

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Ingegneria Industriale
Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica**

Tesi di Laurea Magistrale

STUDIO DELLA MOVIMENTAZIONE DI MACCHINE DI GRANDI DIMENSIONI DURANTE IL CICLO PRODUTTIVO PER IL MIGLIORAMENTO DELL'ERGONOMIA E DELLA FLESSIBILITÀ

Relatore

Prof. Maurizio Faccio

Correlatore

Prof. Giovanni Meneghetti

Laureando

Mauro Vanin

Matricola

1183896

Anno Accademico 2019/2020

Indice

Introduzione	1
1 Il ruolo dell'ergonomia in un ambiente industriale	3
1.1 Introduzione	3
1.2 Adozione di un modello ergonomico efficace	5
1.3 Problemi muscoloscheletrici	8
1.3.1 Colonna vertebrale	8
1.3.2 Arti superiori	9
1.3.3 Arti inferiori	11
1.4 Prevenzione dei problemi muscoloscheletrici	13
1.5 Le normative di riferimento	15
1.5.1 ISO 11228 – 1: sollevamento e trasporto dei materiali	15
1.5.2 ISO 11228 – 2: Spingere e trainare i materiali	18
1.5.3 ISO 11228 – 3: movimentare bassi carichi ad elevate frequenze	23
1.6 Considerazioni finali	26
2 Sistemi per la movimentazione interna dei materiali	27
2.1 Classificazione dei sistemi di trasporto	27
2.2 Sistemi a bassa automazione e bassa flessibilità	30
2.3 Sistemi a bassa automazione e ad alta flessibilità	31
2.3.1 Carrelli elevatori frontali	31
2.3.2 Carrelli elevatori a forche retrattili	33
2.4 Sistemi ad alta automazione e bassa flessibilità	34
2.4.1 Trasportatori a nastro	34
2.4.2 Trasporto su rotaie	36
2.5 Sistemi ad alta automazione e alta flessibilità	37
2.5.1 Sistemi di guida a percorso fisso	37
2.5.2 Sistemi di guida a percorso variabile	38
3 L'azienda Galdi S.R.L.	41
3.1 La storia	41

3.2	Sistemi di riempimento	43
3.3	Lo stabilimento di Postioma di Paese	45
3.4	Le riempitrici RG	46
3.4.1	Riempitrice RG50	46
3.4.2	Riempitrice RG270	48
4	Analisi della logistica attuale e possibili alternative	51
4.1	L'area produttiva	51
4.2	Presentazione della problematica	53
4.3	Situazione <i>as - is</i>	54
4.4	Carrello elevatore	60
4.5	Carroponte	63
4.6	Sistemi a cuscini d'aria	65
4.6.1	Funzionamento dei cuscini ad aria	66
4.6.2	Problematiche	67
4.7	Sistemi a piattaforma	70
4.8	Sistema alternativo	72
4.8.1	Caratteristiche considerate	72
4.8.2	Container e normativa ISO 1161	74
4.8.3	Tecnologia per il sollevamento e il trasporto di container analizzata	76
5	Verifica di fattibilità	79
5.1	Introduzione allo studio	79
5.2	Funzionamento del sistema	80
5.3	Determinazione degli spazi necessari	82
5.4	Comportamento strutturale durante lo spostamento	83
5.4.1	Determinazione dei carichi	84
5.5	Analisi statica	86
5.6	Prototipazione del sostegno	90
	Conclusioni	91
	Bibliografia	94
	Sitografia	95
	Appendice A	99

Elenco delle figure

1.1	Ruolo centrale della persona nello studio ergonomico e applicazione ai diversi campi	5
1.2	Principali benefici introdotti da un approccio ergonomico	7
1.3	Struttura della colonna vertebrale	9
1.4	Spalla soggetta a periartrite scapolo-omerale	10
1.5	Gomito soggetto a epicondilite	10
1.6	Polso soggetto a tunnel carpale	11
1.7	Struttura schematica del ginocchio	12
1.8	Piede soggetto a fascite plantare	12
1.9	Variabili da considerare per l'attività e angolo di asimmetria secondo UNI 11228 – 1	17
1.10	Procedura guidata per l'accettazione dei rischi presente nella ISO 11228 – 2	18
1.11	Tabella della massima forza iniziale accettabile. Si fa riferimento al 90% degli addetti alla movimentazione	21
1.12	Schema di valutazione dei rischi, tramite il metodo 2 secondo ISO 11228 – 2	22
2.1	Tipica configurazione di un transpallet manuale	30
2.2	Carrello elevatore frontale con forche a sbalzo	32
2.3	Esempio di carrello elevatore con forche retrattili	34
2.4	Trasportatore industriale a nastro in tela e gomma	35
2.5	Sistema a rotaia	36
2.6	Sistema AGV a percorso fisso	38
2.7	Sistema AGV a percorso variabile	39
3.1	Impianti Galdi presenti in diversi paesi del mondo	42
3.2	Confezionatrice di fine linea Artema Pack	42
3.3	Cartone gable top	44
3.4	Stabilimento Galdi a Postioma di Paese	45
3.5	Macchina riempitrice RG50	47
3.6	Layout interno di una RG50	47

3.7	Macchina riempitrice RG270	49
3.8	Layout interno di una RG270	49
4.1	Disposizione attuale delle aree produttive nello stabilimento Galdi	52
4.2	Pattini utilizzati per l'attuale movimentazione della macchina	54
4.3	Questionario proposto agli operatori, pagina 1	56
4.4	Questionario proposto agli operatori, pagina 2	57
4.5	Problematiche della logistica attuale nello stabilimento Galdi	59
4.6	Carrelli elevatori disponibili in Galdi	60
4.7	Sollevamento di una RG270 con un carrello elevatore	61
4.8	Benefici e svantaggi nell'utilizzo di un carrello elevatore per lo spostamento di una RG270	62
4.9	Carro ponte presente nell'area della carpenteria	63
4.10	Corridoio presente tra area collaudo e area assemblaggio, è possibile osservare che il soffitto è basso e sono presenti delle colonne tra i due reparti	64
4.11	Benefici e svantaggi nell'utilizzo di un carro ponte per lo spostamento di una RG270	65
4.12	Componenti del singolo cuscino ad aria	66
4.13	Sistema di sollevamento con cuscini d'aria	67
4.14	Comportamento del cuscino ad aria da fermo e in funzione	67
4.15	Crepe presenti sulla pavimentazione dello stabilimento	68
4.16	Altezza dei piedini della macchina	69
4.17	Sollevamento di un impianto di aria condizionata tramite un sistema a cuscino d'aria. Si può osservare che sono necessari due supporti dove possa inserirsi il sistema stesso	69
4.18	Operazioni da seguire per lo spostamento delle macchine riempitrici con sistemi a cuscini d'aria	70
4.19	Benefici e svantaggi nell'utilizzo di un sistema a cuscini d'aria per lo spostamento di una RG270	70
4.20	Sistema a piattaforma	71
4.21	Particolare tipologia di ruote che permettono spostamenti omnidirezionali	71
4.22	Operazioni da seguire per lo spostamento delle macchine riempitrici con sistemi a cuscini d'aria	72
4.23	Benefici e svantaggi nell'utilizzo di un sistema a piattaforma per lo spostamento di una RG270	72
4.24	Dimensioni di una macchina riempitrice RG270	73
4.25	Altezza del piedino che sostiene la macchina riempitrice	74

4.26	Geometria dei blocchi d'angolo presenti nei container secondo UNI 1161	75
4.27	Sistema di pattini con un sistema idraulico per il sollevamento	77
5.1	Pattini Tandemloc impiegati per spostare un container	80
5.2	Portabilità dei pattini Tandemloc	80
5.3	Componenti dell'intero sistema di movimentazione	81
5.4	Sterzata cinematica di un rimorchio a due assi di cui uno sterzante	82
5.5	Sterzata di una RG270 trainata da un trattorino elettrico lungo una curva a gomito	83
5.6	Posizioni dei carichi statici lungo il telaio del modello RG270	85
5.7	Visualizzazione del telaio in ambiente 3D	86
5.8	Creazione di una mesh di elementi solidi e applicazione dei carichi statici	87
5.9	Diverse posizioni dei punti vincolati per le diverse tipologie di sollevamento	87
5.10	Spostamenti sviluppati sul telaio della macchina riempitrice al variare del metodo di sollevamento	88
5.11	Tensioni di Von Mises sviluppate sul telaio della macchina riempitrice al variare del metodo di sollevamento	89
5.12	Prototipo del sostegno ISO 1161 modulare	90

Elenco delle tabelle

1.1	Parametri da considerare per la progettazione ergonomica di un ambiente industriale	14
1.2	Variabili primarie considerate nelle operazioni di sollevamento e spostamento del materiale	16
1.3	Diversi valori di rischio a seconda dell'indice OCRA e contromisure da adottare	25
1.4	Metodologie alternative per l'assegnazione del rischio ergonomico considerando differenti parti del corpo	25
2.1	Suddivisione di alcuni dei principali sistemi di movimentazione in base alle loro caratteristiche	28
2.2	Confronto delle prestazioni tra due tipologie diverse di carrelli elettrici	33
3.1	Shelf life in base al tipo di prodotto	44
3.2	Stazioni numerate della macchina riempitrice RG50	48
5.1	Pesi di tutti i componenti della macchina riempitrice RG270	84
5.2	Proprietà meccaniche acciaio AISI 304	86



Introduzione

Il presente elaborato è stato sviluppato in concomitanza con un periodo di tirocinio all'interno dell'azienda Galdi S.R.L.

L'azienda progetta e sviluppa macchine confezionatrici automatiche per il riempimento di prodotti alimentari in cartoni *Gable Top*. I prodotti tipici con cui vengono riempiti i cartoni *Gable top* riguardano l'ambito lattiero-caseario, ma tali macchine riempitrici possono lavorare anche con farine o il cosiddetto *dry-food*. Il presente lavoro si colloca nel processo di spostamento delle macchine interno allo stabilimento produttivo e si propone di ricercare una metodologia alternativa a quella già presente in azienda, che consideri i principi ergonomici per il benessere degli operatori e i concetti di flessibilità d'impianto.

In particolare è stata ricercata una soluzione che non andasse a inserire modifiche sostanziali al telaio delle macchine riempitrici e che fosse di facile utilizzo per tutti gli operatori addetti alla movimentazione.

Nella prima parte dell'elaborato è presente una presentazione dei problemi, in particolare fisici, che possono insorgere se non viene curato l'aspetto ergonomico all'interno di una postazione di lavoro e quali sono le principali cause.

Parallelamente vi è un'introduzione alla classificazione dei sistemi per la movimentazione dei materiali, con riportato qualche esempio per ciascuna categoria.

Nella seconda parte sono state analizzate le principali metodologie e tecnologie utilizzate per l'industria pesante e sono stati valutati i benefici e gli svantaggi che ciascuna tecnologia porterebbe all'interno dello stabilimento.

Di seguito sono indicate le tematiche introdotte all'interno dei diversi capitoli:

- **Capitolo 1:** Introduzione ai principi ergonomici;
- **Capitolo 2:** Classificazione dei diversi sistemi di *material handling*;
- **Capitolo 3:** Introduzione dell'azienda e delle diverse famiglie di prodotti realizzate;
- **Capitolo 4:** Definizione della logistica attuale e ricerca di alternative;
- **Capitolo 5:** Analisi di fattibilità di un innovativo sistema per la movimentazione interna delle macchine riempitrici.

Capitolo 1

Il ruolo dell'ergonomia in un ambiente industriale

1.1 Introduzione

Negli ambienti industriali tradizionali l'ottimizzazione del processo produttivo viene fatta considerando solamente le variabili di tempo e di costo, e concentrandosi sulla progressiva riduzione di tali variabili al fine di massimizzare il profitto, non contemplando il fattore umano nei ritmi della produzione.

Nei moderni sistemi industriali, l'assemblaggio e la movimentazione rappresentano due delle più importanti fasi di produzione. Ogni attività che viene svolta all'interno del processo produttivo è infatti strettamente legata al mercato finale, che sta diventando sempre più esigente. Per i suddetti motivi viene sempre più richiesta una qualità maggiore rispetto a quanto accadeva in passato.

Oggi le industrie si trovano nella situazione di dover fronteggiare un mercato molto concorrenziale, e, nel caso in cui non si sia in grado di offrire un prodotto di qualità, ricco di alternative.

Questo senso di urgenza che è venuto a crearsi, ha fatto sì che durante gli ultimi anni molte compagnie abbiano deciso di mobilitarsi per essere sia più efficienti, aumentando il livello di qualità del prodotto offerto, che più flessibili.¹

Come è noto, i processi di assemblaggio e di movimentazione manuale del materiale richiedono un elevato grado di attività manuali, specialmente nel caso in cui non vi siano stazioni di assemblaggio e mezzi di trasporto per il materiale automatizzati. In questo tipo di attività l'operatore utilizza il suo corpo come forza motore per la realizzazione delle procedure, mettendo in azione un certo livello di energia a seconda delle attività che devono essere svolte per garantire un ottimale livello di qualità

¹Daria Battini, Xavier Delorme, Alexandre Dolgui, Alessandro Persona, Fabio Sgarbossa, 2016, *Ergonomics in assembly line balancing based on energy expenditure: a multi-objective model*, International Journal of Production Research

nel prodotto finale. L'energia può essere spesa, ad esempio, utilizzando il tronco superiore o le braccia per il sollevamento di un pezzo, oppure l'operatore può utilizzare il proprio quantitativo energetico per spostarsi da una stazione di lavoro ad un'altra o per compiere movimenti necessari oppure movimenti ripetitivi e non necessari per completare le operazioni assegnategli per eseguire il suo compito.

Non è raro che all'interno di un ambiente lavorativo vi siano attività che richiedono azioni in grado di logorare fisicamente un operatore. Tra queste possiamo trovare:

- Movimenti ripetitivi;
- Alta concentrazione con conseguente alto livello di stress fisico;
- Posture scomode.

Se, queste attività non vengono monitorate e controllate possono ledere non solamente l'operatore, ma anche l'azienda stessa: un operatore stanco ha una soglia di attenzione più bassa rispetto alla sua normalità, in quanto non ha più un quantitativo di energia che gli permette di svolgere meticolosamente il suo lavoro. Qualora venga commesso un errore, la prima caratteristica del prodotto che ne risente è proprio la qualità.

Come già specificato in precedenza un'industria per essere competitiva deve essere in grado di far fronte ad una concorrenza che offre continuamente alternative valide.

Vi è dunque una stretta correlazione tra la produttività che si è in grado di garantire ed il livello di ergonomia implementato.

L'assunzione e utilizzo dei principi ergonomici nell'ambiente produttivo rappresenta quindi una casistica win – win in quanto gli operatori non sono più costretti a lavorare in condizioni a loro ostili. Di conseguenza, l'impresa riesce a garantire un alto livello di qualità e flessibilità al cliente.

Per i motivi appena espressi, oltre alle variabili di tempo e di costi, è opportuno considerare anche il fattore umano nella progettazione del layout e dei processi produttivi. Questi tre termini non sono indipendenti tra di loro; diventa quindi necessario operare delle scelte mirate affinché vi sia un equilibrio tra tutte e tre le componenti in gioco. Ad esempio, qualora si decida di trascurare l'ergonomia e ci si concentri nella minimizzazione dei tempi, non si considera il danno fisico e psicologico arrecato dalle azioni che deve svolgere un operatore, e quindi non si tiene conto del fatto che egli potrebbe svolgere il suo compito in maniera inadeguata rendendo il prodotto finale qualitativamente scadente.

Nei paragrafi successivi, verranno analizzate nel dettaglio tutte le possibilità e dinamiche collegate all'adozione di un modello ergonomico e le pratiche per la valutazione ergonomica. In particolare, si porrà l'attenzione sulla valutazione ergonomica nella movimentazione manuale dei carichi, analizzandone le normative ISO di riferimento.

1.2 Adozione di un modello ergonomico efficace

Il termine ergonomia deriva dal Greco e la sua etimologia è definita dai sostantivi “ergon” e “nomos” che rispettivamente significano “lavoro” e “leggi”. Si tratta quindi di una disciplina scientifica che pone l’attenzione sulla comprensione delle interazioni tra gli umani e gli altri elementi di un sistema.

L’ergonomia è l’elemento che applica teoria, principi, dati e metodi per progettare un ambiente, al fine di ottimizzare il benessere personale e le prestazioni del sistema complessivo.²

Coloro che si occupano dell’ergonomia hanno dunque il compito di progettare e valutare le attività, i lavori, gli ambienti e i sistemi al fine di renderli compatibili con i bisogni, le abilità e le limitazioni delle persone.



Figura 1.1: Ruolo centrale della persona nello studio ergonomico e applicazione ai diversi campi

L’adozione di un modello ergonomico efficace all’interno di un ambiente industriale permette di ottenere numerosi vantaggi, tra questi si possono elencare³:

- *Aumento della produttività*: lo studio ergonomico permette di ridurre tensioni non necessarie e di limitare o annullare le posizioni innaturali del corpo. Così facendo il lavoro che dovrà svolgere ciascun operatore sarà più facile e confortevole. Con tale pratica si riduce ogni tipo di stress e di rischio e viene aumentata la produttività;

²International Ergonomics Association Executive Council, Definition of domains and ergonomics, <https://www.iea.cc/whats/>

³<https://www.publichealthnotes.com/ergonomics-and-its-10-principles/>

- *Riduzione dei costi*: nonostante sembri un ossimoro, una maggiore attenzione all'ergonomia dell'ambiente produttivo permette di ridurre i costi. L'investimento riservato al miglioramento dell'intera area può essere visto come un investimento unico, in grado di ridurre esponenzialmente i costi dovuti alla presenza di personale infortunato o non disponibile. La riduzione dei costi va di pari passo con l'aumento della produttività, in quanto se i ritmi di produzioni sono regolari, senza defezioni nel personale, si verificano entrambi i benefici;
- *Migliora la qualità*: un operatore è in grado di garantire una certa qualità del suo lavoro qualora abbia energia disponibile sufficiente per la corretta realizzazione. Il fatto di migliorare l'ergonomia fa sì che i movimenti che devono essere fatti per effettuare una certa operazione non siano logoranti per il fisico dell'operatore stesso; questo fa sì che il livello di energia non cali drasticamente e che l'operatore sia in grado di lavorare efficacemente ed efficientemente, migliorando la qualità del suo lavoro.

Vi sono poi altri aspetti positivi, legati ad un'adeguata attenzione al benessere della figura umana. Un esempio lampante è legato all'assenteismo da lavoro; un impegno maggiore nel rendere un ambiente più user-friendly permette di ridurre l'assenteismo da lavoro. Su questo tema sono stati fatti diversi studi e hanno tutti sottolineato come migliorando la sicurezza e rendendo l'ambiente lavorativo più sano vengano ridotti i giorni di assenza medi del personale, cosa di grande importanza per garantire una semplice gestione aziendale. Ad esempio, per ridurre notevolmente l'impatto sul fisico degli operatori ed avere una maggiore collaborazione da parte del personale è sufficiente ridurre i carichi che il personale stesso deve spostare da una zona all'altra o da un ambiente all'altro.⁴

Cambiando punto di vista ci si può rendere conto di un altro beneficio non indifferente introducibile con la progettazione ergonomica: l'impatto sul personale. L'operatore, rendendosi conto che vengono fatti miglioramenti per facilitargli le operazioni che deve compiere, indirettamente sente valorizzato il suo lavoro e la sua figura, questo comporta maggiore fiducia e quindi miglioramento del benessere dell'operatore. Questa motivazione aggiuntiva fa sì che migliori la produzione e la qualità dei prodotti con una complessiva riduzione dei costi.

La capacità di progettare l'ambiente produttivo adatto alle esigenze di un operatore è quindi diventata di fondamentale importanza, perché è noto a tutti che in un clima di elevata concorrenza di mercato prevale colui che riesce a limitare i costi garantendo comunque prodotti di qualità superiore.

Il livello di ergonomia in un ambiente lavorativo è definito dalla tecnologia che si

⁴Lars Fritzsche et al, January 2014, *Good ergonomics and team diversity reduce absenteeism and errors in car manufacturing*, Ergonomics.

utilizza al suo interno e dall'interazione che il personale ha con questa.

Come precedentemente analizzato lo stato psicofisico del lavoratore è direttamente collegato alle prestazioni aziendali, quindi sarebbe opportuno che l'azienda in questione facesse in modo di ridurre al minimo sia gli incidenti sul lavoro che condizione di lavoro troppo stressanti per gli operatori. La capacità di generare prodotti funzionali e al contempo sostenibili diventa al giorno d'oggi una capacità di primo livello per un ambiente produttivo e deve rappresentare per le industrie un motivo di vanto.

Qualora non venga contemplata l'ergonomia nella progettazione delle attività che devono venire svolte, oltre a perdere una possibilità nel miglioramento produttivo e di immagine aziendale, possono verificarsi delle problematiche più o meno gravi. Le problematiche più gravi insorgono quando, non considerando il fattore di interazione umana, si va ad incidere sulle condizioni di sicurezza.

Una carenza nel settore della sicurezza fa sì che si possa venire in contatto con materiali pericolosi per la salute del lavoratore, come ad esempio materiali taglienti a causa della presenza di bave.

Un'altra grave conseguenza per coloro che lavorano in ambienti non ergonomici è rappresentata dagli infortuni muscoloscheletrici. Il fatto di lavorare in posizioni rigide, costrette o non naturali può provocare un dolore costante a diverse parti del corpo e tale malessere incide negativamente sul piano psicofisico del lavoratore. Il dolore o malessere e può assumere connotazioni più gravi qualora non vi sia un trattamento fisico o psicofisico adeguato.

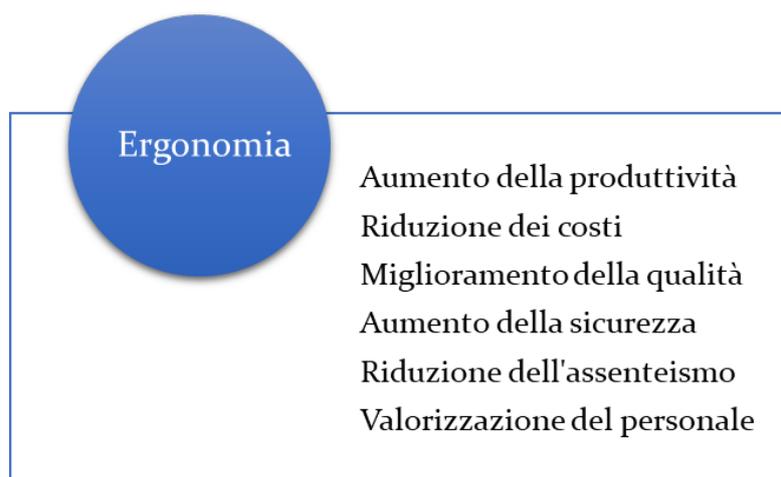


Figura 1.2: Principali benefici introdotti da un approccio ergonomico

1.3 Problemi muscoloscheletrici

Un'azienda che non considera la componente ergonomica nella progettazione del suo ambiente lavorativo deve spesso far fronte a costi secondari derivanti o da infortuni sul lavoro o da processi di riabilitazione o da trattamenti terapeutici di vario tipo.

Come se non bastasse, la mancanza di personale, dovuta ad assenza per malattia, riduce la capacità produttiva dell'azienda stessa. Una delle principali ragioni di assenteismo da lavoro è legata a problemi muscoloscheletrici, che intaccano legamenti e muscoli tramite infiammazioni, strappi o rotture di questi.

È stimato che quasi il 25% dei lavoratori dell'Unione europea soffra di mal di schiena e il 23% lamenti dolori muscolari. Più della metà dei lavoratori è solita svolgere azioni ripetitive con braccia e mani, il 46% lavora in posizioni dolorose e stancanti e il 35% trasporta o movimentata carichi pesanti.⁵

Gran parte dei disturbi muscoloscheletrici può essere causata da posture inadatte o da movimenti sbagliati che vengono adottati durante l'attività lavorativa.

Tali disturbi possono derivare da affaticamento muscolare, da infiammazione dei tendini o da degenerazione dei dischi della colonna vertebrale.

Di seguito, si proverà a dare un elenco delle possibili complicanze che possono essere associabili ad uno scarso livello ergonomico dell'ambiente di lavoro, in base a dove intacca il dolore.

1.3.1 Colonna vertebrale

La colonna vertebrale rappresenta il principale sostegno del corpo umano. Questa assolve anche altre importanti funzioni:

- Protettiva;
- Motoria.

Essa ospita al suo interno il midollo spinale, che è una struttura nervosa molto importante per l'essere umano, in quanto da essa partono molte terminazioni nervose. Tra le vertebre si inseriscono muscoli e legamenti, necessari all'attività motoria del corpo.

La struttura che subisce maggiori alterazioni è quella del disco intervertebrale, il quale ha la funzione di garantire flessibilità all'intera colonna vertebrale. Il disco intervertebrale a seguito di processi di usura perde la sua funzione ammortizzatrice, rendendo la schiena più soggetta a disturbi.

⁵E. Occhipinti, D.Colombini, D.Alhaique, 2012, *I disturbi muscoloscheletrici lavorativi: la causa, l'insorgenza, la prevenzione, la tutela assicurativa*, Tipografia INAIL, Milano – Disponibile nel sito "Governo e salute".

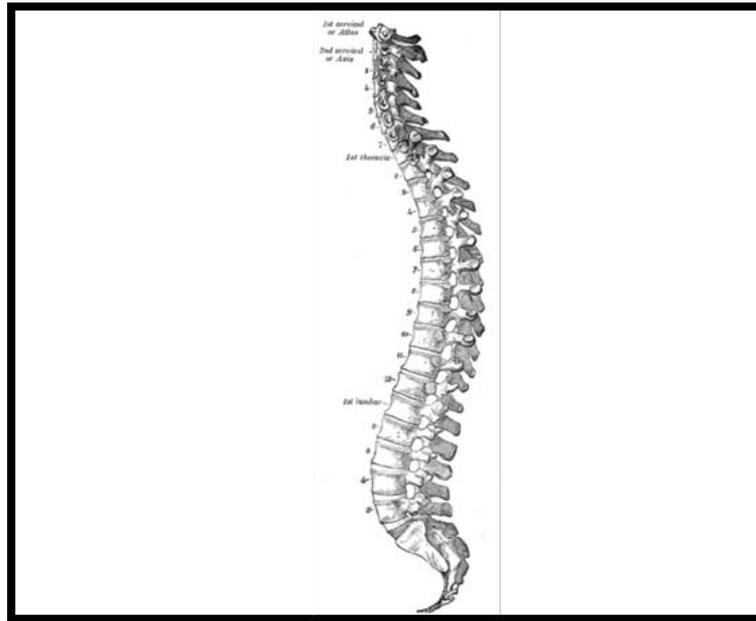


Figura 1.3: Struttura della colonna vertebrale

L'ambiente lavorativo contribuisce significativamente al logoramento della colonna vertebrale. Tale logoramento è velocizzato da attività quali:

- Sollevare pesi in maniera scomposta;
- Rimanere a lungo in posizione fissa;
- Svolgere attività di traino o di spinta.

Il dolore alla schiena si manifesta in forma differente a seconda delle cause che lo generano; ad esempio, qualora si manifesti la lombalgia acuta (colpo della strega) il dolore è acutissimo, anche in grado di immobilizzare temporaneamente l'operatore. Problemi di tipo lombo – spinale sono spesso associabili alla movimentazione manuale dei carichi, la quale è quasi sempre presente all'interno di un ambiente lavorativo. I parametri da tenere in considerazione per uno studio ergonomico volto a ridurre le complicazioni legate alla colonna vertebrale sono descritti all'interno del D.Lgs. 81/2008 e delle norme UNI ISO 11228, che saranno ripresi nei paragrafi successivi.

1.3.2 Arti superiori

I disturbi muscoloscheletrici non intaccano solamente la colonna vertebrale, ma si distribuiscono anche negli arti superiori. Questi disturbi possono interessare:

- Spalla;
- Gomito;
- Polso.

La *spalla* infatti subisce estreme sollecitazioni quando si eseguono movimentazioni dell'arto superiore.



Figura 1.4: Spalla soggetta a periartrite scapolo-omerale

Questo fatto è generato dalla periartrite scapolo omerale, una malattia che coinvolge l'intera articolazione della spalla, che, qualora non venga curata, può portare al blocco quasi totale dell'articolazione stessa.

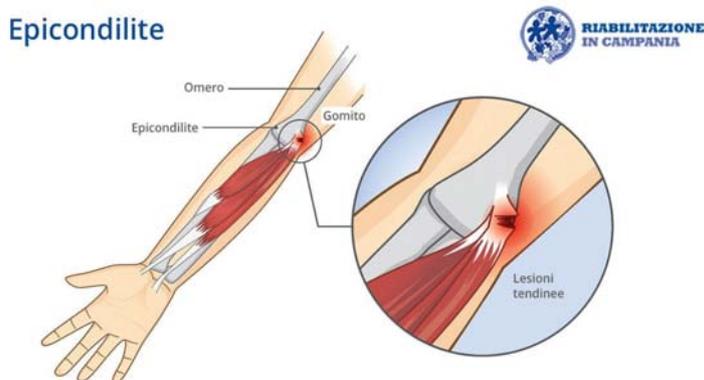


Figura 1.5: Gomito soggetto a epicondilite

Il *gomito* può essere soggetto ad epicondilite, un processo degenerativo che coinvolge i tendini del gomito stesso. Il dolore associato a questa tendinite è localizzato e le cause possono essere molteplici; si verifica principalmente quando si è soggetti ad attività ripetitive. Il dolore generalmente aumenta la sera, dopo la giornata lavorativa e se non viene trattato il risultato è un'impotenza a sollevare pesi, anche leggeri e una riduzione di tutte le funzioni ricollegabili all'utilizzo del gomito.



Figura 1.6: Polso soggetto a tunnel carpale

Il *polso* può soffrire della sindrome del tunnel carpale, che ha origine dalla compressione del nervo mediano a livello del tunnel carpale. Si manifesta quando vengono eseguiti lavori di precisione e ripetitivi. I sintomi sono rappresentati da formicolii e intorpidimento delle prime tre dita. Se non viene trattato può comportare una riduzione della sensibilità delle dita e una riduzione della forza della mano.

Ricapitolando si possono definire i principali fattori di rischio che possono danneggiare gli arti superiori, tra questi:

- Ripetitività delle attività e precisione richiesta;
- Forza impiegata per il lavoro;
- Durata dell'attività;
- Presa inadeguata del dispositivo con cui si interfaccia l'utente;
- Postura inadatta;
- Recuperi non sufficienti;
- Temperatura a cui viene svolto il lavoro.

La normativa tecnica che analizza e valuta i fattori di rischio collegati a movimentazioni ripetute è la norma unificata UNI ISO 11228 – 3. Questa verrà analizzata in seguito.

1.3.3 Arti inferiori

Come nel caso appena descritto, lavori prolungati e/o la compartecipazione di azioni ripetute con posture inadatte possono provocare delle patologie che interessano anche gli arti inferiori.

Le più frequenti alterazioni riguardano il ginocchio e il piede, in quanto all'interno di queste articolazioni risiedono legamenti, ossa e nervi.

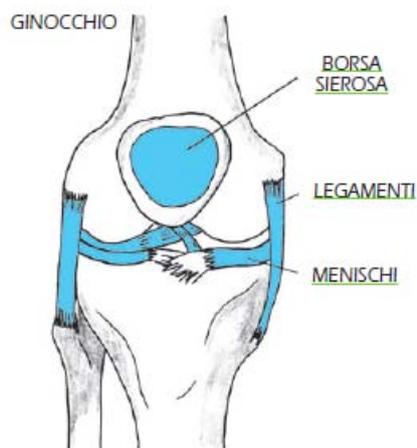


Figura 1.7: Struttura schematica del ginocchio

Nel caso del *ginocchio* le principali fonti di infortunio sono:

- *Lesioni al menisco*: questo tipo di incidente è di gran lunga il più comune in termini di infortuni al ginocchio. Il suo sintomo è un dolore localizzato e viene accentuato ogni qual volta che il ginocchio è sottoposto a flessione;
- *Borsite pre-rotulea*: questa patologia è un processo infiammatorio che intacca la borsa sierosa disposta sopra la rotula. Come già indicato in precedenza generalmente è causata da un lavoro ripetitivo in posizioni scomode. Una volta che si è infiammata la borsa sierosa, chi ne è affetto sperimenta un forte dolore proprio nella zona colpita.
- *Tendinite del ginocchio*: questa patologia è caratterizzata da dolore in corrispondenza dei terminali dei legamenti ed è legata alla ripetizione continua di un movimento che causa stress dannoso. Si tratta quindi di un processo infiammatorio ed è osservabile dal gonfiore e arrossimento nella zona interessata.



Figura 1.8: Piede soggetto a fascite plantare

Se si va ad indagare sulle possibili fonti di infortunio del piede si possono distinguere due principali patologie che possono ledere al benessere dell'operatore:

- *Fascite plantare*: il sintomo principale di questo infortunio è rappresentato da un dolore localizzato sul tallone. Generalmente è causato da un'inflammatione che coinvolge il calcagno. Gli operatori che lavorano costantemente in posizione eretta sono quelli maggiormente a rischio, in quanto tutto il peso del loro corpo si scarica in corrispondenza del tallone, che può venire sollecitato in maniera eccessiva.
- *Tendinite*: con questo termine generico si vuole indicare un'inflammatione dei tendini, ovvero le strutture che raccordano i muscoli con le ossa e permettono la fluidità dei movimenti delle articolazioni. Una grave tendinite è quella che interessa il tendine d'Achille, il quale ha la funzione di scaricare tutto il peso del corpo verso le estremità inferiori. L'inflammatione di questo tendine induce un grande dolore all'operatore e può irrigidirsi, rendendo anche le operazioni più semplici, stressanti per chi deve compierle.

Le posture errate più frequenti possono interessare una curvatura della schiena, un limitato movimento nell'arco della giornata lavorativa oppure l'assunzione di una posizione inginocchiata.

All'errata postura vengono a sommarsi altri fattori che possono essere fonti di infortunio, come l'assunzione di una posizione di lavoro fissa, spesso associata a movimenti ripetuti, con una limitata possibilità di cambiamento.

1.4 Prevenzione dei problemi muscoloscheletrici

Per prevenire i disturbi muscoloscheletrici si devono applicare i seguenti principi ergonomici:

- Lavorare con posture naturali: in questo modo si possono ridurre sostanzialmente tutti i problemi legati allo stress della schiena e delle ginocchia. È necessario quindi mantenere una posizione naturale durante tutto il periodo di lavoro;
- Ridurre le forze: qualora si debba ricorrere a forze eccessive si può andare incontro a rotture o lesioni ai legamenti. Qualora si debbano eseguire operazioni che richiedono forze ingenti non devono essere operazioni lunghe;
- Lavorare ad un'altezza adeguata: in questo modo non si sollecitano le spalle in maniera eccessiva; - Eliminare i movimenti ridondanti: in questo modo l'operazione non richiede spreco di energia. Ridurre il numero di movimenti permette spesso di ridurre anche i tempi di esecuzione dell'attività;
- Mantenere tutto a portata di mano: mantenere tutti gli oggetti a portata permette di evitare stress e spostamenti non necessari;
- Ridurre i carichi da movimentare: con questo principio si intendono sia i carichi statici, che dinamici. Con carico statico si intende tenere materiali pesanti

per un tempo maggiore del necessario, con carico dinamico si intende un trasporto continuo di materiale pesante, che può portare ad affaticare l'operatore in maniera eccessiva. Per ridurre la fatica si possono introdurre delle pause tra i lavori successivi;

- Evitare i lavori ripetitivi: i lavori ripetitivi logorano il fisico del lavoratore, sebbene le forze in gioco non siano ingenti questo tipo di lavoro può avere gravi conseguenze. L'ideale è quello di introdurre delle pause oppure di far variare la tipologia di lavoro che deve venire effettuato;
- Mantenere un ambiente confortevole: in questo modo è possibile lavorare nelle migliori condizioni per il fisico. Un'adeguata illuminazione, livello di umidità o temperatura sono essenziali per il benessere fisico dell'operatore. Così come è necessario dello spazio per muoversi, l'aria che si respira deve essere pulita e altri fattori determinanti.

Come analizzato la prevenzione dei disturbi muscoloscheletrici è necessaria per il benessere dei lavoratori. Per applicare i principi ergonomici è necessario eliminare tutte le cause che possono indurre all'infortunio. Per fare questo si può pensare di meccanizzare o automatizzare i processi, così da ridurre i carichi che vengono trasportati manualmente.

Per le linee di produzione è buona norma applicare i principi ergonomici precedentemente analizzati al fine di ridurre quanto più possibile.

A livello di intera organizzazione aziendale possono essere introdotte delle pause o dei turni lavorativi, così da ridurre l'intervallo di tempo continuo a cui il corpo è soggetto a stress fisico.

Per avere una panoramica più completa l'azienda deve riferirsi alle norme ISO 11228, che regolano i carichi e i movimenti a cui devono far fronte i lavoratori.

Principi ergonomici

- *Posture neutrali*
- *Limitare forze necessarie*
- *Regolazione delle altezze di lavoro*
- *Eliminazione movimenti non necessari*
- *Mantenere il necessario a portata di mano*
- *Ridurre i carichi da movimentare*
- *Limitare i lavori ripetitivi*
- *Mantenere un ambiente user-friendly*

Tabella 1.1: Parametri da considerare per la progettazione ergonomica di un ambiente industriale

1.5 Le normative di riferimento

Per la progettazione ergonomica di un ambiente industriale le norme di riferimento sono le tre parti del gruppo ISO 11228. Queste tre parti, in particolare, stabiliscono le raccomandazioni per le attività di movimentazione manuale dei carichi.

Per evitare i problemi muscoloscheletrici sono contemplati i principali fattori scatenanti di questi problemi, come la grandezza e il peso degli oggetti che devono venire spostati, la postura di lavoro e la frequenza o la durata delle movimentazioni. All'interno di queste norme sono specificati i limiti raccomandati per la massa degli oggetti combinate con le posture di lavoro, la frequenza e la durata della movimentazione manuale a cui le persone possono far ragionevolmente fronte.

In questo senso l'approccio ergonomico ha un notevole impatto nel ridurre i rischi derivanti dalle attività di sollevamento e di spostamento.

All'interno delle norme ISO 11228 viene assunta una rilevanza particolare la corretta progettazione delle attività lavorative, che possono includere al loro interno l'utilizzo di strumentazioni adeguate onde evitare rischi derivanti dalla movimentazione di materiali pericolosi.

1.5.1 ISO 11228 – 1: sollevamento e trasporto dei materiali

Questa parte della normativa ISO 11228 specifica i limiti raccomandati per il sollevamento e il trasporto manuale dei carichi. Vengono anche contemplati all'interno di questa parte l'intensità, la frequenza e la durata dell'attività.⁶

I parametri considerati dalla prima parte della normativa si applica nei casi in cui gli oggetti da movimentare hanno una massa superiore a 3 kg e le velocità dell'operatore sono moderate, ossia nell'ordine di 1 m/s, lungo una superficie orizzontale.

L'approccio ergonomico in questo caso viene considerato qualora si generino problemi relativi alla salute e alla sicurezza prendendo in considerazione la massa, la facilità di presa, la posizione relativa dell'oggetto rispetto al corpo e la durata della specifica attività.

Senza entrare nel dettaglio all'interno della normativa vi è una guida sulla stima e sulla valutazione dei rischi che possono insorgere nel sollevamento e trasporto degli oggetti.

I principali principi ergonomici contemplati in questa parte della normativa sono essenzialmente:

- Eliminare i movimenti ridondanti;
- Ridurre i carichi da movimentare;
- Rendere l'ambiente *user – friendly*.

⁶International Organization for Standardization (ISO), *Ergonomics – Material handling – Part 1: Lifting and carrying*, ISO 11228-1, 2003

Per *eliminare i movimenti ridondanti* l'area di lavoro deve essere progettata al fine di minimizzare le operazioni dello spostarsi, girarsi, inarcarsi dell'operatore. In questo modo l'operatore avrà meno stress fisico.

Per *rendere l'ambiente user-friendly* è possibile adottare delle precauzioni che possano aiutare il lavoro dell'operatore, come mantenere degli spazi adeguati al loro movimento in condizioni di spostamento di materiale, evitare che si debbano fare le scale, essere in grado di garantire una buona tenuta e pulizia della pavimentazione, ma anche controllare il riscaldamento e illuminazione della postazione di lavoro.

Per *ridurre i carichi da movimentare* si deve anzitutto considerare la possibilità di utilizzare dei meccanismi automatizzati o motorizzati (come transpallet, muletti, AGV) che possano essere in grado di sostituire o affiancare l'operatore nelle operazioni di sollevamento e di spostamento dei carichi. Qualora questo non sia possibile, la normativa ISO 11228 – 1 prevede la distinzione tra le operazioni di sollevamento ripetitive e non-ripetitive. Per le operazioni ripetitive sono presenti dei limiti più ristretti sulla massa movimentabile per l'operatore rispetto alle operazioni non ripetitive.

Per completezza si riportano le variabili da considerare e la formula per la determinazione della massa limite dell'oggetto da sollevare:

Variabili primarie	
m [kg]	Massa oggetto
h [m]	Distanza orizzontale
v [m]	Distanza verticale
f [sollevamenti/minuto]	Frequenza di sollevamento
a [°]	Angolo di asimmetria
c	Qualità della presa

Tabella 1.2: Variabili primarie considerate nelle operazioni di sollevamento e spostamento del materiale

La formula per la determinazione del limite della massa dell'oggetto da movimentare è la seguente:

$$m \leq m_{rif} \cdot h_M \cdot v_M \cdot d_M \cdot \alpha_M \cdot f_M \cdot c_M \quad (1.1)$$

Dove:

- m_{rif} massa di riferimento per il particolare operatore;
- h_M coefficiente moltiplicativo derivato dalla distanza orizzontale;
- v_M coefficiente moltiplicativo derivato dalla distanza verticale;
- d_M coefficiente moltiplicativo derivato dalla disposizione verticale;
- α_M coefficiente moltiplicativo derivato dal movimento asimmetrico;
- f_M coefficiente moltiplicativo derivato dalla frequenza;
- c_M coefficiente moltiplicativo derivato dalla qualità della presa.

I moltiplicatori sono ottenuti dalle seguenti equazioni:

$$h_M = \frac{0,25}{h} \quad (1.2)$$

$$v_M = 1 - 0.3 \cdot |0.75 - v| \quad (1.3)$$

$$d_M = 0.82 + \frac{0.045}{d} \quad (1.4)$$

$$\alpha_M = 1 - 0.0032 \cdot \alpha \quad (1.5)$$

Per avere un riscontro visivo dei termini da utilizzare come variabili primarie per il calcolo della massa limite da movimentare per l'operatore si può fare riferimento alle seguenti figure:

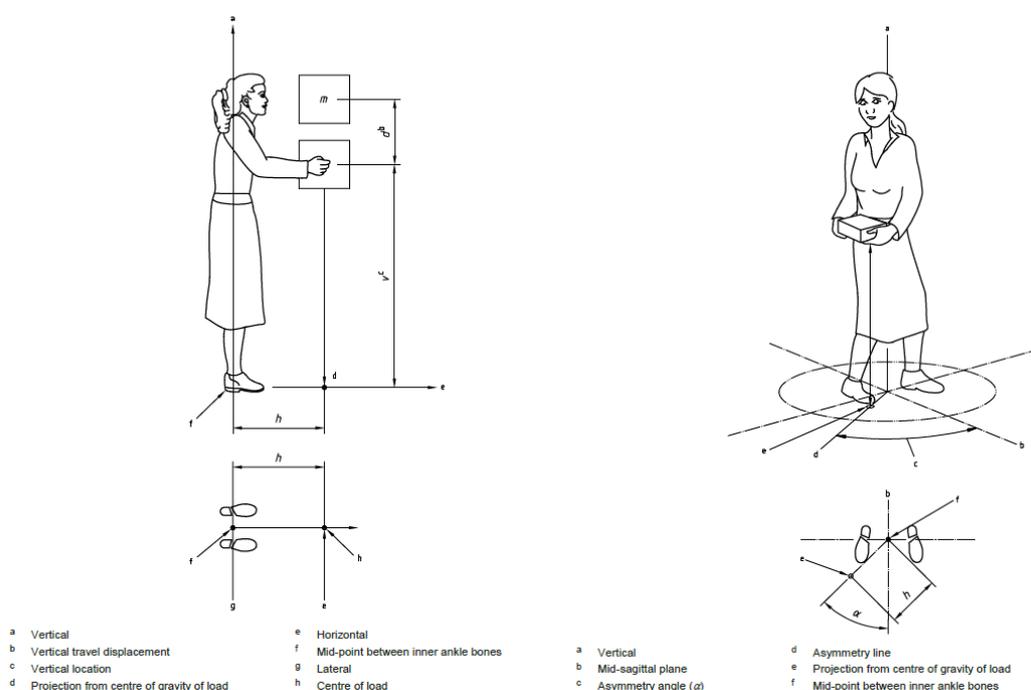


Figura 1.9: Variabili da considerare per l'attività e angolo di asimmetria secondo UNI 11228 – 1

1.5.2 ISO 11228 – 2: Spingere e trainare i materiali

riconoscere i fattori di rischio che possono insorgere in queste situazioni, così che possa essere valutata la sicurezza dei lavoratori.⁷

Con le operazioni di spinta e traino all'interno di questa specifica parte della ISO 11228 si intendono le seguenti casistiche:

- Forza esercitata tramite l'intero corpo;
- Azioni effettuate da un'unica persona;
- Forze applicate con entrambe le mani;
- Forze applicate in maniera controllata e precisa;
- Forze applicate di fronte all'operatore.

Anche in questo caso la normativa è in grado di fornire un metodo per identificare le possibili problematiche, effettuare una valutazione e stima del rischio e a seguito di quest'ultima, definisce dei metodi per l'accettazione o meno del rischio presente. Schematicamente si ha quindi:

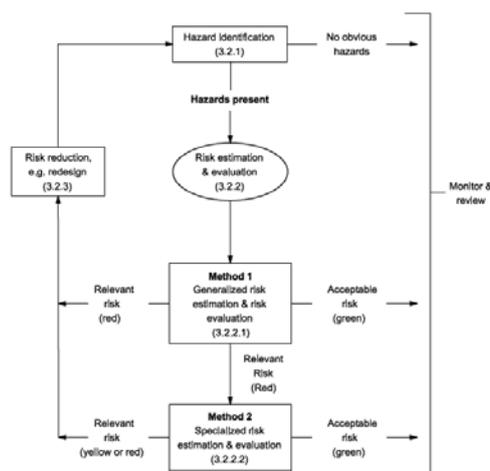


Figura 1.10: Procedura guidata per l'accettazione dei rischi presente nella ISO 11228 – 2

Nell' identificazione delle problematiche si osservano diversi parametri, tra cui i più importanti sono:

- *Forza necessaria:* le forze iniziali sono utilizzate per superare l'inerzia dell'oggetto, dunque generalmente sono maggiori di quelle che si utilizzano una volta che questo è in movimento. Ancora a causa dell'inerzia del corpo da movimentare, i cambi di direzione e le fermate frequenti dovrebbero essere evitate, in modo da poter controllare il moto con minore fatica. Se si tratta di forze sostenute il percorso da far svolgere, bisogna fare in modo che i percorsi seguiti

⁷International Organization for Standardization (ISO), *Ergonomics – Material handling – Part 2: Pushing and pulling*, ISO 11228-1, 2003

- siano corti, in quanto aumenta il rischio di affaticamento e infortunio per tutto il corpo;
- *Postura*: la possibilità di applicare una determinata forza è influenzata anche dalla postura che viene adottata da una persona. Posture non naturali determinano una riduzione nella abilità di esercitare forze e un rischio maggiore per gli infortuni. Non si dovrebbero quindi avere posture girate oppure piegate in quanto vengono massimizzate le forze che agiscono sulla schiena e sulle spalle;
 - *Frequenza e durata*: quando si spinge o si traina devono essere considerate sia la frequenza che la durata. Bisogna evitare che la durata di applicazione delle forze sia prolungata, così da evitare i problemi di affaticamento muscolare, inoltre si hanno operazioni ripetitive fanno sì che si debbano fronteggiare più volte le forze iniziali più alte, e dunque devono altresì essere evitate;
 - *Distanza*: percorrere distanze lunghe, specialmente se affiancate a cambi di direzione frequenti possono intaccare il fisico degli operatori e devono quindi essere limitate. Maggiore è la distanza a parità di forza richiesta tanto maggiore è il rischio per l'operatore;
 - *Caratteristiche dell'oggetto*: per trasportare l'oggetto spingendolo o trascinandolo è necessario ridurre il più possibile l'attrito che questo ha con il pavimento, nel caso di prodotti pesanti è opportuno porlo su meccanismi dotati di ruote o che siano in grado di limitare il coefficiente di attrito con il pavimento. In aggiunta è opportuno sottolineare che l'oggetto da movimentare non deve ridurre in maniera eccessiva la visibilità dell'operatore, così come deve essere facilmente manovrabile onde evitare infortuni dovuti all'inerzia del corpo;
 - *Condizioni ambientali*: la superficie su cui poggia l'oggetto deve essere adatta al trasporto dello stesso. Sono quindi da evitare la presenza di rampe, scalini o discese così che la forza richiesta non presenti dei picchi e sia quanto più costante per non intaccare la struttura muscoloscheletrica di coloro che sono addetti alla movimentazione. La pavimentazione non deve presentare punti sdruciolevoli o bagnati ed essere in grado di fornire una buona presa.

È buona norma comprendere che questi fattori di rischio non sono indipendenti tra di loro, anzi possono agire contemporaneamente. Qualora sia presente l'influenza di più fattori in interazione tra di loro, il rischio è maggiore.

Il personale addetto alla movimentazione deve essere ben addestrato ad eseguire il trasporto manuale in sicurezza e a riconoscere le situazioni di azzardo.

Nella valutazione dei rischi si utilizza un approccio multi - disciplinario che considera allo stesso tempo le capacità biomeccanico, psicologiche e fisiologiche di ciascun operatore. L'approccio biomeccanico considera la forza sostenibile e il rischio di infortunio in relazione all'operatore. L'approccio fisiologico considera l'energia

spesa e il rischio di affaticamento. L'approccio psicologico prende in considerazione la fatica percepita dal lavoratore e la sua idea di sforzo accettabile.

Per l'operazione che prevede la valutazione e l'assegnazione dei rischi si distinguono all'interno della ISO 11228 – 3 due metodi:

Metodo 1

Si tratta di una semplice checklist utile per la valutazione dei rischi e delle tabelle psicologiche per valutare velocemente un'attività legata alla movimentazione. A seguito della checklist di valutazione dei rischi, che può essere indirizzata sia agli operatori che sono addetti alla movimentazione sia ai responsabili della produzione o del personale.

Si ha poi una valutazione psicofisica delle forze in gioco. Considerando l'altezza a cui viene maneggiato l'oggetto da movimentare, la distanza che deve essere percorsa e la frequenza con cui queste attività devono venire svolte, in relazione al genere degli operatori sono fornite delle tabelle che definiscono le forze *iniziali* e le forze *sostenute* che possono essere considerate ergonomicamente tollerabili. Qualora le forze reali in gioco siano superiori a quelle previste dalla normativa ci si trova in una situazione di possibile pericolo, in quanto lo stress fisico a cui è assoggettato l'operatore è superiore a quello da lui sostenibile e può essere fonte di infortuni più o meno gravi a seconda della soluzione.

Un esempio di tabella delle forze sostenibili è la seguente:⁸

⁸International Organization for Standardization (ISO). *Ergonomics – Material handling – Part 2: Pushing and pulling*, ISO 11228-2, 2007, Annex A.

Table A.5

Handle height cm		Two-handed pushing — Maximum acceptable initial force — 90 % of population N																
		Frequency of pushing																
		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			
2 m pushing distance																		
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 pushing distance																		
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 pushing distance																		
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 pushing distance																		
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 pushing distance																		
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 pushing distance																		
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		male																
f		female																
For a worker population of all males, use male limits; for an all-female or mixed male/female population, use female limits. The low handle heights are not recommended.																		

Figura 1.11: Tabella della massima forza iniziale accettabile. Si fa riferimento al 90% degli addetti alla movimentazione

Qualora le forze siano inferiori a quelle consigliate dalla normativa, ma siano ancora presenti un numero considerevole di rischi evidenziati dalla checklist precedentemente compilata, la probabilità con cui si può verificare una problematica che possa intaccare il benessere dell'operatore è ancora alta, questo fa sì che il livello di rischio sia ancora considerato massimo.

Quando le forze iniziali e sostenute lungo la movimentazione sono inferiori a quelle specificate nelle tabelle e vi è un numero limitato di fattori di rischio identificato nella checklist iniziale, l'attività può essere considerata a basso rischio. In questo caso è comunque possibile andare a limare le criticità, agendo sui fattori di rischio riconosciuti durante l'operazione di valutazione.

Metodo 2

Il secondo metodo adotta una procedura in grado di determinare i limiti legati alle

forze di traino e di spinta dell'operatore.

Questo metodo si divide in 4 parti:

- a) Limiti per la forza muscolare;
- b) Limiti per la forza scheletrica;
- c) Forze massime permesse;
- d) Limiti di sicurezza

Queste parti non sono tra loro indipendenti, ma si intrecciano come mostrato nella seguente figura:

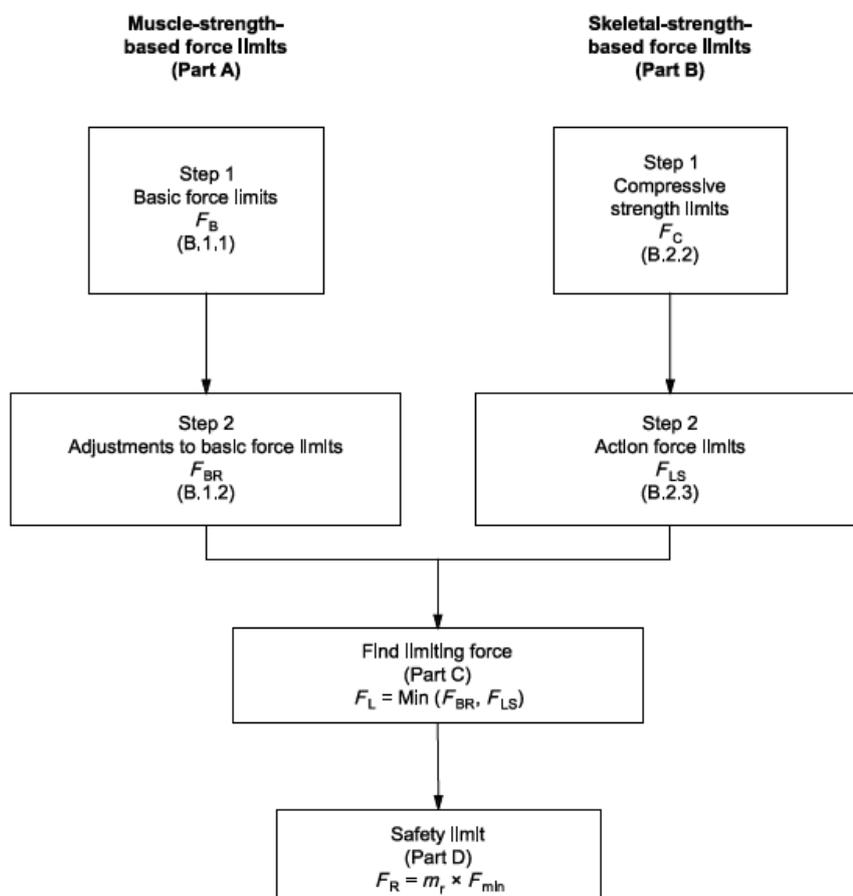


Figura 1.12: Schema di valutazione dei rischi, tramite il metodo 2 secondo ISO 11228 – 2

Visto la limitata praticità di questo metodo però è da considerarsi indispensabile solamente nel caso in cui non basti il primo metodo, descritto in precedenza, per la valutazione di tutti i fattori di rischio. È possibile o consigliabile usare questo secondo metodo solamente in casi speciali dove le caratteristiche prese in considerazione diventano più ampie. Nel secondo metodo infatti vengono considerati l'età, il genere e la statura di ciascun operatore.

Lo svantaggio riguarda il fatto che il calcolo dei limiti delle forze risulta laborioso,

ma è comunque perseguibile qualora lo si voglia utilizzare.⁹

1.5.3 ISO 11228 – 3: movimentare bassi carichi ad elevate frequenze

Movimentare bassi carichi ad elevate frequenze rappresenta un lavoro ripetitivo, che è in grado di causare dolore o affaticamento. Quest'ultimi possono portare disturbi muscoloscheletrici, una ridotta produttività e il deterioramento dei movimenti coordinativi, come analizzato in precedenza.

I fattori di rischio principali del lavoro ripetitivo includono al loro interno la frequenza delle azioni, la durata, le posture e i movimenti delle diverse parti del corpo. Ancora, devono venire analizzate le forze associate al lavoro, all'organizzazione del lavoro, la precisione richiesta e il livello di training. Ci sono poi dei fattori addizionali che possono influire sull'affaticamento fisico e mentale dell'operatore, come il rumore, la temperatura o il tipo di illuminazione.¹⁰ Anche in questo caso all'interno della norma sono elencate diverse metodologie per l'individuazione e l'assegnazione dei possibili rischi. In seguito, sono indicate le principali.

Metodo 1

Si tratta del metodo più semplice per la stima dei rischi. In questo caso infatti, la valutazione è fatta per una singola attività ripetitiva, ossia per quei lavori detti *monotask jobs*.

Schematicamente la procedura per l'assegnazione del livello di rischio ergonomico è la seguente:

- Descrizione preliminare dell'attività;
- Identificazione dei pericoli e stima dei rischi per mezzo di una checklist;
- Valutazione completa del rischio;
- Possibili azioni da intraprendere per eliminare le problematiche trovate.

Come detto però questo metodo è molto limitato nell'uso, in quanto i lavori che sono analizzabili da questo sono quelli mono - attività.

Si tratta quindi di una minima parte delle attività che si svolgono all'interno di un ambiente industriale, quindi è spesso necessario fare riferimento a metodologie più complesse che prendano in considerazione un numero maggiore di operazioni e di fattori che possono essere dannosi per gli operatori.

Metodo OCRA

⁹International Organization for Standardization (ISO), *Ergonomics – Material handling – Part 2: Pushing and pulling*, ISO 11228-2, 2007, Annex B.

¹⁰International Organization for Standardization (ISO), *Ergonomics – Material handling – Part 2: Handling of low loads at high frequency*, ISO 11228-3, 2007, Annex B.

Per la valutazione più dettagliata dei rischi è disponibile il metodo OCRA, sigla che indica "occupational repetitive action". Questo considera tutti i fattori di rischio che hanno una maggiore rilevanza ed è anche applicabile a tutti i lavori che prevedono un numero maggiore di attività per essere completati.

Il metodo consiste nel calcolo dell'indice OCRA, che rappresenta il rapporto tra le azioni effettuate dalla parte superiore del corpo in attività ripetitive (ATA – *actual technical actions*) e il numero di azioni consigliate (RTA – *reference technical actions*):¹¹

$$OCRA = \frac{ATA}{RTA} \quad (1.6)$$

Il numero delle azioni tecniche di riferimento è definito dalle azioni osservate e calcolabile tramite la seguente equazione:

$$RTA = \sum_{j=1}^n \left[k_f \cdot (F_{M_j} \cdot P_{M_j} \cdot R_{eM_j} \cdot A_{M_j}) \cdot t_j \right] \cdot (R_{cM} \cdot t_M) \quad (1.7)$$

Dove:

- n numero totale delle attività ripetitive eseguite nel lavoro;
- j attività ripetitiva generica;
- k_f moltiplicatore relativo alla frequenza con cui si svolgono le attività;
- F_{M_j} moltiplicatore relativo alla forza necessaria per svolgere l'attività j ;
- P_{M_j} moltiplicatore relativo alle posture adottate nell'attività j ;
- R_{eM_j} moltiplicatore relativo alla ripetizione degli stessi movimenti;
- A_{M_j} moltiplicatore relativo ad altri fattori;
- t_j durata di ciascuna attività j ;
- R_{cM} moltiplicatore per la mancanza di tempo di recupero;
- t_M moltiplicatore che descrive il tempo totale delle attività ripetitive nella giornata lavorativa.

All'interno della normativa stessa è presente una guida per la valutazione di tutti i coefficienti moltiplicativi appena elencati.

Per il calcolo delle azioni realmente intraprese – ATA invece basta fare una rilevazione direttamente sul posto di lavoro e definirne il numero intero.

Il valore dell'indice OCRA permette di distinguere i tre livelli di rischio per la corretta ergonomia delle attività che vengono svolte:

¹¹F.Sgarbossa, *Ergonomia – Principali metodi di valutazione e loro applicazione*, Logistics & Industrial Plants Research Team, Università degli Studi di Padova

INDICE OCRA			
Zona	Valore indice OCRA	Livello di rischio	Conseguenze
Verde	<2,2	Nessun rischio Le azioni svolte per completare l'attività non differiscono significativamente da quelle prese come riferimento per lo svolgimento della stessa attività	Accettabile Nessuna conseguenza
Gialla	2,3 - 3,5	Rischio molto lieve Le azioni svolte per completare l'attività sono maggiori del caso precedente, ma ad un livello ancora accettabile	Migliorare i fattori di rischio strutturali (postura, forza, azioni tecniche, ecc) o adottare altre misure organizzative
Rossa	>3,5	Rischio Le azioni svolte per completare l'attività sono di gran lunga superiori a quelle previste	Riprogettare comipi e posti di lavoro secondo le priorità

Tabella 1.3: Diversi valori di rischio a seconda dell'indice OCRA e contromisure da adottare

Il metodo OCRA è di gran lunga il più accettato per lo studio di problematiche relative alla movimentazione di piccoli carichi con un alto livello di frequenza. È opportuno sottolineare come dal metodo non siano previste fasce di incertezza, ma è buona pratica riuscire a comprendere come, nel caso si abbia l'indice OCRA vicino ai limiti delle varie fasce, ci si trovi in un caso di non affidabilità completa; ad esempio se il valore dell'indice è 3.4 è vero che ci si trova nella zona gialla però si è anche nella parte limitrofa alla zona rossa dunque sarebbe imprudente non considerare i rischi che ne derivano.

Altre metodologie

Alle due metodologie precedentemente descritte per la valutazione dei rischi si sommano un numero notevole di varianti che possono essere più veloci nella determinazione dei rischi, oppure che valutano i movimenti di parti differenti rispetto al tronco superiore del corpo.

Tra queste possiamo trovare:

METODOLOGIE ALTERNATIVE			
Metodo	Caratteristiche chiave	Tipo di output	Parti del corpo interessate
RULA - Rapid Upper Limb Assessment	Analisi eseguita rapidamente di posture statiche e dinamiche. Viene considerata anche la frequenza delle forze e delle azioni. Il risultato è un indice che guida al tipo di misura preventiva da intraprendere	Quantitativo	Arti superiori
REBA - Rapid Entire Body Assessment	Si tratta di un metodo simile al RULA, considera tutte le differenti parti del corpo tenendo in considerazione anche la movimentazione manuale dei carichi	Quantitativo	Tutto il corpo
OWAS	Analisi delle posture di differenti parti del corpo; considera anche la frequenza durante un turno di lavoro	Quantitativo	Tutto il corpo

Tabella 1.4: Metodologie alternative per l'assegnazione del rischio ergonomico considerando differenti parti del corpo

La normativa ISO 11228 è ripresa in tutte le sue parti nel Decreto Legislativo 81/08 nell'Allegato XXXIII. In questo decreto viene analizzata la salute e la sicurezza sul posto di lavoro, ed in particolare quell'allegato viene analizzata la movimentazione manuale dei carichi. All'interno si analizza la prevenzione del rischio di patologie da sovraccarico biomeccanico, in particolare dorso – lombari.¹²

1.6 Considerazioni finali

In questo capitolo è stata sottolineata l'importanza essenziale che la progettazione ergonomica di uno spazio industriale possiede. È stato dimostrato come il fatto di dimensionare a misura d'uomo gli spazi, le lavorazioni e le movimentazioni di materiale rappresenti una doppia vittoria: da una parte l'azienda vince perché vengono garantite e migliorate la qualità e la sicurezza e questo comporta un miglioramento generale tangibile, dall'altra parte vince anche l'operatore in quanto gli vengono riconosciute esigenze essenziali per il suo benessere e non gli viene più richiesto di lavorare in ambienti a lui ostili.

Per un'azienda creare un posto di lavoro sicuro, ma allo stesso tempo efficiente è di primaria importanza in quanto così può tutelarsi meglio, senza intaccare la produzione e dunque il suo fatturato.

Non si sottolineerà mai abbastanza il fatto che non è sempre richiesto un ingente esborso per migliorare le condizioni di un ambiente di lavoro, ma spesso bastano dei semplici e mirati accorgimenti che vadano a migliorare le lacune presenti.

In questo capitolo sono state presentate alcune normative che da un lato permettono di capire quali sono i rischi derivanti dalla movimentazione dei carichi ma anche forniscono delle direttive sul come comportarsi in questi casi. In un primo momento, quindi, è molto più semplice andare ad indagare sulla stessa movimentazione del materiale considerando che esistono delle linee guida e delle regole e leggi precise.

Cambiare il tipo di movimentazione, per renderla più user – friendly, comporta delle conseguenze che possono intaccare il ritmo produttivo di un'azienda oppure la flessibilità che questa possiede. La corretta scelta dei mezzi di movimentazione che possono essere affiancati all'operatore è, quindi, di primaria importanza.

Nel prossimo capitolo ne verranno analizzati i principali esempi, raggruppati in base alle loro caratteristiche.

¹²Decreto legislativo 9 aprile 2008, N.81, *Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro*, Allegato XXXIII

Capitolo 2

Sistemi per la movimentazione interna dei materiali

2.1 Classificazione dei sistemi di trasporto

I sistemi di trasporto interni ad un ambiente industriale possono essere molteplici, poiché molteplici sono anche i prodotti che devono essere trasportati e le caratteristiche che ciascun prodotto presenta.

Il grado di personalizzazione o la tipologia di prodotto sono due dei parametri che possono essere presi in considerazione quando si deve scegliere il sistema per movimentarli; un prodotto liquido ad esempio avrà bisogni diversi rispetto a un prodotto solido, così come un prodotto che può avere diverse configurazioni, in base a quanto richiesto dal cliente, avrà un grado di complessità diverso da un prodotto standardizzato e con un'unica configurazione. Questo fa sì che non vi sia un'unica possibile soluzione per il *material handling* dei prodotti in un ambiente industriale, ma è da cercare la soluzione che ottimizzi le operazioni che devono venire svolte considerando le caratteristiche del prodotto.

In linea generale è comunque possibile suddividere i sistemi di trasporto in relazione a due aspetti fondamentali:¹³

- Il grado di automazione;
- Il livello di flessibilità.

Tutti i sistemi di trasporto sono quindi caratterizzabili da queste due parametri. Generalmente, più alte sono le richieste di automazione e di flessibilità di un sistema di trasporto maggiori saranno i capitali da investire su di questo.

Il grado di automazione e il livello di flessibilità di un sistema logistico lo rendono più o meno adatto ad una determinata realtà industriale; a seconda delle reali

¹³Pareschi A., Ferrari E., Persona A., Regattieri A., 2014, *Logistica integrata e flessibile per i sistemi produttivi dell'industria e del terziario*, Bologna, Esculapio.

esigenze un'azienda dovrà scegliere le caratteristiche del sistema per la movimentazione.

Capire le esigenze è di fondamentale importanza, in quanto l'adozione di una tecnologia che sia in grado di spostare il materiale comporta un esborso monetario e tanto più è complessa tanto più il costo è alto. A questo si aggiunge il fatto che ciascun sistema ha determinate esigenze per il suo utilizzo; ad esempio un sistema automatizzato spesso porta con sé la necessità di diminuire il grado di personalizzazione del prodotto, cosa che naturalmente vincola un'azienda.

Per chiarire questi concetti si è deciso di introdurre l'argomento tramite degli esempi; questi indicano alcune delle tecnologie di più ampio utilizzo nei contesti industriali e racchiudono al loro interno molti dei vincoli che introducono durante il loro utilizzo. Questi sono divisi a seconda del loro livello di flessibilità e di automazione come segue:

	Bassa flessibilità	Alta flessibilità
Bassa automazione	Transpallet	Carrelli elevatori
Alta automazione	Trasportatori rigidi	Automated Guided Vehicle

Tabella 2.1: Suddivisione di alcuni dei principali sistemi di movimentazione in base alle loro caratteristiche

Come si può osservare dalla precedente tabella, automazione e flessibilità non si escludono l'uno con l'altro, anzi, possono essere implementati contemporaneamente. Nell'ottica industriale l'automazione permette di garantire trasporti più veloci, in quanto non vi è bisogno che sia presente l'operatore per spostare un pezzo, ma questo procedimento comporta l'inserimento di strutture portanti che vanno a ridurre esponenzialmente la possibilità di personalizzazione del percorso da seguire e del pezzo che è possibile trasportare. La rigidità dei sistemi fa sì che il percorso seguito dal pezzo movimentato sia sempre lo stesso e dunque non sia facilmente modificabile, così come la customizzazione del processo e del prodotto viene notevolmente ridotta.

L'incapacità di modificare i percorsi diventa un vincolo enorme nel caso in cui si debba riprogettare il layout del sistema produttivo, in quanto il sistema di trasporto rigido rappresenta un vincolo interno, che limita le possibilità delle scelte di modernizzazione del layout.

La flessibilità può invece essere vista come un assorbitore di incertezza¹⁴, in grado

¹⁴De Toni A., Tonchia S., 1998, *Manufacturing flexibility: a literature review*, International Journal of Production Research.

di proteggere l'azienda da disturbi esterni. Il grado di flessibilità per un'azienda rappresenta la capacità di adattarsi di fronte ai cambiamenti, che possono essere interni od esterni all'azienda.

I sistemi flessibili di movimentazione del materiale sono quindi in grado di rispondere a diverse esigenze, come la possibilità di cambiare il percorso che deve compiere il pezzo, la quantità di pezzi che devono essere messi in movimento, oppure il tempo di percorrenza.

La flessibilità, inoltre, permette di "cambiare in corsa" qualora se ne presenti la necessità, oppure di reagire a fattori di disturbo come può essere una repentina variazione del trend di mercato senza avere gravi conseguenze in termini di tempo, sforzi o costi.¹⁵

Qualora si voglia osservare il grado di flessibilità di un sistema è opportuno guardare come questo si comporta in situazioni dove sono presenti delle condizioni variabili. Se queste condizioni non interferiscono in maniera eccessiva con il sistema allora questo sarà considerato sufficientemente flessibile.

Nel caso si abbia un prodotto standardizzato che subisca sempre lo stesso processo produttivo, che abbia sempre lo stesso percorso logistico e che debba rispettare sempre gli stessi vincoli, la flessibilità dei sistemi di movimentazione non è richiesta oppure in determinati casi può essere, addirittura, controindicata. In questo caso la flessibilità si paga in termini di produttività. Standardizzare ed automatizzare quanto più possibile, infatti, permette di avere prodotti di qualità maggiore, in quanto l'intero sistema produttivo è ottimizzato per quel prodotto.

Nella scelta del sistema di movimentazione bisogna quindi considerare una moltitudine di fattori che spesso non sono visibili al momento della scelta stessa. Nella selezione dei sistemi di trasporto interni è dunque consigliabile definire con chiarezza quali siano le variabili preponderanti che possano influenzare il comportamento dei sistemi stessi.

Così facendo i sistemi di movimentazione saranno in grado sia di risolvere in modo dinamico i problemi che si possono presentare, a causa di variazioni che possono anche essere esterne all'azienda, come, ad esempio, la richiesta incostante del prodotto oppure ritardi nell'arrivo del materiale proveniente dai fornitori, che di rispondere celermente al mercato, grazie al livello di automazione scelto.

Questo significa che nel mondo aziendale non si può fare un investimento azzardato sui sistemi di movimentazione, poiché essi sono il fulcro di tutta l'attività produttiva, ma al contempo è possibile ponderare la scelta in base alle esigenze dell'azienda stessa.

Nei paragrafi successivi si riportano alcuni esempi che facciano trasparire le poten-

¹⁵Upton D.M., 1995, *Flexibility as process mobility: The management of plant capabilities for quick response manufacturing*, Journal of Operations Management.

zialità e le limitazioni che introducono le diverse categorie di sistemi logistici.

2.2 Sistemi a bassa automazione e bassa flessibilità

La prima categoria di sistemi di trasporto è quella caratterizzata da un basso livello di automazione e una bassa flessibilità. Questi sistemi non sono in grado di garantire un'elevata produttività. È infatti richiesta la presenza di un operatore che si occupi personalmente dello spostamento del materiale.

L'esempio più significativo è quello del transpallet manuale; questo è un mezzo di lavoro utilizzato per la movimentazione di merci accatastate sui pallet.



Figura 2.1: Tipica configurazione di un transpallet manuale

Il transpallet è caratterizzato dalla presenza di due forche e generalmente è sprovvisto di motore.

Il carrello è caratterizzato dalle ruote piccole e dalla presenza di un braccio centrale generalmente in acciaio. Il sollevamento del materiale è limitato.

La movimentazione del materiale è affidata alla forza dell'operatore e per questo motivo i tempi di percorrenza variano a seconda di chi lo utilizza.

Il peso che può essere trasportato lungo un percorso per mezzo di un transpallet varia a seconda delle dimensioni di quest'ultimo; tanto sono maggiori le sue dimensioni tanto maggiore sarà il peso trasportabile. Nel caso si utilizzi un transpallet manuale, senza alcun motore, tanto maggiore è il peso da trasportare e tanta più forza necessiterà la movimentazione, considerando anche l'inerzia che un peso maggiore è in grado di generare.

Per sistemi caratterizzati da bassa flessibilità e da un basso livello di automazione è consigliabile avere tratti brevi di movimentazione del materiale e carichi relativamente leggeri da sollevare, in quanto potrebbero insorgere problemi legati alla stabilità, al carico sopportabile e alle inerzie che entrano in gioco con lo spostamento.

2.3 Sistemi a bassa automazione e ad alta flessibilità

A questa categoria appartengono tutti quei sistemi in grado di garantire una flessibilità (nell') di utilizzo elevata. Questi sistemi non sono automatizzati, dunque hanno ancora bisogno di un operatore che sappia come utilizzarli.

Questa necessità è causa di non pochi problemi. È necessario infatti fare formazione del personale per effettuare la movimentazione dei pezzi, perché per utilizzare questi sistemi non è sufficiente la sola esperienza, ma serve una certificazione. Per l'utilizzo di questi sistemi di movimentazione l'azienda dovrà prevedere un esborso in denaro che comprenda sia il costo del macchinario che la formazione del personale qualificato.

È molto frequente constatare che all'interno di un ambiente industriale non tutto il personale è qualificato, oppure si verifica che molti operatori non abbiano una sufficiente esperienza, nel campo della movimentazione del materiale e della tipologia dei mezzi utilizzati soprattutto nel caso in cui i carichi da trasportare possiedano caratteristiche particolari, come un peso elevato oppure uno sbilanciamento in particolari punti.

Nel caso in cui non sia presente alcun operatore in grado di governare il sistema di trasporto ci si trova di fronte ad un problema molto grande in quanto, se non si ha la possibilità di spostare il materiale, si va incontro a difficoltà logistiche e industriali di non poco conto.

L'esempio più lampante per questa categoria di sistemi di movimentazione è quello definito dalla famiglia dei carrelli elevatori, di cui se ne distinguono diverse tipologie, definite in base alle caratteristiche meccaniche e funzionali che presentano.¹⁶

Le principali famiglie dei carrelli elevatori sono quelle indicate nei successivi sottoparagrafi.

2.3.1 Carrelli elevatori frontali

Quando si parla di carrelli elevatori si fa riferimento a mezzi utilizzati per la movimentazione di materiali di qualsiasi genere. Questi mezzi adibiti al picking del materiale sono veicoli a ruote e il loro utilizzo è assegnato al personale adeguatamente formato.

I carrelli elevatori frontali rappresentano la soluzione più economica e maggiormente funzionale tra le configurazioni esaminate.

Questi mezzi possiedono delle forche in grado di sollevare pesi variabili a seconda della dimensione del carrello stesso. Il sollevamento permette l'accatastamento del materiale, dunque oltre al trasporto del materiale, questa soluzione è adatta anche

¹⁶Pareschi A., Ferrari E., Persona A., Regattieri A., 2014, *Logistica integrata e flessibile per i sistemi produttivi dell'industria e del terziario*, Bologna, Esculapio.

nelle operazioni di immagazzinamento e di stoccaggio del materiale.

Con polifunzionalità si intende anche la possibilità di utilizzare questo sistema sia in ambiente interno che esterno allo stabilimento, per cui questo sistema può avere diverse configurazioni di gommatura e motorizzazione.

Le forche d'acciaio possono essere a sbalzo, così da consentire una maggiore sicurezza nella movimentazione.

Le forche si infilano sotto al materiale e, a seguito del sollevamento, il montante si inclina leggermente all'indietro, così che il brandeggio permetta al materiale di essere più vicino al carrello. Questo accorgimento permette di avere una maggiore stabilità del carico, in quanto la componente orizzontale del peso, generata dall'angolazione del montante, possa generare una componente del momento stabilizzante, contraria alla componente generata dalla componente verticale.



Figura 2.2: Carrello elevatore frontale con forche a sbalzo

I carrelli elevatori frontali quindi sono caratterizzati da un costo relativamente basso, da un'elevata velocità di movimentazione del materiale e da una facilità di manovra.

Questo sistema, utilizzabile per le operazioni di movimentazione e di stoccaggio, presenta tuttavia alcuni svantaggi. Gli svantaggi principali sono legati alle grandi dimensioni in termini di spazio di cui questi mezzi necessitano per le manovre.

In base alle dimensioni del carrello, le larghezze del corridoio variano in maniera sostanziale, a causa sia dello spazio occupato dal carrello stesso che dello spazio necessario al carrello per effettuare eventuali curve o inversioni.

A titolo d'esempio un carrello elevatore, con operatore a bordo, dalla capacità di 3000 kg con una velocità di percorrenza di 3 m/s. necessita di almeno 3 metri come larghezza minima del corridoio.

Un altro punto debole per i carrelli elevatori frontali è l'altezza di sollevamento, in-

fatti l'altezza massima varia dai 5 ai 7 metri, rendendoli inadatti per lo stoccaggio di materiale nei ripiani più alti di magazzini. La non automazione, affiancata all'alta flessibilità, di questi mezzi li rende adatti a realtà industriali di dimensioni moderate.

Questa tecnologia permette infatti di movimentare modeste quantità di oggetti e/o materiali utilizzando un unico mezzo indistintamente.

2.3.2 Carrelli elevatori a forche retrattili

Una delle criticità dei carrelli elevatori analizzata in precedenza è l'ingombro che essi generano. Un ingombro elevato ha come diretta conseguenza un cattivo sfruttamento dello spazio calpestabile, il che significa non avere la possibilità di utilizzare al massimo lo spazio a disposizione in una linea produttiva. Se si utilizzano dei carrelli elevatori tradizionali devono essere previsti ampi corridoi che collegano le diverse aree produttive.

Questo problema viene parzialmente superato qualora vengano utilizzati carrelli elevatori a forche retrattili. La possibilità di ritirare il montante permette di ridurre lo spazio di manovra del carrello e, di conseguenza, di operare in corridoi più stretti rispetto a quanto necessario per la variante dei carrelli elevatori con le forche a sbalzo. La maggiore manovrabilità e la riduzione dell'ingombro sono i punti forti di questa famiglia di sistemi di movimentazione. Le prestazioni sono simili ai tradizionali carrelli elevatori, ma la velocità è leggermente inferiore.

Con i carrelli con le forche a sbalzo si perde inoltre la possibilità di utilizzare lo stesso mezzo per le movimentazioni sia interne che esterne, a causa del materiale generalmente utilizzato per le ruote. Queste infatti sono in materiale plastico (*vulkollan*), che è molto sensibile alle discontinuità e agli ostacoli che possono essere presenti nel percorso; si consiglia una pavimentazione liscia e priva di buche, il che fa sì che tale configurazione di carrello elevatore possa essere utilizzata solo all'interno.

Di seguito è possibile analizzare le diverse caratteristiche prestazionali per carrelli elettrici frontali e a forche retrattili:

	Portata [Kg]	Lunghezza massima [mm]	Larghezza minima corridoio [mm]	Altezza [mm]	Raggio minimo sterzata [mm]	Velocità con/senza carico	
						Traslazione [m/s]	Sollevamento [m/s]
Carrello elettrico frontale	1000	2800	3100	3300	1700	3/3.2	0.3/0.45
	2000	3200	3200	3300	1900	3/3.2	0.3/0.45
Carrello elettrico a forche retrattili	1000	1600	2200	3600	1500	2.5/2.8	0.2/0.25
	2000	1900	2300	3300	1800	2.7/3	0.2/0.3

Tabella 2.2: Confronto delle prestazioni tra due tipologie diverse di carrelli elettrici



Figura 2.3: Esempio di carrello elevatore con forche retrattili

2.4 Sistemi ad alta automazione e bassa flessibilità

L'utilizzo di questa categoria di sistemi di trasporto del materiale è indicato qualora i prodotti che devono essere movimentati siano pressoché standardizzati o presentino caratteristiche meccaniche e geometriche simili tra di loro.

L'elevato indice di automazione che caratterizza questi sistemi indica la separazione della movimentazione del materiale dal fattore umano. Tutto questo è permesso dal fatto che le traiettorie percorse da due pezzi analoghi sono sempre le medesime, dunque è possibile automatizzare tale percorso, al fine di ridurre i tempi dedicati ad attività senza valore aggiunto, come la movimentazione del materiale.

Un basso indice di flessibilità invece è sinonimo di cattiva risposta ai cambiamenti. Avere una bassa flessibilità nella logistica interna all'azienda, non consente di presentare una variabilità nei prodotti e nei processi.

A titolo d'esempio possono essere introdotte alcune categorie di sistemi che presentano le caratteristiche appena descritte.

2.4.1 Trasportatori a nastro

I trasportatori a nastro trovano il loro impiego nel trasporto continuo. Generalmente non si utilizzano per il trasporto di prodotti pesanti. I carichi leggeri possono essere agevolmente trasportati, anche in condizioni di pendenza.

Il tipico nastro trasportatore è composto da un nastro posto su dei rulli di supporto, in grado di sostenere il peso del materiale che deve venire movimentato. Delle

pulegge ruotando permettono il moto traslatorio del nastro e di conseguenza del materiale posto sopra di esso. Generalmente tutti questi componenti sono montati su un telaio metallico che funge da sostegno per l'intera struttura.

A seconda delle caratteristiche del materiale da trasportare, il nastro può avere caratteristiche diverse. Per la maggior parte dei prodotti è possibile utilizzare nastri in tela o in gomma, che sono standardizzati all'interno della UNI 3780 e rappresentano quindi un punto di riferimento per i trasportatori.

Nel caso si lavori con materiali ad alte temperature, superiori quindi ai 100 – 120 °C, è preferibile utilizzare dei nastri d'acciaio in quanto, rispetto ai corrispettivi nastri telati o gommati, sono meno propensi a danneggiarsi per fenomeni termici. L'utilizzo di lamiera di acciaio inossidabile, inoltre, fa sì che si abbia una maggiore resistenza anche a materiali fortemente abrasivi, il tutto avendo un maggiore carico di rottura, che rende gli allungamenti del nastro trascurabili.

Nel caso si voglia avere uno scambio termico efficace tra materiale trasportato ed ambiente esterno si possono utilizzare nastri in rete metallica.

I vantaggi introdotti dal trasportatore a nastro riguardano l'automatizzazione del trasporto, il materiale infatti è in grado di viaggiare e superare ostacoli in altezza senza che debba essere per forza maneggiato da un operatore, così che non vengano effettuati movimenti inutili e venga ridotto al minimo il tempo di percorrenza.

Lo svantaggio principale è causato dalla bassa flessibilità che possiedono questi sistemi: in particolare la struttura di supporto al trasportatore è fissa, quindi vincola la possibilità di effettuare modifiche al layout aziendale, che risulta meno propenso ad evolversi a seconda delle esigenze.

Questi sistemi, quindi, vengono utilizzati quando il prodotto è ormai avviato e non si prevedono modifiche considerevoli nell'aspetto e nella funzionalità di questo.



Figura 2.4: Trasportatore industriale a nastro in tela e gomma

2.4.2 Trasporto su rotaie

Un altro sistema in grado di ottimizzare i tempi di trasporto consiste nell' introdurre nella movimentazione un sistema fisso di rotaie che guidino dei carrelli automatici fino a destinazione.

L'introduzione delle rotaie fa sì che non vi sia possibilità di sbandamento del carrello, il quale, infatti, segue una linea (pulita) fissa e predeterminata. La direzione che deve percorrere il carrello viene adeguatamente pensata al fine di minimizzare i tempi di percorrenza.

Questo sistema di movimentazione permette di trasportare anche carichi pesanti, superiori a diverse tonnellate, grazie alla loro precisione di guida e di accostamento dei materiali trasportati.

Il problema di questa tecnologia consiste nel fatto che, per la sua implementazione, sono necessari grandi spazi dedicati alle rotaie, specialmente quando ci si trova in curva. Possono essere presenti delle piattaforme in grado di compiere rotazioni complanari, che, però rendono ulteriormente rigido il sistema di trasporto. Così facendo, la metratura calpestabile di uno stabilimento industriale non viene sfruttata a dovere, aumentano gli sprechi di spazio e tutti i movimenti del materiale sono vincolati.

Le rotaie inoltre rappresentano un ostacolo che può essere invalicabile anche per altri mezzi di movimentazione, come ad esempio carrelli elevatori di piccole dimensioni o transpallet, i quali possono incastrarsi con le ruote durante il trasporto di materiale, e questa eventualità può creare non pochi problemi.

In chiave di sicurezza, la presenza delle rotaie può essere sinonima di provocato o possibile infortunio, cosa che un'azienda attenta vorrebbe e dovrebbe ridurre al minimo.



Figura 2.5: Sistema a rotaia

Questo tipo di sistema è estremamente rigido e per nulla flessibile, dunque è

adatto ad aziende che producono una limitata gamma di prodotti, che sono per lo più standardizzati.

2.5 Sistemi ad alta automazione e alta flessibilità

L'utilizzo di tecnologie che presentano alti livelli di automazione e di flessibilità è indicato per quelle realtà industriali che producono continuamente beni con un alto livello di personalizzazione e varietà.

Il sistema di trasporto principale che appartiene a questa categoria è quello che si serve di carrelli a guida automatica (AGV – *Automated Guided Vehicle*). Questi possono percorrere traiettorie complesse semplicemente venendo programmati per farlo. I pesi e le dimensioni dei beni trasportati con questi sistemi sono molteplici; esistono infatti soluzioni sia per l'industria pesante che per quella leggera.

I principali vantaggi che derivano dall'utilizzo di un sistema AGV per la movimentazione di materiale sono:

- Elevata flessibilità operativa;
- Automazione dei processi produttivi;
- Riduzione dei tempi di attraversamento;
- Riduzione del personale coinvolto nelle movimentazioni;
- Riduzione degli spazi necessari.

Sono presenti anche diversi svantaggi che non possono essere trascurati, tra questi:

- Costi iniziali di investimento elevati;
- Riprogettazione parziale del layout;
- Necessità di formare il personale.

I sistemi AGV si dividono essenzialmente in due macrocategorie:

1. Sistemi di guida a percorso fisso;
2. Sistemi di guida a percorso variabile

2.5.1 Sistemi di guida a percorso fisso

I sistemi AGV a percorso fisso utilizzano, per il trasporto di materiale, una guida posta sopra sul pavimento del luogo dove devono muoversi. La traccia può essere indicata da un nastro magnetico, fotosensibile o riflettente e permette al sistema AGV di seguire un percorso prestabilito.

La guida può essere posta sopra o sotto la pavimentazione; nel secondo caso, qualora si vogliano modificare i percorsi che deve seguire il singolo AGV, il cambiamento risulta essere più oneroso in termini di tempo e di denaro.

Le guide sono classificate in base al loro funzionamento e sono divise in:

- Guida ottica: basata su una traccia fotosensibile disposta sopra il pavimento;

- Guida induttiva:: si utilizza un cavo magnetico che viene inserito all'interno del pavimento stesso;
- Guida meccanica: il carrello si muove autonomamente su rotaia. In questo caso non si può parlare di alta flessibilità, in quanto viene introdotta una struttura fissa nell'ambiente produttivo.



Figura 2.6: Sistema AGV a percorso fisso

2.5.2 Sistemi di guida a percorso variabile

I sistemi AGV a percorso variabile non necessitano di guide per conoscere il percorso che devono compiere. Questi sistemi vengono impostati per scegliere il percorso che devono compiere per effettuare le operazioni di material handling.

Per conoscere la posizione dove si trovano questi sistemi necessitano di un'elevata potenza di calcolo e una serie di riferimenti che permettano la triangolazione della sua posizione all'interno della mappa dell'ambiente industriale.

In questo caso la flessibilità viene massimizzata.

In questo caso le guide sono differenti e utilizzano una tecnologia inserita direttamente nel sistema AGV stesso. Queste si dividono in:

- Guida con riferimento cartesiano: sono presenti dei sensori in grado di rilevare le posizioni X e Y del carrello AGV in un sistema cartesiano;
- Guida con telecamera: è presente una telecamera che registra la posizione del veicolo. Questi sistemi sono scelti quando le movimentazioni devono essere molto precise;
- Guida laser: è presente un sistema in grado di generare dei fasci laser inoffensivi per le persone che vengono riflessi e ritrasmessi da dei bersagli collocati regolarmente lungo il circuito che deve essere seguito.



Figura 2.7: Sistema AGV a percorso variabile

Capitolo 3

L'azienda Galdi S.R.L.

3.1 La storia

Galdi è un'azienda nata a Montebelluna nel 1985 che si occupa di progettare e realizzare macchine riempitrici che lavorano nel settore alimentare. Il primo modello di macchina riempitrice viene prodotto nel 1970, al fine di affiancare e semplificare la produzione della latteria di famiglia.

Il settore di riferimento è rimasto, da allora, quello alimentare; le macchine prodotte al giorno d'oggi sono in grado di lavorare anche con diverse tipologie di prodotti, tra i quali si possono elencare succhi, yogurt, uova e alimenti detti *dry food*, tra i quali è possibile trovare le spezie e le farine.

I clienti dell'azienda vanno dal piccolo produttore che possiede un'attività appena avviata, alla grande multinazionale, che richiede standard qualitativi elevati.

La peculiarità che contraddistingue Galdi dalle altre aziende è il grado di personalizzazione che è in grado di fornire ai propri clienti, rispondendo così alle diverse esigenze di ciascuno; un approccio *client-centered* e orientato al miglioramento continuo fa sì che il cliente venga accompagnato verso le soluzioni che siano in grado di generare maggior valore.

In questo modo è possibile affiancare oltre ai più grandi produttori mondiali, anche i piccoli allevatori.

Grazie alla comprensione delle diverse esigenze dei clienti in termini di customizzazione e ad un efficace servizio di *aftermarket* è stimato che più di 8 milioni di persone ad oggi facciano colazione con confezioni riempite da una macchina prodotta da Galdi.

Galdi ad oggi ha installato più di 500 macchine e il mercato a cui fa fronte si estende a livello mondiale.



Figura 3.1: Impianti Galdi presenti in diversi paesi del mondo

Le macchine prodotte in Galdi sono in grado di formare, riempire e sigillare i cartoni *gable top* con diverse configurazioni, in base alla scelta del prodotto con cui devono venire riempiti i cartoni, al volume di ciascun contenitore e alla produzione oraria richiesta al cliente.

Negli ultimi anni Galdi è riuscita ad ampliarsi a livello mondiale, aprendo diverse *business – unit* in diversi continenti.

Dal 2011 al 2018 sono infatti 4 le nuove sedi strategiche, le quali si trovano in Russia, Marocco, Stati Uniti e Algeria. L'apertura di queste sedi ha permesso all'azienda di avvicinarsi al cliente e comprendere maggiormente i suoi bisogni e le sue disponibilità, così da fornire un migliore servizio in fase di pre e post – vendita.

Nel 2018 viene acquistata Artema Pack, azienda specializzata in confezionatrici di fine linea; in questo modo per l'azienda è possibile offrire soluzioni tecnologiche e di efficientamento per l'intera linea produttiva.



Figura 3.2: Confezionatrice di fine linea Artema Pack

Attualmente Galdi produce macchine in grado di lavorare dai 2000 ai 7000 cartoni all'ora, per diversi volumi del cartone.

Negli ultimi anni l'azienda si è concentrata nell'approdo dell'Industria 4.0. È stato introdotto, infatti, il sistema MaSH; si tratta di un servizio di monitoraggio continuo che tramite applicazioni fornisce *alert* e *report* giornalieri riguardanti performance e rendimento della macchina riempitrice. In questo modo è stato possibile prevenire anticipatamente gli stop di produzione e ridurre drasticamente gli interventi urgenti.

3.2 Sistemi di riempimento

Il sistema con cui vengono riempiti i cartoni progettato da Galdi è costituito da tre fasi principali:

1. Formatura del cartone;
2. Riempimento del cartone;
3. Chiusura del cartone.

Le fasi sopraelencate sono tutte contenute all'interno della stessa macchina riempitrice.

Si tratta quindi di un sistema ad alto valore aggiunto; il corretto confezionamento dei prodotti alimentari fa sì che vi sia una pronta risposta alla domanda del mercato.

Ciascuna linea di riempimento può essere customizzata in base alle esigenze del cliente e del mercato in cui deve venire inserita; i paesi orientali, ad esempio, utilizzano un sistema di sanificazione del cartone differente rispetto a quello richiesto nei paesi europei.

Questa flessibilità presente nelle macchine Galdi fa sì che si riesca a fronteggiare l'evoluzione del mercato, restando in questo modo aggiornati coi tempi. Si riesce inoltre a garantire un livello di innovazione non indifferente, fatto essenziale per un'azienda di successo.

Le riempitrici automatiche Galdi lavorano in questo momento solo con i cartoni *gable top*. I cartoni *gable top* presentano la peculiare "cima a timpano", caratteristica facilmente riconoscibile. Precedentemente l'azienda utilizzava anche altre tipologie di contenitore, un esempio erano le confezioni di panna. La scelta di concentrarsi solamente su cartoni *gable top* ha permesso di elevare il livello della qualità del confezionamento del prodotto.

I cartoni all'interno della macchina riempitrice possono subire formature diverse, definite con le sigle A-style e B-style, che si differenziano per la piegatura subita, specialmente per la sezione di base.

Un'ulteriore personalizzazione introdotta nelle macchine riempitrici può riferirsi al



Figura 3.3: Cartone gable top

volume del cartone; una singola macchina è in grado di confezionare diverse dimensioni volumetriche del cartone, che vanno dai 250 ml ai 2 l.

La stessa configurazione della macchina è in grado di far fronte a diversi prodotti, che vanno dal latte fresco che ha una shelf life di una settimana ai prodotti a lunga conservazione quali possono essere le spezie o altri prodotti dry food. La shelf life si suddivide in:

Definizione	Sigla	Shelf life
Fresh	FR	7 giorni
Clean	CL	14 giorni
Ultraclean	UC	21 giorni
Hot fill	HF	12 mesi
Warm fill	WF	variabile

Tabella 3.1: Shelf life in base al tipo di prodotto

Tutte queste variabili fanno sì che vi siano centinaia di configurazioni per la singola macchina, in quanto tutte le variabili precedentemente indicate possono essere interconnesse tra di loro. La necessità di semplificare la trattazione fa sì che ciascun sistema di riempimento possa essere suddiviso in 4 gruppi funzionali principali:

1. Preparazione del cartone;
2. Trasporto del cartone;
3. Dosatore del prodotto;
4. Saldatura del cartone

Attualmente è presente anche un'attività di prototipazione, svolta in collaborazione con l'azienda leader nel settore: Tetrapak. Il modello della macchina deve ancora venire inserito nel mercato e prende la sigla TR/G7. Questo particolare modello di macchina possiede analoghi macro-gruppi funzionali, ma che presentano al loro

interno delle differenze innovative rispetto alle tecnologie introdotte nei modelli attualmente prodotti in serie nello stabilimento.

Questo particolare modello di macchina possiede analoghi macro-gruppi funzionali, ma che presentano al loro interno delle differenze innovative rispetto alle tecnologie introdotte nei modelli attualmente prodotti in serie nello stabilimento.

3.3 Lo stabilimento di Postioma di Paese

Lo stabilimento produttivo di Galdi si trova a Postioma di Paese, in provincia di Treviso. Al suo interno le macchine riempitrici vengono progettate e costruite tutte le macchine riempitrici automatiche dell'azienda.

All'interno dello stabilimento sono presenti tutte le aree che intervengono nel ciclo produttivo della macchina; sono previsti spazi che vanno dalla fase di approvvigionamento del materiale necessario per l'assemblaggio della macchina fino all'ufficio dedicato al service, che rappresenta un servizio di post-vendita dedicato a sopperire ad eventuali problematiche rilevate dal cliente in maniera veloce e mirata.



Figura 3.4: Stabilimento Galdi a Postioma di Paese

Ad oggi, il gruppo Galdi conta circa 100 dipendenti, di cui una parte preponderante si trova proprio nello stabilimento di Postioma.

Nel 2020 verrà anche inaugurato il Galdi Village, un'area dedicata al benessere dei lavoratori; gli spazi dedicati all'ambiente produttivo non saranno infatti ampliati, ma saranno introdotti servizi come la mensa, la palestra e sale polifunzionali.

3.4 Le riempitrici RG

Negli ultimi anni l'azienda si è focalizzata nella famiglia di riempitrici definita dalla sigla RG. Questa è costituita dai tre modelli RG21, RG50, RG250 e RG270. Ciascuna di queste macchine riempitrici è caratterizzata da un suo costo, dalla sua capacità produttiva e da diverse caratteristiche interne.

Nel momento attuale le principali macchine prodotte sono le RG50 e le RG270, per cui nella seguente trattazione saranno analizzati solamente questi due modelli di macchina.

3.4.1 Riempitrice RG50

La riempitrice RG50 è caratterizzata da una moderata capacità produttiva e il cavallo di battaglia è il prezzo a cui viene proposta al cliente. Si tratta di una macchina che permette di lavorare fino a 3000 cartoni/ora con diverse configurazioni. La riconfigurazione per i diversi cartoni è effettuata manualmente e non richiede tempi elevati.

I materiali utilizzati per la costruzione della macchina permettono di garantire una qualità elevata; tutto il telaio utilizza Acciaio INOX.

La qualità del materiale adottata permette di avere un elevato livello igienico, oltre ad un corretto comportamento strutturale durante la messa in funzionamento. L'acciaio inox intrinsecamente permette di ottenere ottime prestazioni anche in presenza di liquidi utilizzati per il lavaggio della macchina e la lubrificazione di parti meccaniche, quali possono essere la catena di trasporto dei cartoni o la pressa utilizzata per la saldatura del tetto dei cartoni.

Il modello di macchina riempitrice RG50 permette di lavorare solamente un cartone per volta.

La customizzazione della macchina è elevata; si possono, a titolo d'esempio, avere diverse dimensioni del cartone, si può decidere il tipo di dosatore da utilizzare oppure il tipo di chiusura che deve presentare la confezione (con tappo/senza tappo). Quelle appena elencate sono solo alcune delle personalizzazioni possibili che possono essere attuate nella macchina.

Il telaio è unico per tutte le configurazioni e presenta dimensioni ridotte.

Grazie all'elevata economicità, associata alla moderata capacità produttiva il modello RG50 si propone di affiancare i piccoli e medi produttori. Le dimensioni contenute fanno sì che la collocazione e lo spostamento della macchina riempitrice all'interno di uno stabilimento produttivo siano facilmente perseguibili.

Alla flessibilità della macchina corrisponde il bisogno di avere un'elevata flessibilità



Figura 3.5: Macchina riempitrice RG50

interna della macchina. La macchina riempitrice infatti è costituita al suo interno da diverse stazioni, che per completezza vengono elencate nella seguente figura:

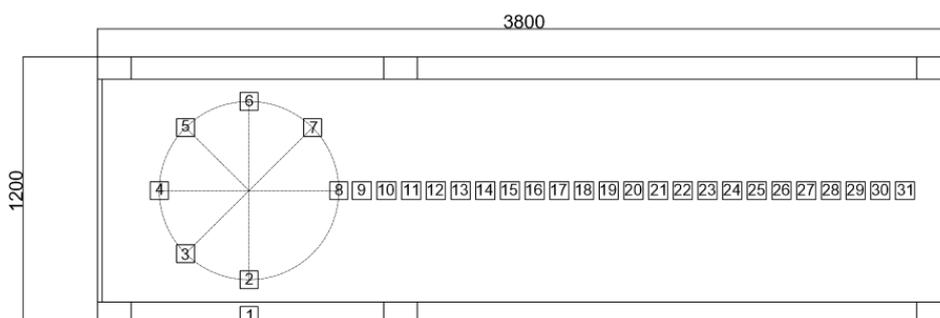


Figura 3.6: Layout interno di una RG50

ID	Stazione	Funzione	ID	Stazione	Funzione
1	Magazzino	In questa stazione vengono caricati i cartoni	17	Asciugatura	Il perossido viene asciugato grazie ad aria calda sterile
2	Mandrina	Il cartone viene preso dal magazzino e formato	18	Asciugatura	Il perossido viene asciugato grazie ad aria calda sterile
3	Riscaldatore del fondo	In questa stazione viene scaldato il fondo del cartone per attivare lo strato di collante	19	Libera	Non vengono esercitate azioni
4	Riscaldatore del fondo	In questa stazione viene scaldato il fondo del cartone per attivare lo strato di collante	20	Riempimento	Il prodotto da conservare viene inserito all'interno del cartone
5	Pre - piega del fondo	Si piega il fondo del cartone per ottimizzare la successiva chiusura	21	Riempimento	Il prodotto da conservare viene inserito all'interno del cartone
6	Pressa del fondo	Il fondo viene chiuso mediante l'applicazione di pressione	22	Riempimento	Il prodotto da conservare viene inserito all'interno del cartone
7	Libera	Non vengono esercitate azioni	23	Libera	Non vengono esercitate azioni
8	Trasferimento	Il cartone passa dalla giostra di mandrini alla catena di trasporto	24	Aspira schiuma	In questo modo si evita che l'eventuale schiuma creata durante il riempimento possa
9	Pre - piega del tetto	Si piega il tetto del cartone per ottimizzare la successiva chiusura	25	Libera	Non vengono esercitate azioni
10	Allineamento cartone	Il cartone viene posto nella giusta posizione lungo la catena	26	Riscaldatore del tetto	In questa stazione viene scaldato il tetto del cartone per attivare lo strato di collante
11	Libera	Non vengono esercitate azioni	27	Libera	Non vengono esercitate azioni
12	Applicatore tappi	Qualora venga richiesto è possibile applicare un tappo al cartone	28	Pressa del tetto	Il tetto viene chiuso mediante l'utilizzo di una pressa
13	Libera	Non vengono esercitate azioni	29	Pressa del tetto	Il tetto viene chiuso mediante l'utilizzo di una pressa
14	Libera	Non vengono esercitate azioni	30	Libera	Non vengono esercitate azioni
15	Tunnel disinfezione	Viene somministrato del perossido di idrogeno nel cartone per disinfettare	31	Stampaggio date	Qualora venga richiesto è possibile stampare le date di riempimento sul cartone
16	Asciugatura	Il perossido viene asciugato grazie ad aria calda sterile			

Tabella 3.2: Stazioni numerate della macchina riempitrice RG50

Nella figura precedente ci sono delle stazioni denominate libere; queste sono necessarie perché la macchina lavori correttamente oppure per la presenza di ingombri dei gruppi interni che non rendono possibile l'utilizzo della stazione stessa. Per l'anno 2020, infine, è stato proposto un nuovo modello di RG50, che sia in grado di aumentare la possibilità di flessibilità fornita al cliente, mantenendo le dimensioni ridotte e le principali peculiarità che caratterizzano le riempitrici RG50. La massa di questo modello macchina, nel caso siano presenti tutte le caratteristiche optional è di circa 4 tonnellate.

3.4.2 Riempitrice RG270

La macchina riempitrice RG270 permette di avere un'elevata produttività e un elevato livello qualitativo del prodotto in uscita dalla macchina stessa. Il modello RG270 permette di lavorare 7000 cartoni all'ora e, anche in questo caso, viene mantenuta alta la flessibilità di cui dispone il cliente che acquista questa particolare macchina riempitrice.

La possibilità di personalizzare la macchina in base alle esigenze rimane presente anche in questo modello, così da renderlo adatto a tutte le particolari fette di mercato.

I materiali scelti per la produzione di questo modello sono i medesimi di quelli utilizzati per il modello RG50, si tratta quindi essenzialmente di Acciaio INOX.

Grazie all'elevata velocità di lavorazione dei cartoni la riempitrice automatica RG270 è predisposta per affrontare i grandi mercati, dove l'efficacia di questi sistemi e il loro corretto funzionamento sono essenziali per riuscire a fronteggiare la concorrenza.

Le dimensioni della macchina aumentano in tutti i fronti; la massa quasi raddoppia rispetto al modello RG50, così come gli ingombri che caratterizzano questa macchina, rendendola più difficile da movimentare.



Figura 3.7: Macchina riempitrice RG270

Il modello RG270 infine è in grado di lavorare due cartoni gable top in contemporanea, semplicemente riprendendo il layout interno della RG50 e raddoppiando il numero di stazioni dedicate a ciascuna funzione.

È dunque possibile analizzare il layout interno della macchina RG270 nella seguente figura e osservare le analogie con quello della RG50:

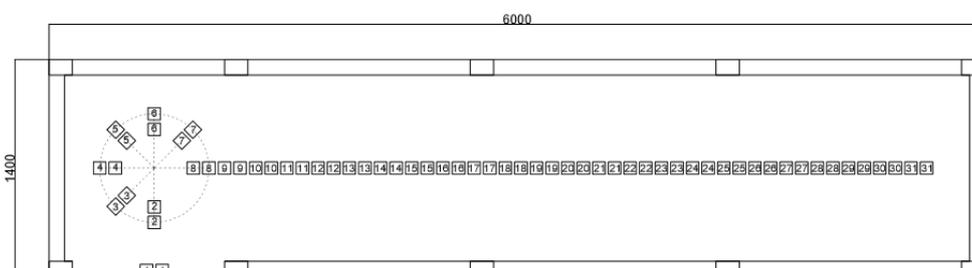


Figura 3.8: Layout interno di una RG270

È possibile osservare che le dimensioni della macchina, specialmente nella lunghezza, sono molto maggiori rispetto a quelle del modello della RG50. Questo com-

porta delle problematiche, specialmente a livello logistico, che verranno trattate nei capitoli successivi.

Capitolo 4

Analisi della logistica attuale e possibili alternative

4.1 L'area produttiva

L'intera area produttiva dell'azienda Galdi si trova all'interno di un unico stabilimento, situato a Postioma di Paese (TV). Gli spazi dell'azienda sono pianificati nelle seguenti aree principali che svolgono le diverse funzioni del processo produttivo:

- Magazzino;
- Carpenteria;
- Pre – montaggio;
- Assemblaggio;
- Collaudo.

La prima area è caratterizzata dalla presenza di un magazzino verticale automatico e di una parte di magazzino tradizionale. All'interno del magazzino sono presenti tutti i pezzi necessari per l'assemblaggio del pezzo.

Nell'area della carpenteria viene assemblato il telaio portante delle macchine riempitrici. Il telaio è assemblato tramite lunghi tratti di saldatura da alcuni operatori specializzati. La buona tenuta delle saldature è essenziale per assicurare il corretto funzionamento delle macchine riempitrici ed è quindi dedicata molta cura in questo processo.

Nell'area di pre – montaggio vengono assemblati i gruppi funzionali che verranno poi inseriti all'interno della macchina nel reparto dell'assemblaggio.

Nell'area di assemblaggio la macchina viene composta e tutti i principali componenti vengono montati. In questo istante vengono inserite tutte le parti meccaniche ed elettriche necessarie per il corretto funzionamento della macchina. L'area di assemblaggio è composta da 3 linee, che lavorano indipendentemente tra di loro.

Dall'area assemblaggio, la macchina riempitrice viene trasferita al reparto collaudo, dove viene testata. In quest'ultima area si effettua anche una verifica delle perfor-

mance durante una prova in funzionamento. Una volta superati tutti i test di collaudo, la macchina viene imballata e spedita al cliente.

La superficie dedicata al collaudo è composta da 7 postazioni poste parallelamente tra di loro.

Nello stabilimento è presente anche un'area dedicata alla ricerca e sviluppo; questa è un'area di fondamentale importanza per studiare modelli e strategie di innovazione al fine di rimanere competitivi nell'uso delle tecnologie presenti sul mercato.

Nella seguente figura è indicata la planimetria e sono indicate tutte le diverse aree nell'attuale disposizione del layout:

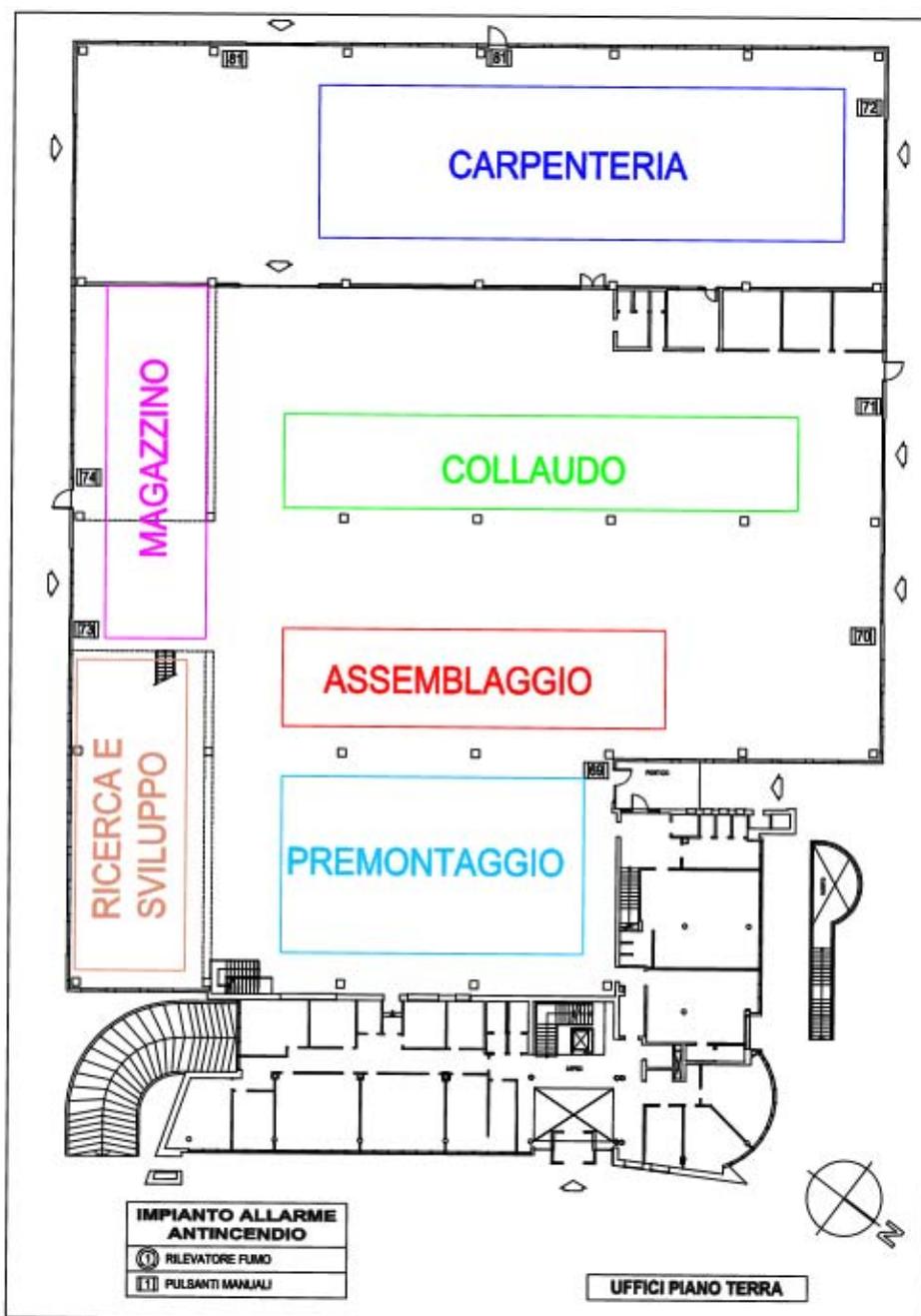


Figura 4.1: Disposizione attuale delle aree produttive nello stabilimento Galdi

4.2 Presentazione della problematica

All'interno dello stabilimento di Galdi è stato osservato un problema che intacca l'ergonomia dell'operatore durante le operazioni di movimentazione interna delle macchine riempitrici.

La definizione del problema nasce dalle segnalazioni provenienti dagli operatori stessi in relazione alla modalità con cui vengono eseguite le movimentazioni interne delle macchine.

Durante il ciclo produttivo infatti, le macchine devono passare dall'assemblaggio al collaudo per la fase di verifica delle performance. L'operazione del collaudo è necessaria al fine di assicurare sempre al cliente un prodotto di qualità che corrisponda in pieno alle caratteristiche concordate in fase di acquisto.

L'operazione di movimentazione interna delle macchine riempitrici rappresenta una fase molto delicata del ciclo produttivo. Il primo problema è rappresentato dal peso della macchina prodotta. La macchina di punta dell'azienda Galdi, la RG 270, pesa infatti circa 70 quintali ed il peso di questa non è distribuito uniformemente. La non uniformità della distribuzione del peso rende l'operazione di sollevamento pericolosa; il peso tende a flettere il telaio della macchina in corrispondenza dei punti più pesanti.

Altro dato da considerare è anche la lunghezza di tutte le macchine da movimentare, in quanto la lunghezza complessiva del solo telaio del modello RG270 raggiunge i 6 metri di lunghezza, a cui vanno aggiunti lo spazio richiesto per il quadro elettrico della macchina e il corridoio di uscita dei cartoni. Questi dispositivi molto lunghi devono essere movimentati negli spazi disponibili all'interno dello stabilimento, garantendo contemporaneamente la sicurezza degli operatori e massimizzando la flessibilità dello stabilimento stesso.

A queste considerazioni appena descritte va aggiunto che, le ingenti dimensioni delle macchine da movimentare, sia nel peso che nelle lunghezze, fanno sì che durante le operazioni di movimentazione possano venirsi a creare tensioni e deformazioni non indifferenti, che possano danneggiare la macchina o i gruppi funzionali ad essa collegati. Con il termine danneggiare non si intende solamente plasticizzazione o rottura del materiale, bensì anche una possibile staratura di tutti i dispositivi associati alla macchina, che regolano il corretto funzionamento delle parti meccaniche ed idrauliche, necessarie per il riempimento e la chiusura dei cartoni.

Tutte queste considerazioni rappresentano dei vincoli non indifferenti nello studio di un sistema di movimentazione interno ad uno stabilimento di chi opera con oggetti di grandi dimensioni.

Per la ricerca di una possibile soluzione al problema sono state intraprese le seguenti fasi di analisi: inizialmente si è svolta una indagine conoscitiva per monitorare la

situazione attuale, definendo punti a favore e criticità principali nella movimentazione, successivamente sono state cercate delle possibili soluzioni presenti cercando tecnologie già esistenti nel mercato ed usati per la movimentazione di materiali pesanti, per poi analizzarne l'effettiva fattibilità in termini di semplicità di utilizzo e compatibilità con lo stabilimento.

Tutto questa ricerca è stata fatta per lo sviluppo di una movimentazione *user-friendly* che consideri i bisogni e le capacità degli operatori.

4.3 Situazione *as - is*

L'attuale movimentazione interna allo stabilimento di tutte le macchine riempitrici prevede l'utilizzo di pattini. Questa soluzione ha il vantaggio di essere pratica e poco costosa e rappresenta un buon compromesso in termini di flessibilità.



Figura 4.2: Pattini utilizzati per l'attuale movimentazione della macchina

Il funzionamento di questo tipo di questo mezzo è semplice; il pattino viene posto nel poco spazio disponibile sotto al telaio portante della macchina, poi tramite l'utilizzo di aria compressa viene gonfiato un cuscino presente nella parte superiore del pattino stesso che fa sì che la macchina venga sollevata.

Mediante la chiusura della valvola l'aria resta intrappolata all'interno del cuscino e non fuoriesce, in questo modo la macchina rimane sollevata e può essere spinta a mano dagli operatori.

Il problema insorge quando si deve spostare la macchina dall'area di assemblaggio all'area di collaudo. Per l'operazione di movimentazione infatti viene coinvolto il personale che lavora nella linea di assemblaggio, il quale che svolge un'operazione di spinta e di manovra del carico.

Nascono quindi in questo momento le principali criticità di questo processo:

1. Le forze in gioco sono ingenti;
2. L'inerzia della macchina può causare infortuni;
3. Non è stata fatta alcuna analisi sul comportamento strutturale della macchina.

La prima criticità è agli occhi di tutti gli addetti ai lavori, in quanto per spostare le RG270 è necessario l'impiego di almeno 7 operatori, che rappresenta l'equivalente di 2 linee di assemblaggio complete. In una logica di continuo automiglioramento questa criticità può essere presa in considerazione e favorire possibili soluzioni di sviluppo interno.

La difficoltà legata allo spostamento delle macchine riempitrici, in particolare della RG270, è stata individuata inizialmente parlando con gli operatori e immedesimandosi nelle operazioni che devono svolgere.

Successivamente il problema è stato studiato in modo approfondito confrontando i dati emersi e utilizzando le tecniche definite nelle normative tecniche di riferimento per l'ergonomia, introdotte nel *Capitolo 1* dell'elaborato. In particolare, si fa riferimento alla ISO 11228 – 2, la quale definisce i limiti raccomandati per la spinta dei materiali.

Vista la difficoltà a definire in maniera univoca e precisa le forze e le posture che devono essere impiegate per la movimentazione è stato proposto il seguente questionario:¹⁷

¹⁷International Organization for Standardization (ISO). *Ergonomics – Material handling – Part 2: Pushing and Pulling*, ISO 11228-3, 2007 – Annex A.

I questionari proposti permettono di effettuare una valutazione qualitativa del livello di criticità ergonomica.

Parametri da considerare	Sì	No	Rischi e problemi potenziali (è possibile indicare in questa colonna un elenco di problemi presenti, così da sapere dove rimediare)	Suggerimenti/possibili azioni da intraprendere (è possibile indicare cambiamenti che possono essere intrapresi per effettuare l'attività in modo da adattare i carichi, lo spazio necessario, l'ambiente ai propri bisogni)
Valutazione delle attività - ci sono...				
Movimenti molto accelerati per iniziare, fermare o manovrare il carico?				
Maniglie/prese fuori dalla verticale anca/gomito?				
Movimenti ad alta velocità? (>1.5 m/s)				
Il carico o l'oggetto che deve essere movimentato...				
Ha una buona presa?				
Il carico è instabile?				
Vi è una riduzione della visibilità durante la movimentazione?				
Se si utilizzano pattini/ruote...				
Il peso del carico supera il limite funzionale dei pattini?				
La superficie del pavimento è in cattive condizioni o il pavimento crea in qualche modo problemi per le operazioni di movimentazione con i pattini?				
I pattini a rotelle sono inappropriati per avere una corretta manovrabilità?				
Sono necessari dei freni per fermare il movimento del carico in modo sicuro?				
Se sono utilizzati dei sistemi frenanti, sono efficaci?				

Figura 4.3: Questionario proposto agli operatori, pagina 1

Parametri da considerare	Sì	No	Rischi e problemi potenziali (è possibile indicare in questa colonna un elenco di problemi presenti, così da sapere dove rimediare)	Suggerimenti/possibili azioni da intraprendere (è possibile indicare cambiamenti che possono essere intrapresi per effettuare l'attività in modo da adattare i carichi, lo spazio necessario, l'ambiente ai propri bisogni)
L'ambiente lavorativo - ci sono...				
Spazi ristretti/porte strette?				
Spazi inadeguati per girare o manovrare il carico?				
Uno o più criticità nella postura adottata per la movimentazione?				
Punti del pavimento rotti/danneggiati/scivolosi?				
Rampe/pendenze/superfici irregolari?				
Rischi di inciampo?				
Condizioni di scarsa illuminazione?				
Condizioni di caldo/freddo/umido				
Forti movimenti d'aria?				
Capacità individuali - L'attività di spostamento...				
Richiede particolari capacità?				
Rappresenta un rischio per coloro che hanno problemi al cuore?				
Richiede un particolare training=				
Altri fattori				
Il movimento o la postura sono ostacolati dall'abbigliamento o equipaggiamento per la protezione personale?				

Figura 4.4: Questionario proposto agli operatori, pagina 2

I risultati che sono scaturiti da questo questionario sono i seguenti:

- Difficoltà nella spinta iniziale e sono richieste molte risorse per muovere le macchine riempitrici;
- Non sono previste delle prese per controllare adeguatamente il carico, che inoltre risulta spesso instabile;
- Vi è una riduzione nella visibilità durante la movimentazione, in quanto devono venire aperti gli sportelli della macchina per avere una presa migliore, aumentando l'ingombro associato alla macchina riempitrice;
- È stata riscontrata da tutti un'inadeguatezza nell'uso dei pattini per avere una corretta manovrabilità ed è stata sottolineata la mancanza di freni. In questo momento l'operazione di frenaggio della macchina è svolta dalle persone, che soprattutto nel caso delle macchine pesanti non riescono a fermarla in poco spazio;
- Nell'analisi dell'ambiente lavorativo è emerso come trasparisca l'idea che gli spazi siano inadatti per girare e manovrare il carico;
- Vengono assunte durante le operazioni di spinta e frenata posture inadatte, forzando sulla schiena;
- Sono presenti rischi di inciampo, derivanti prevalentemente dai materiali presenti tra le linee di assemblaggio;
- È richiesto un elevato livello di forza per movimentare il carico efficacemente.

Sono quindi numerose le difficoltà evidenziate dagli operatori, i quali non sentono i propri bisogni considerati a sufficienza. Ogni qualvolta che devono venire movimentate le macchine, come conseguenza di queste difficoltà, si generano malumori interni.

È stato sottolineato anche un secondo problema; questo riguarda l'inerzia che deve essere controllata quando vengono eseguite le movimentazioni. I pattini utilizzati, infatti, non hanno la possibilità di frenare e, nel carrello, non sono presenti ruote sterzanti. Una carenza di attenzione durante la movimentazione potrebbe provocare degli infortuni o dei danni, in quanto l'inerzia delle macchine in movimento non è facilmente contrastabile. Per fermare un oggetto di quelle dimensioni l'operatore deve interporre a questo e mettersi, quindi, in una condizione di scarsa sicurezza.

Vi è poi una terza problematica che è stata osservata durante il trasporto delle macchine riempitrici. Essa riguarda la non conoscenza di quello che succede durante l'operazione di spostamento: non sono mai stati considerati fattori come la posizione delle forze relative ai pesi dei gruppi funzionali della macchina, non è mai stata indagata la distribuzione delle tensioni sul telaio della macchina, quando si trasporta la macchina con i pattini appena descritti. Questa considerazione non è banale, in quanto, sebbene possa sembrare che le strutture siano perfettamente rigide esse non lo sono e, durante la movimentazione, possono essere sollecitate in maniera ec-

cessiva.

Quest'ultima considerazione è stata proposta, in quanto, durante l'assemblaggio la macchina viene tarata in tutta la sua componentistica, ma durante il collaudo questa spesso, per non dire sempre, deve venire ritarata per funzionare correttamente. Questo problema si verifica anche quando la macchina viene consegnata al cliente; nonostante alla fine del processo produttivo la macchina riempitrice sia già stata collaudata e ci sia la certezza che, all'interno dello stabilimento Galdi, essa funzioni correttamente. Il cliente deve spesso metterci mano e tarare di nuovo molti dei parametri già tarati in quanto nel nuovo stabilimento il prodotto acquistato non si comporta a dovere. Da questa considerazione è nata l'ipotesi che tali problemi possano crearsi o nascere proprio da una possibile movimentazione non corretta delle macchine.

Quindi, è stata eseguita un'indagine in un'ambiente numerico ad elementi finiti al fine di eseguire una simulazione statica del comportamento del telaio della RG270 soggetto ai pesi di tutti i gruppi funzionali e appoggiato sui due pattini.

Questa analisi è stata effettuata e verrà ripresa ed analizzata in seguito.

Di seguito è inserito uno schema esplicativo che racchiuda al suo interno tutti i problemi presenti nella movimentazione utilizzata in questo momento in Galdi:

Problematiche situazione "as is"		
Ergonomia	Sicurezza	Informazione
<ul style="list-style-type: none"> • Le forze per muovere la macchina sono elevate; • Le posture che si generano durante la movimentazione non sono naturali e gravano sul fisico dell'operatore; • Le condizioni in cui viene eseguita la movimentazione non sono ottimali 	<ul style="list-style-type: none"> • L'inerzia della macchina è elevata, per movimentarla correttamente è richiesto un alto livello di attenzione; • La scarsa visibilità durante la movimentazione può provocare infortuni 	<ul style="list-style-type: none"> • Non vi è la comprensione del comportamento strutturale della macchina movimentata; • Non si sa se la movimentazione incide sull'allungamento dei tempi nel collaudo; • Non si danno informazioni al cliente su come movimentare e posizionare la macchina

Figura 4.5: Problematiche della logistica attuale nello stabilimento Galdi

Per sopperire alle problematiche evidenziate sono state cercate soluzioni attualmente presenti nelle tecnologie moderne per la movimentazione di oggetti di grandi pesi e dimensioni. che andassero a limare ciascuna di queste mancanze.

Nei prossimi paragrafi saranno discusse le principali soluzioni e saranno definiti i benefici e gli svantaggi di ciascuna possibile alternativa.

4.4 Carrello elevatore

Per evitare i problemi legati alle forze che devono fornire gli operatori la prima soluzione contemplata è stata quella di utilizzare un carrello elevatore che potesse essere in grado di sostenere il peso della RG270. Questo tipo di soluzione permetterebbe di utilizzare un macchinario già presente in azienda e dunque eviterebbe qualsiasi esborso monetario.



Figura 4.6: Carrelli elevatori disponibili in Galdi

Come già analizzato in precedenza, l'utilizzo di un carrello elevatore, d'altro canto, presenta numerose limitazioni nel suo utilizzo. La prima e forse più importante è legata agli spazi disponibili.

Questo spazio in azienda, nel posizionamento delle macchine riempitrici all'interno del collaudo non è disponibile, quindi con l'attuale layout dello stabilimento l'utilizzo di carrelli elevatori per lo spostamento delle macchine riempitrici dall'area di assemblaggio all'area di collaudo non è attuabile.

Qualora il layout venisse ridefinito, si presentano però altre criticità che rendono ancora inadeguato l'utilizzo del carrello elevatore.

Tra queste possiamo considerare la distribuzione del peso della macchina, concentrato prevalentemente dove è presente il carrello elettrico. Questa distribuzione del peso fa sì che una volta che le forche afferrano il telaio vi sia una flessione asimmetrica, visibile anche ad occhio nudo, che rende instabile il carico e che potrebbe creare dei problemi di sicurezza.



Figura 4.7: Sollevamento di una RG270 con un carrello elevatore

Una movimentazione di questo tipo inoltre richiede la presenza di personale adeguatamente formato, in grado di controllare ottimamente il carrello elevatore. Questo tipo di personale non sempre è disponibile all'interno dello stabilimento e quindi si ha una perdita nella flessibilità del ciclo produttivo.

Anche in questo caso non sono stati fatti studi sul comportamento strutturale della macchina durante una movimentazione con carrelli elevatori; questo andrebbe invece indagato con maggiore cura, infatti, sebbene l'utilizzo di carrelli elevatori sia estremamente limitato all'interno dello stabilimento, una volta che la macchina riempitrice arriva al cliente, l'utilizzo del carrello elevatore è molto impiegato nelle due fasi successive per il posizionamento della macchina dopo il collaudo e la successiva messa in funzione della macchina stessa da parte del cliente.

Qualora la struttura fosse cedevole o subisse deformazioni troppo elevate si potrebbero generare alcune problematiche relative al corretto funzionamento della macchina. Il malfunzionamento è spesso compensato da una taratura dei diversi gruppi di componenti che vengono inseriti per effettuare l'attività di riempimento dei cartoni.

Una macchina riempitrice infatti è una tipologia di macchina molto complessa e deve essere in grado di mantenere standard funzionali e igienici molto elevati, dun-

que, un malfunzionamento è in grado di provocare un arresto nel momento in cui questa diventa operativa in una catena di produzione, con ingenti perdite in termini di ricavi da parte dei clienti che l'hanno comprata.

Un fatto ancora più grave si verificherebbe qualora la chiusura e il riempimento dei cartoni non fossero ottimali; Questo pericolo ha come diretta conseguenza una riduzione dell'igiene che la macchina è in grado di garantire, in quanto se il cartone non ha saldature corrette potrebbero entrare batteri. In prodotti freschi come il latte questo fattore sarebbe estremamente dannoso.

Un secondo problema che potrebbe generarsi dal malfunzionamento in fase di chiusura e/o riempimento è quello di perdite e trafiletti attraverso saldature non corrette; questo fa sì che da una parte potrebbe esserci una perdita della materia prima che riempiva il cartone, dall'altra il cartone potrebbe bagnarsi e quindi non potrebbe più essere venduto. Anche in questo caso si verificherebbe una perdita economica da parte del cliente.

È quindi di fondamentale importanza investigare sui reali motivi per i quali chi acquista una macchina testata e collaudata debba, in alcuni casi, effettuare ulteriori modifiche e revisioni alla taratura dei parametri già effettuata nello stabilimento produttivo. È necessario indagare verificare ed eventualmente escludere che questi problemi derivino da una movimentazione con il carrello elevatore.

Sebbene questo mezzo non sia adatto allo stabilimento per i motivi sopraelencati, sarà fatto uno studio statico in ambiente ad elementi finiti per verificare che i problemi che vengono rilevati in fase di post – vendita e messa in moto della macchina riempitrice non siano attribuibili ad una sua movimentazione non corretta per mezzo di un carrello elevatore.

Ricapitolando si possono definire i benefici e gli svantaggi che porterebbe l'utilizzo di carrelli elevatori per lo spostamento dal reparto di assemblaggio al reparto di collaudo:



Figura 4.8: Benefici e svantaggi nell'utilizzo di un carrello elevatore per lo spostamento di una RG270

4.5 Carroponte

Il carroponte rappresenta uno dei sistemi logistici più utilizzati quando devono essere movimentati oggetti di grandi pesi e dimensioni. Questo sistema è in grado di eliminare totalmente il problema del sollevamento e dello spostamento orizzontale del carico per mezzo di un argano sostenuto da ponte costituito da una trave.



Figura 4.9: Carroponte presente nell'area della carpenteria

All'interno dell'area assemblaggio e collaudo dell'azienda, oltre alla possibilità di movimentare l'intera struttura della macchina, il carroponte troverebbe una seconda funzione: questo mezzo logistico infatti, aiuterebbe gli operatori addetti all'assemblaggio a sollevare e inserire i gruppi funzionali più pesanti all'interno della macchina.

Sarà necessario però studiare anche tutti i vincoli che potrebbero essere creati dall'uso di questa particolare tecnologia al fine di valutare l'investimento in modo più oggettivo. Primo tra tutti è la formazione del personale; oltre a dover avere del personale in grado di manovrare diligentemente il carroponte è necessario anche fare della formazione sulla sicurezza, in quanto vengono a generarsi carichi sospesi.

Inoltre, le macchine riempitrici e tutti i suoi componenti adottati in Galdi non sono stati concepiti per essere sollevati con questa modalità; non sono quindi presenti ganci o inserti in grado di dare una linea guida su come sollevare tali macchine. Qualora il prodotto non sia agganciato in maniera efficace dal carroponte potrebbe danneggiarsi o rappresentare un pericolo per coloro che si trovano nelle vicinanze, in quanto il carico potrebbe scivolare e provocare infortuni.

Se invece si decidesse di adottare un carro ponte come tecnologia per migliorare l'ergonomia del sistema produttivo, si dovrebbe analizzare in maniera precisa un metodo di sollevamento in grado di garantire la sicurezza di tutti gli operatori. In ogni caso l'esborso monetario per l'adozione di questa tecnologia sarebbe elevato.

Vi è inoltre un vincolo rappresentato dalle dimensioni dello stabilimento e dall'attuale disposizione del layout interno. Lo stabilimento infatti non presenta un soffitto alto, dunque lo spazio di manovra disponibile per la movimentazione del materiale è ristretto e potrebbe rendere difficoltosa ogni operazione di spostamento.

Il layout attuale inoltre non permette di trasportare alcun tipo di macchina riempitrice dal reparto di assemblaggio al reparto di collaudo, in quanto sono presenti delle colonne che limiterebbero il possibile movimento del carro ponte.



Figura 4.10: Corridoio presente tra area collaudo e area assemblaggio, è possibile osservare che il soffitto è basso e sono presenti delle colonne tra i due reparti

L'adozione di un diverso tipo di layout aziendale in grado di sfruttare in maniera più efficace le potenzialità del carro ponte è quindi necessaria, ma un diverso layout diminuirebbe la flessibilità dello stabilimento.

La flessibilità al cambiamento è però essenziale per un'azienda. In particolare, nell'azienda Galdi la flessibilità al cambiamento rappresenta un vero punto di forza. Il layout dello stabilimento è infatti in continuo mutamento, in quanto va di pari passo con la crescita o le esigenze aziendali, e viene continuamente adottata al fine di rendere il ciclo produttivo sempre più efficiente.

L'adozione di un carro ponte rappresenta quindi una limitazione molto grande, in quanto limiterebbe la possibilità di riorganizzare lo stabilimento a proprio piacimento.

I benefici e gli svantaggi nell'adozione di un carroponete per l'azienda Galdi sono quindi riassunti nella seguente figura:



Figura 4.11: Benefici e svantaggi nell'utilizzo di un carroponete per lo spostamento di una RG270

4.6 Sistemi a cuscini d'aria

I sistemi a cuscini d'aria utilizzano un sistema di movimentazione ad aria complessa. Essi si basano sull'efficienza di un cuscino d'aria che sono in grado di generare, per sollevare e spostare carichi di ogni dimensione, forma o peso.

Considerando infatti le masse e le dimensioni delle macchine riempitrici, in particolare del modello RG270, risulta complicato utilizzare le macchine tipiche per il sollevamento, anche per quanto analizzato in precedenza.

I pesi e le dimensioni movimentabili tramite i sistemi a cuscini ad aria invece possono essere molto grandi.

Contrariamente a quanto avviene per quasi tutti i sistemi a ruote, i sistemi a cuscini d'aria presentano un enorme vantaggio in termini di flessibilità; questi sistemi sono infatti omnidirezionali e non hanno limitazioni di spazi.

I sistemi a cuscino d'aria, inoltre, non necessitano di alcun motore; non vi è quindi nemmeno il bisogno della presenza di combustione o elettricità.

Altri vantaggi derivati dall'uso di questa tecnologia sono i seguenti:

- Non è presente usura della pavimentazione;
- Non sono necessari sistemi rigidi come binari e guide sul pavimento;
- L'operazione di movimentazione silenziosa e veloce.

4.6.1 Funzionamento dei cuscini ad aria

Il sistema è formato da una parte in gomma (indicato con 1), un piatto rigido (indicato con 2) e dei piedini per l'appoggio finale (indicati con 3). Questi piedini servono per sostenere le forze in assenza della pressione dovuta all'aria e per evitare che si danneggi la gomma quando non vi è alcuna forza di sollevamento.

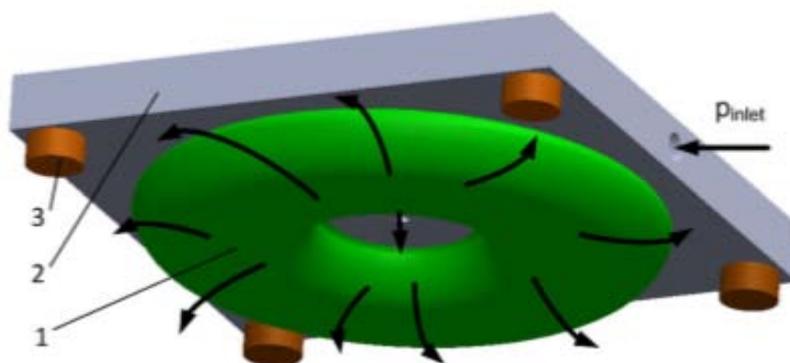


Figura 4.12: Componenti del singolo cuscino ad aria

Per il funzionamento è necessario che al sistema venga fornita aria pressurizzata; questa gonfia la parte in gomma, in modo da sollevare leggermente l'oggetto posto sopra.

Successivamente al gonfiamento l'aria passa sotto al cuscino di gomma, formando un sottile strato di aria, che riduce il coefficiente di attrito con il pavimento ad un valore $\mu < 0,001$.¹⁸

¹⁸E.Liswski, G. Filo, *Automated heavy load lifting and moving system using pneumatic cushions*, Automation in Construction, 2015 - In questo articolo è analizzato il funzionamento di sistemi a cuscino d'aria; oltre alla descrizione schematica proposta all'interno nel presente elaborato vengono trattati anche i dettagli di questa tecnologia, come ad esempio il quantitativo d'aria richiesto in riferimento alla massa che deve essere trasportata.

È poi analizzato il comportamento durante il sollevamento e la movimentazione in prove di laboratorio, il cui fine è quello di proporre un modello per automatizzare il controllo della pressione agente in ciascun cuscinetto, qualora ne vengano più di uno. In questo modo non saranno presenti errori dovuti alla scelta dell'operatore nell'apertura e la chiusura delle valvole, così come sarà ridotto il tempo necessario allo spostamento, in quanto l'operatore non deve controllare le altezze di ciascun cuscino.



Figura 4.13: Sistema di sollevamento con cuscini d'aria

Questo valore di attrito fa sì che anche per elevati tonnellaggi sia estremamente semplice muovere l'oggetto posto sopra ai sistemi a cuscino d'aria; infatti è possibile muoverli a mano senza alcuna fatica. I sistemi a cuscino d'aria sono infatti prevalentemente controllati da un singolo operatore.

Per un singolo sistema il cuscino d'aria è formato utilizzando una pressione in ingresso $p_{ingresso}$ ottenuta facendo variare la $p_{disponibile}$ in base alle condizioni desiderate di sollevamento.

Attraverso dei canali disposti nel piatto rigido, l'aria fluisce nel volume V_2 dove è presente una pressione p_2 . Nello stesso momento la camera V_1 si gonfia e solleva il carico. Quando la pressione p_2 supera il valore della pressione data dal carico da sollevare, l'aria inizia a fluire nell'atmosfera attraverso il gap di altezza h_1 .

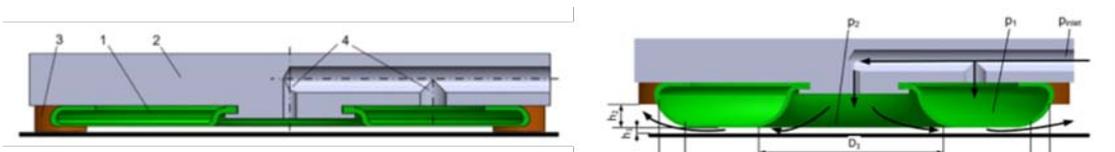


Figura 4.14: Comportamento del cuscino ad aria da fermo e in funzione

4.6.2 Problematiche

I sistemi a cuscini d'aria hanno bisogno che la pavimentazione presenti determinate caratteristiche affinché possa formarsi un film d'aria efficiente.

Il pavimento è infatti una parte fondamentale della tecnologia a cuscino d'aria e

quindi nel pavimento devono essere presenti determinate qualità.¹⁹

Le principali qualità che deve possedere la pavimentazione ideale riguardano la planarità, la non presenza di gradini e crepe, la non porosità.

Planarità

Quando il carico sta galleggiando nell'aria l'attrito presente tra la pavimentazione e l'oggetto è minimo. Con una superficie scostante, con avvallamenti frequenti o con superfici inclinate il carico potrebbe iniziare a muoversi da solo a causa della forza gravitazionale. Questo non deve accadere, soprattutto in caso di carichi pesanti, in quanto può essere pericoloso per gli operatori.

Gradini e crepe

Una pavimentazione adatta ad un sistema a cuscini d'aria non deve presentare crepe.

Queste infatti provocano una perdita o una modifica di pressione, dunque il pezzo non viene più sostenuto in maniera efficace.

Porosità

Una buona pavimentazione non deve essere porosa, in quanto l'aria deve fuoriuscire dal sistema in maniera uniforme. Questo non è permesso qualora vi sia un alto livello di porosità che trattiene l'aria in uscita, la quale quindi non spinge più verso l'alto l'oggetto che deve essere trasportato.

All'interno dello stabilimento Galdi non sono disponibili queste particolari caratteristiche del pavimento; in molti punti infatti sono presenti molte crepe, spesso profonde, che renderebbero inefficiente il processo di trasporto.



Figura 4.15: Crepe presenti sulla pavimentazione dello stabilimento

¹⁹www.solving.com– All'interno del sito sono disponibili diverse configurazioni per questi sistemi a film d'aria, per tutte queste è necessario che la pavimentazione riporti le caratteristiche sopradescritte.

La pavimentazione inoltre non ha una forma regolare, presenta spesso vette e avvallamenti che non facilitano l'*handling* della macchina.

Per utilizzare questa tecnologia è quindi necessario effettuare una ripavimentazione della maggior parte dello stabilimento produttivo, con i costi associati a questa. È necessario quindi prendere in considerazione questi costi aggiuntivi nel bilancio dei costi totali.

Inoltre, molte delle tipologie di sistemi a cuscini d'aria presenti sul mercato presentano un'altezza o una larghezza troppo elevata per le dimensioni disponibili.

L'altezza minima dei piedini su cui poggiano le macchine è di soli 18 cm, questo fa sì che tutte le soluzioni disponibili con un'altezza superiore siano inadeguate.

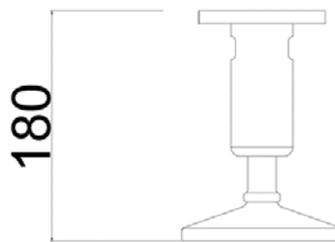


Figura 4.16: Altezza dei piedini della macchina

Il sistema a cuscino d'aria, altrimenti, può sollevare una struttura su cui è appoggiato l'oggetto da trasportare, così da permettere di aumentare le dimensioni in cui può inserirsi il sistema a cuscino d'aria; questo significa però che non si risolve il problema del sollevamento iniziale e sarebbe necessario un sistema di supporto che deve essere appositamente studiato o cercato in commercio.



Figura 4.17: Sollevamento di un impianto di aria condizionata tramite un sistema a cuscino d'aria.

Si può osservare che sono necessari due supporti dove possa inserirsi il sistema stesso

Per il processo di movimentazione dal reparto assemblaggio a quello di collaudo dunque le operazioni da seguire sarebbero le seguenti:

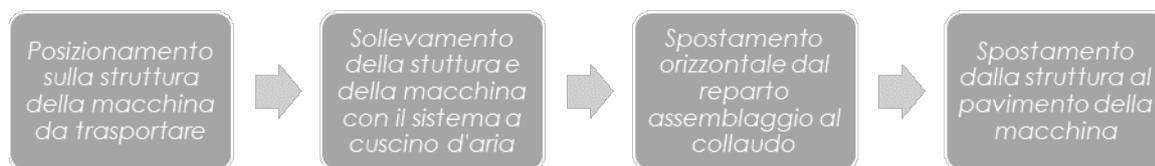


Figura 4.18: Operazioni da seguire per lo spostamento delle macchine riempitrici con sistemi a cuscini d'aria

La necessità di avere delle strutture che fungano da appoggio per la macchina fa sì che debbano essere allestiti degli spazi adatti dove queste strutture possano essere posizionate nei momenti in cui non servono. Per questo motivo verrebbero ridotti gli spazi disponibili all'interno dello stabilimento. Per una corretta valutazione di questi spazi è inoltre necessario definire il numero minimo di supporti da avere per consentire all'azienda di mantenere un ciclo produttivo efficiente.

Ricapitolando in maniera schematica i pro e i contro dell'adozione di sistemi a cuscini d'aria si ha:



Figura 4.19: Benefici e svantaggi nell'utilizzo di un sistema a cuscini d'aria per lo spostamento di una RG270

4.7 Sistemi a piattaforma

I sistemi a piattaforma prevedono il posizionamento del carico direttamente sulla loro sommità. Questi sistemi sono in grado di movimentare grandi carichi sia per dimensioni che per peso e si configurano come ottimali dal punto di vista della flessibilità.



Figura 4.20: Sistema a piattaforma

Queste tecnologie hanno la caratteristica di potersi muovere in ogni direzione riducendo gli spazi, in quanto onnidirezionali, e, a differenza dei sistemi che utilizzano l'aria compressa, poggiano su ruote. Questa particolare caratteristica permette di sopperire ai problemi relativi alla pavimentazione non ottimale, punto critico di tutti i sistemi che utilizzano l'aria.

Il collegamento wireless che possiedono questo tipo di sistemi logistici permette di effettuare la movimentazione in semplicità e con una grande facilità di utilizzo.²⁰

Il personale dedicato alla movimentazione interna è ridotto ad un'unica persona, la quale controlla con appositi comandi la traiettoria che deve seguire la piattaforma.

Le particolari ruote motrici della tecnologia considerata permettono di effettuare spostamenti onnidirezionali; si possono quindi effettuare spostamenti longitudinali, laterale e anche obliqui, massimizzando la flessibilità e riducendo gli spazi dedicati al movimento.

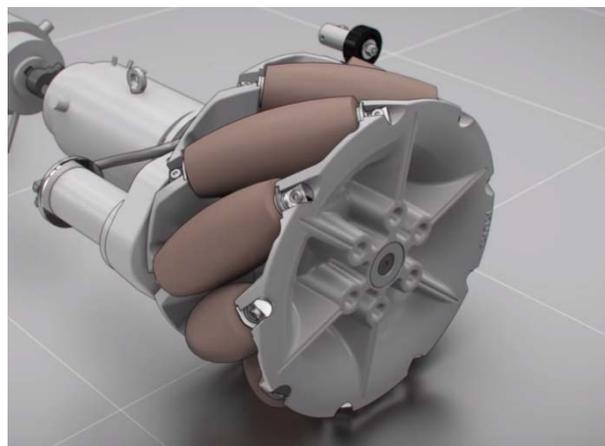


Figura 4.21: Particolare tipologia di ruote che permettono spostamenti onnidirezionali

²⁰www.kuka.com Le tecnologie analizzate fanno riferimento a quelle proposte da Kuka, azienda specializzata nell'industria 4.0 e produttrice di sistemi per il material handling.

Anche in questo caso però le dimensioni della macchina non sono direttamente compatibili con la tecnologia analizzata; si ripresenta quindi il problema di implementare delle strutture su cui posizionare la macchina da movimentare. In questo modo il processo di spostamento è analogo a quello definito in precedenza, ossia:

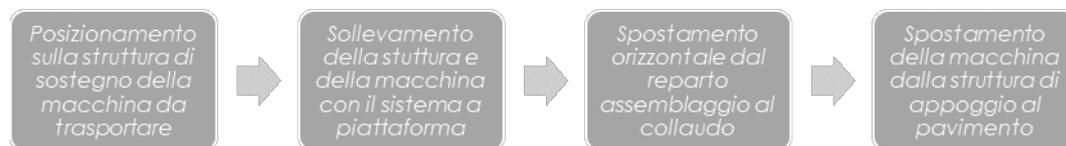


Figura 4.22: Operazioni da seguire per lo spostamento delle macchine riempitrici con sistemi a cuscini d'aria

Ricapitolando i benefici e gli svantaggi che porta questa tecnologia sono i seguenti:



Figura 4.23: Benefici e svantaggi nell'utilizzo di un sistema a piattaforma per lo spostamento di una RG270

4.8 Sistema alternativo

Tutte le tecnologie precedentemente analizzate presentano degli svantaggi che pregiudicano la loro adozione. Le principali difficoltà riscontrate si riferiscono a dei vincoli dimensionali derivanti dalla geometria della macchina o del layout dello stabilimento.

Si rende quindi necessario ricercare una soluzione che armonizzi le esigenze che richiede una movimentazione di una macchina di questo genere con le reali disponibilità dell'azienda, in termini di soldi, spazio e risorse utilizzate.

4.8.1 Caratteristiche considerate

Per cercare una soluzione adatta è stato necessario definire tutti i possibili vincoli a cui le macchine Galdi possono essere assoggettate; in questa ricerca si è proceduto

concentrandosi sulla linea RG270, ovvero la più grande tra quelle proposte dall'azienda.

I vincoli principalmente riguardano la geometria della macchina riempitrice ed il peso di questa stessa. Le macchine RG270 presentano schematicamente le seguenti dimensioni:

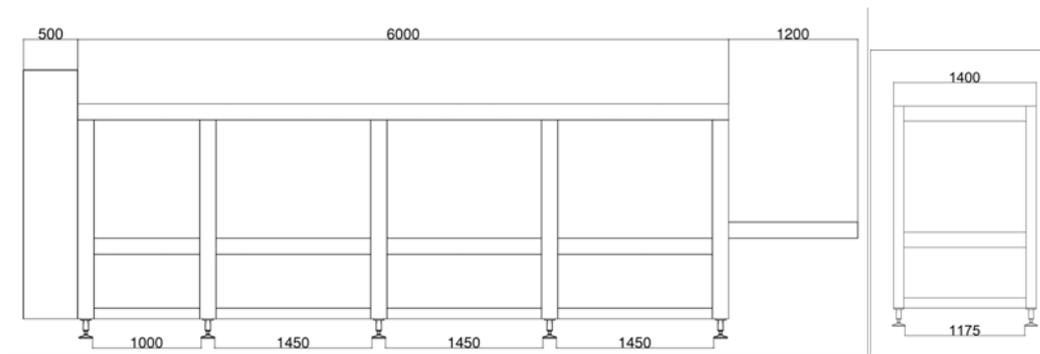


Figura 4.24: Dimensioni di una macchina riempitrice RG270

Dalle figure appena riportate è possibile osservare come la macchina riempitrice presenti una configurazione longilinea; si tratta infatti di una struttura molto lunga, ma allo stesso tempo con una larghezza limitata.

Il layout della macchina in direzione longitudinale è caratterizzato essenzialmente dalle seguenti misure:

- Quadro elettrico - 500 mm;
- Telaio - 6000 mm;
- Nastrino di trasporto per i cartoni in uscita - 1200 mm.

Dunque, l'ingombro massimo in direzione longitudinale è di 7700 mm.

Se si guarda frontalmente la macchina invece è possibile determinarne la larghezza, la quale è di 1400 mm.

La presenza del quadro elettrico e del nastro di trasporto per i cartoni in uscita non permette di utilizzare delle forche per il sollevamento, che potrebbero essere quelle di un transpallet o di un sistema simile. Se si utilizzassero tali dispositivi di movimentazione ci sarebbe il rischio di danneggiare parti della macchina. Il costo di un simile danno è massimo, perché il danno avverrebbe nella parte finale del processo produttivo, il collaudo; la macchina al momento del trasporto è totalmente assemblata ed è pronta alla fase di verifica, danneggiarla in questo momento significa danneggiare un prodotto finito e non più in fase di assemblaggio.

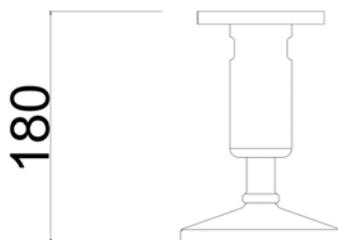


Figura 4.25: Altezza del piedino che sostiene la macchina riempitrice

Lo spazio disponibile sotto alla macchina è molto poco. I piedini infatti sollevano la macchina riempitrice di soli 18 cm; in questo senso se si volesse trovare una soluzione che sollevi la macchina da sotto è necessario trovare un sistema estremamente sottile.

Come se non bastasse la carreggiata tra i due piedini è di soli 1175 mm ed il passo può assumere due valori a seconda della posizione, o 1000 mm oppure 1450.

Le difficoltà indagate in precedenza, nella contemplazione di affidarsi ad un sistema a cuscino d'aria oppure ad un sistema a piattaforma, (adesso) in questa fase assumono dei valori precisi.

A quanto detto va aggiunto che il peso della macchina non è per nulla indifferente; infatti, se il cliente richiede tutti gli optional, una RG270 può arrivare a pesare circa 7 tonnellate.

A quanto detto vanno poi aggiunte ulteriori limitazioni dettate dall'attuale layout dello stabilimento; i corridoi ad esempio sono larghi 2,5 metri, lo spazio disponibile lateralmente tra una macchina e l'altra è di 5 metri, che viene però ridotto nell'area di collaudo a 3 metri.

All'interno dello stabilimento sono poi presenti delle colonne che, come abbiamo già detto, possono limitare ancora di più le risorse spaziali. Tutte le scaffalature con gli oggetti degli operatori e i componenti da inserire durante l'assemblaggio sono dotate di ruote; questa filosofia permette di ampliare gli spazi qualora ve ne sia la necessità.

Bisogna quindi trovare una soluzione che sia in grado di superare tutti questi ostacoli, con un uso di risorse non eccessivo.

Nei seguenti paragrafi è introdotta un'idea innovativa che potrebbe essere funzionalmente ed economicamente sostenibile, differente dai classici sistemi di movimentazione.

4.8.2 Container e normativa ISO 1161

Una volta analizzata la geometria della macchina riempitrice presa in considerazione sono state ricercate delle soluzioni adatte alle movimentazioni di oggetti con

i fori presenti negli angoli dei container abbiano delle dimensioni precise.

Le informazioni relative alla resistenza e alle caratteristiche meccaniche di questi oggetti presenti all'interno della stessa normativa non sono state prese in considerazione, in quanto non rappresentano grandezze di interesse nel nostro caso.

Partendo da questa particolare caratteristica si è ricercata una tecnologia che fosse in grado di sollevare il container lateralmente, così da equiparare le strategie usate per i container alle esigenze relative al sollevamento del RG270, e poter cercare così una soluzione da poter implementare la stessa tecnologia utilizzata, per sollevare e trasportare le macchine riempitrici all'interno dello stabilimento dell'azienda.

Si è scelto inoltre di cercare una soluzione che funzionasse con delle ruote, così che non vi fossero problemi relativi alle cattive condizioni in cui si trovano alcuni punti della pavimentazione dello stabilimento produttivo.

4.8.3 Tecnologia per il sollevamento e il trasporto di container analizzata

Fortunatamente nel mercato odierno sono presenti diverse tecnologie per il sollevamento ed il trasporto di container. Generalmente queste tecnologie svolgono però o l'uno o l'altro compito, rendendo così difficile la combinazione dei due moti.

Si tratta quindi di pensare ed eventualmente sviluppare un sistema in grado di operare il sollevamento senza vincolare la movimentazione orizzontale. In questo frangente è stata svolta un'indagine di mercato che andasse a ricercare una soluzione che non necessitasse di effettuare modifiche invasive al telaio per renderlo maggiormente adatto alla movimentazione. Gli altri criteri di scelta per la ricerca di questo sistema sono stati:

- Sollevamento moderato e laterale della macchina riempitrice;
- Miglioramento dell'ergonomia durante il trasporto;
- Semplicità di utilizzo.

A seguito di quanto ricercato è stata trovata una possibile soluzione che introduce l'utilizzo di ruote dotate di un sistema idraulico atto al sollevamento; in questo modo la macchina riempitrice viene sollevata in sicurezza ed nello stesso tempo (è permessa) è possibile effettuare anche una movimentazione orizzontale. Il sistema di sollevamento e traslazione si presenta come nella prossima *Figura*.

Analizzando il sistema appena descritto è possibile fare le seguenti considerazioni:

- È necessario un punto di ancoraggio per il perno atto al sollevamento;
- Il sistema permette di sollevare diverse tonnellate;
- La facilità di utilizzo è elevata;
- Aumenta la sicurezza nella movimentazione, in quanto vi è la possibilità di rendere le ruote anteriori sterzanti e dunque l'inerzia può essere controllata

efficacemente;

- Il sistema viene collegato al telaio ai quattro angoli: rimane da valutare lo stato tensionale e le deformazioni che vengono a crearsi a seguito dei pesi a cui è soggetto il telaio, in particolare per le RG270;
- Viene ridotto il personale richiesto per la movimentazione e non vi è la necessità di avere particolari competenze sull'utilizzo di questo sistema.



Figura 4.27: Sistema di pattini con un sistema idraulico per il sollevamento

Questo sistema di movimentazione, inoltre, non produrrebbe vincoli nella flessibilità dell'ambiente industriale dell'azienda, in quanto non inserisce alcun sistema rigido dedicato al trasporto interno delle macchine riempitrici.

Si tratta quindi di:

- Definire lo spazio necessario alla movimentazione;
- Definire un sistema di traino;
- Analizzare il comportamento del telaio vincolato agli angoli;
- Definire un sistema di aggancio del sistema logistico al telaio della macchina riempitrice.

Questa possibile soluzione è stata anche discussa con gli operatori che si occupano del trasferimento della macchina dal reparto di assemblaggio al reparto di collaudo ed è emerso chiaramente come l'introduzione di questo particolare e innovativo sistema logistico verrebbe largamente apprezzata ed accettata.

Visto il consenso da parte degli operatori e i benefici che questo sistema è in grado di portare, si è proceduto a effettuare studi più approfonditi sulla fattibilità nell'introduzione di questo nuovo sistema di movimentazione, tali studi verranno esposti e spiegati nel capitolo successivo.

Capitolo 5

Verifica di fattibilità

5.1 Introduzione allo studio

Dopo aver sottolineato i principali vantaggi e svantaggi che porterebbe l'utilizzo di ciascun sistema logistico introdotto nel *Capitolo 4* si è deciso di approfondire l'utilizzo dell'ultimo sistema descritto.

Per capire la reale possibilità di adattare una pratica logistica già utilizzata nel mondo dei container a quella delle macchine riempitrici prodotte in Galdi sono stati condotti diversi studi, che tenessero conto delle dimensioni delle macchine e al loro comportamento durante una sollecitazione statica.

Tra tutte le famiglie di macchine riempitrici che vengono assemblate e testate all'interno dello stabilimento produttivo si è deciso di concentrarsi sul modello RG270.

Le dimensioni geometriche e i pesi a cui la RG270 è soggetta la rendono il candidato peggiore, in quanto è molto lunga e molto pesante; è proprio lo spostamento tra i diversi reparti interni dello stabilimento di queste macchine riempitrici quello più complicato per gli operatori.

Questo problema non si verifica solamente internamente allo stabilimento, infatti anche il cliente finale, che compra la macchina riempitrice, deve posizionarla all'interno della linea produttiva e quindi ritrova lo stesso problema. Si tratta quindi di proporre una soluzione semplice, che non comporti grandi modifiche al telaio della macchina, che possa venire implementata in contesti differenti, ma analoghi.

Le analisi svolte che verranno introdotte all'interno di questo capitolo sono due:

1. Definizione degli spazi necessari per la movimentazione tramite il sollevamento con pattini idraulici e traino con un carrello elettrico;
2. Analisi del comportamento strutturale della macchina durante la movimentazione

A seguito di queste due analisi verrà poi modellato un prototipo di parte modulare che si aggancia alla macchina RG270, il cui fine sia quello di sostegno e aggancio per il sistema logistico analizzato.

5.2 Funzionamento del sistema

Il sistema innovativo per la movimentazione utilizza un sistema di pattini che permettono di sollevare grandi carichi con un sistema idraulico integrato. In particolare si è fatto riferimento al modello R17000E dell'azienda Tandemloc.

Questi pattini hanno il vantaggio di essere portatili e facilmente trasportabili. Essi sono stati progettati per sollevare container o tutte le unità che presentano degli inserti regolati dalla normativa ISO 1161. La capacità di sollevamento totale di quattro pattini è di 14000 kg, ampiamente sufficiente per lo spostamento di una macchina riempitrice.



Figura 5.1: Pattini Tandemloc impiegati per spostare un container

L'accoppiamento con gli inserti e l'installazione di questi pattini varia a seconda delle modalità con cui sono svolte le operazioni. I tempi indicati sono i seguenti:

- 40 minuti se le operazioni sono eseguite da un singolo operatore;
- 20 minuti se le operazioni sono eseguite da due operatori;
- 10 minuti se vengono utilizzate pompe elettriche per l'azionamento del sistema idraulico.

Il punto di forza di questo sistema è la sua versatilità di utilizzo. Questo infatti può essere riposto in un piano calpestabile minore di 2 metri quadrati, che possono essere considerati una grandezza trascurabile se confrontati con l'intero spazio coperto dallo stabilimento. Questi pattini poi possono essere facilmente trasportati dall'operatore stesso, rendendo massima la facilità di utilizzo.



Figura 5.2: Portabilità dei pattini Tandemloc

L'intero sistema di movimentazione si compone di:

- Pattini Tandemloc;
- Timone collegato alla macchina con sostegni di normativa ISO 1161;
- Eventuale trattorino elettrico che si colleghi al timone e sia trascini la macchina.



(a) Pattini Tandemloc



(b) Timone



(c) Trattorino elettrico

Figura 5.3: Componenti dell'intero sistema di movimentazione

Usando viene annullata la forza che dovrebbe esercitare l'operatore durante la movimentazione e inoltre non è necessario introdurre alcun vincolo all'interno dello stabilimento produttivo. Questo fa sì che l'ergonomia che si ha durante la movimentazione sia adeguata e la flessibilità dell'ambiente industriale rimanga inalterata.

Gli ingombri laterali che si hanno durante la movimentazione inoltre vengono ridotti, in quanto non si ha più la necessità di aprire gli sportelli per avere una presa migliore durante la movimentazione. La possibilità di rendere sterzanti solo le ruote anteriori permette di avere un maggiore controllo dell'inerzia del carico e di compiere manovre in maggiore sicurezza con una maggiore precisione.

L'aspetto negativo di questo sistema di movimentazione consiste nel fatto che aumentano gli ingombri longitudinali, in quanto la presenza del timone e del carrello elettrico generano maggiori lunghezze da governare, che possono creare problemi quando si deve cambiare direzione durante il percorso. È dunque opportuno considerare gli spazi interni e verificare la reale possibilità di introdurre un siste-

ma di movimentazione di questo tipo; questo particolare aspetto verrà trattato nel paragrafo successivo.

5.3 Determinazione degli spazi necessari

Vista la particolare configurazione che viene a generarsi con l'utilizzo di questo sistema di movimentazione è stata svolta un'analisi introduttiva degli spazi necessari per compiere efficacemente delle manovre anche complesse, come può essere ad esempio una curva a gomito.

L'analisi è stata svolta attraverso il software Matlab, di cui si riporta il codice all'interno dell' *Appendice A*, sotto le seguenti ipotesi:²²

1. Movimento della macchina molto lento;
2. Solo le ruote anteriori poste agli angoli anteriori della macchina e del trattorino sono sterzanti;
3. Non sono presenti slittamenti.

Per il modello si è considerato che l'intero sistema si comporti come un veicolo che sterza, avendo appresso un rimorchio a due assi, con l'asse frontale del rimorchio che possiede ruote sterzanti.

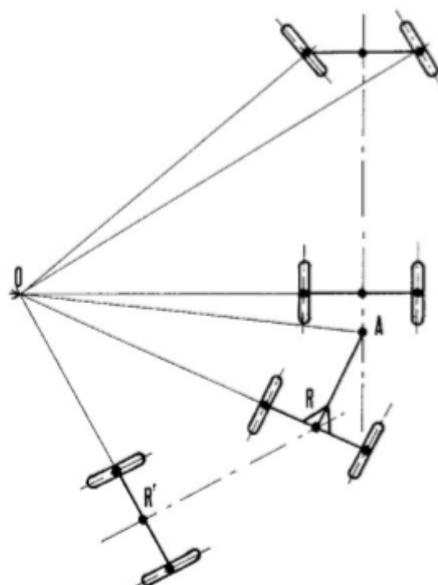


Figura 5.4: Sterzata cinematica di un rimorchio a due assi di cui uno sterzante

²²Jazar R.N. (2014) *Steering Dynamics*. In: *Vehicle Dynamics*. Springer, New York, NY

Queste ipotesi permettono di porsi all'interno della cosiddetta condizione di Ackermann, la quale definisce un modello semplificato della traiettoria seguita da un mezzo con ruote sterzanti in traiettorie non lineari. Nel caso in questione l'adozione di questo modello permette di definire in maniera esemplificativa lo spazio necessario per la movimentazione durante i cambi di direzione che possono essere presenti durante lo spostamento della macchina tra i vari reparti, in particolare dall'assemblaggio al collaudo

I risultati ottenuti possono essere visivamente analizzati nella seguente *Figura*:

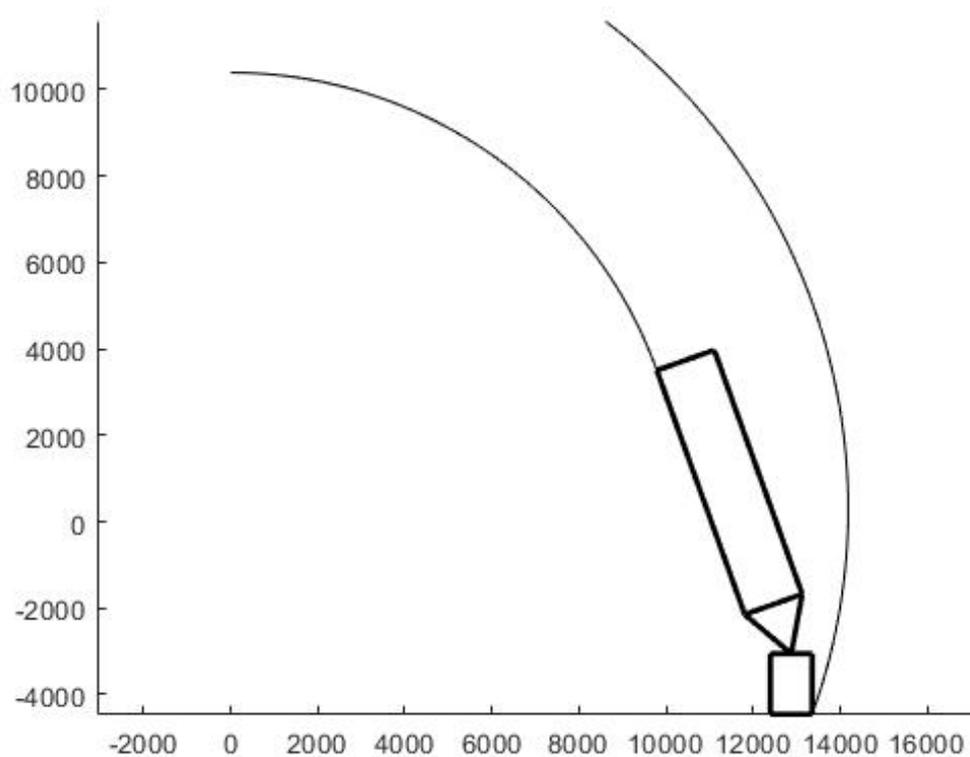


Figura 5.5: Sterzata di una RG270 trainata da un trattorino elettrico lungo una curva a gomito

Analizzando confrontando questi risultati con gli spazi presenti all'interno dello stabilimento si è concluso che sostenere una macchina riempitrice RG270 ai quattro angoli e trascinarla mediante l'utilizzo di un trattorino elettrico non comporta problematiche in riferimento allo spazio disponibile. Da questo punto di vista, quindi, l'attuazione di questo sistema è compatibile con l'efficientamento ergonomico della movimentazione interna.

Resta da definire il comportamento strutturale della macchina una volta che questa venga sollevata agli angoli; di questo se ne parlerà nei prossimi paragrafi.

5.4 Comportamento strutturale durante lo spostamento

Durante lo spostamento tra i reparti di assemblaggio e collaudo tutto il peso della macchina viene sostenuto dal sistema di trasporto utilizzato e descritto. Si tratta dunque di effettuare un'analisi statica che definisca il comportamento strutturale della macchina considerando il modo con cui questa viene sollevata.

Lo studio è stato sviluppato per il solo modello RG270, in quanto rappresenta il caso più complesso, dove la flessione viene maggiormente accentuata.

5.4.1 Determinazione dei carichi

Per effettuare l'analisi del comportamento del telaio sono state valutati i carichi statici presenti quando la macchina deve venire movimentata.

I carichi sono stati trovati considerando la macchina RG270 *full-optional*.

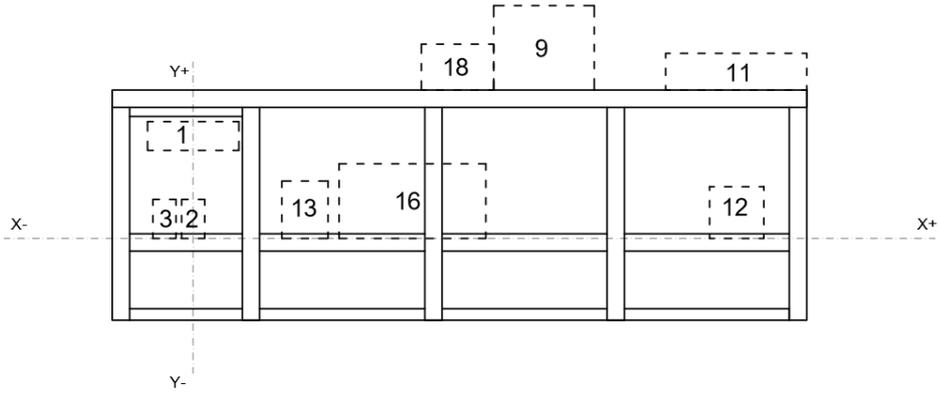
Partendo dai modelli CAD è stato anche possibile definire la posizione precisa di dove viene scaricato ciascun carico statico.

Di seguito sono riportati i carichi e le posizioni dove vengono applicate tutte le forze peso di tutti i componenti interni alla macchina riempitrice:

Nr	DESCRIZIONE	COORDINATE			FORZA PESO [kgf]
		X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	
1	Giostra Mandrini	0	920	0	180
2	Riscaldatore Del Fondo	-250	0	-250	15
3	Piega Salda	-250	0	250	40
4	Pressa Del Fondo	0	0	350	18
5	Trasferimento	N/D	N/D	N/D	Non considerato
6	Barra del fondo	Distribuito su anello inferiore			30
7	Rinvio catena	390	0	0	20
8	Trazione catena	5075	0	0	16
8.1	Longheroni + catena	1065	0	0	58
8.2	Longheroni + catena	3015	0	0	100
8.3	Longheroni + catena	4315	0	0	44
9	Vaschetta dosatore	3005	1290	0	260
10	Cip box dosatore	2992	0	145	100
11	Cappa a flusso	5365	1290	0	100
12.1	Pressa Del tetto	4720	0	280	40
12.2	Pressa Del tetto	4720	0	-280	90
13	Applicatore tappi	865	250	240	115
14	Riscaldatore del tetto	N/D	N/D	N/D	Non considerato
15	Prepiega del tetto	N/D	N/D	N/D	Non considerato
16	Tunnel disinfezione	1895	265	90	100
17	Varie per anello superiore (elettrico + pneumatico)	Distribuito su anello superiore			400
18	Aria sterile	2270	1290	0	180
19	Armadio elettrico	-876	472.5	0	400
20	Sportelli	Distribuito su anello centrale			220
21	Albero principale	Distribuito sui traversi dell'anello inferiore			120
22	Riduttore e motore albero principale	2645	-410	200	145
23	Stazioni varie zona fondo	Distribuiti su anello inferiore			210
24	Stazioni varie zona tetto	Distribuiti su anello inferiore			100
25	Lifter	2985	-410	0	35

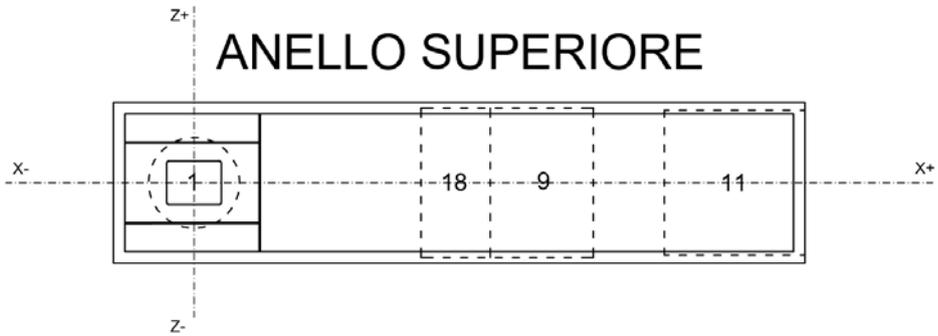
Tabella 5.1: Pesi di tutti i componenti della macchina riempitrice RG270

VISTA LATERALE



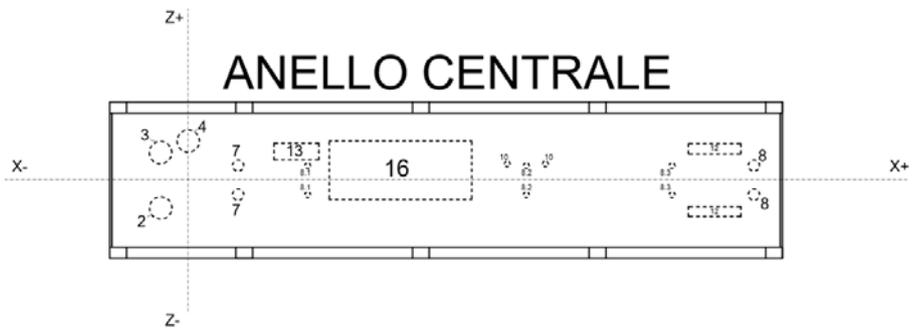
(a) Vista laterale

ANELLO SUPERIORE



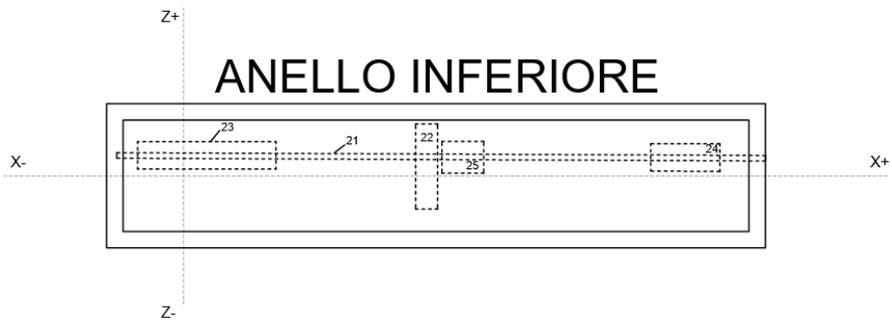
(b) Anello superiore

ANELLO CENTRALE



(c) Anello centrale

ANELLO INFERIORE



(d) Anello inferiore

Figura 5.6: Posizioni dei carichi statici lungo il telaio del modello RG270

5.5 Analisi statica

Una volta definite le forze peso di tutti i componenti il passo successivo è stato quello di implementare il modello 3D, attraverso il programma Inventor, che rappresenta il software di modellazione solida utilizzato dall'azienda.

Il file creato è un file assieme e rappresenta il telaio della macchina semplificato, in quanto mancano alcuni elementi tubolari e le paratie, che fungono da sostegno per l'albero che regola il funzionamento coordinato delle varie stazioni attraverso un complesso sistema di camme. Con questa semplificazione viene ridotta la reale rigidità del telaio.

I tubolari hanno sezione 150x100x4 e all'interno della simulazione sono stati semplificati, così da eliminare gli smussi che complicherebbero solamente l'analisi agli elementi finiti.

Il pianale dove si scaricano molte delle forze precedentemente indicate ha uno spessore di 20 mm e, essendo saldato all'anello centrale del telaio svolge la funzione di drenare i liquidi che si accumulano nella parte superiore della macchina, non facendoli arrivare nella parte inferiore.

Il materiale utilizzato per l'intero telaio è uno speciale Acciaio Inox AISI 304, utilizzato per garantire elevati standard igienici e presenta le seguenti caratteristiche:

Densità	7900 kg/m ³
Modulo di Young	206000 MPa
Snervamento	260 kg/MPa
Rottura	635 MPa

Tabella 5.2: Proprietà meccaniche acciaio AISI 304

Una volta definite le caratteristiche del materiale e gli elementi che devono essere considerati si è proceduto con la creazione del telaio in ambiente 3D.

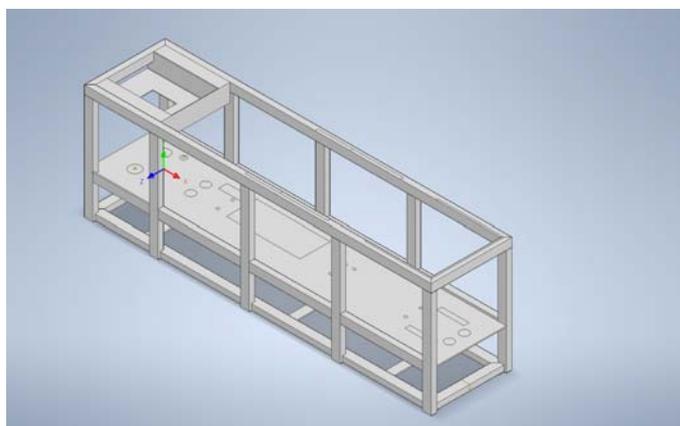


Figura 5.7: Visualizzazione del telaio in ambiente 3D

Una volta creato il telaio sono stati inseriti tutti i carichi statici ed è stata creata una mesh sufficientemente fitta che potesse essere in grado di simulare fedelmente l'intero assieme senza allungare eccessivamente i tempi computazionali.

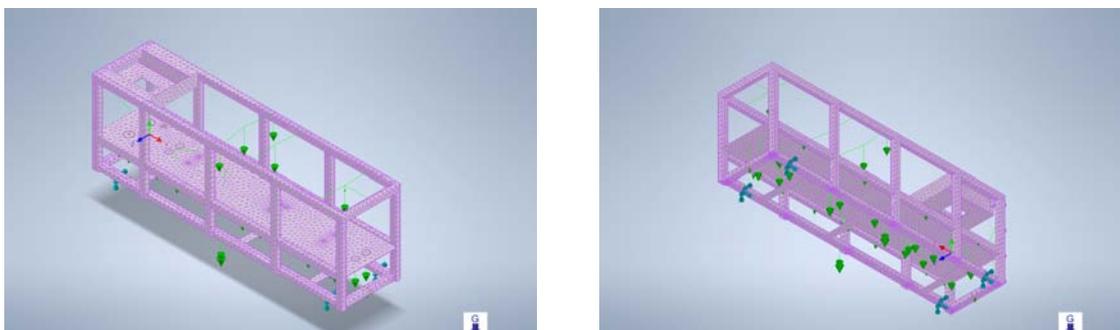


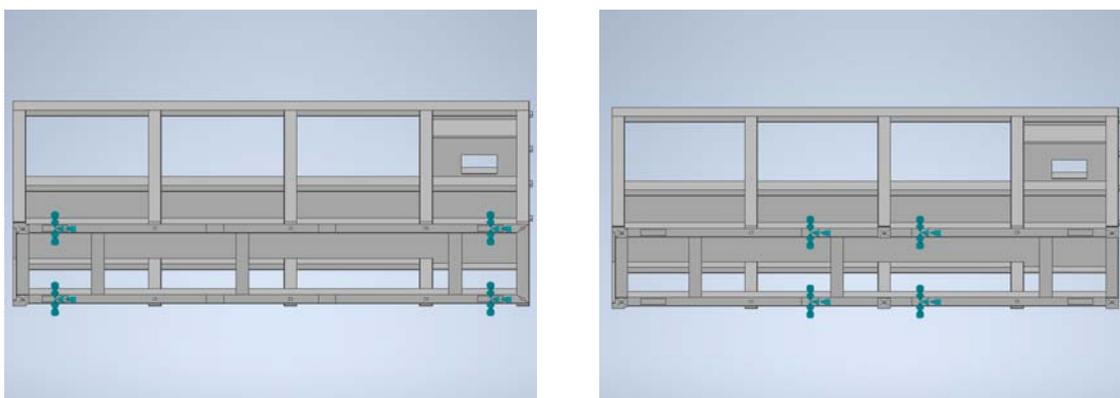
Figura 5.8: Creazione di una mesh di elementi solidi e applicazione dei carichi statici

Con la mesh visualizzata nella *Figura* precedente sono state svolte 3 diverse analisi statiche che andassero a simulare tre diverse metodologie di sollevamento:

- Carrello elevatore;
- Pattini attualmente in uso;
- Nuovo sistema proposto.

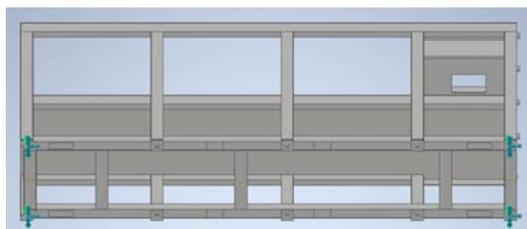
In questo modo è stato possibile confrontare le tensioni, le deformazioni e gli spostamenti a cui è soggetta la macchina nelle tre diverse situazioni.

Per simulare queste tre diverse situazioni sono stati fatti variare i punti vincolati.



(a) Situazione attuale

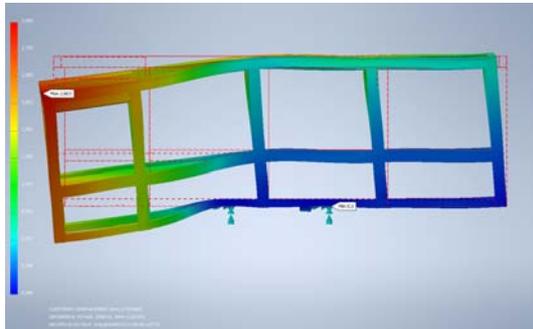
(b) Carrello elevatore



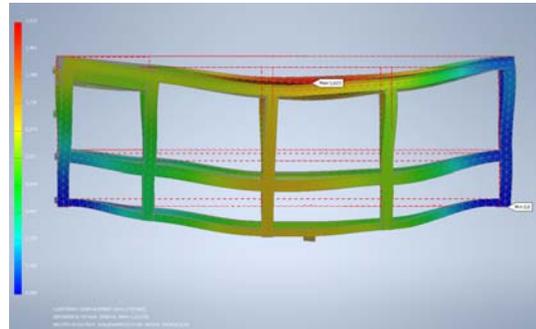
(c) Sollevamento ai quattro angoli

Figura 5.9: Diverse posizioni dei punti vincolati per le diverse tipologie di sollevamento

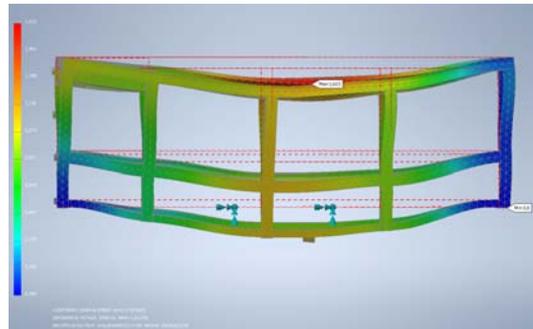
Una volta definiti i carichi e i vincoli è stato possibile effettuare delle simulazioni ad elementi finiti che andassero a rappresentare il comportamento del telaio durante il sollevamento. In particolare si è voluto analizzare la tensione di von Mises e gli spostamenti per ciascuna situazione e si è poi effettuato un confronto tra le tre. I risultati ottenuti possono essere raggruppati nelle seguenti *Figure*:



(a) Carrello elevatore



(b) Situazione attuale



(c) Sollevamento ai quattro angoli

Figura 5.10: Spostamenti sviluppati sul telaio della macchina riempitrice al variare del metodo di sollevamento

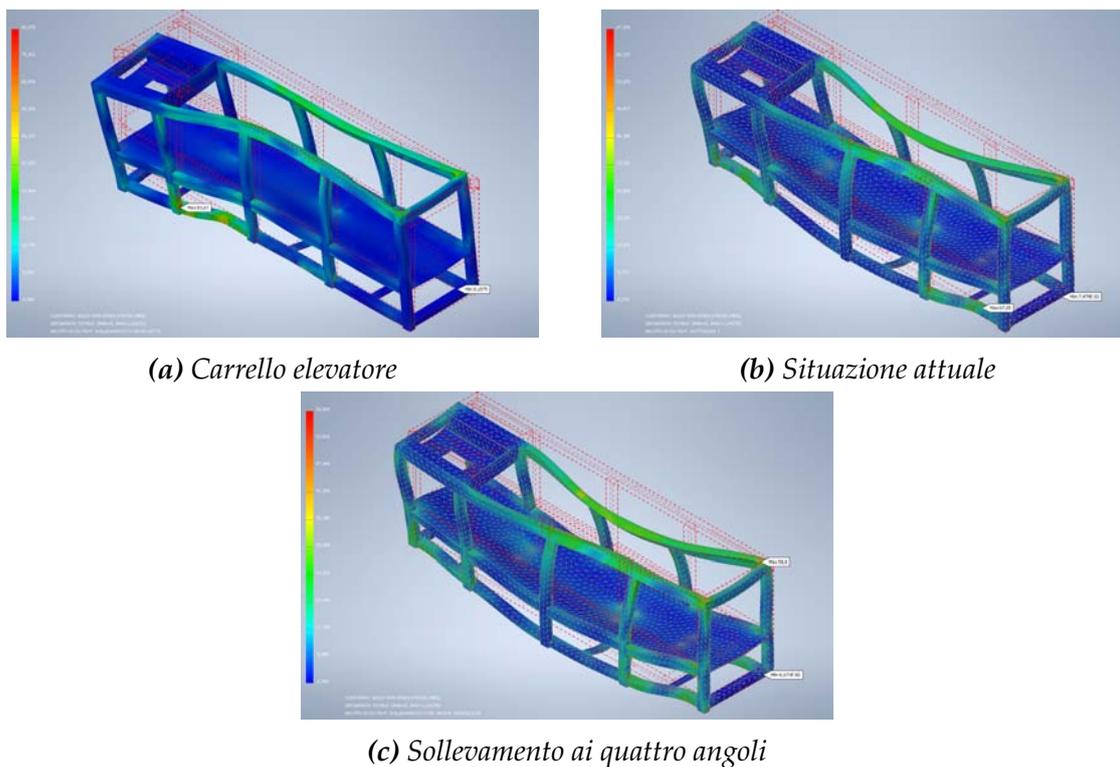


Figura 5.11: Tensioni di Von Mises sviluppate sul telaio della macchina riempitrice al variare del metodo di sollevamento

I risultati delle analisi statiche rispecchiano come il telaio della macchina si comporti adeguatamente in tutti i tre i casi; per le tensioni di Von Mises il caso peggiore lo si ha quando la macchina riempitrice viene sollevata con il carrello elevatore e presenta un massimo di 84 MPa. Anche lo spostamento massimo lo si ha quando la RG270 viene sollevata con il muletto, e assume il valore di 2,6 mm.

Questo confronto fa sì che si possa dire che la macchina può essere sollevata efficacemente vincolando solamente gli angoli, in quanto le tensioni e gli spostamenti sono del tutto confrontabili con quelle che vengono già adesso a generarsi durante il sollevamento e lo spostamento della macchina.

Si tratta ora di sviluppare un sostegno che possa essere compatibile con il telaio della macchina riempitrice e che comprenda nel suo progetto le dimensioni indicate nella norma ISO 1161.

5.6 Prototipazione del sostegno

L'ultimo lavoro che è stato svolto è stato quello di ricercare una possibile geometria del sostegno che presentasse le geometrie descritte all'interno della normativa ISO 1161 così che fosse compatibile con i pattini Tandemloc e tutto il sistema di movimentazione descritto in precedenza.

Inoltre si rende noto che nella progettazione dei sostegni si sono cercate soluzioni che non richiedessero modifiche sostanziali al telaio della macchina, in quanto queste avrebbero comportato una parziale riprogettazione della stessa. Tali modifiche avrebbero richiesto tempi molto lunghi di lavoro prima della possibile messa in opera del progetto. La proposta che viene qui presentata richiede tempi brevi di attuazione e risponde in modo efficace alla necessità di miglioramento nel piano di movimentazione

Si è deciso quindi di sviluppare un prototipo tramite modellazione tridimensionale che possa essere considerato modulare, in quanto può essere facilmente inserito e fissato al telaio della macchina. Questo sostegno può essere collegato tramite dei collegamenti filettati sulle piastre su cui vengono collegati i piedini della macchina. In questo modo l'unica parte che deve essere ridisegnata è la piastra, in quanto devono essere inseriti quattro filettature ulteriori rispetto a quelle già presenti.

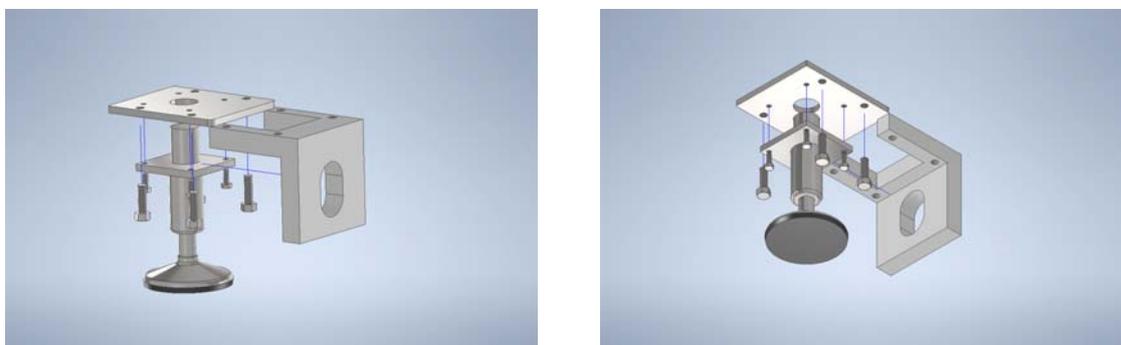


Figura 5.12: Prototipo del sostegno ISO 1161 modulare

Naturalmente si consideri che questo è un prototipo e devono venire effettuate ulteriori analisi prima della realizzazione finale, come la sua progettazione nel dettaglio e una valutazione economica dell'investimento che bisogna affrontare al fine di migliorare l'ergonomia nella movimentazione interna.

Conclusioni

All'interno di questo elaborato sono state proposte diverse soluzioni logistiche, al fine di eliminare i problemi ergonomici che sono presenti durante la fase di *material handling* e di movimentazione di queste pesanti macchine riempitrici.

Per arrivare a definire delle possibili soluzioni il punto di partenza è stato analizzare il problema con i metodi definiti nel gruppo di normative ISO 11228 ed in contemporanea parlando con gli operatori addetti alla movimentazione delle macchine tra i vari reparti.

Una volta capite le limitazioni che erano presenti, a causa dello stabilimento e delle dimensioni delle macchine riempitrici, si è andati a ricercare tra le soluzioni già presenti quella più adatta al contesto Galdi.

La ricerca si è concentrata nella movimentazione di oggetti pesanti, in quanto le dimensioni e i pesi della macchina appartengono a quella categoria.

Nell'ultima parte si è dedicato uno studio per una metodologia alternativa per il sollevamento e lo spostamento delle macchine riempitrici, che utilizzasse la normativa ISO 1161, al fine di adattare tecnologie già presenti per la movimentazione dei container alle macchine riempitrici in questione. L'utilizzo di questa nuova soluzione introduce un notevole miglioramento ergonomico nello spostamento delle macchine riempitrici tra i vari reparti, senza limitare in alcun modo la flessibilità dello stabilimento stesso.

L'adozione di quest'ultima tecnologia permetterebbe di trovare una soluzione semplice per spostare una macchina che non è stata concepita per essere spostata con facilità. Questo si tradurrebbe in una riduzione del numero di personale impiegato per la movimentazione nonché un miglioramento generale dell'aspetto ergonomico dell'intero processo.

Bibliografia

- [1] Daria Battini, Xavier Delorme, Alexandre Dolgui, Alessandro Persona, Fabio Sgarbossa, 2016, *Ergonomics in assembly line balancing based on energy expenditure: a multi-objective model*, International Journal of Production Research.
- [2] De Toni A., Tonchia S., 1998, *Manufacturing flexibility: a literature review*, International Journal of Production Research.
- [3] Decreto legislativo 9 aprile 2008, N.81, *Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro*, Allegato XXXIII .
- [4] E. Occhipinti, D.Colombini, D.Alhaique, 2012, *I disturbi muscoloscheletrici lavorativi: la causa, l'insorgenza, la prevenzione, la tutela assicurativa*, Tipografia INAIL, Milano – Disponibile nel sito “Governo e salute”.
- [5] F.Sgarbossa, *Ergonomia – Principali metodi di valutazione e loro applicazione*, Logistics & Industrial Plants Research Team, Università degli Studi di Padova.
- [6] International Ergonomics Association Executive Council, *Definition of domains and ergonomics*.
- [7] International Organization for Standardization (ISO). *Ergonomics – Material handling – Part 1: Lifting and carrying*, ISO 11228-1, 2003.
- [8] International Organization for Standardization (ISO). *Ergonomics – Material handling – Part 2: Pushing and pulling*, ISO 11228-2, 2007.
- [9] International Organization for Standardization (ISO). *Ergonomics – Material handling – Part 3: Handling of low loads at high frequency*, ISO 11228-3, 2007.
- [10] International Organization for Standardization (ISO) - *Series 1 freight containers — Corner and intermediate fittings — Specifications*, ISO 1161, 2016.
- [11] Jazar R.N., *Steering Dynamics*, Vehicle Dynamics, 2014.

- [12] Lars Fritzsche et al, *Good ergonomics and team diversity reduce absenteeism and errors in car manufacturing*, Ergonomics, January 2014.
- [13] Pareschi A., Ferrari E., Persona A., Regattieri A., *Logistica integrata e flessibile per i sistemi produttivi dell'industria e del terziario*, Bologna, Esculapio, 2014.
- [14] Upton D.M., *Flexibility as process mobility: The management of plant capabilities for quick response manufacturing*, Journal of Operations Management, 1995.

Sitografia

- [1] <https://www.bison-jacks.com>.
- [2] <https://www.blickle.com>
- [3] <https://www.elopak.com>
- [4] <https://www.galdi.it>
- [5] <https://www.haacon.com>
- [6] <https://www.ISO.org>
- [7] <https://www.kuka.com>
- [8] <https://www.logistics-moveit.tech>
- [9] <https://www.multi-mover.eu>
- [10] <https://www.publichealthnotes.com/ergonomics-and-its-10-principles>
- [11] <https://www.samag.it>
- [12] <https://www.solving.com>
- [13] <https://www.tandemloc.com>
- [14] <https://www.tetrapak.com>
- [15] <https://www.zallys.com>
- [16] www.coldene.co.uk<https://>

Appendice A

Il seguente script si riferisce all'animazione riportata in *Figura 5.5* e rappresenta il movimento della macchina riempitrice trainata da un trattorino elettrico.

```
1 clear all
2 close all
3 clc
4
5 format short
6 %% Trattorino elettrico
7 %DATI
8 w = 960;           % Larghezza trattorino elettrico [mm]
9 l = 1400;          % Lunghezza trattorino elettrico [mm]
10 a_2 = l/2;         % Distanza baricentro da asse posteriore [mm]
11
12 %% RG 270
13 %Dati
14 b1 = 0;           % Lunghezza gancio di traino
15 l_R = 6000;        % Lunghezza telaio + timone
16 w_t = 1400;        % Larghezza telaio
17 theta_i = pi/6;    % Angolo di sterzata ruote RG270 [rad]
18
19 %% Traiettorie RG270
20 theta_0 = acot(w_t/l_R + cot(theta_i)); % Angolo ruota interna
21 theta = acot((theta_0+theta_i)/2); % Angolo theta medio
22 RA = l_R/tan(theta_i); % Raggio minimo
23 RB = RA + w_t;
24 RC = sqrt(RB^2+l_R^2); % Raggio massimo ...
   traiettorie RG270
25 RD = sqrt(RA^2 + l_R^2);
26 alfa = linspace(0,pi/2); % Angolo della curva cercato
27 alfa_in = 30/180 * pi; % Valore di alfa iniziale
28 beta_in = 5/180 * pi; % Valore di beta iniziale
29 alfabetta = alfa_in-beta_in;
30
31 for i = 1:length(alfa) % Angolo beta del rimorchio al ...
   variare di alfa
```

```

32     beta(i) = (RA + RB)/(2*l_R) * sin (alfabeta) * alfa(i);
33 end
34
35 theta_C = acos (RB/RC);           % Posizione angolare iniziale ...
    punto C
36 theta_D = acos (RA/RD);           % Posizione angolare iniziale ...
    punto D
37
38 for i = 1: length (beta)           %Punti assunti dai vertici del ...
    trattorino
39     A(i,:) = [RA.*sin(beta(i));RA.*cos(beta(i))];
40     B(i,:) = [RB.*sin(beta(i));RB.*cos(beta(i))];
41     C(i,:) = [RC.*sin(beta(i)+theta_C);RC.*cos(beta(i)+theta_C)];
42     D(i,:) = [RD.*sin(beta(i)+theta_D);RD.*cos(beta(i)+theta_D)];
43 end
44
45 %% Staffe
46 l_S = 1400;           % Lunghezza staffe del timone
47
48 RE = sqrt(((RA+RB)/2)^2+(l_R + l_S*cos(pi/6))^2);
49 theta_E = acos (((RA+RB)/2)/RE);
50 for i = 1 : length(beta)
51     E(i,:) = [RE.*sin(beta(i)+theta_E);RE.*cos(beta(i)+theta_E)];
52 end
53
54 %% Trattorino elettrico
55 theta_i_trat = pi/2;
56 theta_0_trat = acot(w/l + cot(theta_i_trat));           %Angolo ...
    theta 1
57 theta_trat = acot ((theta_0_trat+theta_i_trat)/2);           %Angolo ...
    theta medio
58 RA_trat = l/tan(theta_i_trat);
59 RB_trat = RA_trat + w;
60 RC_trat = sqrt(RB_trat^2 + l^2);
61 RD_trat = sqrt(RA_trat^2 + l^2);
62 theta_C_trat = acos (RB_trat/RC_trat);
63 theta_D_trat = acos (RA_trat/RD_trat);
64
65 for i = 1 : length(alfa)
66     O1(i,:) = ...
        [E(i,1)-(RA_trat+w/2)*sin(alfa(i));E(i,2)-(RA_trat+w/2)* ...
67     cos(alfa(i))];
68     A_trat(i,:) = ...
        [RA_trat.*sin(alfa(i))+O1(i,1);+RA_trat.*cos(alfa(i))+O1(i,2)];
69     B_trat(i,:) = ...
        [RB_trat.*sin(alfa(i))+O1(i,1);+RB_trat.*cos(alfa(i))+O1(i,2)];
70     C_trat(i,:) = [RC_trat.*sin(alfa(i)+theta_C_trat)+O1(i,1);...

```

```

71     RC_trat.*cos(alfa(i)+theta_C_trat)+O1(i,2)];
72     D_trat(i,:) = [RD_trat.*sin(alfa(i)+theta_D_trat)+O1(i,1);...
73     RD_trat.*cos(alfa(i)+theta_D_trat)+O1(i,2)];
74 end
75
76 %% Visualizzazione
77 hf0 = figure(100); % creazione figura
78 hf0.NumberTitle = 'off'; % hf0.MenuBar = 'none';
79 hf0.Name = 'Rotazione RG270';
80 hf0.Color = [1 1 1];
81 cla
82 hold on
83 for k = 1:length(beta)
84     pause (0.01)
85     cla
86     line([A(k,1),B(k,1)], [A(k,2),B(k,2)], 'color','k','linewidth',2,...
87     'linestyle','-')
88     line([B(k,1),C(k,1)], [B(k,2),C(k,2)], 'color','k','linewidth',2,...
89     'linestyle','-')
90     line([C(k,1),D(k,1)], [C(k,2),D(k,2)], 'color','k','linewidth',2,...
91     'linestyle','-')
92     line([D(k,1),A(k,1)], [D(k,2),A(k,2)], 'color','k','linewidth',2,...
93     'linestyle','-')
94     line([C(k,1),E(k,1)], [C(k,2),E(k,2)], 'color','k','linewidth',2,...
95     'linestyle','-')
96     line([D(k,1),E(k,1)], [D(k,2),E(k,2)], 'color','k','linewidth',2,...
97     'linestyle','-')
98     line([O1(k,1),E(k,1)], [O1(k,2),E(k,2)], 'color','', 'linewidth',2,...
99     'linestyle','-')
100    line([A_trat(k,1),B_trat(k,1)], [A_trat(k,2),B_trat(k,2)],...
101    'color','k','linewidth',2,'linestyle','-')
102    line([C_trat(k,1),D_trat(k,1)], [C_trat(k,2),D_trat(k,2)],...
103    'color','k','linewidth',2,'linestyle','-')
104    line([D_trat(k,1),A_trat(k,1)], [D_trat(k,2),A_trat(k,2)],...
105    'color','k','linewidth',2,'linestyle','-')
106    line([B_trat(k,1),C_trat(k,1)], [B_trat(k,2),C_trat(k,2)],...
107    'color','k','linewidth',2,'linestyle','-')
108    axis equal
109    plot(A(:,1),A(:,2),C_trat(:,1),C_trat(:,2), 'color','k','color','k')
110 end

```


Ringraziamenti

Il presente elaborato rappresenta la conclusione del mio percorso di studi. Essendo giunta la fine di questo lungo percorso è doveroso spendere alcune righe per chi mi ha sostenuto fino a questo momento.

Dei doverosi ringraziamenti vanno al mio relatore, il prof. Maurizio Faccio che mi ha dato la possibilità di intraprendere il percorso di formazione in Galdi, che mi ha ospitato in questi mesi. Ringrazio anche il mio correlatore, il prof. Giovanni Meneghetti, che mi ha aiutato e indirizzato nella stesura dell'ultimo capitolo della tesi.

Un pensiero va a tutte le persone che all'interno di Galdi mi hanno aiutato a comprendere una realtà aziendale del tutto nuova per me, in particolare devo ringraziare il mio tutor Michele e Alessandro, che mi hanno aiutato ad introdurmi nelle complessità industriali, permettendomi di trovare materiale su cui svolgere questo elaborato.

Un ringraziamento particolare va ai miei genitori, Marta e Andrea, che mi hanno sempre sostenuto economicamente e moralmente. Siete sempre stati comprensivi e amorevoli nei miei confronti, devo ringraziarvi infinitamente per quello che avete fatto in tutti questi anni. Siete stati la mia marcia in più. Grazie per aver sempre sostenuto le mie scelte

Un altro ringraziamento speciale va a mio fratello Enrico, che per me è sempre stato un esempio da seguire per la sua tenacia e perseveranza, che continua a dimostrarmi giorno dopo giorno.

Ringrazio anche tutti i miei amici, con cui ho condiviso praticamente ogni cosa. Vi ringrazio tutti per essermi sempre stati accanto. La consapevolezza di aver trovato delle persone speciali come voi, mi ha sempre aiutato a superare qualsiasi difficoltà. Grazie a tutti per avermi permesso di arrivare dove sono arrivato e di essere la persona che sono.