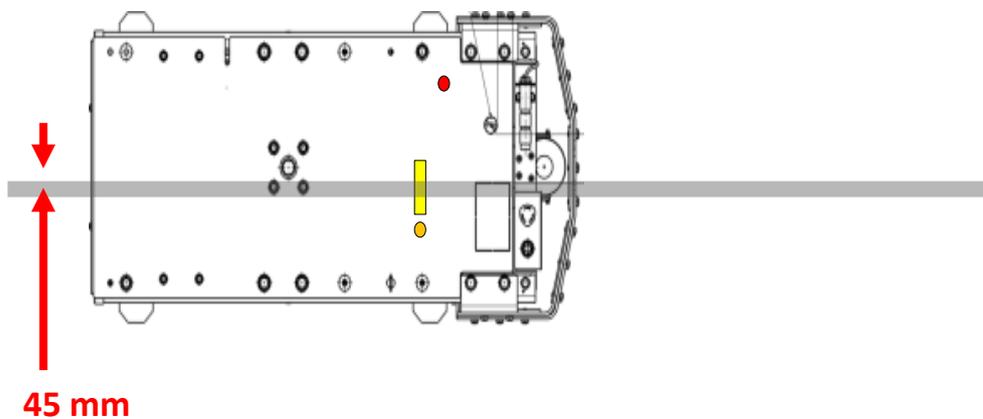


Figura 6.4 – Asse centrale dell'AGV traslata rispetto alla banda magnetica

- I tags devono essere posizionati sul lato destro della banda magnetica, a una distanza di 40 mm in modo da non costituire intralcio alla ruota destra del veicolo (vedi *figura 6.5*);

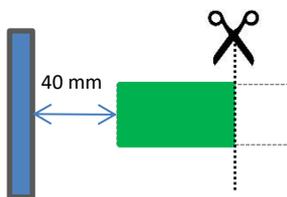


Figura 6.5 – Posizionamento dei marker rispetto alla banda magnetica

- In caso di curva di 45° occorre posizionare il tag ad una distanza di 100 mm dal punto di intersezione (vedi *figura 6.6*);

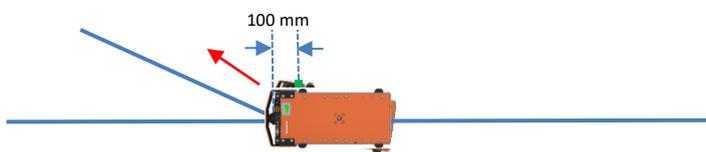


Figura 6.6 – Distanza del marker dal punto d'intersezione

- In caso di curva di 90° occorre posizionare il tag a una distanza minima di 1 metro dallo spigolo della curva per permettere una lettura corretta del tag (vedi *figura 6.7*);

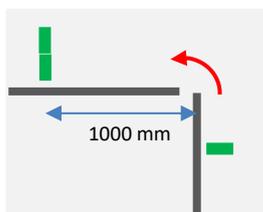


Figura 6.7 – Distanza dei marker dallo spigolo della curva

- In caso di rotazione di 180° su sé stesso, occorre posizionare il tag ad una distanza pari a 350 mm dal punto di rotazione. È sempre preferibile compiere rotazioni in senso orario, in modo da evitare che la ruota centrale del veicolo passi sopra il nastro magnetico (vedi *figura 6.8*);

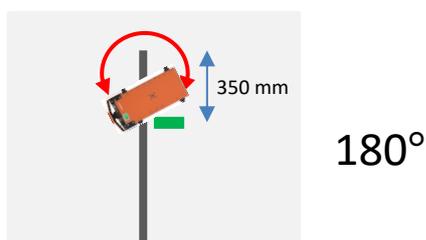


Figura 6.8 – Distanza dei marker dal punto di rotazione

4.7.3 Programmazione del percorso finale

Prima di iniziare a programmare il file Excel, è indispensabile disegnare su un foglio il percorso da far compiere all'AGV e inserire i relativi Tag. Questo metodo grafico aiuta il programmatore nella compilazione del file da caricare all'interno della memoria dell'AGV.

In LTE, è stato disegnato il percorso finale in dettaglio inserendo persino i diversi campi di sicurezza da utilizzare nei diversi tratti del percorso:

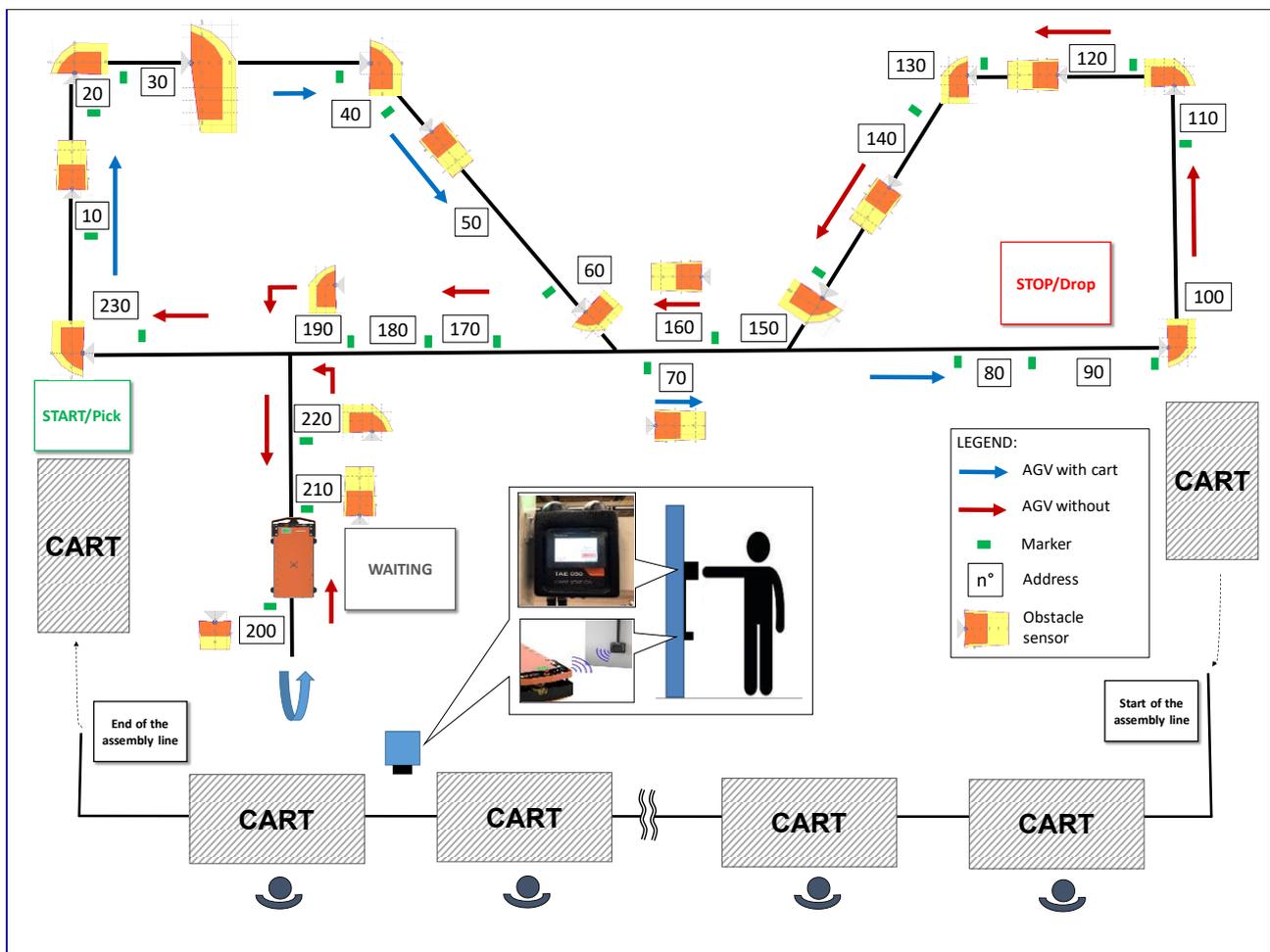


Figura 7 – Disegno in dettaglio del percorso finale

Vediamo ora la programmazione del percorso definitivo scelto dal team.

Task data Sheet													
memo		Percorso finale											
												Task	Address
Task	1											Jump to	
												Charge to	
State													
Address	FW/RV	Branching	Jump	Speed (0.1m/min)	Stop	Start (s)	Time Up (s)	Obstacle Sensor	Electric Pin	Ignoring Marker (0.1m)	Melody	Error judgement of distance between markers (cm)	
10	F		-	150	STOP	-	-	1	UP	-	OFF	0	
20	F	PRGSTR R 90 600	-	150	-	-	-	2	UP	-	OFF	0	
30	F		-	200	-	-	-	12	UP	-	OFF	0	
40	F	R	-	150	-	-	-	2	UP	-	OFF	0	
50	F		-	200	-	-	-	1	UP	-	OFF	0	
60	F	L	-	150	-	-	-	3	UP	-	OFF	0	
70	F		-	300	-	-	-	4	UP	-	OFF	0	
80	F		-	200	-	-	-	1	UP	-	ON	0	
90	F		-	150	STOP	-	-	1	DOWN	-	OFF	0	
100	F	SPIN CCW 90	-	150	-	-	-	3	DOWN	-	OFF	0	
110	F	SPIN CCW 90	-	150	-	-	-	3	DOWN	-	OFF	0	
120	F		-	200	-	-	-	1	DOWN	-	OFF	0	
130	F	L	-	150	-	-	-	3	DOWN	-	OFF	0	
140	F		-	200	-	-	-	1	DOWN	-	OFF	0	
150	F	R	-	150	-	-	-	2	DOWN	-	OFF	0	
160	F		-	500	-	-	-	1	DOWN	-	OFF	0	
170	F		-	300	-	-	-	1	DOWN	-	OFF	0	
180	F		-	150	-	-	-	1	DOWN	-	OFF	0	
190	F	PRGSTR L 90 600	-	150	-	-	-	3	DOWN	-	OFF	0	
200	F	SPIN CW 180	-	150	-	-	-	7	DOWN	-	OFF	0	
210	F		-	150	STOP	-	-	1	DOWN	-	OFF	0	
220	F	SPIN CCW 90	-	150	-	-	-	3	DOWN	-	OFF	0	
230	F	SPIN CW 90	-	150	-	-	-	2	DOWN	-	OFF	0	

Figura 7.1 – Foglio di programmazione del percorso finale

Analizziamo ora la scelta dei parametri sul file di programmazione, focalizzandosi solamente sugli address critici:

- **Address 10:** corrisponde all’area di aggancio del carrello e per questo è stata inserita una fermata “STOP”. Il tratto è dritto e per questo si utilizza il campo di sicurezza 1;
- **Address 20:** corrisponde alla prima curva. È stata scelta una curva di 90° con raggio di sterzata pari a 600 mm (il più basso disponibile) perché la lunghezza dell’AGV più quella del carrello è molto elevata e lo spazio disponibile su quel tratto di corridoio è relativamente limitato per permettere una curva stretta. In questo modo si evita che il carrello possa tagliare troppo la curva e incontrare un possibile ostacolo;

- **Address 30:** In questo tratto di percorso è stato inserito il campo di sicurezza 12 per ricoprire interamente l'area utilizzata dal carrello durante la manovra. Infatti, la traiettoria dell'AGV non coincide con la traiettoria del carrello e risulta quindi essere necessario scansionare l'intera area;
- **Address 40 e 60:** sono state utilizzate le opzioni R e L per curve di 45° a destra e sinistra e sono stati inseriti i relativi campi di sicurezza;
- **Address 70:** in questo tratto è stata inserita una velocità maggiore poiché il tratto è rettilineo e abbastanza lungo. Si utilizza il campo di sicurezza numero 4 perché vista la velocità elevata è opportuno scansionare un'area più ampia rispetto al campo numero 1;
- **Address 90:** corrisponde all'area di sgancio del carrello e per questo è stata inserita una fermata "STOP". Inoltre, il pin elettrico è in posizione "DOWN" per poter permettere lo sgancio;
- **Address 100 e 110:** corrispondono a due curve di 90° in senso antiorario. Per il corridoio ristretto e la mancanza del traino, il team ha preferito utilizzare una rotazione su sé stesso piuttosto che una curva di 90° con raggio di sterzata;
- **Address 130 e 150:** sono state utilizzate le opzioni R e L per curve di 45° a destra e sinistra e sono stati inseriti i relativi campi di sicurezza;
- **Address 160:** considerato che il tratto è rettilineo e l'AGV viaggia senza la presenza del traino, è stata utilizzata la massima velocità di percorrimiento;
- **Address 190:** corrisponde alla curva di ingresso per l'area di sosta dell'AGV. In questo tratto l'AGV è in grado di effettuare la manovra compiendo una curva con raggio di sterzata pari a 600 mm senza incontrare ostacoli;
- **Address 200:** corrisponde ad una rotazione di 180° in senso orario su sé stesso. È stato utilizzato il campo di sicurezza 7 perché il sensore potrebbe avvertire la presenza di ostacoli in linea di assemblaggio. Con questo campo l'area scansionata è leggermente ridotta rispetto al campo numero 1. Come da default, l'AGV attiva il campo di sicurezza "INVALID" solamente durante la rotazione su sé stesso. L'area di rotazione è libera da ostacoli e sarà delimitata per evitare il passaggio degli operatori;

- **Address 210:** in questo tratto è stata inserita una fermata “STOP” per arrestare l’AGV, che rimane in attesa del comando dell’operatore. In questo modo si è sicuri che il carrello vuoto è presente a fine linea ed è possibile realizzare un sistema di aggancio automatico.

5 Fotografia del post implementazione del sistema

Per analizzare il flusso finale del nuovo sistema di movimentazione dei carrelli, occorre introdurre l'AGV all'interno del processo, raccogliere i feedback degli operatori e applicare gli eventuali spunti di miglioramento. Il progetto dell'AGV verrà portato a termine successivamente alla fine del tirocinio, e per questo motivo attualmente non è possibile analizzare il flusso finale, ma ciò potrà essere fatto una volta introdotto il veicolo nel processo. Nonostante ciò, è stata fatta una previsione del flusso finale, una pianificazione delle attività e sono stati considerati alcuni possibili percorsi futuri e spunti di miglioramento da implementare in futuro. Vediamo ora in dettaglio di cosa si tratta.

5.1 Previsione del flusso finale

Attraverso l'implementazione del sistema AGV, l'attività del trasporto del carrello vuoto sarà regolata con degli standard ben precisi che definiranno le regole da rispettare all'interno del corridoio condiviso.

Non avendo un tratto riservato solamente al passaggio dell'AGV, i carrelli elevatori che passeranno su quel tratto dovranno dare precedenza alla macchina. Inoltre, gli operatori verranno sensibilizzati sulla presenza del veicolo e seguiranno attività di training per prevenire ed affrontare possibili situazioni di pericolo. Per questioni di sicurezza, il percorso verrà delimitato sul pavimento da del nastro colorato. Tutte queste misure sono solo alcune di quelle che verranno adottate poiché ci si renderà conto del rischio e dei problemi solo una volta implementato il sistema e svolti i relativi test a produzione attiva.

Il team ha testato il percorso visto nel paragrafo 5.4 e la lunghezza del percorso finale è di 121 mt. Secondo la giusta velocità impostata dal team in fase di programmazione, l'AGV impiega 5:04 minuti per compiere un giro completo del percorso. Questa misurazione è stata presa durante i test in linea di assemblaggio non considerando le possibili interferenze e gli ostacoli che l'AGV potrebbe incontrare durante il trasporto. Il dato è stato quindi paragonato al Takt Time della linea di assemblaggio, per capire se un solo AGV fosse abbastanza o se fosse necessario un secondo macchinario. Il minimo Takt Time raggiunto

dall'azienda nel corso degli anni precedenti è pari a 7:00 minuti. Ciò significa che nel caso in cui si dovesse raggiungere quel Takt Time, ogni 7:00 minuti esce un montante finito dalla linea di assemblaggio e quindi si libera un carrello.

Secondo queste misurazioni, un AGV risulta essere abbastanza per garantire il corretto flusso dei carrelli vuoti, proprio perché il tempo impiegato dall'AGV è di circa 2 minuti più basso del minimo Takt Time avuto in azienda. Per un dato più realistico che consideri la variabilità del processo e le possibili interferenze, occorre svolgere dei test a produzione attiva e fare una raccolta dati dei tempi di percorrimto dell'intero percorso.

All'interno del percorso, il team ha pensato di inserire 3 zone di buffer del carrello vuoto: la prima verrà situata a fine linea assemblaggio e corrisponde al punto di aggancio. La seconda corrisponde all'area posta sul corridoio poco prima dell'ingresso della linea di assemblaggio, mentre la terza verrà posta all'ingresso della linea, più precisamente accanto alla prima postazione di lavoro.

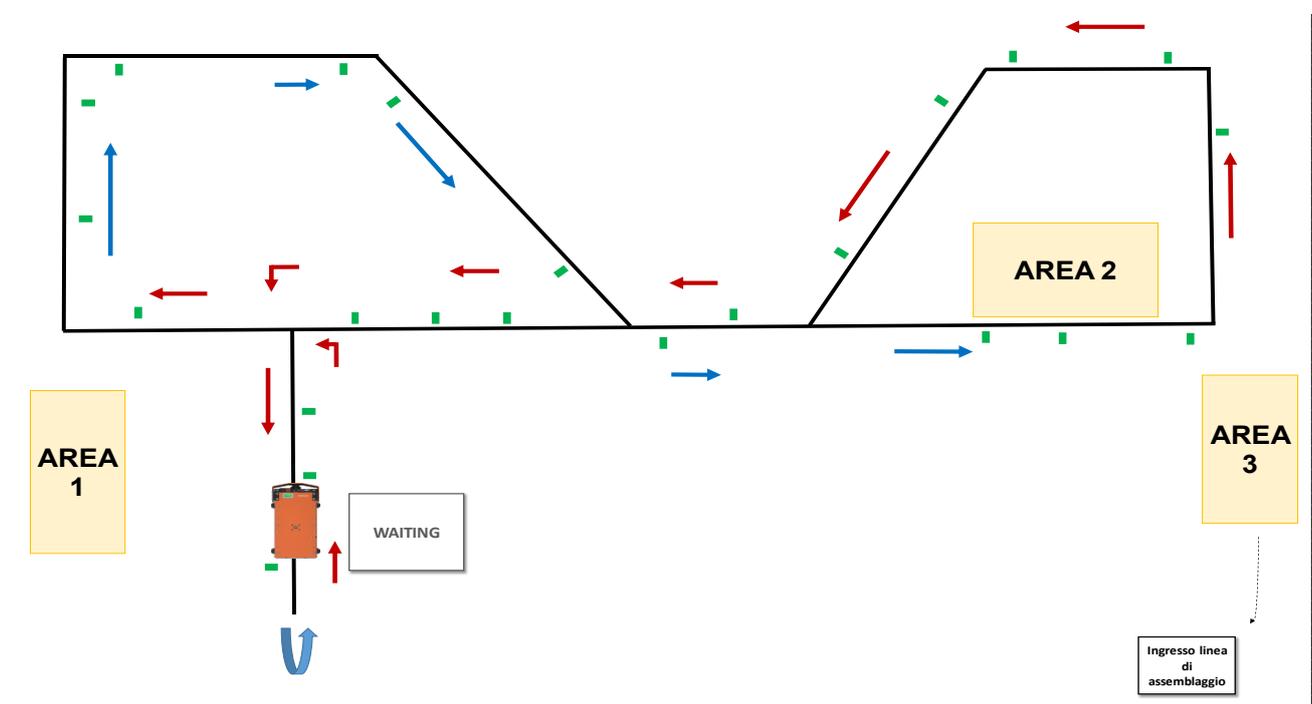


Figura 8 – Definizione delle aree di buffer

Considerando che la linea di assemblaggio è composta da 16 postazioni di lavoro, il team ha pensato di immettere sull'intero processo un numero di carrelli pari a 19 (3 carrelli nel buffer + 16 carrelli in linea). Questo perché si presume che in ogni postazione di lavoro ci sia un carrello carico sul quale l'operatore compie le diverse attività di lavorazione del montante. In questo modo il flusso risulta essere abbastanza tirato: il numero dei carrelli è il risultato di uno studio sulla carta, occorre comunque provare il processo, osservare se funziona o meno e nel caso aggiungere altri carrelli.

5.2 Prossimi steps e pianificazione delle attività

Se diamo un'occhiata al planning del progetto sull'AGV, possiamo notare che in data odierna (12/10/2020) il team è on time con le attività da svolgere. Precisamente, il team si trova a dover svolgere parallelamente l'attività di Acquisto/Noleggio dell'AGV e di definizione delle soluzioni finali da applicare su ogni carrello.

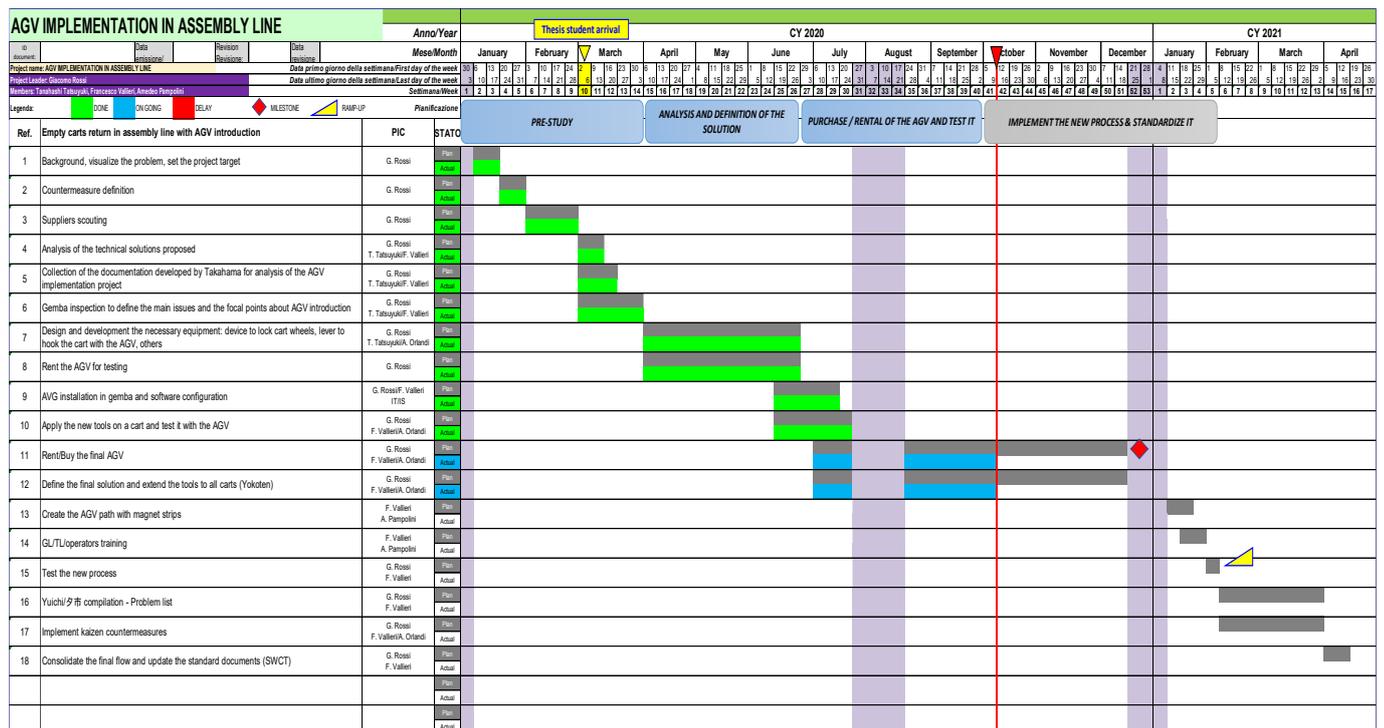


Figura 8.1 – Planning in dettaglio del progetto

L'introduzione del veicolo sul processo è prevista per l'inizio di Febbraio 2021. Attualmente il team sta provvedendo a portare a termine tutti questi i punti critici del sistema, che sono stati inseriti su di un file Excel con formato standard aziendale (chiamato PDCA in azienda, poi vedremo il motivo) nel quale s'inserisce l'immagine e la descrizione del problema e l'immagine e la descrizione della possibile soluzione. Il file compilato dal team è mostrato in figura 8.2.

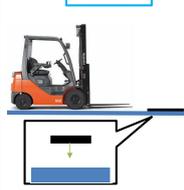
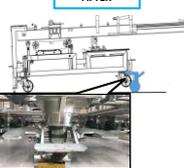
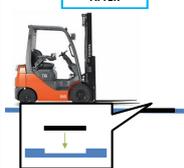
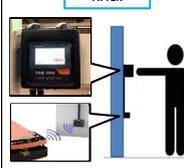
<p>The operator hooks and unhooks the cart manually</p>	<p>The operator bends down to lock direction wheels</p>	<p>The cart can't be hooked because it's not always in the same position</p>	<p>The operator can forget to lock direction wheels and the cart could bump</p>	<p>The magnetic tape could be damaged over time due to a shared path with forklift truck</p>	<p>The operator bends down to press the starter switch</p>
<p>BEFORE</p> 	<p>BEFORE</p> 	<p>BEFORE</p> 	<p>BEFORE</p> 	<p>BEFORE</p> 	<p>BEFORE</p> 
<p>Create a lever fixed on the AGV that hooks the carts using the electric pin lifts</p>	<p>Create a pedal lever with a fixed wheel to keep the direction straight</p>	<p>Create 4 small squares on the floor to delimit the area dedicated for the cart's wheels</p>	<p>Create a poka-yoke system that allow the cart's passage only if the wheels are locked</p>	<p>Create a canal on the floor to place the magnetic tape inside</p>	<p>Implement an AGV cart station on the pillar close to the workstation</p>
<p>AFTER</p> 	<p>AFTER</p> 	<p>AFTER</p> 	<p>AFTER</p> 	<p>AFTER</p> 	<p>AFTER</p> 
<p>Start: 01/07/2020 Target: 31/12/2020</p>	<p>Start: 01/07/2020 Target: 31/12/2020</p>	<p>Start: 01/07/2020 Target: 31/12/2020</p>	<p>Start: 01/07/2020 Target: 31/12/2020</p>	<p>Start: 01/07/2020 Target: TBD</p>	<p>Start: 01/07/2020 Target: TBD</p>
<p>State</p>	<p>State</p>	<p>State</p>	<p>State</p>	<p>State</p>	<p>State</p>
<p>01/07/2020</p> 	<p>01/07/2020</p> 	<p>01/07/2020</p> 	<p>01/07/2020</p> 	<p>01/07/2020</p> 	<p>01/07/2020</p> 

Figura 8.2 – Prossime attività da svolgere

Nella parte finale del file è presente una data d'inizio di presa in carica del problema e una data di target entro la quale il team si prefigge di risolverlo. Sempre in questa parte del file è presente un grafico a torta suddiviso in 4 parti:

- **1°parte - Plan:** il primo passo è quello di osservare ed analizzare le problematiche in modo da pianificare tutte le attività da effettuare. Durante questa fase si esegue una diagnosi del problema e si definiscono i KPI su cui focalizzarsi nelle fasi successive. Occorre poi fissare i target da raggiungere per vedere se le attività svolte abbiano avuto successo o meno. Nella scelta del target, bisogna scegliere degli obiettivi precisi, misurabili e concretamente raggiungibili.
- **2°parte - Do:** è la fase di attuazione delle attività pianificate nella fase precedente. Questa attività, che potrebbe consistere ad esempio in una creazione del prodotto oppure nell'eseguire un processo, viene effettuata su piccola scala in modo da testare quanto progettato prima di poterlo implementare definitivamente. Si prevede infatti di procedere passo per passo, interrogandosi ogni volta sui metodi e sui risultati. Durante questa fase di test, ci potranno essere sempre degli errori durante l'implementazione nonostante l'attività di pianificazione sia stata effettuata correttamente.
- **3°parte - Check:** questa terza fase consiste in un confronto tra i dati misurati e raccolti nella fase precedente ed i risultati attesi, che rappresentano il target pianificato nella prima fase. Durante questa fase è possibile che la strategia venga modificata per apportare le ultime modifiche prima di applicare i cambiamenti.
- **4°parte - Act:** è la fase conclusiva del ciclo e consiste in una realizzazione su larga scala del piano stabilito all'inizio con le possibili modifiche in corso d'opera. Durante questa attività vengono stabiliti degli standard che rendono definitivo il processo.

Questa metodologia di lavoro è meglio conosciuta come ciclo di Deming o ciclo PDCA e viene utilizzata all'interno del Gruppo Toyota quando si svolgono attività di miglioramento continuo.

Vediamo ora in dettaglio i punti critici presenti in *figura 8.2*, senza analizzare i primi due relativi allo studio del timone e al bloccaggio delle ruote che abbiamo già visto nel paragrafo 4.5.1 e nel paragrafo 4.5.2.

5.2.1 Area dedicata al posizionamento del carrello vuoto

Nel paragrafo 4.7.3 abbiamo visto la definizione del percorso finale da far compiere all'AGV, all'interno del quale sono presenti un'area di aggancio e una di sgancio del carrello. Per permettere che l'AGV possa agganciarsi correttamente, è necessario che il carrello venga rilasciato dall'operatore di fine linea sempre in una posizione fissa. Il team ha pensato di delimitare l'area dedicata al posizionamento del carrello con del nastro colorato e posizionare all'interno di essa 4 piastre colorate sulle quali far poggiare le ruote del carrello. In questo modo l'operatore è in grado di posizionare il carrello correttamente e permettere la fase di aggancio.



Figura 8.3 – Area destinata al posizionamento della ruota del carrello

5.2.2 Sistema Poka-Yoke per il bloccaggio delle ruote

Come visto nel paragrafo 4.5.2, il bloccaggio delle ruote posteriori risulta essere necessario per evitare la collisione del carrello durante le curve. Per evitare che l'operatore possa dimenticarsi di azionare il sistema del bloccaggio delle ruote, è fondamentale creare un sistema "Poka-Yoke", che in lingua giapponese significa "a prova di errore". Per questo motivo, il team ha pensato di arrestare il trasporto del carrello nel caso in cui il sistema di bloccaggio non fosse azionato. L'idea è quella di creare un supporto a L posizionato sul

pavimento sull'ingresso dell'area designata per l'aggancio del carrello che vada a sbattere contro il sistema a C nel caso in cui l'operatore si dovesse dimenticare di attivare il sistema, impedendo al carrello di raggiungere la posizione finale (vedi *figura 8.3.1*). Se al contrario il sistema è attivato, il supporto a L non urta il sistema di bloccaggio delle ruote e quindi il carrello continua il suo movimento fino al punto finale (vedi *figura 8.3.2*). Con questo semplice sistema Poka-Yoke, l'operatore è costretto ad attivare il sistema di bloccaggio delle ruote per poter rilasciare il carrello.



Figura 8.3.1 – Passaggio impedito del carrello



Figura 8.3.2 – Passaggio corretto del carrello

5.3 Possibili scenari futuri

Il sistema AGV implementato in LTE è molto flessibile: il percorso potrebbe essere modificato in base alle esigenze aziendali andando a riposizionare la banda magnetica sul pavimento. Inoltre, è possibile migliorare l'intero processo attraverso degli spunti di miglioramento, che per questioni di facilità potrebbero essere implementate una volta terminate tutte le attività presenti all'interno del PDCA. Vediamo ora in dettaglio questi due aspetti.

5.3.1 Prolungamento del percorso

Nonostante il team abbia scelto il percorso definitivo, illustrato nel paragrafo 4.7.3, non si esclude la possibilità nel futuro di far compiere all'AGV un percorso più lungo per compiere altre attività di trasporto di materiale.

Nel paragrafo 3.1 abbiamo visto che l'area assemblaggio è situata vicino all'impianto di verniciatura. Una volta che i diversi sfili terminano la fase della verniciatura, vengono posizionati su un pallet e separati tra di loro attraverso dei distanziatori per evitare che possano sbattere tra loro durante la movimentazione.



Figura 8.4.1 – Distanziatore



Figura 8.4.2 – Distanziatore tra gli sfili del montante

Dall'impianto di verniciatura, gli sfili vengono trasportati fino ad inizio linea di assemblaggio per iniziare la fase di lavorazione. Il pallet viene quindi liberato e i distanziatori vengono posizionati su un carrellino in attesa che l'operatore di logistica li vada a riportare all'impianto di verniciatura per poter essere riutilizzati.



Figura 8.5.1 – Carrellino per i distanziatori



Figura 8.5.2 Postazione di utilizzo dei distanziatori

L'idea del team è quella di prolungare il percorso dell'AGV fino all'impianto di verniciatura, come mostrato dalla linea rossa in *figura 8.6*, per riportare i distanziatori all'impianto di verniciatura ed evitare che questa attività venga svolta dall'operatore di logistica. Ovviamente sarà necessario misurare la lunghezza del percorso e il tempo impiegato dall'AGV per compiere un giro intero. Si dovrà poi confrontare il tempo impiegato e il Takt Time dell'azienda, per valutare la possibilità dell'acquisto di un secondo AGV.

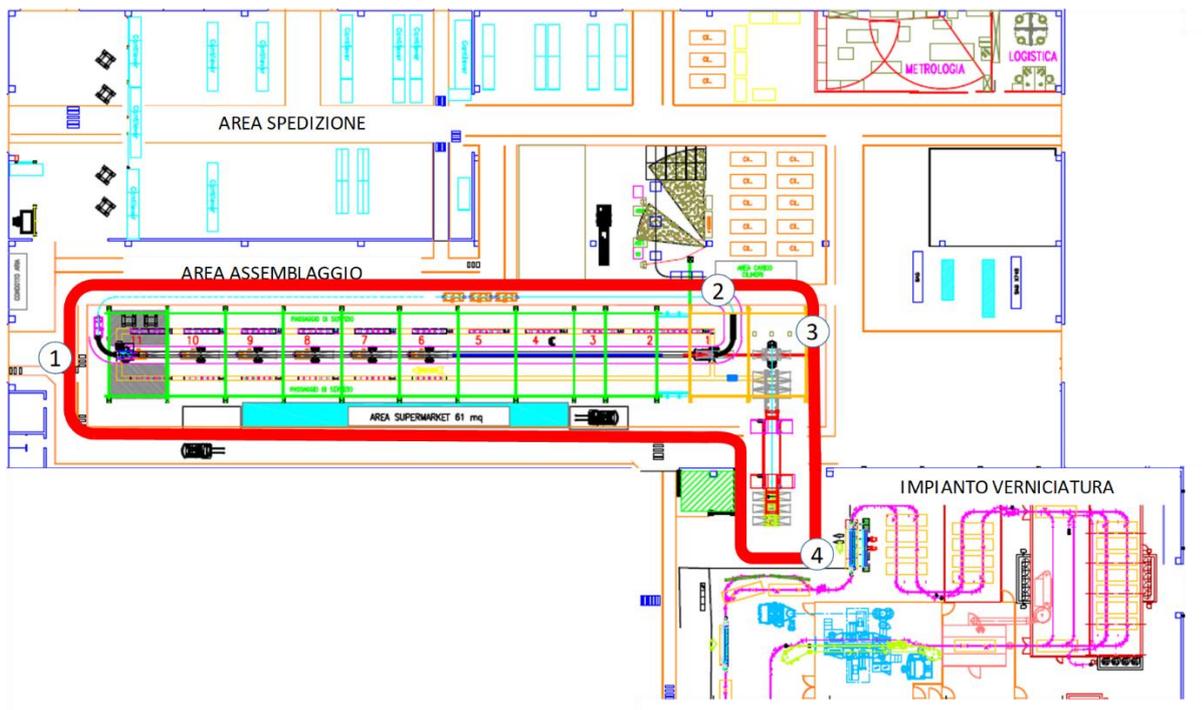


Figura 8.6 – Layout del nuovo possibile percorso

All'interno del percorso sono stati numerati i punti di presa e di rilascio del materiale:

- Punto ①: area di aggancio dell'AGV al carrello vuoto
- Punto ②: area di rilascio del carrello vuoto
- Punto ③: area di presa dei distanziatori degli sfili
- Punto ④: area di rilascio dei distanziatori degli sfili

5.3.2 Sistema di biberonaggio

Il sistema di ricarica utilizzato per il progetto è manuale: una volta che l'AGV raggiunge la posizione di ricarica, l'operatore dovrà collegare manualmente il caricatore esterno alla presa di corrente. Per evitare che l'operatore compia questa attività, è possibile adottare un metodo di ricarica automatico: il biberonaggio. Questo sistema, largamente utilizzato nelle aziende che adottano gli AGV, consiste nel posizionamento di pattini di ricarica lungo il percorso, su cui ogni l'AGV si sofferma per potersi ricaricare. Queste stazioni di ricarica vengono installate nei punti più strategici del percorso, sui quali l'AGV attende maggiormente.

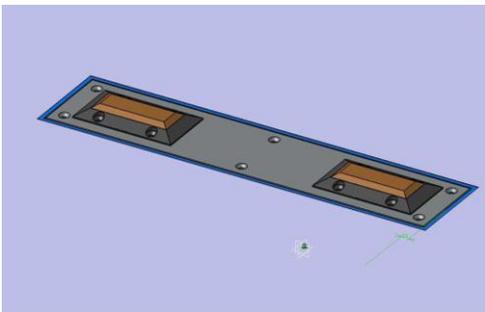


Figura 8.7 – Pattini di ricarica

Il tempo necessario per ricaricare completamente la batteria dipende dall'amperaggio, dal numero dei pattini e dal tempo impiegato dal veicolo sulla stazione di ricarica. Quando un AGV raggiunge una stazione di ricarica, i contatti situati sulla parte inferiore dell'AGV rilevano la presenza del pattino e si avvia così il ciclo di carica automatica, come mostrato in *figura 8.8*.

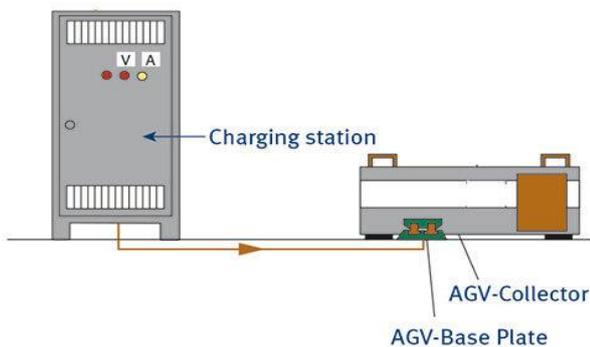


Figura 8.8 – Funzionamento del sistema di ricarica

In LTE, questa soluzione permette una ricarica automatica dell'AGV ed evita quindi che l'operazione venga effettuata dall'operatore. Inoltre, proprio perché la ricarica delle batterie avverrà su alcuni tratti strategici del percorso, non sarà più necessario utilizzare l'area designata unicamente alla ricarica dell'AGV.

5.3.3 Scasso sul pavimento

Abbiamo visto precedentemente che il tratto di percorrenza dell'AGV è condiviso con i muletti e il corridoio è molto trafficato. Per evitare che le ruote del carrello elevatore possano rovinare la banda magnetica, si è pensato di creare uno scasso sul pavimento sul quale posizionare internamente la banda magnetica, la quale sarà allo stesso livello del pavimento. Potrebbe capitare che durante le manovre di movimentazione dei trespoli, le ruote del carrello elevatore possano ruotare su sé stesse sopra la banda magnetica e si possano generare delle forze che potrebbe spezzare o comunque danneggiare la banda. Questo tipo di soluzione, oltre a proteggere la banda magnetica da possibili rotazioni delle ruote del muletto, permette di preservare la sua integrità da eventuali collisioni con le forche del carrello elevatore. Potrebbe infatti capitare che l'operatore sul carrello elevatore si dovesse dimenticare le forche abbassate una volta terminata la movimentazione dei trespoli del montante.

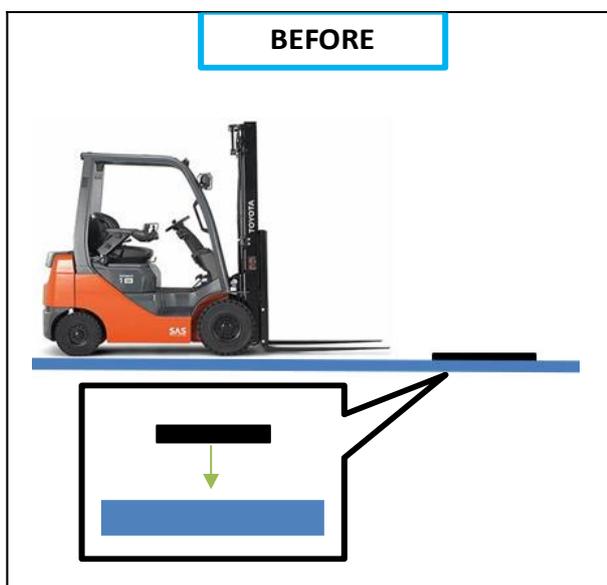


Figura 9.1 – Banda magnetica sul pavimento

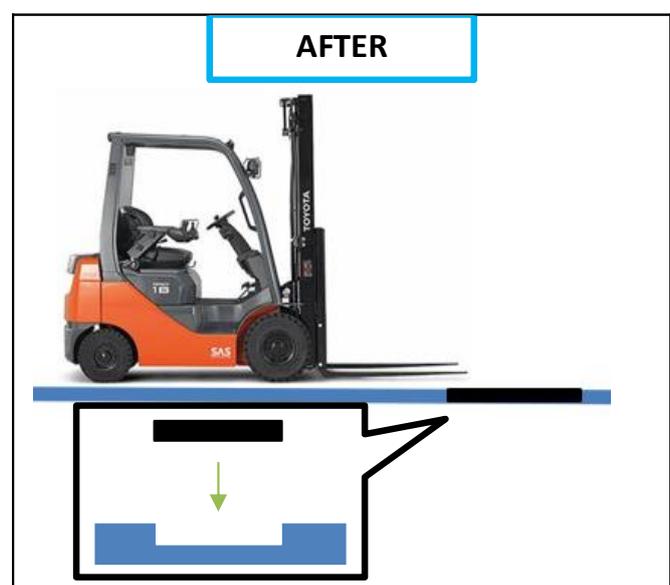


Figura 9.2 – Banda magnetica dentro lo scasso

Ovviamente la realizzazione dello scasso sul pavimento andrebbe effettuata solamente una volta definito il percorso finale.

6 Analisi economica-finanziaria del progetto

Durante l'analisi economica-finanziaria del progetto, l'azienda ha dovuto valutare due diverse offerte proposte dal fornitore, una relativa al noleggio del macchinario ed una relativa all'acquisto. L'azienda ha quindi confrontato le due offerte per scegliere quella più conveniente. Vediamo ora le due diverse offerte e il motivo per il quale l'azienda ha deciso di scegliere un'offerta piuttosto che l'altra.

Sia in caso di noleggio che di acquisto dell'AGV, l'azienda dovrà sostenere il costo di un tantum pari a 8.000€, che include i diversi servizi proposti dal fornitore al cliente, come il corso di formazione, l'affiancamento ad un tecnico professionista, il posizionamento della guida magnetica e dei relativi tag e il servizio di supporto e assistenza.

Nel caso di noleggio, il canone mensile del macchinario è pari a 650€ al mese, che in un anno corrisponde a 7.800€.

Il costo dell'acquisto del macchinario è invece pari a 27.000€.

In caso di noleggio i costi di manutenzione sono inclusi nella retta che l'azienda versa mensilmente al fornitore, mentre nel caso di acquisto i costi di manutenzione sono a carico dell'azienda. Per il confronto tra le due offerte, non conoscendo i costi annuali di manutenzione in caso di acquisto, è stato trovato il punto di pareggio delle due offerte in modo da conoscere il costo di manutenzione limite.

È stata quindi creata una tabella che mette in relazione le due offerte:

	ACQUISTO			NOLEGGIO		
	AMM.TO	MANUT.	TOTALE	NOLEGGIO	PRESTAZ.	TOTALE
1° anno	3.889	4.800	8.689	7.800	8.000	15.800
2° anno	3.889	4.800	8.689	7.800		7.800
3° anno	3.889	4.800	8.689	7.800		7.800
4° anno	3.889	4.800	8.689	7.800		7.800
5° anno	3.889	4.800	8.689	7.800		7.800
6° anno	3.889	4.800	8.689	7.800		7.800
7° anno	3.889	4.800	8.689	7.800		7.800
8° anno	3.889	4.800	8.689	7.800		7.800
9° anno	3.889	4.800	8.689	7.800		7.800
TOTALE	35.000	43.200	78.200	70.200	8.000	78.200

Figura 10 – Tabella sul confronto tra il noleggio e l'acquisto dell'AGV

In caso di acquisto il costo totale dell'ammortamento in 9 anni è pari a 35.000€, che include il costo dell'AGV e la tantum per il costo del progetto. Se consideriamo i 9 anni d'investimento, il costo annuale è pari a 3.889€.

Per quanto riguarda il noleggio, è stato calcolato un costo pari a 7.800€ per ogni anno. Nel primo anno al costo annuale di 7.800€ è stato aggiunto il costo della tantum, pari a 8.000€. Se sommiamo i costi annuali e la tantum del primo anno, avremo che il costo totale del noleggio dopo 9 anni è pari a 78.200€.

Per confrontare le due diverse offerte, è stato calcolato il costo annuale di manutenzione nel caso di acquisto per fare in modo i costi totali delle due offerte siano uguali. Sono stati quindi sottratti i 35.000€ (relativi al costo totale dell'ammortamento in 9 anni) dai 78.200€ ed è emerso che il costo di manutenzione non deve eccedere i 43.200€ in 9 anni per preferire l'acquisto al noleggio. Ciò significa che ogni anno l'azienda dovrebbe spendere più di 4.800€ come costi di manutenzione per preferire il noleggio all'acquisto. Per l'azienda questa cifra risulta essere molto alta per i costi di manutenzione di un macchinario come il TAE 050 HD e per questo si preferisce acquistare il macchinario piuttosto che noleggiarlo.

Conclusioni

Il progetto sull'AGV svolto in azienda ha evidenziato una serie di vantaggi e miglioramenti che renderebbero più efficiente il processo produttivo. Come abbiamo visto nel paragrafo 3.2.1, l'attività di trasporto del carrello vuoto svolto dall'operatore è risultata essere una fase di puro spreco di tempo e veniva svolta in condizioni ergonomiche sfavorevoli per la salute e la sicurezza dell'operatore. Attraverso l'implementazione di un sistema AGV, si prevede che l'azienda sia in grado di raggiungere il target prefissato: il tempo impiegato dall'operatore nel trasporto del carrello può essere utilizzato per svolgere altre mansioni o compiti diversi. Infatti, ciò evita che l'operatore possa allontanarsi dalla propria postazione di lavoro per rifornire la linea di assemblaggio. La riduzione del livello di saturazione dell'operatore è un punto di partenza per poter ribilanciare le attività tra le diverse postazioni di lavoro e rendere sempre più efficiente la linea di assemblaggio del montante. L'operatore dovrà solamente mettere in carica il macchinario a fine turno lavorativo oppure effettuare una sostituzione manuale della batteria. L'attività perciò non viene eliminata completamente, ma essendo considerata come spreco, si preferisce farla svolgere ad un macchinario. Inoltre, dal punto di vista ergonomico della postazione di lavoro, il problema non è più presente perché l'attività non viene più svolta dall'operatore. L'operatore non sarà più costretto a impiegare una grande forza per mettere in movimento il carrello e gestirne la sua instabilità durante il tragitto. Ciò significa che non sarà più esposto al rischio di malattie muscolo-scheletriche derivanti da azioni ripetitive in ambito lavorativo, portando un beneficio non solo all'operatore ma anche all'azienda che non dovrà più focalizzarsi sull'esposizione al rischio dell'operatore durante il trasporto del carrello. Per questo motivo il sistema AGV è risultato essere la giusta soluzione per permettere all'azienda di risolvere i problemi presenti in linea e allo stesso tempo dare continuità al percorso di crescita ed innovazione aziendale. Il sistema permetterà inoltre una maggiore sincronizzazione del processo. Verranno stabiliti dei nuovi standard per ogni attività da far svolgere a ciascun operatore e il trasporto del carrello verrà effettuato solamente quando serve, secondo i principi del Just in Time: il carrello vuoto che viene posizionato sull'area di aggancio

dall'operatore di fine linea corrisponde alla necessità di un nuovo carrello ad inizio linea. Sarà l'operatore infatti che una volta terminata questa fase, darà il consenso all'AGV di poter trasportare il carrello fino ad inizio linea.

Nonostante l'elevato costo iniziale, i benefici apportati al processo produttivo in LTE giustificano la spesa totale del progetto. Il sistema AGV si è rivelato quindi una soluzione innovativa e flessibile alle esigenze aziendali di movimentazione del materiale.

Bibliografia

- A.Coimbra, E. (2016). *Total Flow Management*. Guerini Next.
- AGVE. (2019). *I tipi di AGV*. Tratto da <https://www.agve.it/2019/06/04/i-tipi-di-agv/>
- Bicheno, J., & Portioli Staudacher, A. (2009). *Metodologie e tecniche per la Lean*. Bologna: Pitagora.
- Equipment, L. T. (s.d.). Tratto da LTE Toyota Material Handling: <https://www.l-t-e.it/>
- Equipment, L. T. (s.d.). *Materiale didattico aziendale*.
- Inail. (2017). *Conoscere il rischio - Operazioni di spinta e traino*. Tratto da Inail.it.
- Indeva. (s.d.). *Intelligent Devices for Handling*. Tratto da [:https://www.indevagroup.com/automatic-guided-vehicles/](https://www.indevagroup.com/automatic-guided-vehicles/)
- K.Liker, J. (2003). *The Toyota Way*. Jeffrey K.Liker.
- Logistics, S. (s.d.). *THE HEART OF INTRALOGISTICS*. Tratto da <https://www.systemlogistics.com/ita/>
- Movincar, A. (s.d.). Tratto da Movincar sito ufficiale: <https://www.gruppomovincar.com/agv.html>
- OSTools. (2013). *Il metodo di Snook & Ciriello*. Tratto da: <https://www.liftingindex.com/snookciriello.html>
- P.Womack, J., & T.Jones, D. (2003). *Lean Thinking*.
- TMHE. (s.d.). *Toyota Material Handlig*. Tratto da <https://toyota-forklifts.it/>
- TMHI. (s.d.). *TPS training material*.
- Veicoli a guida automatica*. (s.d.). Tratto da AGV Network: <https://www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-battery-charging-solutions>
- Womack, J. P., T.Jones, D., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world*.