

ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA  
Sede di Forlì

Corso di Laurea in  
INGEGNERIA MECCANICA  
Classe L-9

ELABORATO FINALE DI LAUREA  
in  
Impianti Industriali

**STUDIO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA  
DI UN CARRELLO SEMOVENTE PER LA  
MOVIMENTAZIONE INTERNA DI TEALI  
DI GRANDI DIMENSIONI**

CANDIDATO  
**Marco Dalla Bella**

RELATORE  
**Ing. Augusto Bianchini**

Anno Accademico 2017/2018  
Sessione III



# INDICE

<b>Introduzione al progetto</b>	<b>3</b>
<b>1. De Angelis S.p.A.</b>	
1.1. Presentazione dell'azienda .....	7
1.2. Il sistema di produzione .....	15
1.3. Il sistema gestionale .....	17
<b>2. Progetto</b>	
2.1. Presentazione del progetto .....	21
2.2. Lo studio .....	24
2.3. Analisi del mercato .....	27
<b>3. Sviluppo</b>	
3.1. Analisi dei prodotti .....	29
3.2. Costruzione del telaio .....	33
3.3. Sistema di appoggio .....	36
3.4. Movimentazione .....	44
3.5. Analisi strutturale .....	49
<b>4. Fattibilità economica</b>	
4.1. Valutazione dei costi .....	55
4.2. VAN .....	59
<b>5. Conclusioni</b>	<b>63</b>
<b>6. Bibliografia e sitografia</b>	<b>65</b>
<b>7. Ringraziamenti</b>	<b>67</b>



# **INTRODUZIONE AL PROGETTO**

La tesi è stata condotta in collaborazione con l'azienda De Angelis S.p.A. in cui è stato svolto un tirocinio curriculare e per tesi per una durata di circa 4 mesi, situata nel comune di Ravenna. Quest'azienda produce principalmente rimorchi e semirimorchi per il mercato sia italiano che estero. De Angelis ha subito negli ultimi anni una rilevante crescita dal punto di vista della produttività e della richiesta sul mercato che ha portato ad un aumento dei flussi di materiale dello stabilimento.

In questa tesi si analizzerà una possibile variazione dell'attuale ciclo di fabbricazione dei prodotti attraverso la progettazione di un carro semovente al fine di ridurre tempi di lavoro eliminando operazioni e agevolando il lavoro degli operatori e sarà infine valutata la fattibilità economica di tale progetto.

La variazione del ciclo consisterebbe in uno spostamento della fase di verniciatura che adesso si esegue per ultima. Questo implica

che una volta in verniciatura gli impianti pneumatici, elettrici e gli assali siano già installati e quindi si rende necessario un lavoro di rivestimento di tali componenti e che successivamente dovranno essere scoperti. Questo lavoro occupa in media dalle 6 alle 8 ore di lavoro poiché certe volte le parti sono difficilmente accessibili o con geometrie non semplici. Inoltre il rivestimento porta ad uno spreco di vernice in quanto viene tinto anch'esso portando via decine di metri quadri di vernice a prodotto.

Scambiando le fasi di lavorazione oltretutto si modifica il metodo di installazione degli impianti dato che una volta verniciati non potranno più essere appoggiati su supporti o a terra con non curanza in quanto la vernice si potrebbe graffiare. Per questo si risolverebbe montando i prodotti su posizionatori che permetterebbero agli operatori di ruotare il telaio e procedere con un montaggio più agevole e quindi tendenzialmente con una maggiore rapidità.

Vedremo infine quanto la soluzione ideata porterà benefici sia in termini di tempistiche di lavoro degli operatori e di conseguenza in termini economici ovvero quanto tempo impiegherà l'investimento a ripagarsi.

Dopo questa breve introduzione, lo studio che verrà illustrato è articolato nella seguente maniera.

Il capitolo 1 presenterà l'azienda De Angelis S.p.A., dove verrà introdotta attraverso la sua storia centenaria, la posizione nel mercato odierno e l'organizzazione.

Il capitolo 2 introdurrà in una prima parte il progetto esplicitando le principali problematiche che hanno portato all'idea e in seguito, in breve, spiegherà lo studio delle varie soluzioni trovate.

Il capitolo 3 descriverà le vari fasi di sviluppo del progetto spiegando e motivando le scelte fatte sia di calcolo che di scelta di elementi forniti da terzi fino ad arrivare al prototipo finale realizzato.

Il capitolo 4 si occuperà infine di studiare i costi d'investimento e i risparmi derivati dal progetto al fine di comprenderne la convenienza nella realizzazione e di un possibile introduzione nel mercato come prodotto una volta perfezionato.

Verranno quindi analizzati i risultati e redatte le conclusioni per capire se il prototipo realizzato può condurre ad un effettivo miglioramento del ciclo o non risulterà efficiente e si dovrà reinventare un altro metodo per portare un progresso all'interno dell'azienda.



# Capitolo 1

## DE ANGELIS S.P.A.

### *1.1. Presentazione dell'azienda:*

De Angelis S.p.A. inizia l'attività nel 1911 con la produzione concentrata su rimorchi per uso agricolo. Nel 1920 viene fondata ufficialmente la Società. In questo periodo la nuova Società ottiene una serie di importanti commesse di rimorchi per il mercato nazionale ed etiope. Durante la Seconda Guerra Mondiale la società è già una delle più importanti realtà produttive della zona e impiega



**Figura 1.1 - Operai nel dopoguerra**

più di 100 persone. La produzione continua anche durante la guerra e alla produzione si aggiunge anche quella dei primi rimorchi ad uso industriale.

Nel 1969 l'azienda diventa una società per azioni. In questo periodo l'attività principale della società è sempre più orientata verso il mondo industriale. Infatti dopo pochi anni la produzione di rimorchi agricoli verrà abbandonata.

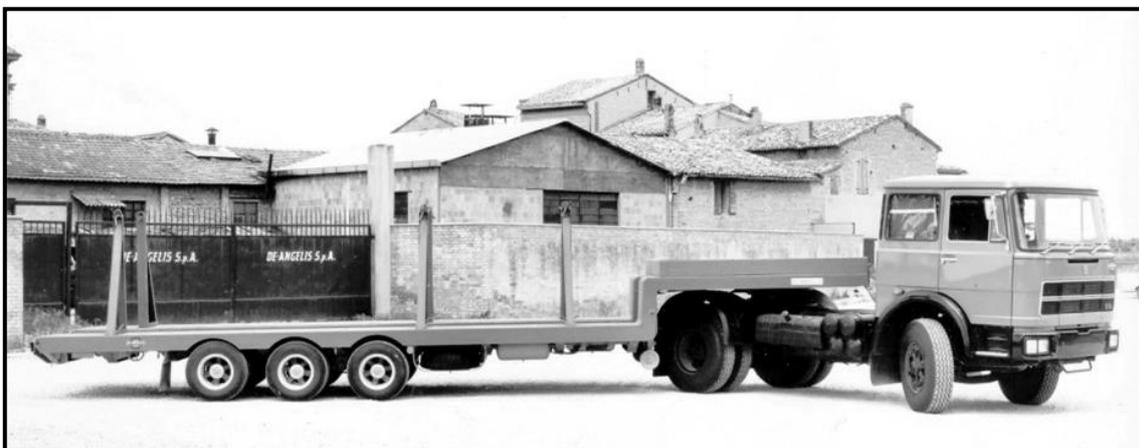


Figura 1.2 - Rimorchio degli anni '60

Tra il '76 e '80 si costruisce sulle fondamenta dello stabilimento originario, un nuovo stabilimento di dimensioni raddoppiate. Nel 1984 De Angelis inizia progettare l'intera produzione tramite il software AutoCAD. È una delle prime aziende in Europa di questo settore a progettare completamente i suoi veicoli con software di progettazione computerizzati.



Figura 1.3 - De Angelis negli anni '80

Oggi De Angelis S.p.A. è riconosciuto come uno dei leader nel settore dei rimorchi e semirimorchi speciali e per la possibilità di personalizzazione in base alle esigenze specifiche del cliente.

Negli ultimi anni, la tendenza nella nicchia di mercato in cui opera De Angelis è sempre più orientata a soluzioni standardizzate ed industrializzate nonostante voglia mantenere un'impronta sempre orientata al cliente ed alle sue necessità. Questo valore permette ai

clienti De Angelis di ottenere importanti vantaggi competitivi grazie alla possibilità di acquistare un nuovo veicolo non solo scegliendo da un vasto catalogo generale ma anche attraverso ulteriori possibilità:

- modificare strutturalmente i modelli esistenti;
- richiedere all'Azienda di sviluppare e produrre veicoli o accessori completamente personalizzati per esigenze di trasporto specifiche.

L'azienda produce esclusivamente su commessa ed è in grado di produrre una buona gamma di mezzi: rimorchi, semirimorchi, ribassati, per trasporti eccezionali, estendibili, ecc..



**Figura 1.4 - Semirimorchio**



**Figura 1.5 - Ribassato**



Figura 1.6 - Eccezionali (Portacoils)

Un approccio al continuo miglioramento dei prodotti, dei processi e della qualità, stretti rapporti di collaborazione tecnica con i clienti e una politica di continuo miglioramento sono le linee guida di una Società che nel corso degli anni ha investito notevoli risorse per raggiungere un elevato e tangibile standard qualitativo:

- "Zero Error Production": ogni singola operazione svolta in Azienda, dall'inserimento di un nuovo ordine fino alla fase post-vendita è tracciata e conservata all'interno del sistema gestionale dell'Azienda. Nella fase produttiva, ogni operazione eseguita sul veicolo è identificata tramite sistema di codici a barre. In caso di errore è possibile risalire velocemente alle cause che hanno provocato una carenza qualitativa e correggerle prontamente;
- Disponibilità dei migliori strumenti di progettazione, produzione e controllo della qualità;
- Coinvolgimento costante degli ingegneri progettisti nella fase di costruzione di tutti i prototipi e delle varianti di modelli esistenti;
- Aggiornamento continuo di tutto lo staff aziendale tramite corsi di specializzazione ed aggiornamento in nuove tecnologie e metodi di costruzione;

- Tutti i saldatori patentati e tutte le procedure di saldatura manuali ed automatiche conformi alle ultime normative UNI EN ISO;
- Progettazioni e costruzioni eseguite con elevati coefficienti di sicurezza e resistenza;
- Questionari di soddisfazione sono inviati ai clienti e analizzati dal Dipartimento Qualità al fine di migliorare le caratteristiche dei prodotti e del servizio;
- Possibilità di omologazioni complete italiane o EU e di certificazioni di costruzione secondo normative specifiche tramite invio ai clienti di documentazioni e report dettagliati e completi di test strutturali agli elementi finiti e di prove di frenata a carico dei nuovi veicoli.

De Angelis SpA è certificata ISO 9001:2000 da DNV per la "Progettazione E Produzione Di Rimorchi E Semirimorchi Ed Assistenza Post-Vendita". Questa certificazione specifica garantisce ai clienti il sistema di qualità dei prodotti e servizi forniti dall'azienda in ogni fase.

De Angelis rimane e vuole rimanere una società orientata al cliente che necessita di esigenze di trasporto non convenzionali. È quindi stato realizzato un percorso specifico definito come "Full Custom Program" dedicato a quelle aziende che necessitano di un partner qualificato per l'ideazione, la progettazione, la costruzione e la messa su strada di:

- veicoli completamente nuovi e concepiti per specifiche esigenze di trasporto (uso interno/strada/off-road);

- veicoli destinati ad allestimenti speciali (in questo caso l'Azienda è in grado di affiancare il committente anche per la progettazione e fornitura di strutture o particolari specifici a completamento della fornitura).

De Angelis è in grado di garantire la realizzazione di nuovi progetti mettendo a piena disposizione un ampio team di professionisti coadiuvati dalle migliori tecnologie di progettazione e costruzione. Il "Full Custom Program" garantisce al committente:

- meeting tecnici preliminari con commerciali-tecnici ed ingegneri per la definizione del progetto;
- aggiornamenti continui e collaborazione tecnica con i specialisti del committente durante la fase progettuale;
- presentazione del progetto finale (analisi strutturali FEM/FEA su richiesta) propedeutici all'approvazione della costruzione da parte del committente;
- pieno accesso alle proprie strutture per ispezioni sull'avanzamento lavori;
- possibilità di gestire internamente e garantire omologazioni italiane ed EU oppure fornire relazioni tecniche specifiche e all'immatricolazione dei nuovi veicoli in paesi extra-EU.

L'evoluzione delle tecniche di produzione, la richiesta di materiali più performanti ed una qualità in continua crescita, hanno spinto l'azienda a dotarsi di nuove tecnologie al fine di seguire e soddisfare un mercato sempre più esigente: ne consegue una rilevante crescita dal punto di vista della produttività e della richiesta sul mercato, grazie alla serietà e alla qualità del prodotto offerto. Per questo motivo sia nella fase di progettazione che di produzione

vengono utilizzate sempre tecnologie per una migliore esecuzione del progetto:

- Software di progettazione 3D di ultima generazione;
- Analisi strutturali F.E.M. / F.E.A. (metodo/analisi degli elementi finiti): per garantire massima affidabilità e prestazioni, tutti i nuovi progetti e/o strutture vengono testati strutturalmente prima della produzione tramite innovativi software di analisi strutturale;

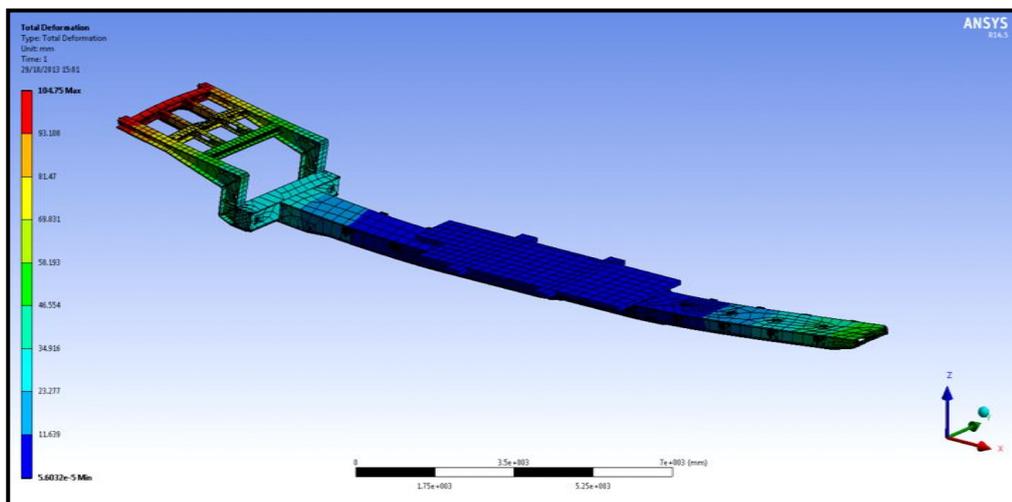


Figura 1.7 - Analisi Strutturale su Ansys

- *Computer based production*: la struttura informativa e produttiva De Angelis sono basate su softwares E.R.P. (Enterprise Resource Planning) e M.R.P. (Material Requirements Planning). Questo garantisce uno stretto controllo sulla corrispondenza degli ordini, sulla qualità e sui tempi di consegna;
- Parti strutturali: nessuna possibilità di errore umano ed una garanzia di massima qualità e resistenza delle parti strutturali sono garantiti da un processo di saldatura robotica all'arco sommerso (metodo S.A.W.);
- La granigliatura metallica automatica dei telai e di tutte le parti metalliche tramite macchinario a 16 turbine

garantiscono una verniciatura standard in grado di resistere ad oltre 600 ore in camera di nebbia salina;

- Processo di verniciatura eseguito in cabina a temperatura ed umidità controllata. Possibilità di eseguire capitolati di verniciatura specifici per ambienti altamente salini, per usi a temperature estreme, per usi militari o specifici su richiesta del cliente.

## 1.2. Il sistema gestionale

Ogni singola operazione svolta in azienda, dall'inserimento di un nuovo ordine fino alla fase post-vendita è tracciata e conservata all'interno del sistema gestionale integrato dell'azienda. Nella fase produttiva, ogni operazione eseguita sul veicolo è identificata tramite sistema di codici a barre. In caso di errore è possibile risalire velocemente alle cause che hanno provocato una carenza qualitativa e correggerle prontamente.

Il programma di gestione permette di codificare e conservare qualsiasi parte o assieme commerciale e non, in modo da poter essere reperito o analizzato da qualsiasi computer collegato al server. Mentre per analizzare un file è possibile visualizzarlo in modalità "Sola Lettura", per poterlo modificare è necessario portarlo in locale. Una volta eseguita la modifica si ricarica sul server specificando la correzione fatta, permettendo in futuro ad altri operatori di risalire a chi la ha realizzata, a quando la ha fatta e quale modifica è stata operata.

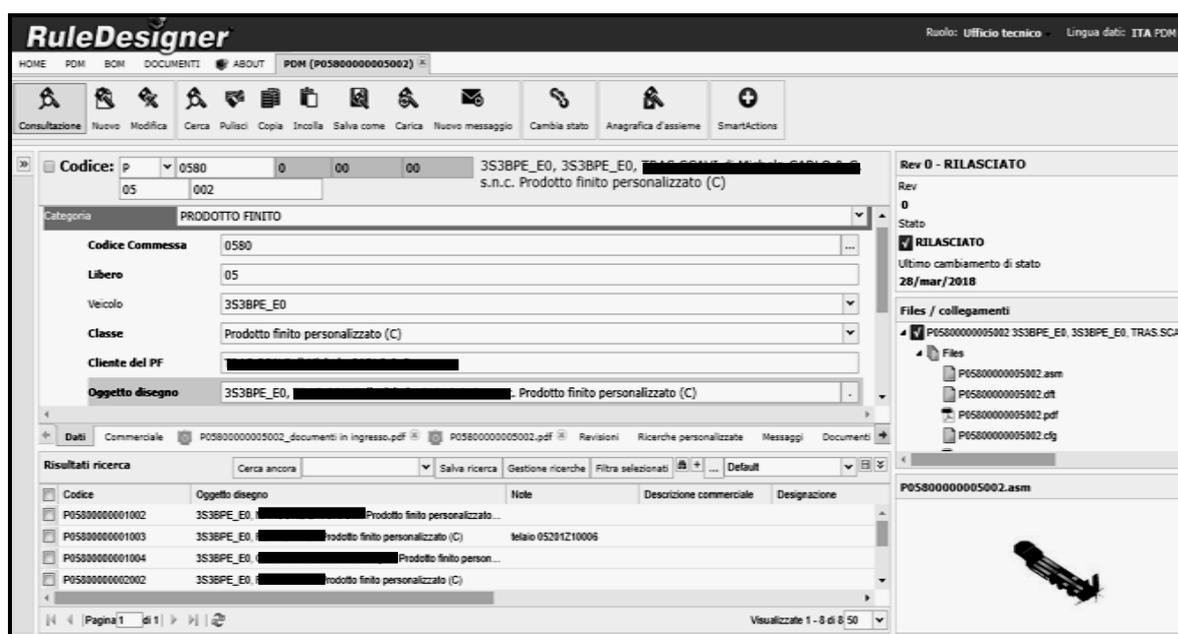


Figura 1.8 - Sistema Gestionale Fusion

Il software, oltre a contenere il 3D, contiene anche il file di configurazione del file, la messa in tavola del particolare o dell'assieme e genera automaticamente anche il PDF di quest'ultima.

La ricerca all'interno del server può essere effettuata attraverso il codice, le diverse categorie di catalogazioni con i vari gruppi e sottogruppi, per descrizione o anche attraverso assiemi che contengono l'oggetto cercato.

### 1.3. Il sistema produttivo

L'azienda si compone di due strutture, una che in cui sono presenti gli uffici tecnici, commerciali e d'amministrazione e la seconda è il capannone in cui si trova l'officina e il magazzino.



Figura 1.9 - A. Uffici, B. Officina e Magazzino, C. Verniciatura e Rifinitura

L'ufficio tecnico si occupa principalmente di progettare, realizzare e revisionare i prodotti. Il personale riceve la commessa del cliente dai commerciali e con tutte le specifiche richieste dal cliente, tra cui le più importanti sono il peso da trasportare, il tipo di rampe e le modalità di movimentazione di esse, il numero di assi e il numero di quelli sterzanti, le possibili funzionalità del rimorchio e gli svariati accessori che si possono aggiungere.

Nel database del gestionale sono caricati tutti gli elementi che compongono un telaio a partire da lamiera o travi fino alle più piccole staffe, pertanto, dopo anni di utilizzo del software, è raro che sia necessario realizzare una parte da zero e questo permette notevoli risparmi di tempo.

La prima azione è verificare, attraverso il database, se è già stato realizzato un rimorchio con le caratteristiche principali richieste dal cliente e quindi modificarlo in base alle specifiche date dal cliente. In caso di richieste particolari come per trasporti eccezionali si procede analizzando il problema del cliente e poi progettare un nuovo mezzo. Una volta individuato un prodotto finito simile o dimensionati gli elementi principali del nuovo rimorchio si procede con la modellazione 3D.

Alla fine di ogni processo di progettazione i telai sono testati sotto carico ed ottimizzati tramite software di analisi strutturale F.E.M./F.E.A. per garantire alta resistenza torsionale e tara contenuta.

L'officina presenta un layout per reparti. I primi reparti riguardano la costruzione e saldatura del telaio. Le strutture portanti sono saldate tramite sistema robotizzato all'arco sommerso, metodo che garantisce la massima affidabilità e resistenza delle strutture più sollecitate. Ci si occupa in seguito del montaggio degli elementi "accessori", di supporto o specifici per un tale prodotto e l'ultimo reparto completa tutti i cordoni di saldatura. Seguono poi i reparti di montaggio della varia impiantistica presente, dall'idraulica, alla pneumatica fino all'elettrica. Infine si vernicia e rifinisce il prodotto.



**Figura 1.10 - Saldatura ad arco sommerso**



**Figura 1.11 - Saldatura di elementi nel telaio**

La produzione, tranne particolari modelli a piano dritto, è caratterizzata da una struttura portante composta da 3 parti fondamentali: longheroni portanti, scatola di torsione, longheroni collo d'oca.

Nello specifico, le sezioni sono:

- saldatura dei longheroni principali tramite modalità ad arco sommerso;
- saldatura per punti delle restanti travi e traverse del rimorchio;
- saldatura per punti delle lamiere e degli elementi saldabili che non sono travi;
- completamento della saldatura di tutte le parti saldate precedentemente solo per punti;
- installazione degli impianti idraulici e degli assali,
- installazione degli impianti pneumatici degli impianti elettrici;
- sabbiatura del telaio;
- verniciatura e rifinitura;
- completamento del rimorchio con il montaggio di ruote ed eventualmente di rampe altri elementi dello stesso genere.

La sabbiatura e la verniciatura vengono eseguiti in secondo stabilimento a pochi metri dal principale o, se necessitano di particolari attenzioni, sono svolti da terzi.

Ogni postazione di lavoro è inoltre dotato di computer e/o tecnigrafo per poter visionare l'assieme su cui stanno lavorando.

Nello stabilimento sono presenti due magazzini: nel primo sono presenti le lamiere, piegati o travi, situati vicino ai primi reparti ed il secondo magazzino per la sezione di impiantistica.

Questa struttura presenta ulteriori aree presenti quali una zona riservata a macchine utensili per la realizzazione di elementi speciali o la modifica di altri, e un ufficio che permette al capo-officina, al responsabile di produzione e ad altre figure professionali di rimanere a stretto contatto con le aree di loro competenza. All'esterno è presente inoltre uno spazio per l'usato che se possibile viene riparato e rimesso in vendita come usato.

## Capitolo 2

# PROGETTO

### *2.1. Presentazione del progetto*

Il progetto consiste nella realizzazione di un rimorchio semovente, senza quindi una motrice che lo traini per spostare in modo più agevole i telai dei prodotti.

Questa idea nasce a causa di problemi di non grande rilevanza e che non conducono problemi di affidabilità nel prodotto finale ma che però portano a elevate perdite di ore e materiali usati, sia durante la produzione che in casi di eventuali riparazioni.

Di fatto, il problema risiede principalmente nell'ordine delle fasi all'interno del processo produttivo poiché il montaggio dei componenti degli impianti, dagli assali, alle centraline o valvole e i rispettivi collegamenti, avveniva prima della verniciatura. Tale metodo porta svariate conseguenze:

- necessità di rivestire valvole, centraline, serbatoi e componenti vari per proteggerli dalla vernice;
- riverniciatura di elementi industriali già verniciati come gli assali;
- eliminazione di tutti le coperture applicate;
- verniciatura di tubi e/o cavi che complicano il riconoscimento del loro percorso per eventuali riparazioni;
- fattori estetici negativi determinati da coperture non sempre ottime.

Invertire però le fasi non è immediato senza un certo tipo di movimentazione e infatti non era presente un metodo comodo ed efficace che permettesse di iniziare la verniciatura prima di montare gli assali con le sospensioni e quindi le ruote per spostarlo.

Ma un motivo più importante è il montaggio degli impianti che richiedono saldature o fori e verniciato il mezzo non è più consigliabile lavorare sulle superfici in quanto si danneggerebbe la verniciatura stessa dovendo ricolorare le parti interessate e, a causa delle numerose saldature, sarebbe un'ulteriore perdita di tempo. Questi elementi minori non vengono saldati nei reparti specializzati in quanto possono trovarsi in posizioni molto differenti da prodotto a prodotto. Dunque viene data libertà agli operatori di piazzare tali parti senza dover seguire nessun disegno.

Cambiando ordine delle fasi si dovranno eseguire saldature o altre lavorazioni prima della verniciatura e quindi verranno realizzate nei reparti adibiti alla saldatura. Per arrivare a tale sistema occorre però revisionare e aggiornare tutti i file 3D per aggiungere tutti i particolari necessari. Data però la non esigenza di inserire tali particolari nel disegno al CAD negli anni passati, l'ufficio tecnico

non ha un'esperienza tale, ma talvolta neanche la possibilità, per capire come inserire certi elementi all'interno del disegno. Nonostante ciò, questa operazione è in corso da qualche mese, mano a mano che si revisionano per altri motivi i vari mezzi attraverso lo studio dei dispositivi e la consulenza degli operatori specializzati.

L'ultima considerazione che verrà eseguita per il progetto sarà economica sarà in termini economici per valutare l'entità dell'investimento iniziale e capire in quanto tempo questo possa essere recuperato.

## 2.2. *Lo studio*

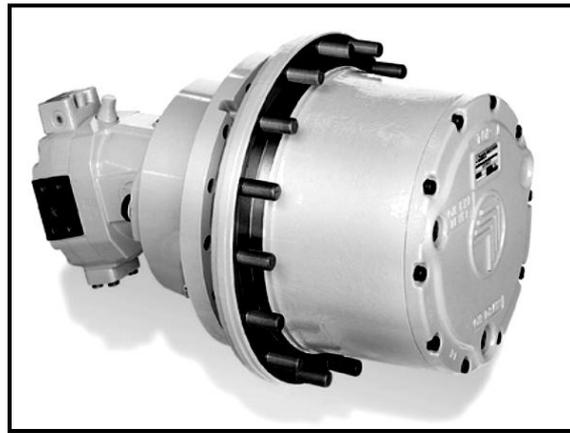
Il primo passo è stato quello di capire se sul mercato fossero presenti mezzi simili a quello pensato cercando tra la concorrenza. I mezzi esistenti adibiti al trasporto di carichi pesanti però non erano conformi alle necessità in quanto la carrozzeria avvolgeva il corpo del trasportatore completamente e non avrebbero permesso di raggiungere tutti gli spazi del telaio da verniciare.

Ma per rendere più agevole possibile il lavoro agli operatori è necessario avere un telaio il più possibile aperto per favorire la verniciatura agli operatori sia dall'alto che dal basso e quindi utilizzare delle coperture solo nei punti che richiedono una protezione dalla pittura.

Il semovente è stato pensato per muoversi senza una motrice e si è dovuto pensare ad un sistema di movimento ed anche di controllo. È stata fatta così una valutazione dei principali sistemi per la movimentazione:

- *a combustione interna*: il semovente dovrà muoversi all'interno degli stabilimenti pertanto si produrrebbe un'elevata rumorosità e lo scarico si disperderebbe in un luogo chiuso. Inoltre sarebbe necessario un altro tipo di alimentazione per il sistema di sterzaggio delle ruote con conseguente ulteriore spazio occupato. La soluzione è stata scartata immediatamente.
- *elettrica*: con una movimentazione elettrica, lo spazio occupato sarà solo del motore e della batteria e non ci sono problemi di scarico o rumorosità.

- *idraulica*: questo tipo di soluzione non comporterebbe problemi di scarico o rumorosità ma necessiterebbe di una centralina idraulica con anche un motore elettrico e la batteria e si andrebbe ad occupare più spazio della soluzione precedente. Oltretutto questo sistema è solitamente ausiliario ad un altro tipo di alimentazione e solo in casi particolari è usato come unico sistema di movimentazione.



**Figura 2.1 - Esempio di motoriduttore idraulico con sterzata scartato**

L'alimentazione migliore è risultata quella elettrica. La ricerca di un sistema di avanzamento e di sterzaggio poco ingombranti ci hanno portato alla scelta delle moto-ruote. Queste consistono in pneumatici in gomma piena che dispongono di un motore elettrico direttamente collegato all'asse della ruota che gli permette la rotazione e un altro motore che permette alla singola ruota di sterzare. Questo metodo permette di avere ingombro solo quindi attorno la ruota.

Per il metodo di controllo si è pensato ad un sistema remoto attraverso l'uso di un telecomando, per diverse ragioni:

- semplicità dei comandi, sono necessari solo il movimento avanti/indietro e la sterzata destra/sinistra;

- sinergia ottimale con l'uso delle moto-ruote completamente comandate elettricamente;
- ingombro minimo dato che non è richiesto nessuna seduta per un operatore ma solo i componenti che regolano i motori delle ruote.

Analizzati gli argomenti che possono determinare, sono stati catalogati i mezzi in base alle dimensioni e al peso, dividendoli prima per il tipo di rimorchio e per il numero d'assi. I risultati hanno permesso di comprendere quale quantità di prodotti si volessero poter trasportare con l'uso del semovente.

Attraverso la raccolta di questi dati si è potuto ancora valutare le modalità di appoggio del telaio da verniciare in modo da ridurre il più possibile la superficie che non sarà ma allo stesso tempo stabile e che possa adattarsi alle varie differenze nei punti di appoggio dei telai.

Questo porterà i telai stessi a trovarsi in una posizione rialzata rispetto a come si trovano ora. La soluzione ha però portato un riscontro positivo da parte degli operatori che avranno uno spazio di lavoro più comodo che quindi gli farà compiere meno sforzo. Nonostante ciò, nel sistema pensato è comunque possibile variare l'altezza dei supporti e regolarli per ogni caso.

## 2.3. *Analisi del mercato*

Per comprendere le principali caratteristiche di questi mezzi sono stati cercati prodotti di aziende che si occupano di trasportatori. Durante tale ricerca non sono però stati trovati prodotti che rispecchiassero le esigenze dell'azienda.

La ricerca era incentrata su un trasportatore che avesse le caratteristiche da noi richieste: capacità di carico elevata, carrozzeria aperta, sistema di movimento elettrico. La specifica che nella quasi totalità dei casi mancava era la carrozzeria. I mezzi erano trovati erano infatti completamente chiusi e in caso contrario non sopportavano carichi troppo elevati. Inoltre non presentavano possibilità di inserimento di sistemi di sostegno che sarebbero stati necessari per l'appoggio dei telai.



**Figura 2.2 - Esempio di carrello semovente con carrozzeria chiusa e senza appoggi adatti che si può trovare sul mercato**

La ricerca è proseguita con lo studio delle soluzioni adottate nei prodotti presenti sul mercato. Tali prodotti erano per la maggioranza elettrici, a batteria.

Presentavano inoltre diverse configurazioni di ruote e di sterzata. È stato possibile esaminare quale sistema fosse il più adatto alla situazione. Data la esigenza di un telaio il più pulito possibile da elementi di qualsiasi genere si è optato per l'uso di sole 4 ruote.

Inoltre gli ampi spazi di manovra presenti nello stabilimento e il percorso relativamente breve che il carrello dovrà percorrere, non comporteranno particolari manovre e quindi la necessità di avere elevate possibilità di manovra. Tutto ciò è circondato dal fatto che l'uso di un numero di ruote maggiore se non necessario e possibilità di sterzata di tali ruote comportano un aumento dei costi sia per un'ulteriore uso di materiali, aggiunta di componenti e batterie e più manutenzione.

## Capitolo 3

# SVILUPPO

### *3.1. Analisi dei prodotti*

Dopo lo studio per individuare le linee guida da seguire si è iniziato con un'analisi dei prodotti per catalogarli in base alle dimensioni per individuare sia il peso che dovrà spostare il mezzo sia le dimensioni che permettono il trasporto di un grande varietà di rimorchi. Sono stati quindi rilevate le dimensioni e i pesi dei telai dal database in base ai codici di ognuno e realizzato un grafico per studiarne la distribuzione.

Sono stati così catalogati i poco più di 400 mezzi in tabelle divise per tipologie: semirimorchi, rimorchi, ribassati, porta-coils, off-road. Per alcuni codici non è stato possibile rilevare il peso poiché sono file datati e non aggiornati e il CAD usato al tempo non dava la possibilità di calcolo del peso attraverso un'attribuzione di un materiale a un elemento del 3D. La percentuale di mezzi senza una

stima del peso non comporta particolari errori di valutazione nel rispettivo grafico dato che un eventuale recupero di quei dati non comporterebbe una variazione nella distribuzione del peso sia per la bassa percentuale di mezzi non stimati sia perché mezzi di peso molto elevato sono progettati solo su specifiche particolari. Un esempio di catalogazione è riportato nella tabella sottostante.

<b>RIBASSATI</b>				
<b>CODICE</b>	<b>ASSI</b>	<b>LUNGHEZZA (mm)</b>	<b>LARGHEZZA (mm)</b>	<b>PESO (kg)</b>
X0 283	1	13000	2540	/
X0 467	1	12500	2540	/
X0 073	2	13100	2540	1767
X0 340	2	13250	2540	/
X0 357	2	13300	2540	1831
X0 430	2	13000	2540	1620
X0 435	2	13900	2540	6530
X0 464	2	13100	2540	1444
X0 474	2	13300	2540	1507
X0 508	2	13670	2540	1684
X0 567	2	13100	2540	1464
X0 568	2	13300	2540	1529
X0 579	2	13650	2540	1532
X0 583	2	12260	2540	1281
X0 585	2	13450	2540	1573
X0 189	3	12820	2540	2631
X0 492	3	12650	2540	4116
X0 523	3	16500	2540	/
X0 565	3	16300	2540	1760
X0 347	4	16300	2540	2361
	<b>MEDIA</b>	13819	2540	2164
	<b>MAX</b>	16500	2540	6530
	<b>MIN</b>	12260	2540	/

**Figura 3.1 - Esempio di tabella, estratta dall'analisi dei prodotti per catalogare dimensione e peso dei telai**

Una volta inseriti i dati in tabella si costruisce un grafico per individuarne la distribuzione. Dalla tabulazione dei valori si nota come la larghezza sia sempre poco superiore 2,5 m e solo per casi

particolari è maggiore di 3 m (fuori dalla tabella di esempio), non è stato pertanto necessario alcun grafico per quel dato.

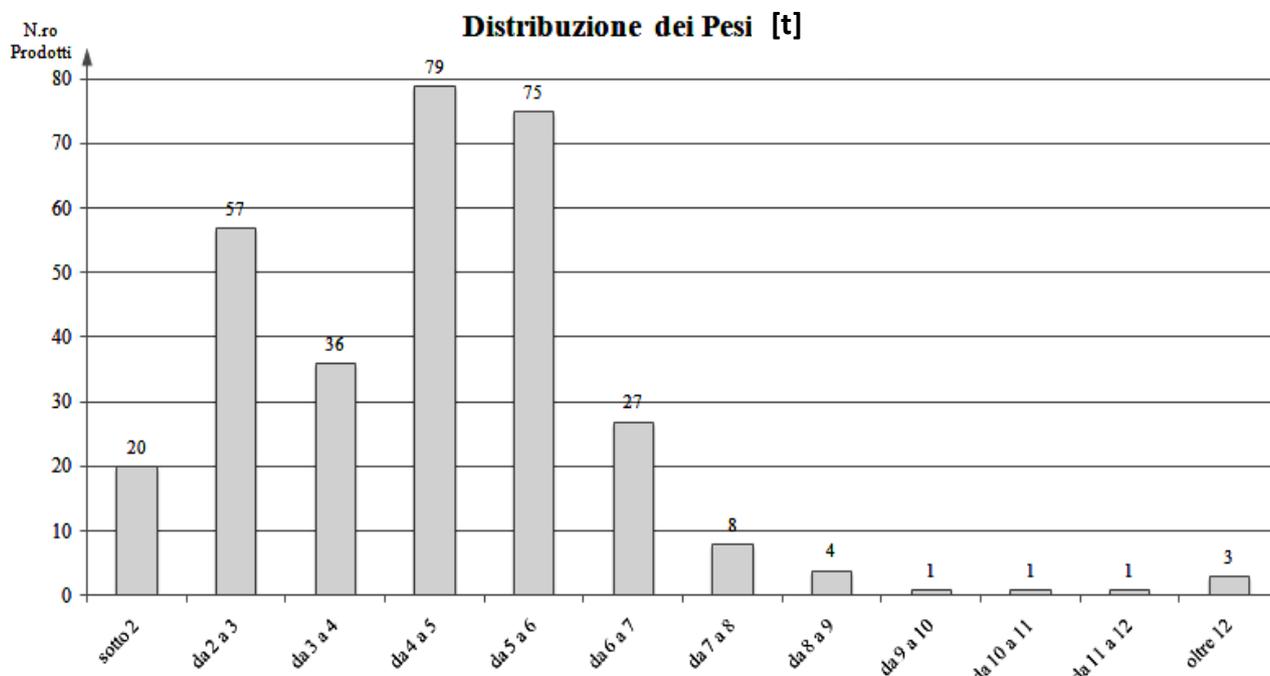


Figura 3.2 - Numeri di telai distribuiti in intervalli di peso di una tonnellata

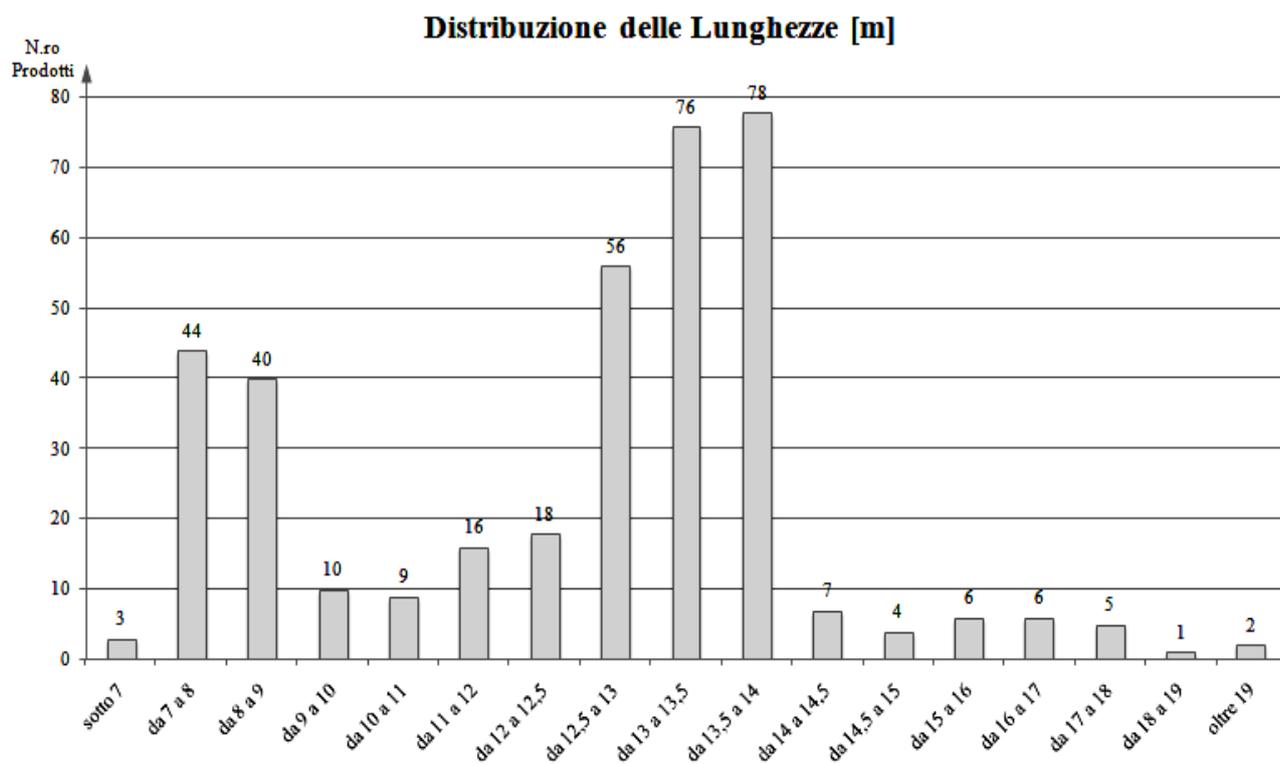


Figura 3.3 - Numeri di telai distribuiti in intervalli di lunghezza di un metro

Dai grafici 3.2 e 3.3 si possono ricavare le seguenti osservazioni:

- *peso*: quasi il 97% dei rimorchi ha un peso al di sotto delle 8 tonnellate. I mezzi con pesi superiori sono solitamente per trasporti eccezionali o per richieste particolari e quindi ne viene prodotta in minor quantità. Il carico massimo che quindi si dovrà trasportare sarà quindi fissato a 8000 kg. Il peso minimo non è stato catalogato in quanto il dato non ha nessun utilizzo.
- *lunghezza*: la lunghezza si distribuisce su due picchi, uno minore con lunghezze che vanno dai 7 ai 9 metri e uno maggiore con lunghezze dai 12,5 ai 14 metri.
- *larghezza*: il riferimento per la progettazione del telaio è 2,5 m.

L'officina, durante un consulto, ha richiesto che il semovente fosse ridotto il più per agevolare le manovre e il lavoro dei verniciatori. Questa scelta di conseguenza permette di avere un mezzo più leggero. Le dimensioni scelte per il telaio sono 6 m di lunghezza per 2,5 m di larghezza.

### 3.2. Costruzione del telaio

La struttura principale del telaio è realizzata interamente con profili industriali unificati. I calcoli presenti sono stati effettuati ipotizzando il semovente caricato con 10 tonnellate ( $P = 10000 \text{ Kg}$ ).

#### ❖ *Calcolo dei longherone portante:*

Supponiamo di appoggiare il rimorchio su due punti in un intervallo che va da sopra l'asse della ruota a poco più di un metro da essa verso l'interno. Ipotizzando di posizionare il baricentro del carico da trasportare a metà tra i due appoggi 1 e 2, il peso massimo si dividerà equamente generando due forze  $F$  uguali e concordi che generano due reazioni vincolari  $R_1$  e  $R_2$ . La situazione più gravosa sarà quella in cui gli appoggi si troveranno il più vicino l'uno all'altro ovvero ognuno ad 1,015 m dalla ruota vicina come in figura 3.4.

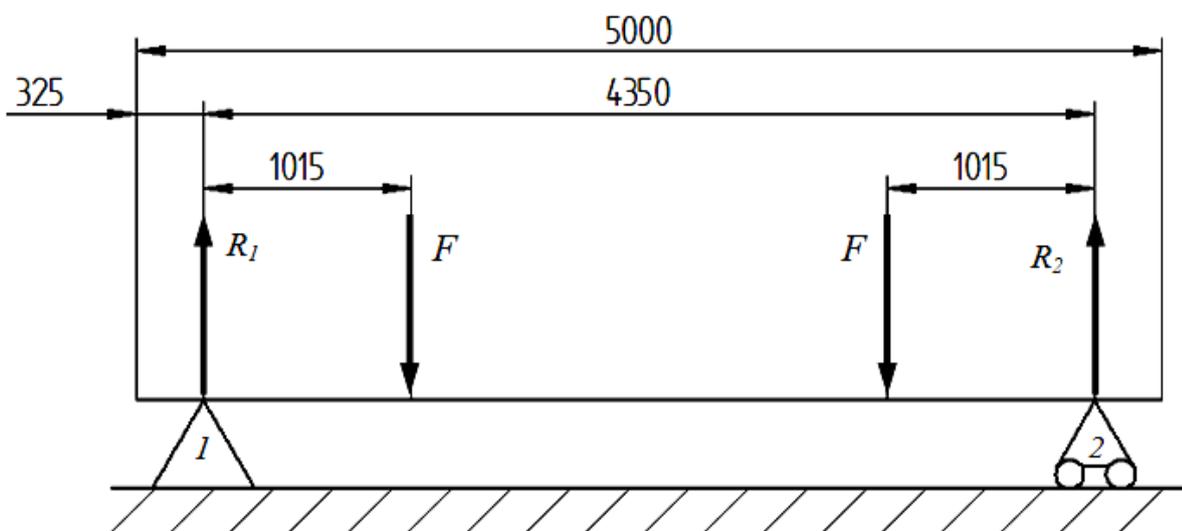


Figura 3.4 - Schema delle forze che agiscono e si generano sul telaio del carrello a pieno carico

- *calcolo delle reazioni vincolari:*

$$F = \frac{P}{2} \cdot g = \frac{10000 \text{ kg}}{2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 49050 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad -F - F + R_1 + R_2 = 0 \quad R_1 + R_2 = F + F = 98100 \text{ N}$$

$$\sum M_1 = 0 \quad -F \cdot 1,015 \text{ m} - F \cdot 3,335 \text{ m} + R_2 \cdot 4,350 \text{ m} = 0$$

$$R_2 = \frac{49050 \text{ N} \cdot (3,335 \text{ m} + 1,015 \text{ m})}{4,350 \text{ m}} = 49050 \text{ N} \quad R_1 = R_2$$

- *calcolo del momento flettente massimo:*

Punto A.  $R_1 \cdot 1,015 \text{ m} = 49050 \text{ N} \cdot 1,015 \text{ m} = 49785 \text{ Nm}$

Punto B.  $-(-R_2 \cdot 1,015 \text{ m}) = -(-49050 \text{ N} \cdot 1,015 \text{ m}) = 49785 \text{ Nm}$

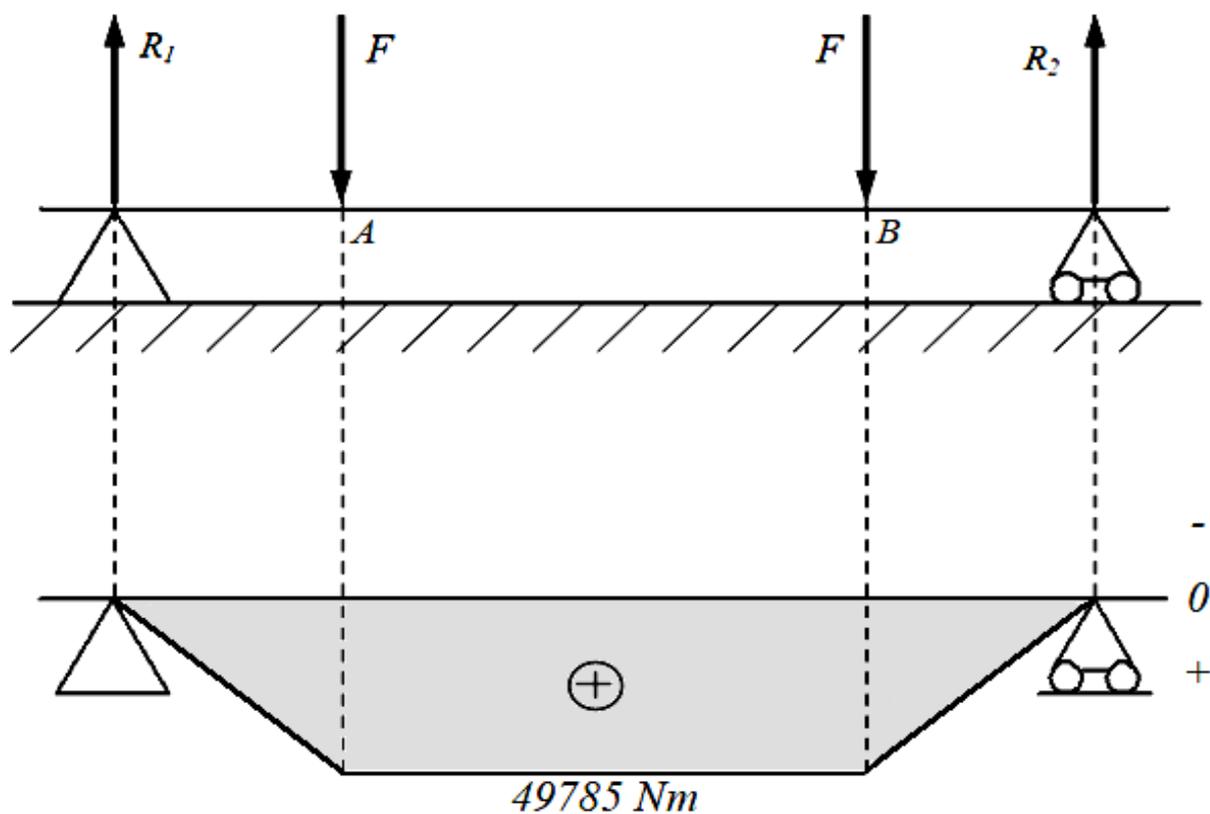


Figura 3.5 - Grafico del momento flettente con A e B i punti su cui agiscono le forze F

Come mostrato in figura 3.5, il momento flettente massimo che agisce è 49785 Nm.

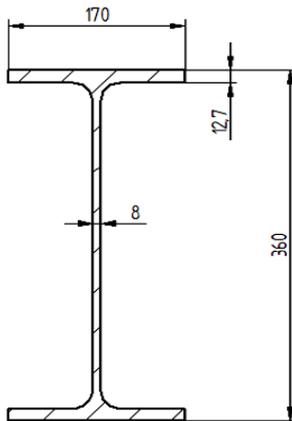
- *calcolo del modulo di resistenza a flessione:*

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f}$$

Da catalogo, la resistenza a flessione dei profili unificati è:

$$\sigma_f = 16 \frac{kg}{mm^2} = 157 \frac{N}{mm^2}$$

$$W_{fmin} = \frac{M_f}{\sigma_f} = \frac{49785000 \frac{Nmm}{mm^2}}{157 \frac{N}{mm^2}} = 317000 \text{ mm}^3$$



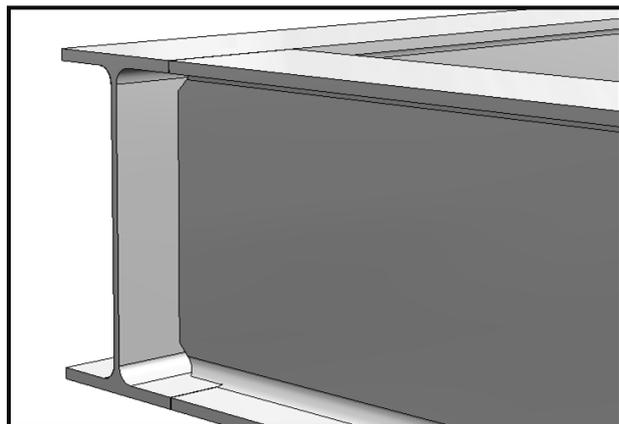
$$W_f > 317 \text{ cm}^3$$

Da catalogo, la trave a doppio T minima ammissibile risulta la IPE 240 UNI 5398-78 con  $W_f = 234 \text{ cm}^3$ . La scelta ricade infine su una IPE 360 per ragioni indicate nelle sezioni successive. (Vedi sezione "3.4. Movimentazione")

**Figura 3.5 - Profilo della trave scelta IPE360**

#### ❖ *Completamento della struttura principale:*

La struttura principale è chiusa da altre due travi a doppio T trasversali alle prime, saldate alle estremità. Scegliendo la stessa dimensione di quelle calcolate in precedenza, non sarà necessario rieseguire il calcolo un quanto subiscono un carico molto meno gravoso. Le travi sono intagliate in modo da combaciare con le prime per una zona di saldatura migliore, come in figura.



**Figura 3.6 - Assemblaggio delle due travi**

### 3.3. Sistema di appoggio del carico

Questo sistema è stato studiato in modo da poter adattarsi alle differenze dei rimorchi, sia per questioni baricentriche che strutturali. È stata realizzato in modo che si possa variare la posizione sia la distanza che l'altezza dei supporti.

Per avere un carico stabile è necessario che il baricentro del carico si trovi tra i due supporti qualunque sia la forma del carico appoggiata. Grazie quindi alla libertà di posizionamento degli appoggi è possibile fare sì che questi possano essere bloccati in funzione della coordinata baricentrica del carico.

#### ❖ *Calcolo della trave principale:*

Per come è stata realizzato uno schizzo del sistema, la trave sarà caricata su due punti equidistanti dal centro della stessa da due forze  $F$  che saranno di conseguenza la metà della forza che agiva nel capitolo precedente su metà della struttura che generano due reazioni vincolari  $R_1$  e  $R_2$  rispettivamente nei due appoggi 1 e 2.

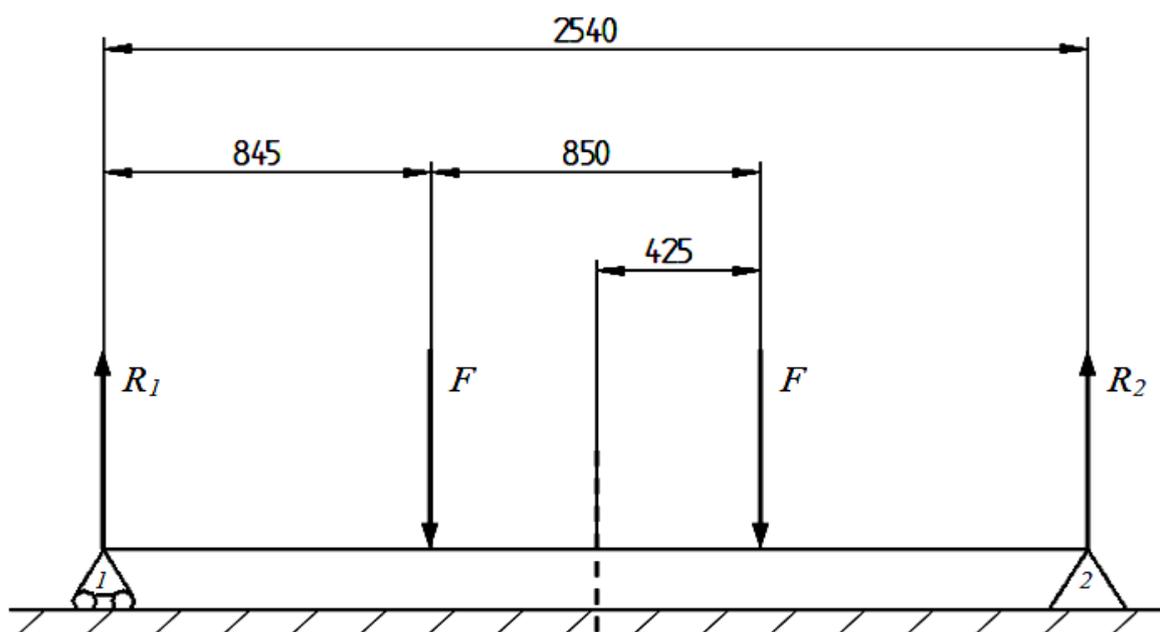


Figura 3.7 - Schema delle forze agenti sulla trave di supporto a pieno carico

La distanza tra le due forze è determinata da una caratteristica comune tra la quasi totalità dei telai ovvero l'interasse tra i due longheroni che è pari a 850 mm. Lo schema è rappresentato in figura 3.6.

- *calcolo delle reazioni vincolari:*

$$F = \frac{1}{2} \frac{P}{2} \cdot g = \frac{10000 \text{ kg}}{4} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 24525 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad -F - F + R_1 + R_2 = 0 \quad R_1 + R_2 = F + F = 49050 \text{ N}$$

$$\sum M_1 = 0 \quad -F \cdot 0,845 \text{ m} - F \cdot 1,695 \text{ m} + R_2 \cdot 2,540 \text{ m} = 0$$

$$R_2 = \frac{24525 \text{ N} \cdot (0,845 \text{ m} + 1,695 \text{ m})}{2,540 \text{ m}} = 24525 \text{ N} \quad R_1 = R_2$$

- *calcolo del momento flettente massimo:*

Punto A.  $R_1 \cdot 0,845 \text{ m} = 24525 \text{ N} \cdot 0,845 \text{ m} = 20723 \text{ Nm}$

Punto B.  $-(-R_2 \cdot 0,845 \text{ m}) = -(-24525 \text{ N} \cdot 0,845 \text{ m}) = 20723 \text{ Nm}$

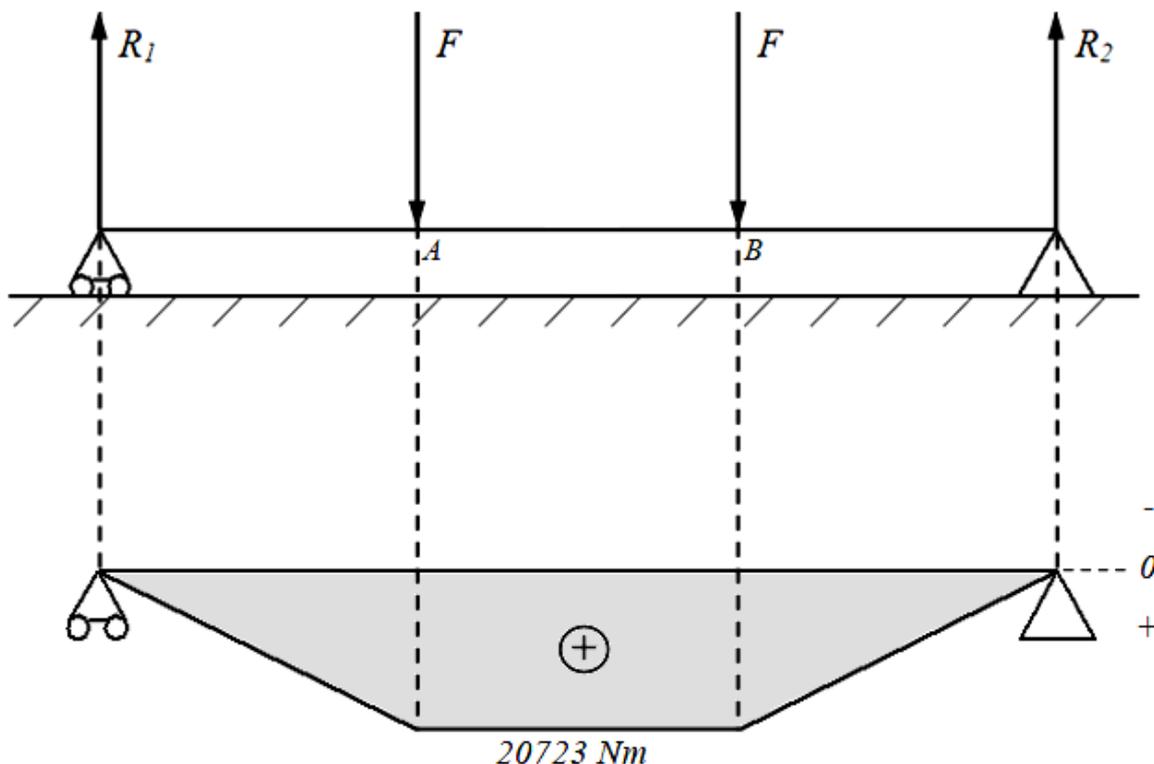


Figura 3.8 - Grafico del momento flettente con A e B i punti su cui agiscono le forze F

Come mostrato in figura 3.8, il momento flettente massimo che agisce è 20723 Nm.

- *calcolo del modulo di resistenza a flessione:*

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f}$$

Da catalogo, la resistenza a flessione dei profili unificati è:

$$\sigma_f = 16 \frac{kg}{mm^2} = 157 \frac{N}{mm^2}$$

$$W_{fmin} = \frac{M_f}{\sigma_f} = \frac{20723000 \text{ Nmm}}{157 \frac{N}{mm^2}} = 132000 \text{ mm}^3$$

$$W_f > 132 \text{ cm}^3$$

Per avere una base stabile il carico è bene che sia centrato rispetto alla trave. Per evitare di eseguire lavorazioni su travi particolari, sono stati scelti una coppia di profili a C per inserire tra essi il sistema regolabile di appoggio del carico (Figura 3.9).

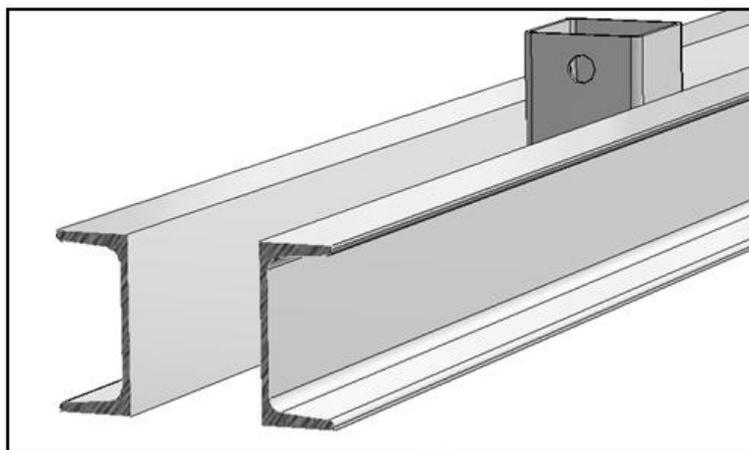


Figura 3.9 - Assemblaggio dei profili a C con il tubolare per il supporto

Da catalogo si cerca quindi un profilo che abbia almeno la metà del modulo di resistenza a flessione trovato. Viene scelto un profilo UNP 140 UNI 5680-73 con  $W_f = 62,5 \text{ cm}^3$ . Nonostante la somma dei due moduli non risulti superiore a quello ammissibile si è

seguita questa scelta per motivi di ingombro e prevalentemente per alleggerire la struttura in quanto deve essere spostata dagli operai che non sempre potrebbero disporre di un sollevatore meccanico come ausilio. Nelle sezioni successive, la struttura verrà controllata da un programma di analisi strutturale per verificare la scelta. La coppia di travi è unita da profili quadri 112x112x5, due lamiere posizionate, come in figura 3.9, per una superficie saldata maggiore e due filoni opposti per permettere di agganciare la trave ad un sollevatore per semplificare lo spostamento.

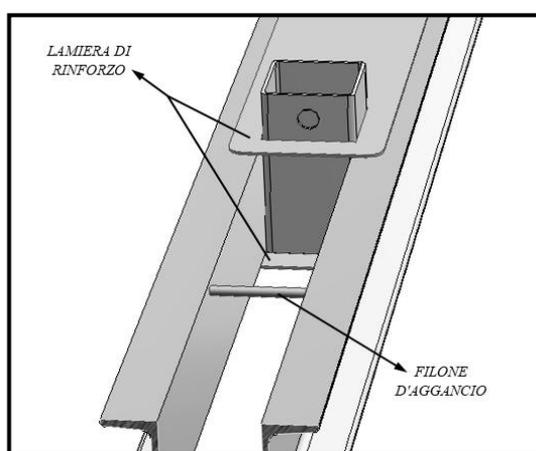


Figura 3.10 - Assemblaggio di elementi di minori per migliorare la struttura

Gli appoggi sono realizzati attraverso tubolari quadri 100x100x6 che scorrono all'interno dei profili quadri in figura 3.9 e possono essere bloccati con l'uso di una maniglia a scatto che può spingere un perno in una serie di fori equidistanti, ricavati per vincolare i due

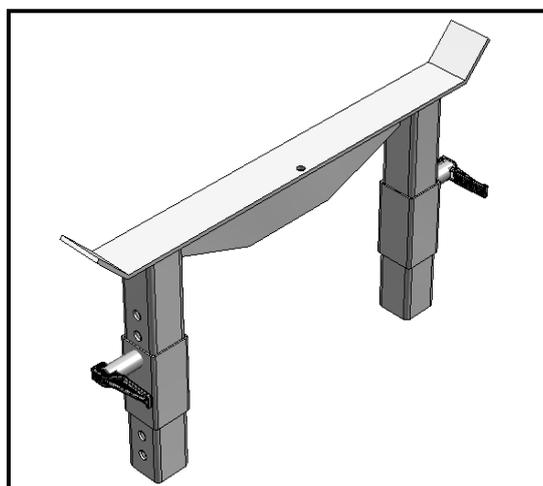


Figura 3.11 - Sistema di movimento della trave a T supporto

tubolari, l'uno con l'altro. Sopra questi tubolari è stata applicata una trave saldata a T che li collega, per favorire l'appoggio dei longheroni di un telaio. Questa presenta le estremità piegate per favorire il posizionamento del carico. Di seguito si trova il dimensionamento di tale trave nella condizione più gravosa.

Il calcolo viene eseguito applicando una peso al centro pari a 5000 kg al centro come rappresentato in figura 3.12 che genera una forza  $F$  e due reazioni vincolari  $R$  negli appoggi 1 e 2, simulando l'appoggio di un telaio che, al contrario della maggioranza dei mezzi, presenta un unico longherone centrale, che permette a quel tipo di rimorchio di allungarsi.

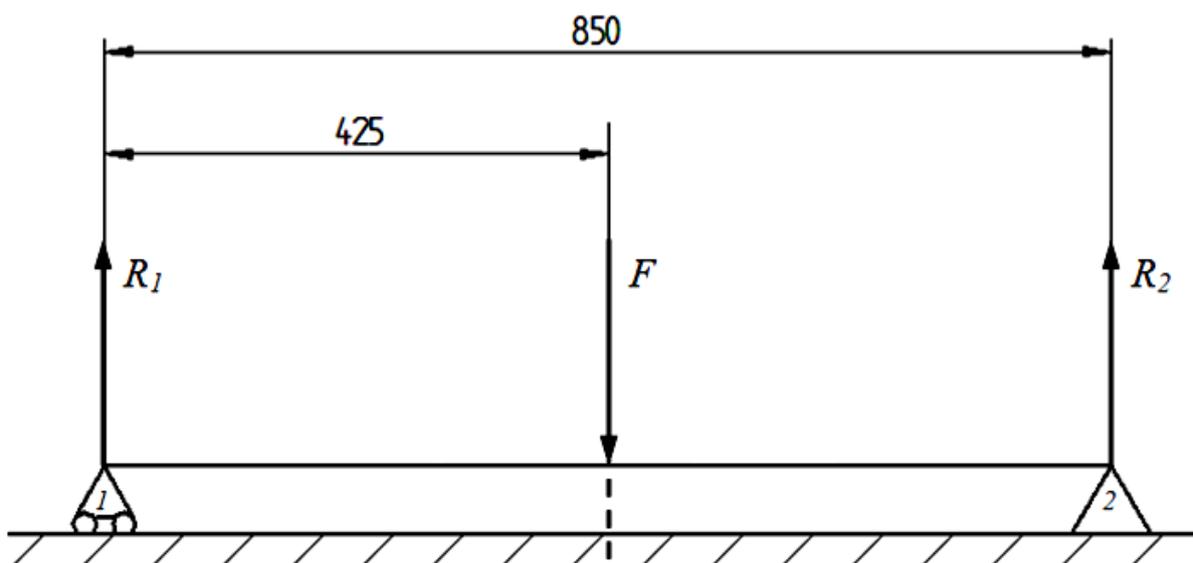


Figura 3.12 - Schema delle forze agenti sulla trave a T a pieno carico

- *calcolo delle reazioni vincolari:*

$$F = P \cdot g = 5000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 49050 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad -F + R_1 + R_2 = 0 \quad R_1 + R_2 = F = 49050 \text{ N}$$

$$\sum M_1 = 0 \quad -F \cdot 0,425 \text{ m} + R_2 \cdot 0,850 \text{ m} = 0$$

$$R_2 = \frac{49050 \text{ N} \cdot 0,425 \text{ m}}{0,850 \text{ m}} = 24525 \text{ N} \quad R_1 = R_2$$

- *calcolo del momento flettente massimo:*

Punto A.  $R_1 \cdot 0,425 \text{ m} = 24525 \text{ N} \cdot 0,425 \text{ m} = 10423 \text{ Nm}$

Punto B.  $-(-R_2 \cdot 0,425 \text{ m}) = -(-24525 \text{ N} \cdot 0,425 \text{ m}) = 10423 \text{ Nm}$

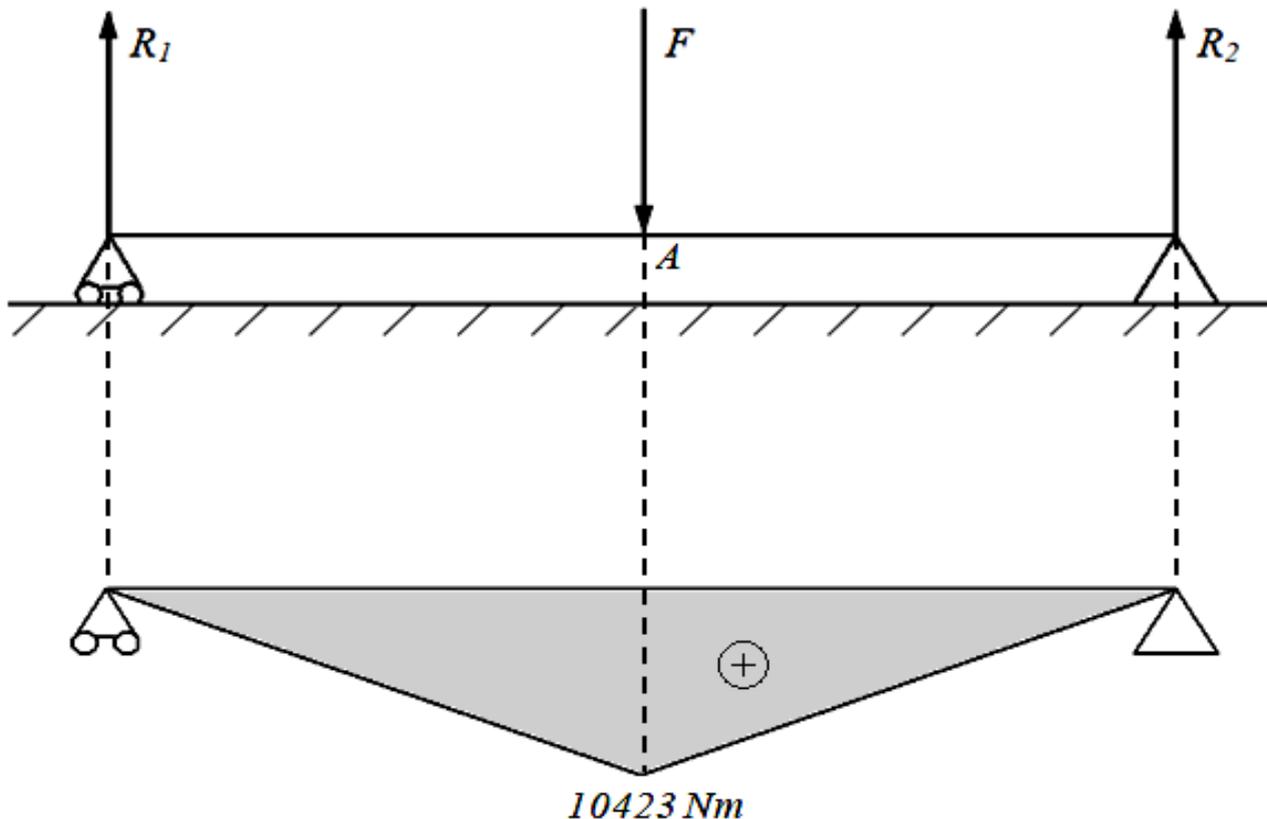


Figura 3.13 - Grafico del momento flettente con A il punto su cui agisce la forza F

Come mostrato in figura, il momento flettente massimo è 10423 Nm.

- *calcolo del modulo di resistenza a flessione:*

$$W_{fmin} = \frac{M_f}{\sigma_f} = \frac{10423000 \text{ Nmm}}{157 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 66400 \text{ mm}^3$$

$$W_f > 66,4 \text{ cm}^3$$

Si realizza ora un profilo a T nel sostegno e si verifica che abbia un modulo di resistenza a flessione maggiore di quello ammissibile.(Fig. 3.14)

- *calcolo della distanza massima dall'asse neutro:*

$$b = b_1 + b_2 = 55 + 55 = 110 \text{ mm}$$

$$d_{max} = \frac{1}{2} \frac{BH^2 + bh^2}{BH + bh} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10 \cdot 150^2 + 110 \cdot 10^2}{10 \cdot 150 + 110 \cdot 10} = 45,4 \text{ mm}$$

- *calcolo della momento d'inerzia rispetto all'asse y:*

$$I_y = \frac{BH^3 + bh^3}{3} - (BH + bh)d_{max}^2 =$$

$$= \frac{10 \cdot 150^3 + 110 \cdot 10^3}{3} - (10 \cdot 150 + 110 \cdot 10) \cdot 45,4^2 =$$

$$= 5927650 \text{ mm}^4$$

- *calcolo del modulo di resistenza a flessione:*

$$W_f = \frac{I_y}{d_{max}} = \frac{5927650 \text{ mm}^4}{45,4 \text{ mm}} = 130500 \text{ mm}^3$$

$$W_f = 130,5 \text{ cm}^3$$

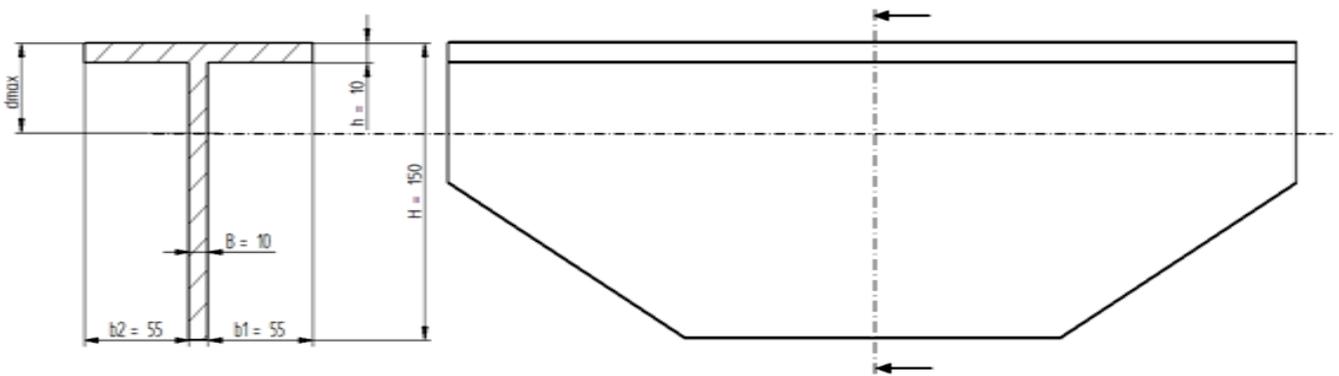
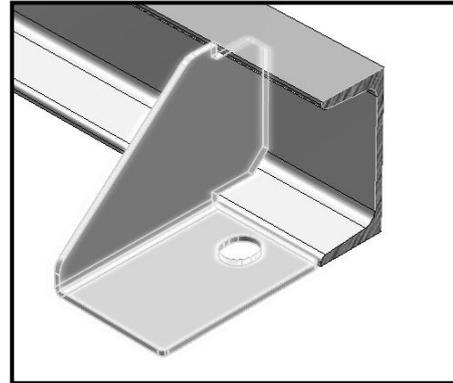


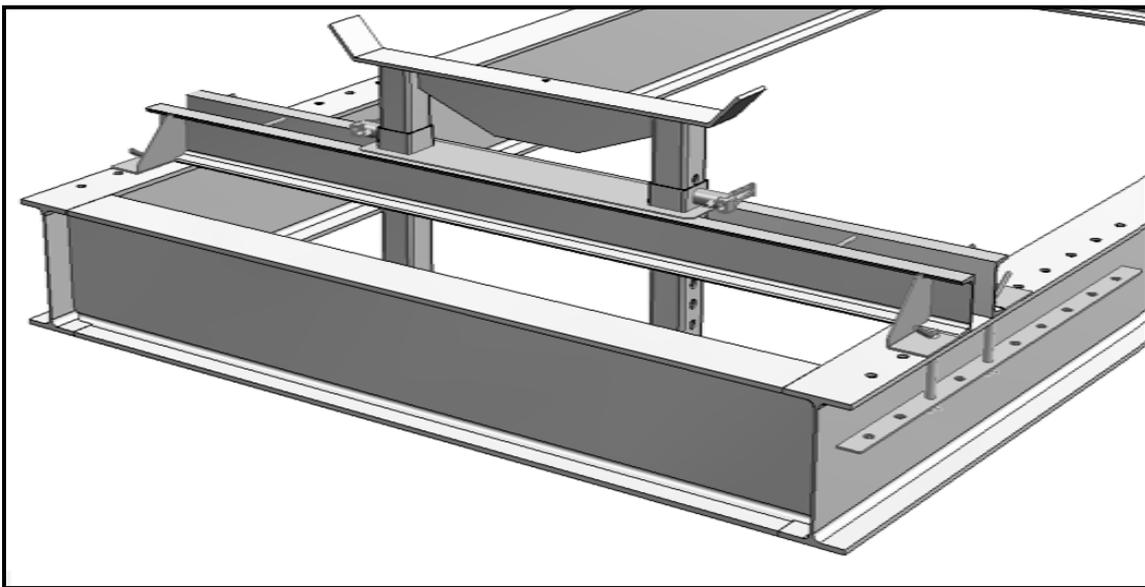
Figura 3.14 - Profili della trave a T dell'appoggio dei teali

Il profilo realizzato è idoneo a sostenere il peso a cui sarà sottoposto. La diminuzione di momento permette di ricavare un profilo trapezoidale dato che al diminuire del momento, diminuisce anche la sezione resistente necessaria a sopportare il carico.

Per permettere il movimento orizzontale, l'assieme visto in precedenza, viene dotata di due alette forate che sono saldata sulla trave come in figura 3.15. In questo modo, è possibile vincolare il sistema studiato con l'uso di perni, forando opportunamente in serie la trave a doppio T, su cui va a poggiare, definendo le posizioni in cui si può trovare il sostegno. Al doppio T viene inoltre saldata una lamiera forata come la trave soprastante per evitare movimenti nei perni che verranno inseriti.



**Figura 3.15 - Assemblaggio dell'aletta su cui andrà inserito il perno per bloccare il sistema**



**Figura 3.16 - Assieme finale del sistema di appoggio del carico**

### 3.4. *Movimentazione*

La movimentazione avviene per mezzo di ruote, due azionabili e due folli. Le due azionabili sono dispositivi, definiti sul mercato come moto-ruote, azionati elettricamente che possono o meno permettere la sterzata a seconda delle esigenze.

Data la differenza nella progettazione delle due coppie di ruote, verranno analizzate in due paragrafi distinti.

#### ❖ *Moto-ruote:*

Questo dispositivo è composto da una ruota dotata di un motoriduttore dedicato alla rotazione di essa e, se richiesto, anche di un secondo motoriduttore per la sterzata. Le ruote sono solitamente in gomma piena o vulcanizzata e permettono manovre particolari in quanto è possibile programmarle in modo che agiscano indipendentemente l'una dall'altra.

La scelta è ricaduta su questa soluzione per:

- la programmabilità e che porta anche alla possibilità di comandare da remoto il mezzo;
- la compattezza.

Infatti essendo i motori collegati in modo diretto sia alla sterzata e alla ruota questo permette di avere tutti gli elementi utili in un volume molto ridotto è che sarebbe comunque già occupato da sostegni per le ruote, se non si usasse questa soluzione.

Per lo studio di queste moto-ruote,

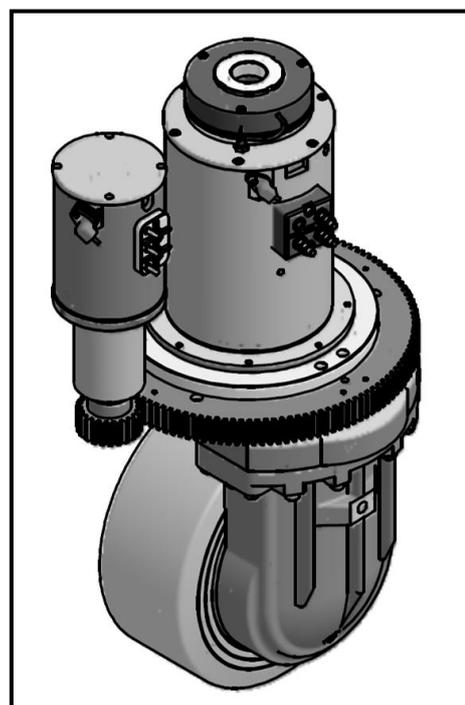


Figura 3.17 - Ruota WR 350S

ci si è affidato ad un'azienda, tale Metalrota s.r.l. di Modena, produttrice, oltre che delle suddette ruote, anche di differenziali, motori elettrici e motoriduttori.

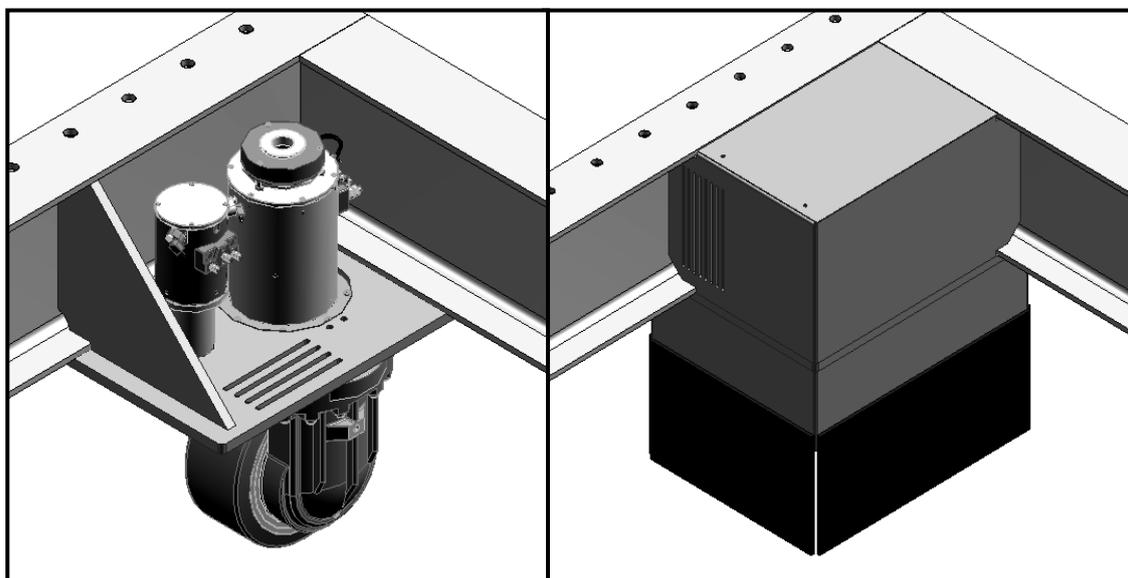
I venditori non si occupano di programmare i sistemi di controllo e dei sistemi di alimentazione ci hanno pertanto indirizzato verso una seconda azienda, Elektrosistem s.r.l., che lavora nell'ambito della programmazione per la gestione di sistemi elettronici. Quest'azienda fornisce una piastra con installato l'intero sistema di controllo, il pacco batterie e la stazione di ricariche di queste ultime.

Di seguito sono riportate alcune specifiche delle moto-ruote scelte, in base alle esigenze richieste.

<b><i>Specifiche Richieste Per Ruota</i></b>	
Peso del veicolo	1000 kg
Peso del carico trasportato	4000 kg
Velocità massima in piano senza carico	5 km/h
Accelerazione in piano senza carico	- m/s <sup>2</sup>
Velocità massima a pieno carico	5 km/h
Accelerazione a pieno carico	- m/s <sup>2</sup>
Pendenza massima superabile	5 %
Diametro ruota	350 mm
<b><i>Specifiche Risultanti E Fornite Per Ruota</i></b>	
Rendimento riduttore	0,8
Rapporto di riduzione <sup>1</sup>	1: 25
Rapporto di riduzione <sup>2</sup>	1: 25
Coefficiente di attrito volvente	0,02
Coefficiente di attrito volvente alla partenza	0,02
Coppia resistente alla ruota a vuoto	43 Nm
Potenza necessaria al motore a vuoto	341 W
Coppia resistente alla ruota a pieno carico	215 Nm
Potenza necessaria al motore a pieno carico	1703 W
Coppia resistente alla ruota in accelerazione a pieno carico	761 Nm
Potenza necessaria al motore in accelerazione a pieno carico	6043 W

I valori di accelerazioni non sono stati dato che non ci sono particolare condizione che devono essere soddisfatte.

La moto-ruota viene collegata ad una piastra fornita dai produttori in cui vengono fissati i due motoriduttori e la ruota. Il complessivo della ruota viene poi installato ad un angolo del telaio, saldando la piastra e rinforzandola con una nervatura (Figura 3.17). In questo modo si risparmia lo spazio che verrebbe occupato da una traversa che necessita la ruota nelle immediate vicinanze per evitare torsioni.



**Figura 3.18 - Assemblaggio moto-ruota**

**Figura 3.19 - Assemblaggio protezioni**

Per difendere l'assieme dalle vernici a cui verrà esposto, è stata realizzata una carrozzeria per proteggere i motori e i vari connettori, dotata di prese d'aria per ridurre possibili problemi di surriscaldamento (Figura 3.18). Anche la ruota è protetta per una parte da una carrozzeria che verrà saldata come la precedente alla piastra ed la restante parte libera verrà protetta da una rete gommata che può quindi coprire la ruota, piegandosi in caso di problemi al manto stradale su cui verrà usato. Questa verrà rivettata alle lamiere

di copertura. Alla fine di questa sezione è riportata la scheda tecnica della moto-ruota scelta, riportata in figura 3.17.

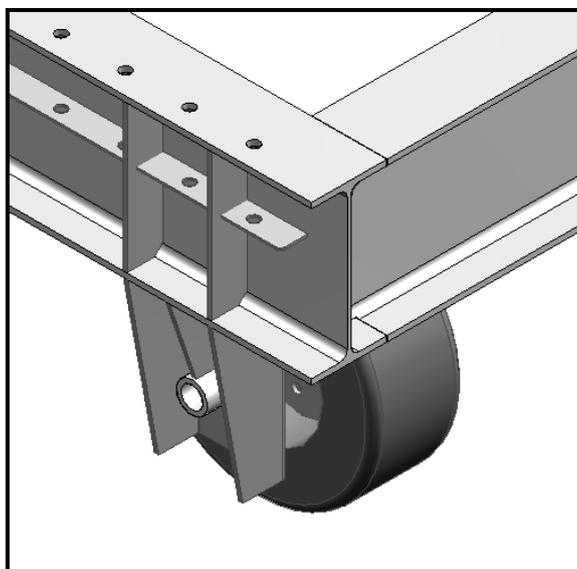
Come già detto in precedenza, le moto-ruote sono comandate da un sistema elettronico e alimentate da un pacco batterie. Queste sono inserite all'interno dell'assieme nella parte posteriore del carrello e anch'esse protette da una carrozzeria fornita di feritoie per favorire la fuoriuscita di calore. Sono poste al di sotto del doppio T poiché non risultano d'ingombro in quella posizione.

Attraverso il preventivo non è possibile ottenere le dimensioni della piastra che ospiterà l'elettronica ma questa verrà inserita e protetta tra le ali del doppio T sopra le batterie o, anteriormente, vicino alle moto-ruote.

#### ❖ *Ruote folli:*

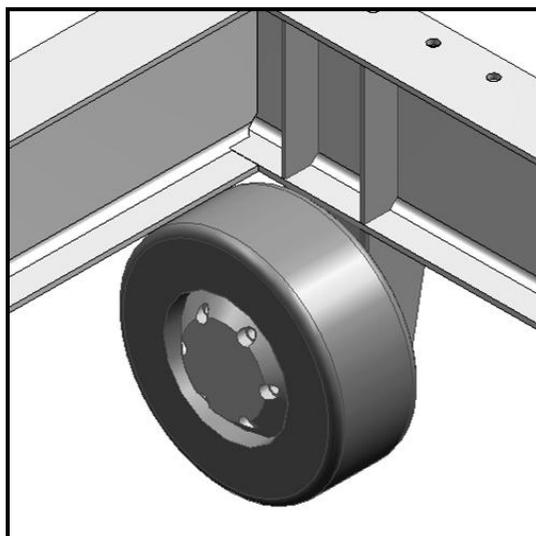
Per inserire le due ruote folli nel progetto si è pensato di utilizzare un semiasse per ciascuna invece di un solo asse che porterebbe ingombro. Per i semiassi è stata contattata un'impresa che concentra la sua produzione su questo prodotto, A.D.R. S.p.A..

Si è dovuto di conseguenza realizzare una struttura di lamiera piegate e saldate per realizzare un punto di maggiore resistenza, in



**Figura 3.20 - Strutture realizzata per l'installazione delle ruote folli**

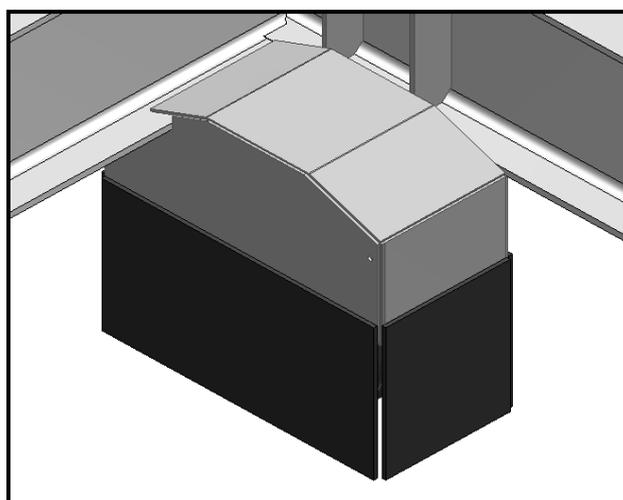
cui inserire il mozzo del semiassie. In seguito questa struttura verrà analizzata da un programma di analisi strutturale. (Figura 3.20)



**Figura 3.21 - Assemblaggio della ruota folle**

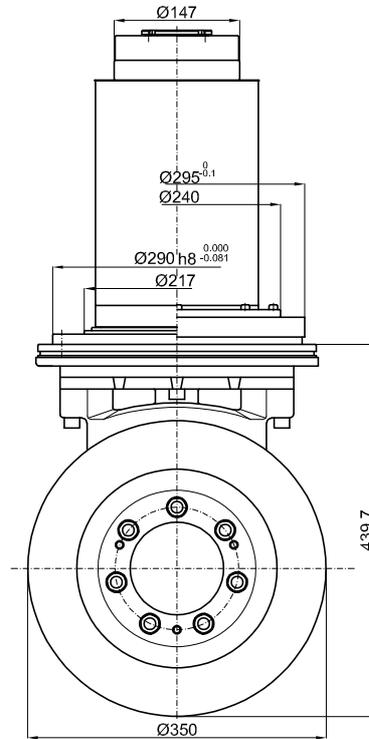
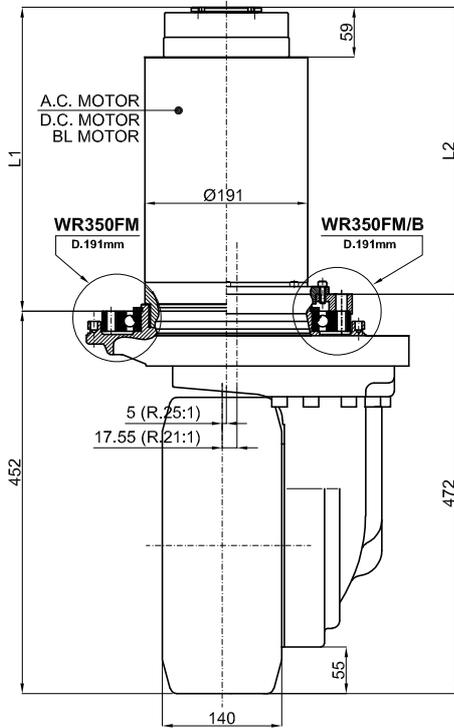
Le ruote folli sono procurate da un'ulteriore fornitore, Intergomma S.p.a.. Queste hanno il medesimo rivestimento in gomma vulcanizzata ma non è stato possibile reperirle con le stesse dimensioni. La nuova ruota è infatti 533x203 mentre la moto-ruota è 350x140. Nonostante la differenza di diametro, la posizione della ruota permette un inserimento di questa ancora agevole anche se al montaggio verrà asportata una parte di trave che potrebbe strisciare sulla gomma. (Figura 3.21)

Come le moto-ruote, anche queste appena viste sono protette da lamiera e gomma per proteggerle dall'ambiente di lavoro.

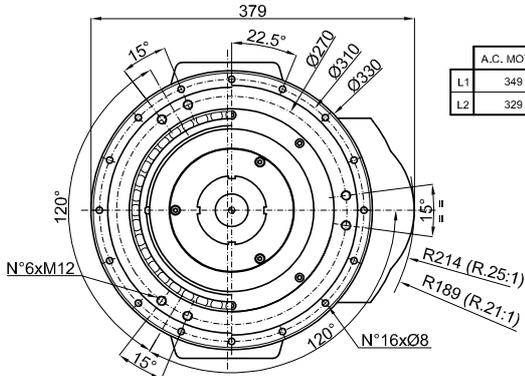


**Figura 3.22 - Carrozzeria per la protezione delle ruote folli**

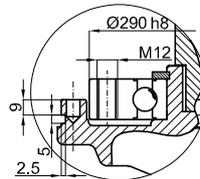
# WR350 Motor Ø191mm



**WR350FM-D.191mm**



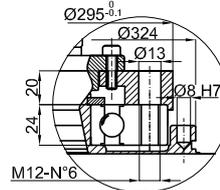
	A.C. MOTOR	D.C. MOTOR	BL MOTOR
L1	349	359	-
L2	329	339	306



- Motor integral with the gear box

- Motore solidale al riduttore

**WR350FM/B-D.191mm**



- Motor integral with the slewing bearing

- Motore solidale alla ralla di rotazione

## TECHNICAL DATAS – DATI TECNICI

	A.C. MOTOR D.C. MOTOR BL MOTOR	
<b>POWER - POTENZA</b>	<b>W</b>	<b>3000 ÷ 5000</b>
<b>VOLTAGE - TENSIONE</b>	<b>V</b>	<b>24 ÷ 96</b>
<b>GEAR RATIO – RAPPORTO DI RIDUZIONE</b>	<b>i</b>	<b>21:1 - 25:1</b>
<b>WHEEL - RUOTA</b>	<b>mm</b>	<b>Ø350x140</b>
<b>MAX WHEEL TORQUE – COPPIA MASSIMA ALLA RUOTA</b>	<b>Nm</b>	<b>2200</b>
<b>MAX WHEEL LOAD – CARICO MASSIMO SULLA RUOTA</b>	<b>kg</b>	-
		rubber – gomma
		polyurethan – poliuretano
		vulkollan – vulkollan
<b>BRAKE TORQUE – COPPIA FRENO</b>	<b>Nm</b>	<b>40</b>
<b>WEIGHT - PESO</b>	<b>kg</b>	<b>142 ÷ 167</b>

### ***3.5 Analisi strutturale***

Per verificare la correttezza dei calcoli viene usato un programma di analisi strutturale "Ansys" in cui viene inserito il 3D, vincolata la struttura e inserite le forze applicate. Questo permette di verificare gli stati tensionali, le deformazioni e il grado di sicurezza nei vari punti.

Per procedere con la verifica è richiesto di definire un materiale, nel nostro caso è stato scelto S235. Questo acciaio è il meno resistente presente nel database del programma e nei magazzini pertanto se le verifiche saranno soddisfatte o risulteranno al limite per questo materiale, sarà rara la necessità di effettuare nuove verifiche se verranno utilizzati acciai diversi.

Di seguito sono riportati i risultati dei test che sono stati eseguiti sui tubolari d'appoggio e sull'intera struttura per principalmente valutare lo sforzo sui sistemi di supporto delle ruote. Le immagini riportano la distribuzione di gradi di sicurezza.

I risultati riportano le deformazioni amplificate di 50 volte, per renderle apprezzabili all'occhio.

Il sostegno per la ruota folle presenta un piatto circolare fittizio che aiuta il programma a originare un vincolo.

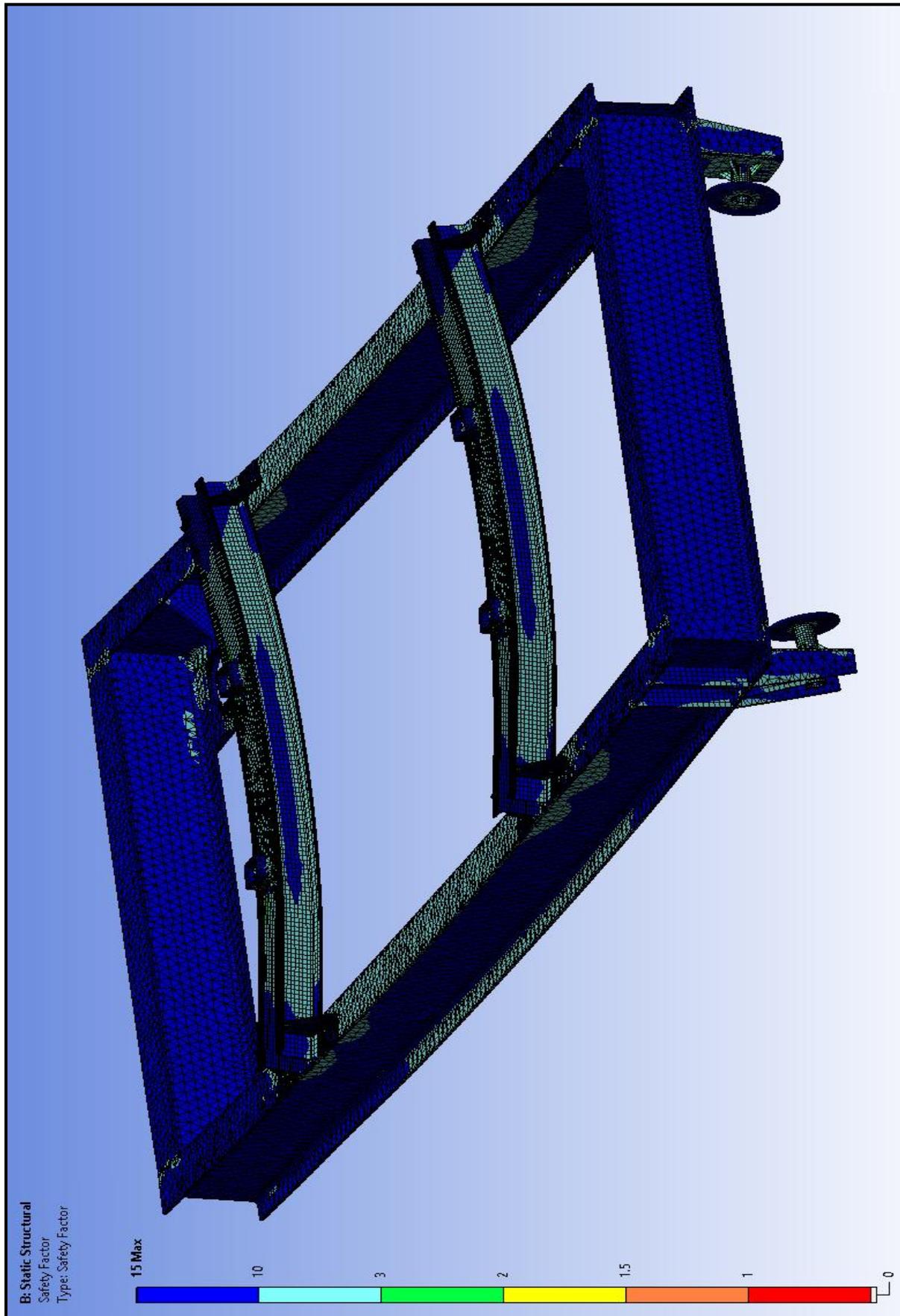


Figura 3.23 - Verifica del coefficiente di sicurezza sul telaio su Ansys

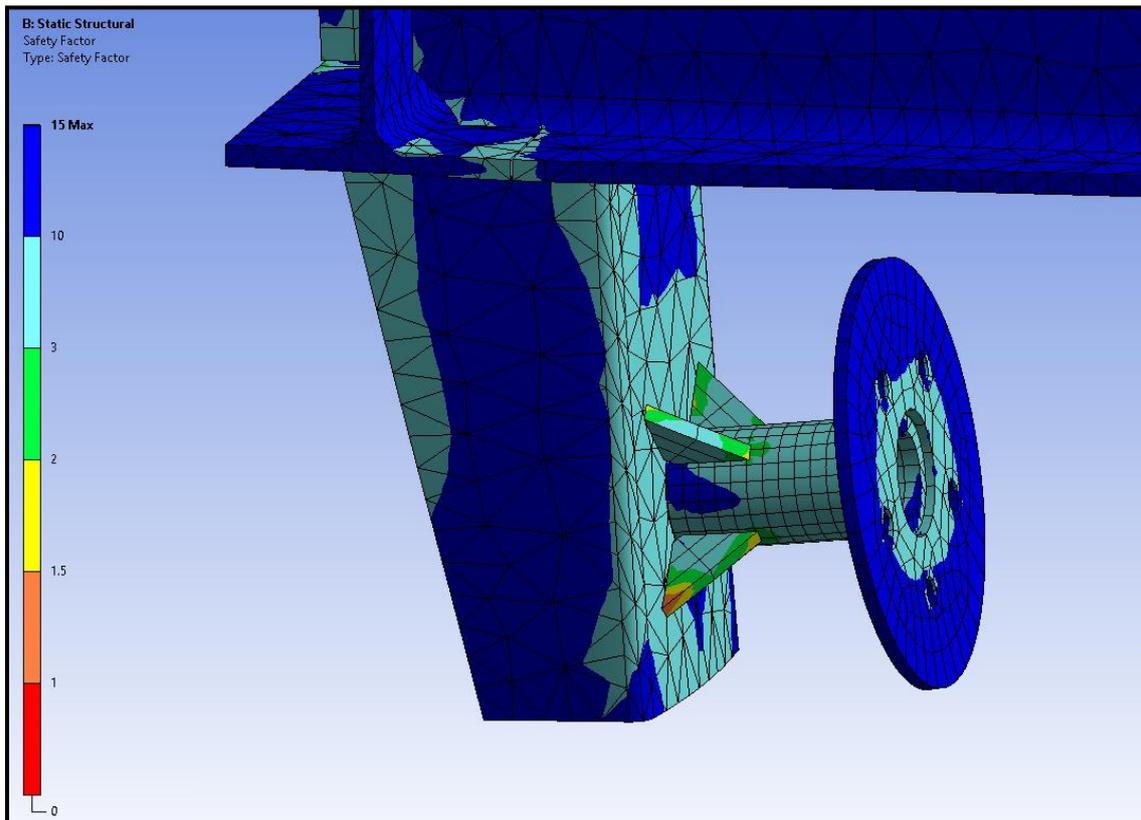


Figura 3.21 - Verifica del coefficiente di sicurezza sul sostegno della ruota folle

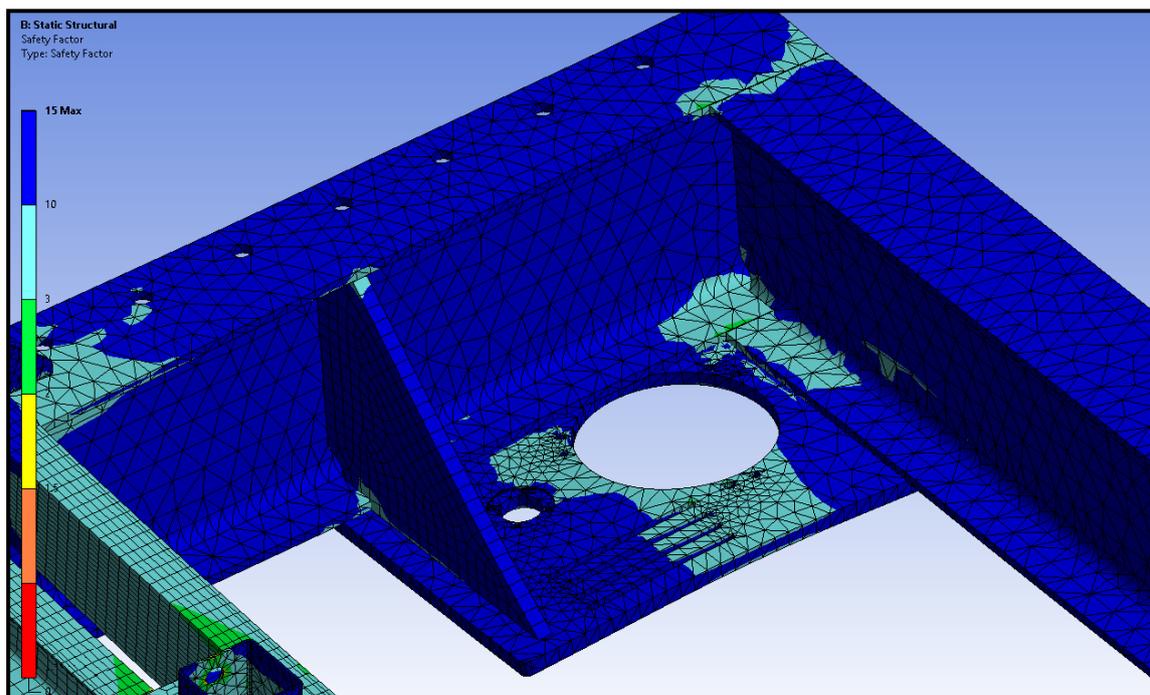


Figura 3.22 - Verifica del sostegno della moto-ruota

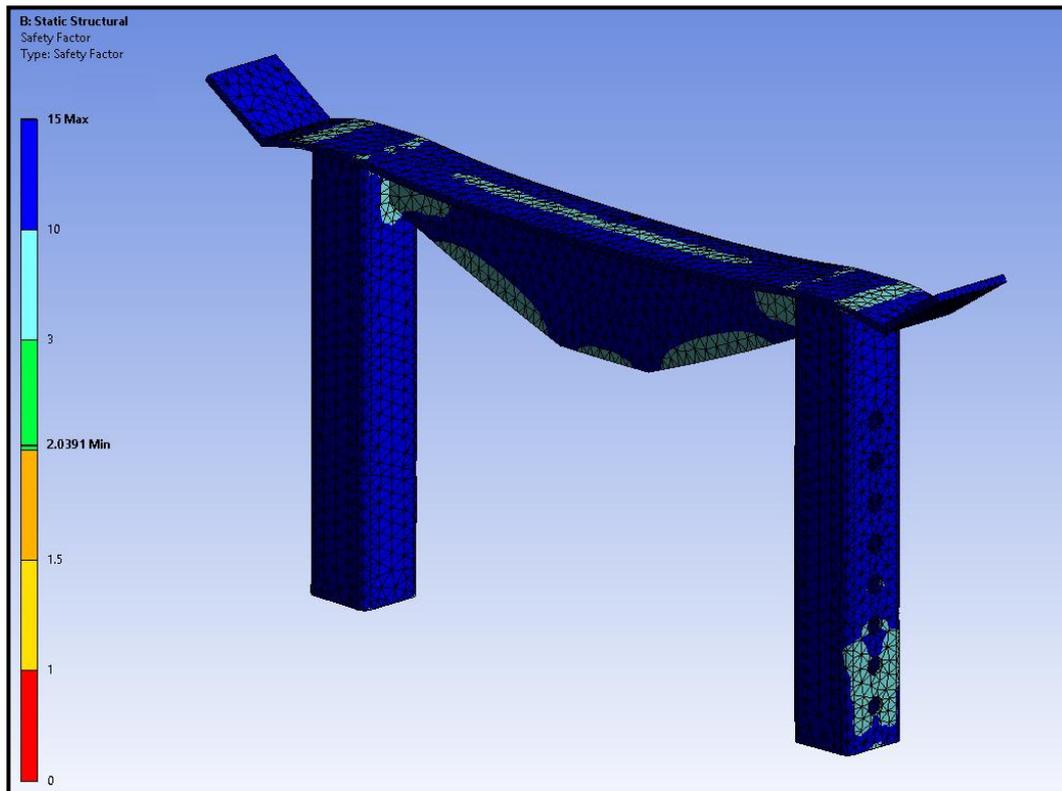


Figura 3.23 - Verifica del coefficiente di sicurezza sulla trave a T e tubolare

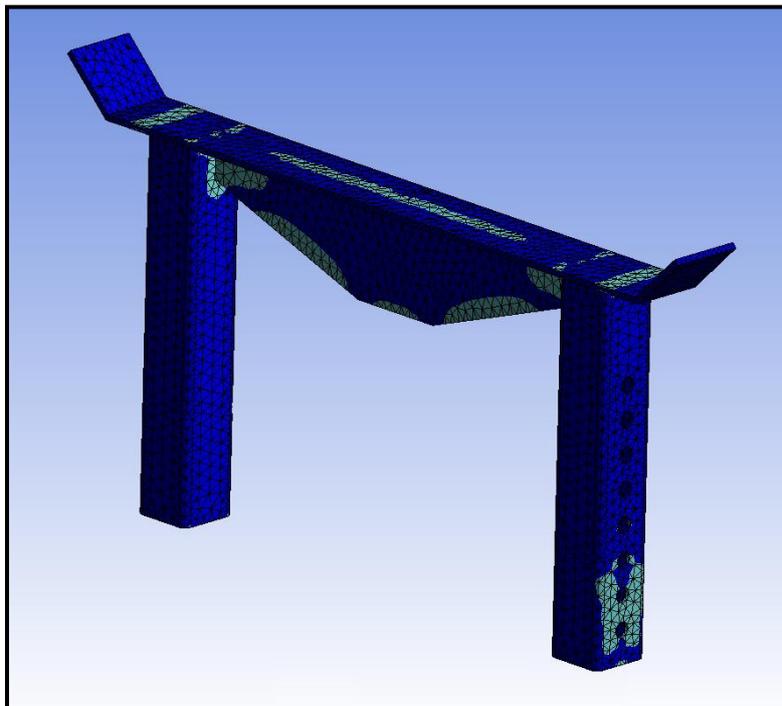
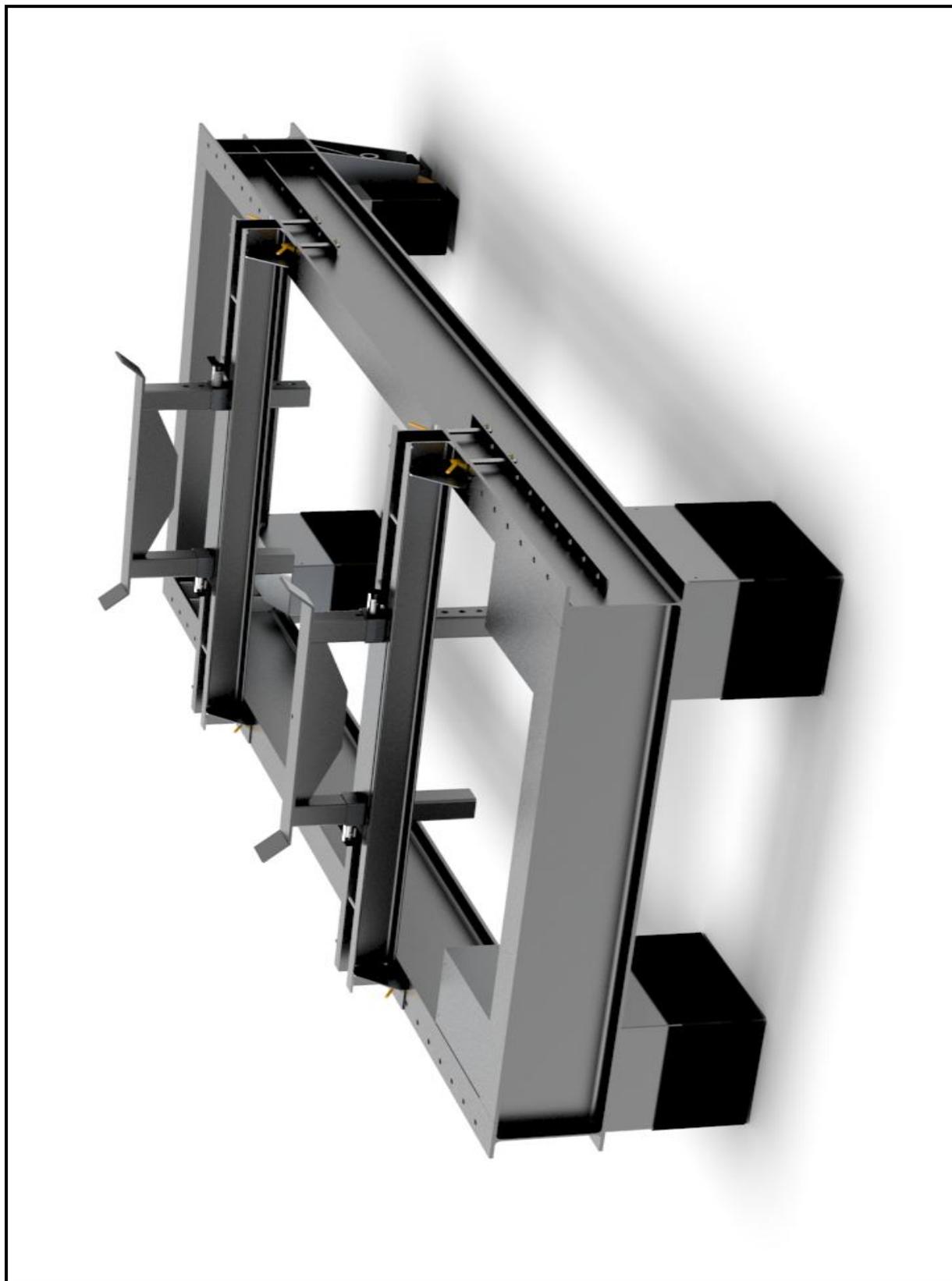


Figura 3.23 - Trave a T e tubolare con deformazioni reali

La struttura risulta più che in sicurezza. Si può definire pertanto concluso il primo prototipo del carrello semovente.





## Capitolo 4

# FATTIBILITÀ ECONOMICA

### *7.1. Valutazione dei costi*

I costi si dividono in costi di esecuzione del progetto e costi cessanti ovvero quei costi che cesseranno di essere o diminuiranno se, alla fine della valutazione economica, si sceglierà di seguire questo progetto. I primi sono stati valutati attraverso i preventivi ottenuti o da stime basate su uno storico dell'azienda, quando non è stato possibile reperire un valore preciso. I secondi sono calcolati, nella maggior parte dei casi, con la misurazione effettiva dei tempi di lavoro attuali, e nei restanti casi sono stati stimati.

Nelle tabelle non sono presenti costi di manutenzione in quanto ora è usata una motrice diversa per muovere i rimorchi con le ruote montate. Questa motrice non sarebbe pertanto più necessaria e la sua eliminazione permette di sopporre i costi che comporta questa macchina uguali a quelli che comporterà il carrello semovente.

**DATI DI STUDIO**

<b>VEICOLI PRODOTTI AL MESE*</b> <sup>1</sup>	15 mezzi/mese	<b>PESO PROFILI UNIFICATI*</b> <sup>3</sup>	1.015 kg
<b>VEICOLI IN MANUTENZIONE*</b> <sup>2</sup>	4 mezzi/mese	<b>PESO LAMIERE*</b> <sup>3</sup>	400 kg
<b>COSTO ORARIO</b>	35 €/h	<b>VEICOLI DA AGGIORNARE*</b> <sup>4</sup>	150
<b>COSTO VERNICE AL m<sup>2</sup></b>	3 €/m <sup>2</sup>	<b>VITA UTILE SEMOVENTE</b>	15 anni
<b>ORE IN UN MESE</b>	160 h	/	/

\*<sup>1</sup>: media basata sullo storico dell'azienda;

\*<sup>2</sup>: stima dei veicoli in manutenzione;

\*<sup>3</sup>: misura ottenuta dal 3D del prototipo;

\*<sup>4</sup>: modelli di veicoli progettati dal 01/01/2015.

### ❖ *Costi di esecuzione:*

I costi dovuti all'esecuzione dell'intero progetto sono divisi a loro volta in due categorie:

- *Costi d'investimento:* costi di realizzazione del semovente.

Queste spese sono da effettuare solo la prima volta.

<b>COSTI D'INVESTIMENTO</b>	<b>VALORE</b>	<b>VALORE ECONOMICO</b>
<b>ORE</b>	h	
PROGETTAZIONE	80	2.800 €
COSTRUZIONE* <sup>5</sup>	80	2.800 €
<b>MATERIALI</b>	€/kg	
PROFILI UNIFICATI	2	2.030 €
LAMIERE	4	1.600 €
ACCESSORI	/	200 €
<b>COMPONENTI</b>	€/cad.	
MOTO-RUOTE	3900	7.800 €
ELETTRONICA* <sup>6</sup>	/	7.800 €
RUOTE FOLLI	225	450 €
SEMIASSI	55	110 €
<b>CERTIFICAZIONI*</b> <sup>7</sup>	/	2.000 €
<b>MARGINE DI SICUREZZA</b>	1,1	/
<b>TOTALE</b>		27.590 €
<b>TOTALE CON MARGINE</b>		30.349 €

\*<sup>5</sup>: ore comprensive di montaggio dei componenti;

\*<sup>6</sup>: dati dal preventivo riguardante l'installazione e la fornitura dei sistemi di controllo delle moto-ruote;

\*<sup>7</sup>: costo stimato comprensivo di omologazione, eventuali tasse, ecc..

- *Costi di gestione:* costi derivati dalla variazione del ciclo di progettazione che porteranno un lavoro per un periodo di tempo determinato.

	COSTI DI GESTIONE	
	VALORE	VALORE ECONOMICO
<b>ORE DI AGGIORNAMENTO*</b> <sup>8</sup>	30 h/progetto	1.050 €/progetto
<b>PROGETTI AL MESE</b>	5,33 progetti/mese	5.597 €/mese
<b>MARGINE DI SICUREZZA</b>	1,05	5.880 €/mese
<b>TEMPO NECESSARIO</b>	28,125 mesi	/
<b>COSTO TOTALE</b>		165.375 €

\*<sup>8</sup>: ore comprensive di aggiornamento dei file informatici e eventuali errori di aggiornamento riscontrati durante la produzione

### ❖ *Costi cessanti:*

I costi cessanti sono determinati dalle ore di lavoro e dai materiali che non faranno più parte del nuovo ciclo.

COSTI CESSANTI MENSILI	VALORE		VALORE ECONOMICO
<b>ORE DI LAVORO*</b> <sup>9</sup>	h	h/mese	
PER RIVESTIRE* <sup>10</sup>	2	30	1.050 €
PER TOGLIERE LE COPERTURE* <sup>10</sup>	1,5	22,5	787,50 €
PER RUOTE PER VERNICIATURA* <sup>11</sup>	0,75	11,25	393,75 €
PER AZIONI MINORI	1	15	525 €
PER MANUTENZIONE	0,15	1	35 €
<b>MATERIALI</b>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /mese	
SUPERFICIE DI VERNICIE RISPARMIATA* <sup>12</sup>	20	300	900 €
<b>TOTALE</b>			3.691,25 €

\*<sup>9</sup>: ore di lavoro medie rilevate tramite misurazione, stime e/o domande agli operatori;

\*<sup>10</sup>: applicazione e rimozione delle coperture sui componenti elettrici, pneumatici e sugli assali;

\*<sup>11</sup>: installazione e sostituzione delle ruote da verniciature che non sarebbero più necessarie;

\*<sup>12</sup>: superfici che nell'attuale ciclo va a coprire anche elementi che nel nuovo ciclo non saranno presenti come assali e i rivestimenti protettivi. La media reale è ottenuta dalle superfici ottenute da misurazioni con i file 3D dei componenti e poi dimezzata poiché i rivestimenti e le coperture non saranno mai completamente ricoperte da vernice.

## 7.2. VAN

Il VAN è valutato con il metodo del PAY-BACK su richiesta dell'azienda. Tale metodo consiste nel verificare in quanto tempo si ha un ritorno economico dovuto all'investimento iniziale. Non è una vera e propria misura della redditività dell'investimento, ma valuta la rapidità con cui si riforma la liquidità. Minore sarà il tempo di PAY-BACK, meno rischioso sarà l'investimento.

La valutazione è fatta, come l'ammortamento, su 15 anni. Non si considerano interessi sull'ammortamento in quanto si ipotizza che la fabbricazione del carrello non venga eseguita attraverso un prestito bancario. L'aliquota sul reddito è fissata al 40% e il tasso d'interesse per la valutazione della redditività risulta del 4%.

<b>COSTI CESSANTI</b> nel periodo $k$	$R_k = 3691,25 \frac{\text{€}}{\text{mese}} \cdot 12 \frac{\text{mesi}}{\text{anno}} = 44.295 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$
<b>COSTI DI GESTIONE</b> dei primi 3 anni	$C_{gest 1} = 70.560 \text{ €}$
	$C_{gest 2} = 70.560 \text{ €}$
	$C_{gest 3} = 16.380 \text{ €}$
<b>AMMORTAMENTO</b>	$A = \frac{30349 \text{ €}}{15 \text{ anni}} = 2023 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$
<b>REDDITO IMPONIBILE</b> nel periodo $k$	$R_{impk} = R_k - C_{gestk} - A$
<b>TASSE</b> nel periodo $k$	$T_k = p \cdot R_{impk}$
<b>MARGINE NETTO</b> nel periodo $k$	$D_k = R_k - C_{gestk} - T_k$
<b>FLUSSO DI CASSA</b> nel periodo $k$	$F_k = D_k - E_k$ con $E_k=0 \text{ €}$ (esborsi)
<b>VALORE ATTUALIZZATO NETTO</b>	$W_0 = \sum_{k=0}^{15} \frac{F_k}{(1+i)^k}$

ANNO	C. CESSANTI	AMMORTAMENTO	C. GESTIONE	R. IMPONIBILE	TASSE	MARG. NETTO	F. DI CASSA	VAN
0	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	-30.349 €
1	44.295 €	2023 €	-70.560 €	0 €	0 €	-28.288 €	-28.288 €	-55.604 €
2	44.295 €	2023 €	-70.560 €	0 €	0 €	-28.288 €	-28.288 €	-79.887 €
3	44.295 €	2023 €	-16.380 €	25.892 €	10.357 €	17.558 €	17.558 €	-64.287 €
4	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	-40.868 €
5	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	-18.359 €
<b>6</b>	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	<b>3.285 €</b>
7	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	24.097 €
8	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	44.108 €
9	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	63.349 €
10	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	81.850 €
11	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	99.640 €
12	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	116.745 €
13	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	133.193 €
14	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	149.007 €
<b>15</b>	44.295 €	2023 €	0 €	42.272 €	16.909 €	27.386 €	27.386 €	<b>164.214 €</b>

Figura 4.1 - Tabella dei calcoli per lo studio del VAN

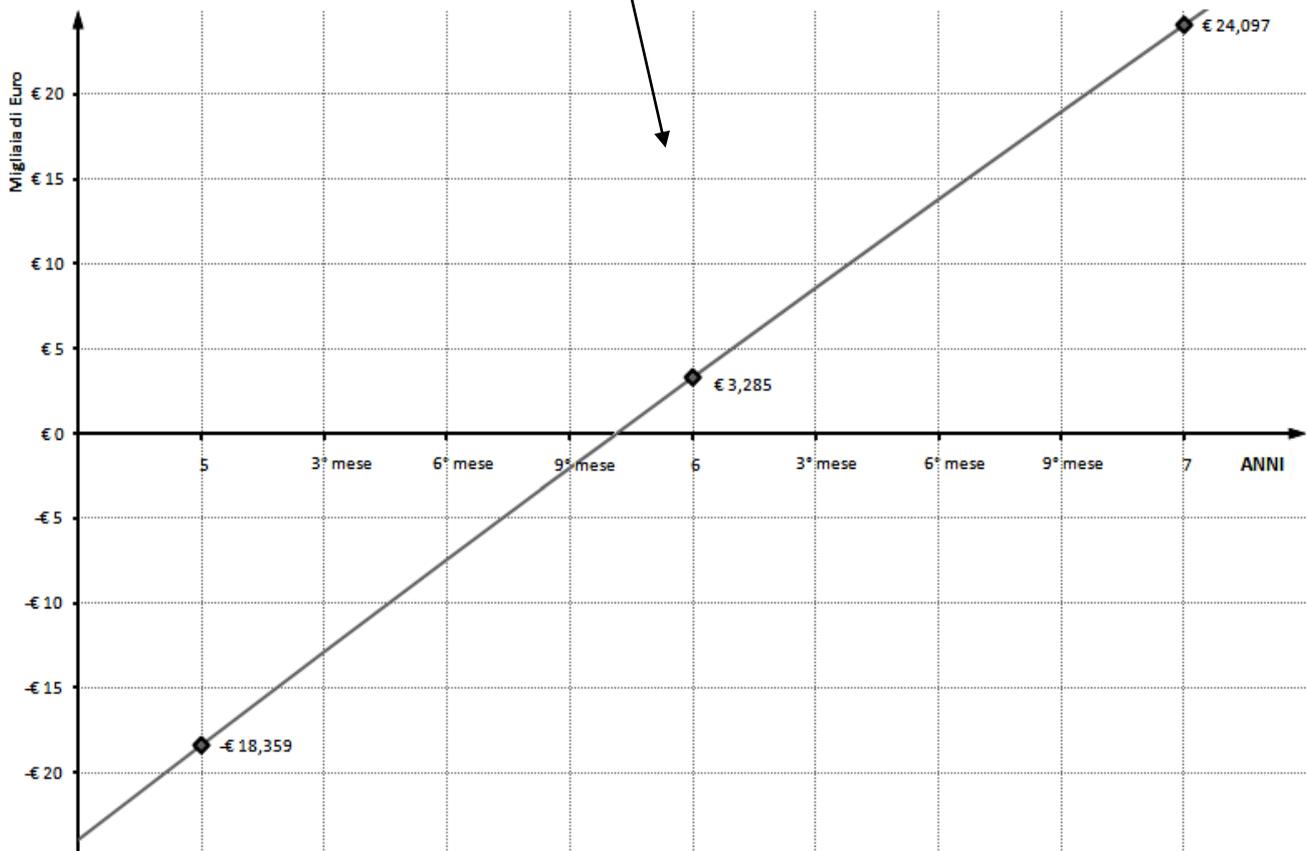
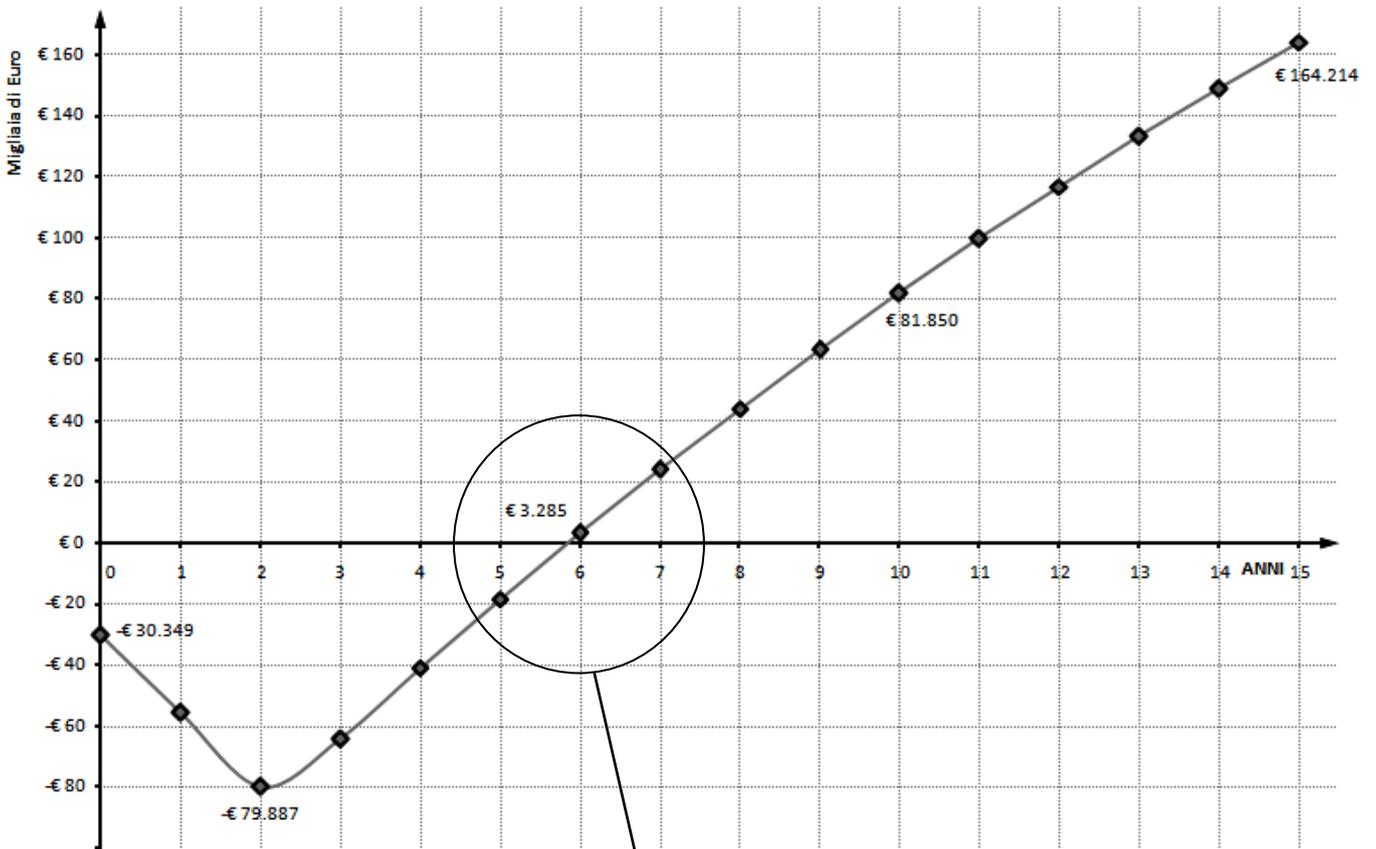


Figura 4.2 - Grafico del VAN su tutta la vita utile e particolare sul periodo in cui si ha l'inizio del ritorno economico

Come si può vedere dal grafico, dopo i primi 2 anni la perdita inizia a ridursi considerato che tra il secondo e il terzo anno viene concluso l'aggiornamento dei progetti. Per una migliore definizione del grafico, è stato rappresentato il VAN in dettaglio tra il quinto e settimo anno della valutazione.

Il ritorno economico si avrà tra il quinto e il sesto anno, attorno al 10° mese del quinto anno come si vede nel dettaglio. Alla fine della vita utile il VAN sarà pari a 164.214 €.

Considerando la vita utile del mezzo è di 15 anni, il tempo di PAY-BACK, risulta la metà della sua vita.

Con un flusso di cassa positivo di 27.386 € risparmiati all'anno è possibile pagare almeno uno stipendio medio al mese in più e si traduce nella possibilità di assumere un'ulteriore dipendente per rendere più rapide o efficienti alcune operazioni.

## CONCLUSIONI

Lo studio di questo progetto si è rivelato una sfida stimolante in quanto, oltre a toccare numerosi argomenti trattati nel corso di laurea triennale, mi ha permesso di calare le mie conoscenze all'interno di una interessante realtà produttiva del territorio.

Il prototipo finale è risultato in linea con le idee avute durante la progettazione. Il parere degli operatori che, in caso di una sua esecuzione dovranno utilizzarlo, è stato positivo e sono soddisfatti della soluzione creata.

Questo carrello semovente risulta anche un ottimo punto di partenza per trovare prodotti più efficienti nei prossimi anni, come potrebbe essere la possibilità di regolare i supporti idraulicamente con l'uso di pistoni.

La struttura sarebbe tutt'ora adatta al cambio di ordine della lavorazione ma non completamente efficiente, in quanto il percorso che dovrà seguire può essere ridotto. Questo non elimina comunque una possibilità concreta di inserimento del progetto in azienda con la

consapevolezza che attraverso la rielaborazione o ridisposizione di reparti si potrebbero portare ulteriori risparmi. I settori che sarebbe necessario spostare non possiedono impianti o macchinari fissi e la struttura fisica di tali aree, che non sono provviste di pareti ma definite da semplici linee a terra, non complicherebbero trasferimenti di attrezzi, strumentazioni e altre apparecchiature. I reparti di saldatura che dispongono di attrezzature pesanti o fisse, al contrario di altri, presenterebbero una disposizione corretta anche dopo il cambio del ciclo di lavorazione.

Lo studio di fattibilità ha infine portato alla luce la quantità di ore e di conseguenza i costi eliminabili presenti nell'attuale ciclo di lavorazione. I progetti da rielaborare sono la parte più onerosa del progetto di fattibilità. Per avere un'ulteriore margine di sicurezza non si è considerato il fatto che man mano che si riconfigurano i progetti per il nuovo ciclo, i rimorchi che ora sono i più datati diventeranno comunque obsoleti e non sarà necessario adattarli alla nuova organizzazione.

Un ritorno economico in poco meno di 7 anni è un investimento che verrà sicuramente valutato in un'azienda in continua crescita e tesa ad una costante innovazione sia nei modelli sia nei processi.

***BIBLIOGRAFIA:***

---

- Catalogo Slemensider s.n.c.,  
*"Prontuario Prodotti siderurgici"*,  
2013
- Catalogo di Metalrota s.r.l.,  
*"Drive Wheels Catalogue"*, 2017
- Arrigo Pareschi, *"Impianti  
Industriali"*, Esculapio, 2007

***SITOGRAFIA:***

---

- <http://www.deangelisrimorchi.com>



## RINGRAZIAMENTI

*Grazie* a tutti quelli che in questi 3 anni mi hanno sostenuto cercando di alleggerirmi dal peso di giorni pieni di studio.

Un primo grande *grazie* alla mia famiglia che ha sempre cercato di non farmi mai mancare niente, senza mancare neanche mai di severità e disciplina, compresi anche nonni, zii e cugini.

*Grazie* a tutti i miei amici e anche a tutti gli amici dell'Hobbies, per avermi fatto passare serate ma anche giornate piene di gioie e divertimenti.

*Grazie* speciali vanno a Andrea, Adele, Rachele e Enrico che, chi da più e chi da meno, sono tutti vicino a me da anni.

*Grazie* mille anche ai miei "colleghi", Fabio, Eugenio, Filippo, Gianluca e Christian. Un gruppo di studio con una tale dedizione, riuscirebbe a far laureare in tempo chiunque, anche se il 26 dicembre vi lascio studiare da soli.

Il *grazie* più grande va infine alla mia regina, Mariasole, perché in tutti questi anni ci siamo sempre sostenuti a vicenda,

cercando di migliorarci, affrontando problemi, dai più futili ai più difficili, senza mai cedere.

Ho studiato per 16 anni della mia vita e non smetterò mai di farlo per me, ma il mio percorso scolastico e universitario si conclude qui.

*Grazie.*