

**ALMA MATER STUDIORUM - Università di Bologna**

SECODA FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
CON SEDE A CESENA

*CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA*

in Ingegneria Meccanica classe 36/S

Sede di Forlì

TESI DI LAUREA

in Disegno Tecnico Industriale

**STUDIO DI MASSIMA DI UNA  
MACCHINA AVVOLGI  
PALLETS INNOVATIVA**

Candidato:  
Marco Poletti

Relatore:  
Prof. Ing. Luca Piancastelli

**Anno accademico 2011/2012 – Sessione II**

## *Indice*

<b>Capitolo 1 : Introduzione</b>	<b>3</b>
1.1 Premessa	3
1.2 la nuova macchina	5
1.3 modelli di avvolgitrici	5
1.4 presentazione macchine automatiche	7
<b>Capitolo 2 : Sistema carrello – svolgibobina</b>	<b>14</b>
2.1 lo svolgibobina	14
2.2 il carrello	17
2.3 problematiche e svantaggi	24
2.4 la nuova concezione	25
<b>Capitolo 3 : Il nuovo carrello</b>	<b>31</b>
3.1 karting	31
3.2 telaistica	32
3.3 materiale scocca	34
3.4 componenti kart	35
<b>Capitolo 4 : Modellazione</b>	<b>43</b>
4.1 elementi finiti	45
4.2 i vincoli	47
4.3 forze in gioco	48
4.4 applicazione forze	49
4.5 risultati ottenuti	51
<b>Capitolo 5 : Conclusioni</b>	<b>54</b>
5.1 conclusioni e sviluppi futuri	54
<i>Bibliografia</i>	<i>55</i>

# Capitolo 1

## Introduzione

### *1.1 Premessa*

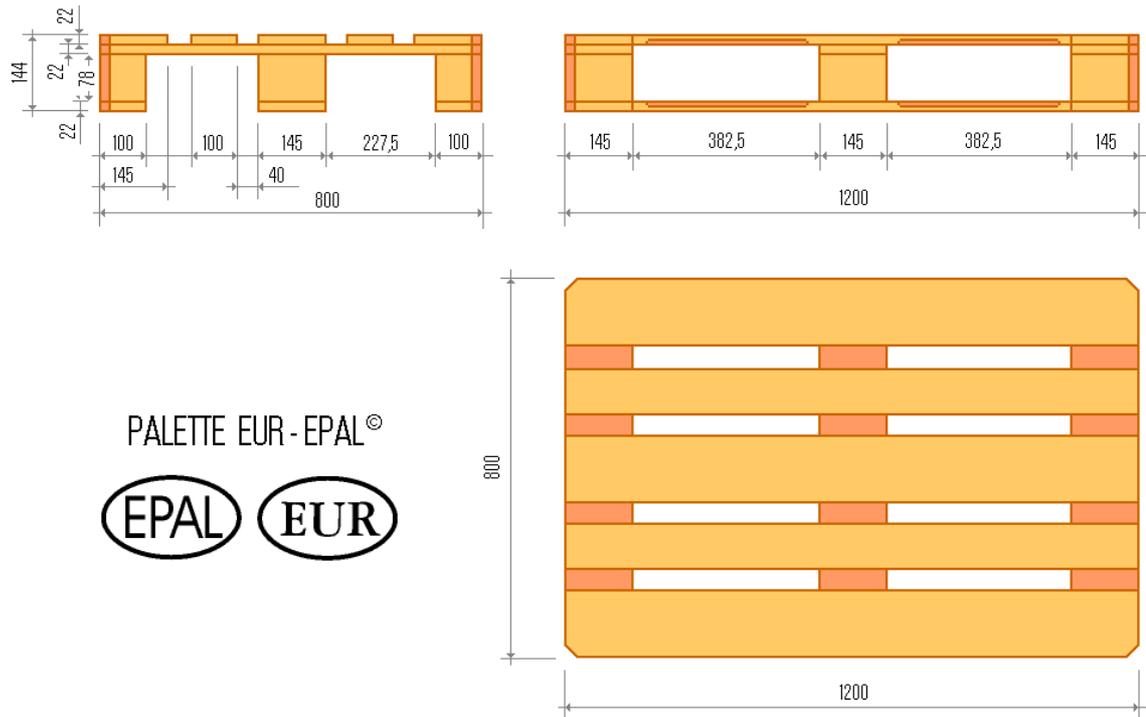
Il pallet è sicuramente l'imballaggio terziario più diffuso per lo stoccaggio, la movimentazione e la distribuzione delle merci; contribuisce a proteggere il prodotto durante il viaggio, facilitandone il trasporto e lo stoccaggio. Il pallet ha avuto, e continua ad avere, un notevole successo come unità di carico per il suo ruolo di collegamento flessibile tra imballaggio, mezzi di movimentazione e trasporto.

Da anni il mercato richiede una continua innovazione dei tipi di prodotto offerti e spesso all'interno delle unità di carico pallettizzate vengono caricate diverse tipologie di prodotto, rendendo sempre più difficile sia la protezione, sia il mantenimento della qualità degli articoli.

Inoltre le attività di gestione dei rifiuti dell'imballaggio, che comprendono la raccolta, il trasporto, il recupero e lo smaltimento, sono diventate un criterio per la progettazione e la fabbricazione degli imballaggi stessi.

Quindi i macchinari che realizzano l'imballaggio finale, costituito dal pallet, dal carico e dal film estensibile che li avvolge, devono tenere conto di numerosi fattori:

- \_compatibilità con i sistemi di stoccaggio, di trasporto e di handling;
- \_compatibilità con le caratteristiche dei prodotti e degli imballaggi secondari;
- \_compatibilità con le operazioni di picking;
- \_riduzione della quantità e della nocività dei materiali da imballaggio.

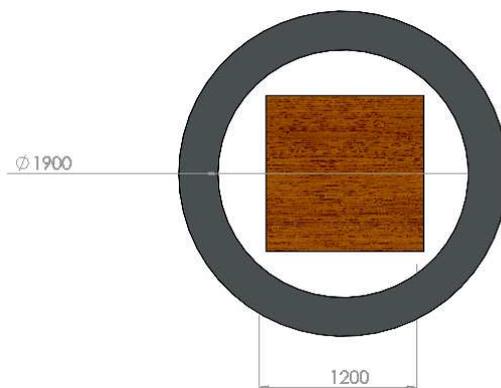


**Tabella con le tipiche dimensioni del pallet in particolare dell' EPAL**

## 1.2 La nuova macchina

Lo scopo di questa tesi è la progettazione di un carrello innovativo con ruolo determinante nella funzione avvolgente della macchina. Il progetto prende spunto da una tipologia di macchina automatica già esistente, costituita da una guida circolare percorsa da un carrello svolgibobina che assicura l'imballaggio del pallet..

La peculiarità di questa macchina è lo svolgimento del lavoro attraverso l'ausilio di un *carrello innovativo* in grado di garantire una velocità di rotazione pari a **60 rpm** e l'impacchettamento di pallets delle dimensioni di 1200x1200mm.



La difficoltà della realizzazione del carrello è soprattutto quella di garantire le alte velocità di rotazione in modo tale da avere un imballaggio estremamente performante per quanto riguarda i tempi; il problema fondamentale conseguente all'alta velocità è quello della resistenza meccanica del telaio del carrello e della

sua progettazione strutturale, in quanto le masse coinvolte nella rotazione, e di conseguenza soggette ad accelerazione e forza centrifuga, sono considerevoli.

Partendo quindi dai dati relativi alle forze in gioco, che in seguito analizzerò in dettaglio, è possibile quindi costruire, mediante l'ausilio del programma di disegno tridimensionale "SolidWorks11" e dell'applicazione "Simulation", un modello semplificato che mi permette di ottenere uno studio completo per quanto riguarda l'ingombro complessivo e la resistenza del materiale.

Tutte queste verifiche risultano di fondamentale importanza al fine di constatare la reale fattibilità di questo progetto.

### ***1.3 Modelli di Avvolgitrici***

Nel corso degli anni, con l'aumento di produzione e di esperienza nel campo, le aziende che si occupano di fornire macchinari atti all'imballaggio pallet hanno studiato una vastissima gamma di attrezzature adattabili a ogni esigenza e disponibilità di spazio. Di seguito si presentano diversi modelli di avvolgitrici:

manuali, equipaggiate dal solo portabobina movimentato a manovella;



*\_semiautomatiche*, per il confezionamento in magazzino, ideali per avvolgere carichi che non possono essere spostati dalle zone di imballaggio o per poter operare in diverse aree dello stabilimento. Esse si avvalgono di tastatori per avere in input la posizione della pedana, in automatico eseguono le operazioni di imballaggio e, nella maggior parte dei modelli, anche il taglio della pellicola protettiva;



*\_semiautomatiche con pedana a scomparsa*, per facilitare l'utilizzo dei transpallet;



*\_automatiche montate sulla linea di produzione;*



A quest'ultima categoria appartengono le macchine analizzate in questa tesi e che saranno introdotte nel prossimo capitolo.

#### ***1.4 Presentazione Macchine Automatiche***

## **AVR 400 Flexa**

La macchina unisce ad elevate prestazioni una notevole flessibilità; i programmi di avvolgimento assicurano una corretta stabilità al carico anche con prodotti di dimensioni elevate.

L'AVR 400 Flexa è dotata di un carrello portabobina installato in una struttura ad anello che consente, grazie al motore controllato da inverter, alte percentuali di prestiro del film. La qualità dell'avvolgimento è garantita da un dispositivo integrato nel carrello che regola la tensione del film in ogni posizione del perimetro del carico, rilasciando sempre il giusto quantitativo di pellicola. Altra caratteristica del macchinario è il suo dispositivo di taglio e bloccaggio del film.



### Scheda tecnica

Dimensioni della bobina di film estensibile	Bobina standard con diametro max 250 mm, diametro anima 76 mm, larghezza fascia 500 mm, spessore film 17- 23 micron.
Grado di protezione	IP 55
Tensione d'alimentazione	400 V, 50 Hz con neutro
Tensione comandi	24 V
Consumo d'aria	150,00 NI/Ciclo
Potenza elettrica installata	19 Kw
Alimentazione pneumatica	6 bar aria secca non lubrificata
Verniciatura	Fondo catalizzato e vernice poliuretana bicomponente
Condizioni ambientali	Temperatura: min. + 5°C / max. + 35°C Umidità relativa (senza condensa): max. 30-80%

### **Silver Twin**

Si contraddistingue per le sue soluzioni progettuali volte alla solidità e all'affidabilità. L'azione combinata dei due bracci rotanti permette di raggiungere velocità di avvolgimento particolarmente elevate mantenendo, nel contempo, un assetto bilanciato e stabile.

La Silver twin è dotata di doppio carrello portabobina con prestiro del film meccanico motorizzato e di un doppio dispositivo di taglio e saldatura del lembo finale del film. Tale meccanismo di saldatura è caratterizzato da una barra di contrasto a scomparsa studiata al fine di evitare qualsiasi contatto con il prodotto pallettizzato e di garantire l'integrità del carico.



### Scheda tecnica

Dimensioni della bobina di film estensibile	Bobina standard con diametro massimo di 250 mm, diametro dell'anima di 76mm, larghezza della fascia 500mm, spessore del film 17-23µm
Grado di protezione	IP 55
Tensione di alimentazione	400V, 50 Hz
Tensione comandi	24V
Consumo d'aria	100,00 NI/ciclo
Potenza elettrica installata	11kW
Sistema di messa a terra	TN-S
Alimentazione pneumatica	6bar aria secca non lubrificata
Verniciatura	Fondo catalizzato e vernice poliuretana bicomponente
Colore parti fisse	GRIGIO RAL 7035
Colore parti mobili	ROSSO RAL 3020
Colore protezioni perimetrali	ROSSO RAL 3020
Condizioni ambientali	Temperatura: min +5°C / max +35°C Umidità relativa (senza condensa): max 30-80%



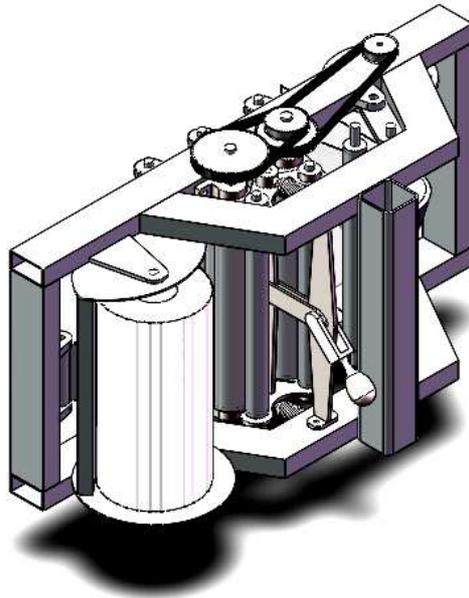
## *Capitolo 2*

### *Sistema carrello - svolgibobina*

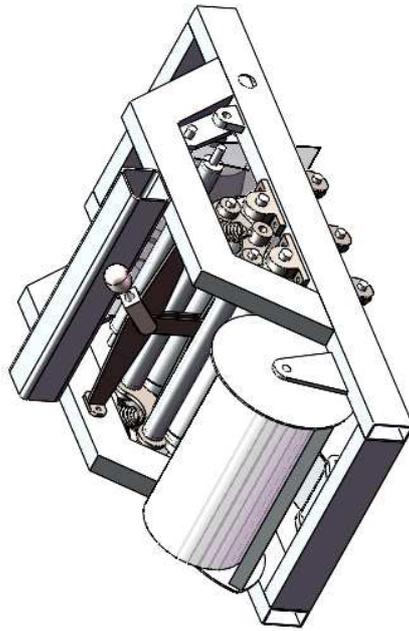
#### **2.1 Lo svolgibobina**

Le macchine attuali, come ad esempio la Silver Twin montano svolgi-bobine che permettono di realizzare un prestiro del film meccanico motorizzato fino ad un massimo del 300%. Questo dispositivo permette un notevole risparmio sul consumo di film e dimezza i tempi di cambio della bobina; infatti si può avere un film più robusto all'inizio e alla fine dell'avvolgimento per garantire che il carico sia solidale al pallet, mentre il film sarà più sottile al centro.

Attualmente la variazione di prestiro può avvenire in due modi diversi: con un variatore a satelliti oppure con una coppia di ruote dentate. Il variatore risulta però pesante e richiede di essere cambiato troppo spesso rispetto alle altre parti della macchina, mentre le ruote dentate non permettono di avere un prestiro variabile in movimento, poiché devono essere cambiate a macchina ferma.



Lo svolgibobina è composto da una struttura in alluminio che ne costituisce il telaio, da una serie di rulli che consentono al film di cellophane di essere svolto e di avere la corretta tensione, da un motore elettrico che attraverso una serie di pulegge e cinghie aziona i rulli; infine è presente un sistema pressa-film che permette di modificare la tensione dello strato di cellophane che si svolge dalla bobina.



Il peso complessivo della struttura è di 120 kg circa comprensivi del peso della bobina (24 kg, 500 mm in altezza), che si possono ritenere con buona approssimazione distribuiti uniformemente nello spazio occupato dalla stessa; l'ingombro complessivo è 1300 mm in larghezza, 800 mm in altezza determinati dall'elemento verticale che collega le due parti superiore e inferiore del telaio, e 480 mm di profondità.

Nelle varie tipologie di macchinari automatici per imballaggio di pallet solitamente, quando le masse in gioco sono notevoli, il motore e lo svolgi bobina sono fermi a velocità nulla; in questi casi è il pallet stesso che, appoggiato sopra un piano motorizzato girevole, ruotando su di sé viene ricoperto dalla pellicola di cellophane. Lo studio del progetto di un macchinario che ha come elemento girevole uno svolgibobina del peso di 120 kg rende sicuramente più complicata la realizzazione, a causa delle elevate forze che ne derivano, ma è l'unico modo per assicurare un'alta velocità di rotazione, non raggiungibile utilizzando macchine con piano girevole dato che il pallet non può ruotare troppo velocemente su se stesso. In altri casi per svolgere la bobina si utilizza un braccio rotante, che però non risulterebbe

adeguato a questa applicazione poiché il diametro del pallet è considerevole e il braccio raggiungerebbe una lunghezza troppo elevata.

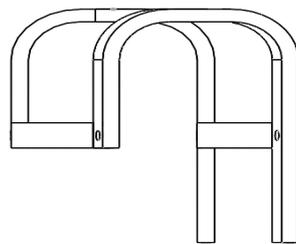
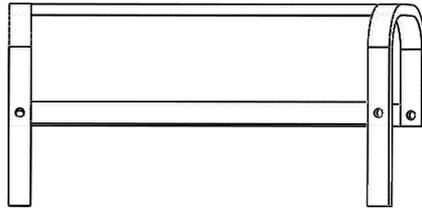
## 2.2 Il carrello

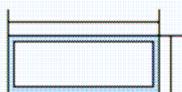
Il telaio deve permettere la sistemazione di un numero di ruote adeguato (il minimo possibile per questioni dovute al peso complessivo) per assicurare il moto e l'equilibrio in modo che il sistema non subisca spostamenti in direzione radiale; è opportuno assicurarsi che lo svolgibobina venga vincolato non solo nel verso in cui la forza centrifuga agisce ma anche in quello opposto, ovvero è necessaria una ruota di sicurezza che permetta al carrello di essere stabile a velocità nulla e durante la partenza.



Una prima immagine della realizzazione del carrello formato da una serie di tubolari di alluminio di sezione rettangolare 40 x 20 x 2. Le misure geometriche delle sezioni sono state scelte tra quelle già in commercio e

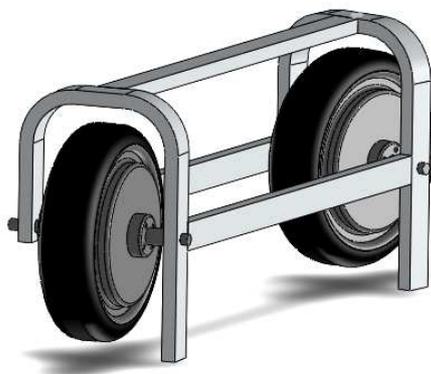
presenti nei cataloghi di varie aziende. Tutti gli elementi sono collegati tra loro mediante saldatura.





TUBO RETTANGOLARE A SPIGOLI VIVI  
LEGA 6060 - UNI 9006-1

Larghezza (mm)	Altezza (mm)	Spessore (mm)	Peso (Kg) al metro
40	20	1,2	0,373
40	20	1,5	0,462
40	20	2	0,606
40	20	2,5	0,742
40	20	3	0,875
40	20	4	1,123
40	25	1,5	0,502
40	25	2	0,659
40	25	2,5	0,812
40	25	3	0,956
40	30	1,5	0,543
40	30	2	0,713
40	30	2,5	0,877
40	30	3	1,037
40	30	4	1,339
40	35	2,5	0,945
41	22	1,5	0,457
42	15	2	0,572
43	23	3,5	1,115
45	15	2	0,605
45	20	2	0,659
45	20	3	0,956

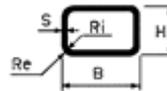


Il supporto è collegato direttamente alle ruote mediante fori di dimensioni pari a quelle dei perni della ruota da 10 pollici e di quella motorizzata, i quali hanno diametro 16 mm.

Per assicurare invece l'equilibrio del moto in direzione orizzontale, cioè lungo la direzione di azione della forza centrifuga, è necessario introdurre 2

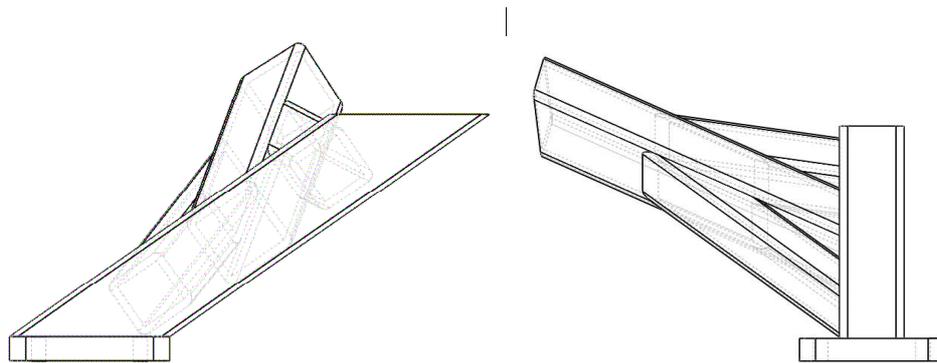
ruote condotte solidali allo svolgibobina che verranno collegate tramite supporti orizzontali.

**TUBI RETTANGOLARI**  
con ANGOLI RAGGIATI

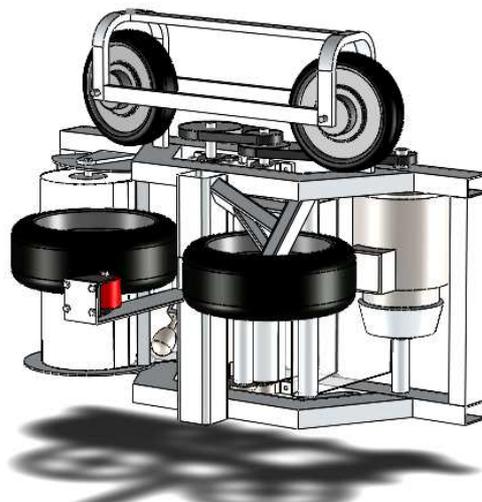


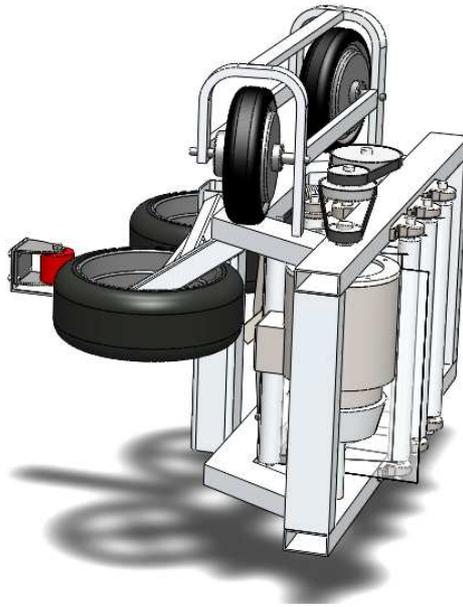
<b>CODICE</b>	<b>B x H x S</b> mm	<b>PESO</b> gr/ml
51201215	20 x 12 x 1,5	211
51201512	20 x 15 x 1,2	211
5130101	30 x 10 x 1	205
51301015	30 x 10 x 1,5	300
51352515	30 x 25 x 1,5	430
5140201	40 x 20 x 1	313
51402015	40 x 20 x 1,5	442
5140202	40 x 20 x 2	594
5140204	40 x 20 x 4	1104
51403015	40 x 30 x 1,5	537
5140303	40 x 30 x 3	1037
51602012	50 x 30 x 1,2	489
5160252	50 x 35 x 2	867
51603015	50 x 40 x 2,5	750
5160302	50 x 50 x 4	929
5170303	70 x 30 x 3	1523
51804015	80 x 40 x 1,5	950
51100404	100x40x4	2851
51150505	150 x 50 x 5	5130

I supporti orizzontali sono costituiti invece da travi a sezione rettangolare raggiata cava di dimensioni 100 x 40 x 4 e 50 x 50 x 4 con raggi di raccordo di 3 mm. Anche in questo caso il collegamento degli elementi è assicurato da saldatura.



Di seguito, l'aspetto del carrello svolgibobina al termine della progettazione:

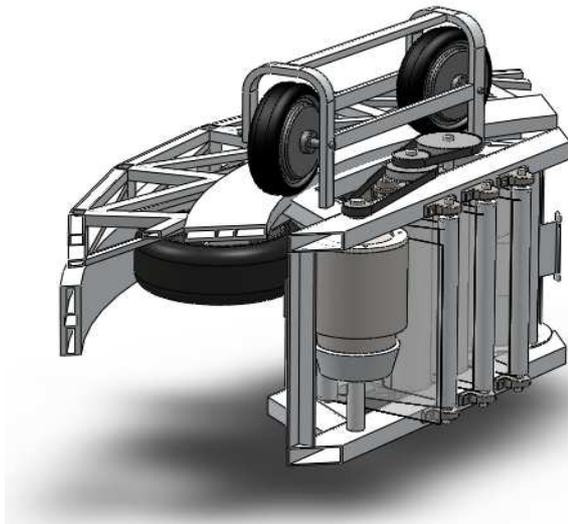
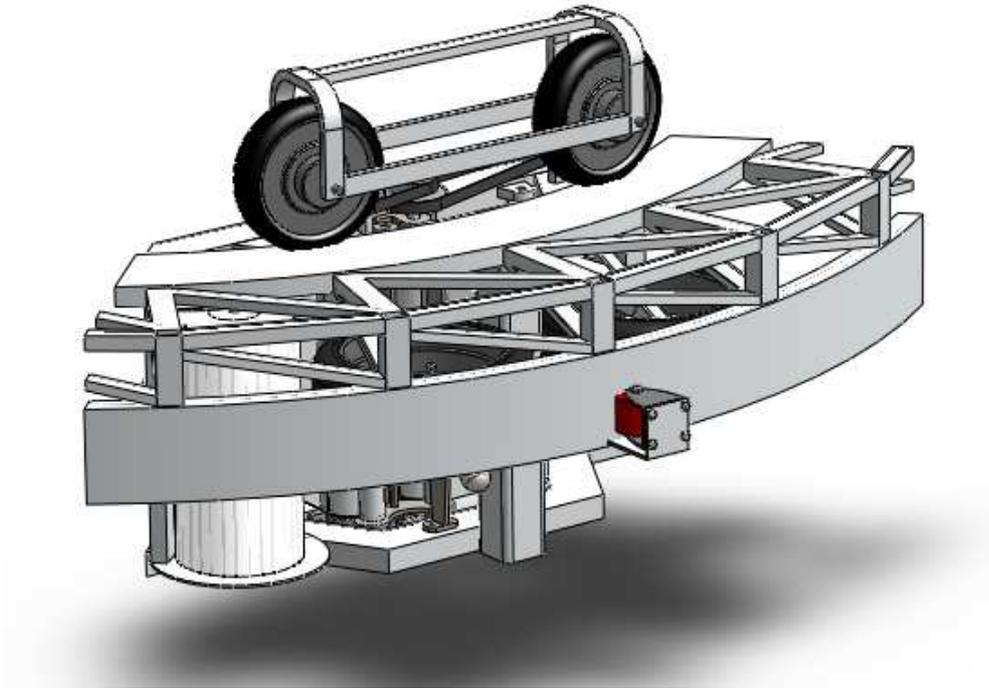




Per i supporti e la guida è stata scelta la lega di alluminio 6060 T6, della serie 6000, commercialmente detta Anticorodal. È un tipo di lega legata con silicio e magnesio, che ha subito un trattamento termico del tipo 6, ovvero è stata temprata e invecchiata artificialmente.

Le caratteristiche meccaniche di questo materiale sono intermedie, molto minori dell'Avional (lega 7000), ma superiori di altre leghe come ad esempio quelle della serie 2000; i pregi dell'Anticorodal sono soprattutto la facile saldabilità e reperibilità sul mercato oltre al costo relativamente basso.

Lega	Stato	Resistenza a trazione [RM (N/mm <sup>2</sup> )]	Carico di snervamento [Rp0,2 (N/mm <sup>2</sup> )]	Allungamento [SU 50 mm - A %]	Durezza [HB]	
6060-6063	0	100	55	29	-	28
	T1	155	95	19	-	44
	T4	170	100	22	-	47
	T5	205	165	12	-	65
	T6	230	200	12	-	72
	T8	265	230	9	-	79



### ***2.3 Problematiche/svantaggi***

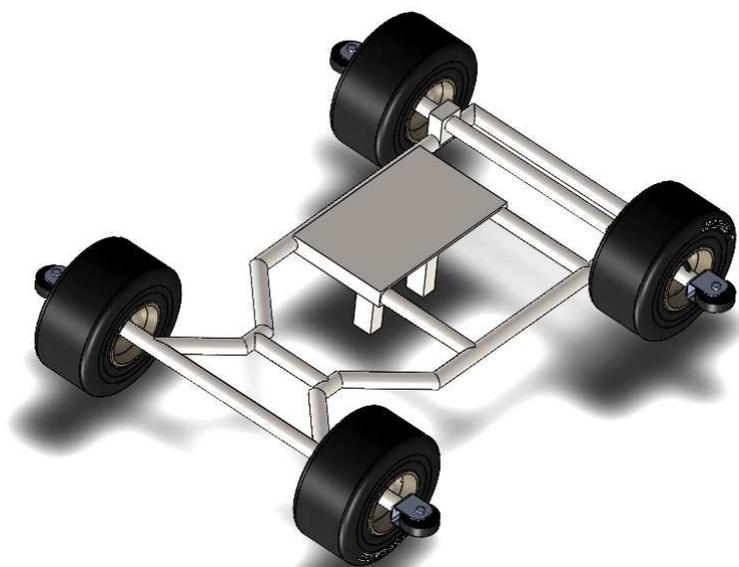
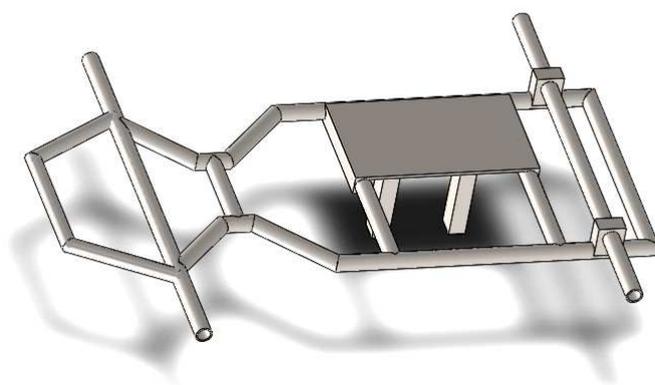
Con questo tipo di soluzione ci troviamo di fronte ad una serie di svantaggi importanti:

\_nel sistema carrello-svolgibobina la forza centrifuga agisce su tutto il gruppo, quindi *il peso del carrello* risulterà determinante nello studio delle sollecitazioni.

\_ lo svolgibobina è vincolato lungo la direzione della linea d'azione della forza centrifuga ed è quindi necessario l'utilizzo di *alcune ruote e di una rotella di sicurezza* per permettere l'equilibrio, il ch  comporta altrettanti problemi riguardanti il peso complessivo della struttura.

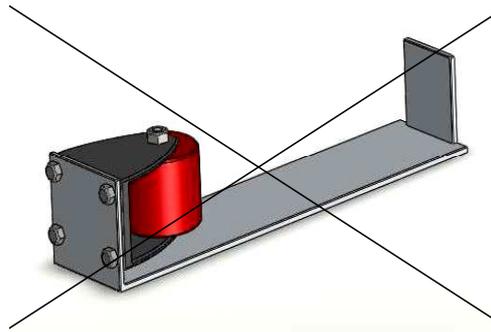
## *2.4 La nuova concezione*

L'idea generale è stata quella di modificare il presente carrello e con una concezione del tutto innovativa è stata scelta la Scocca di un gokart.



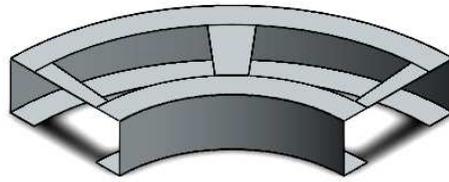
Una soluzione che può ovviare a questi due inconvenienti è quella di introdurre un telaio diverso rispetto al precedente, che appoggiando su 4 ruote possa offrire maggiore stabilità, mantenendo adeguato il peso complessivo che è certamente una specifica tecnica da non trascurare. Inoltre la determinazione dell'equilibrio lungo la direzione d'azione della forza centrifuga che riguarda soprattutto la fase di partenza, verrà esercitata dal materiale stesso e non più da vincoli fisici.

Il telaio Kart per esempio, determina un'ottima stabilità a velocità nulla ed in fase di avviamento essendo in appoggio sulle 4 ruote. Ciò si traduce quindi nell'eliminazione della rotella di sicurezza e delle ruote orizzontali.



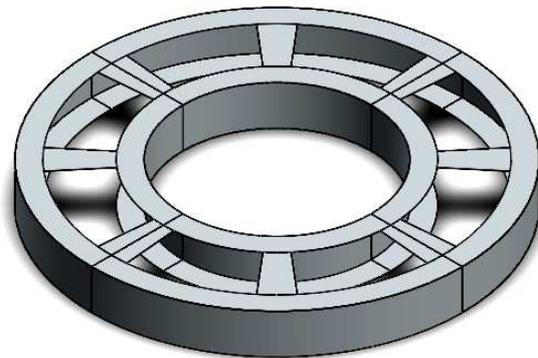
Inoltre, non è da trascurare il fatto che una struttura del genere è di facile reperibilità nel mercato.

Come detto precedentemente per la guida è stata scelta una lega di alluminio 6060 T6, della serie 6000, commercialmente detta Anticorodal. È un tipo di lega legata con silicio e magnesio, che ha subito un trattamento termico del tipo 6, ovvero è stata temprata e invecchiata artificialmente.

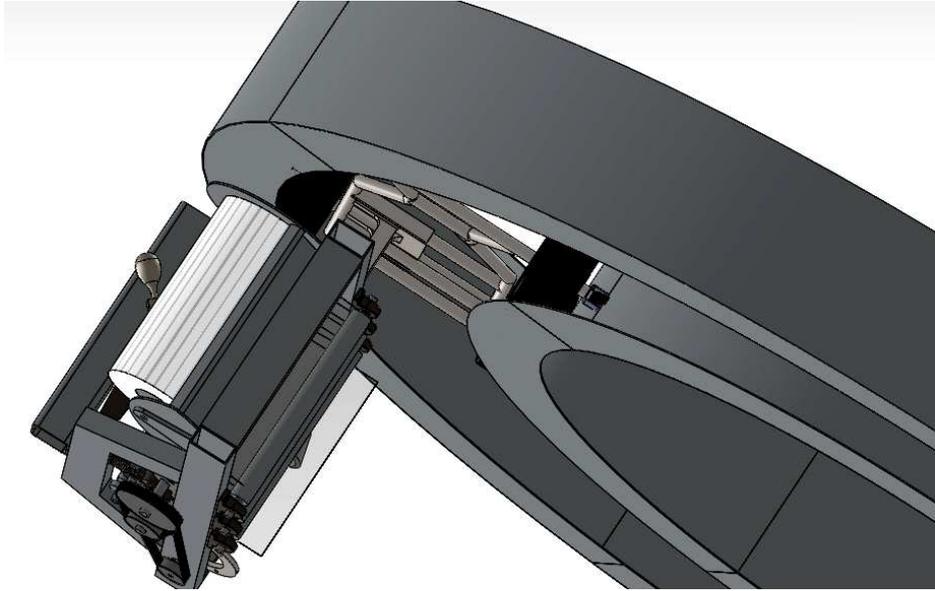
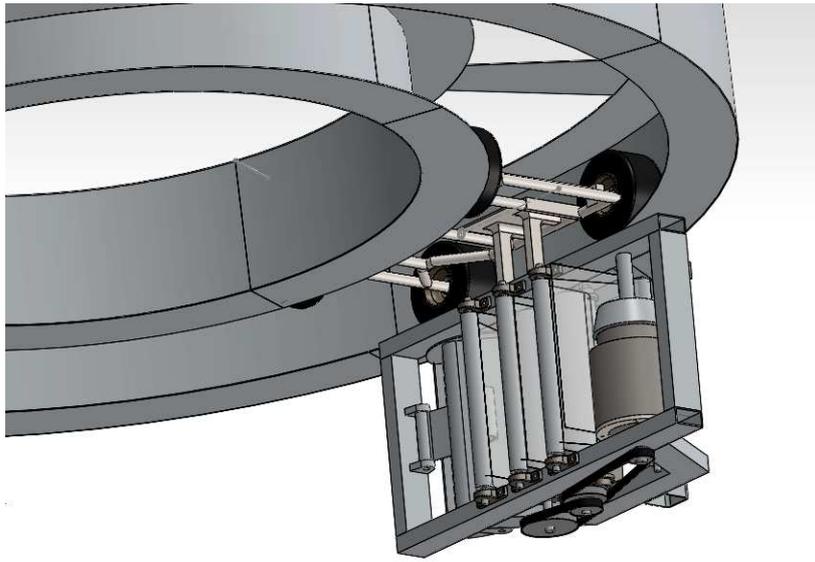


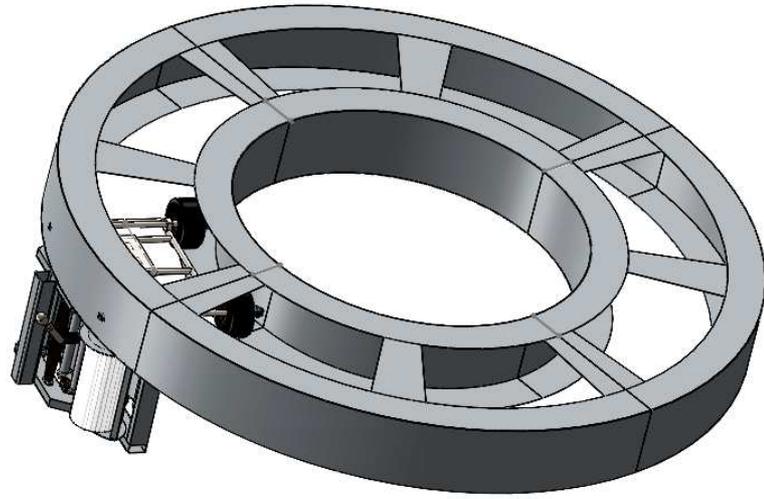
*elemento guida circolare*

Si tratta di una guida circolare costituita da 4 parti saldate e bullonate tra di loro. La parte superiore è unita da traversi di alluminio che hanno il compito di mantenere congiunta la struttura, mentre la parte inferiore è costituita solamente da due piccoli spessori di superficie per permettere sia l'appoggio delle ruote del Kart sia il passaggio dello svolgibobina.



*guida circolare*







# Capitolo 3

## Il nuovo carrello

### 3.1 Karting

Il karting è la più semplice forma di automobilismo sportivo, corso con piccoli veicoli a quattro ruote dal telaio in tubolare d'acciaio privo di sospensioni e dotati di motore a combustione interna o elettrico. I veicoli sono detti kart o go-kart.



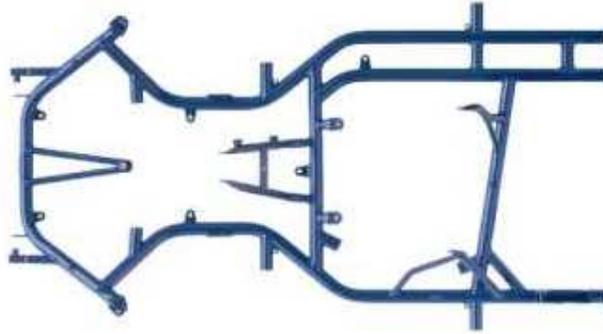
*Go-Kart con motorizzazione da 125 cc*

Si può affermare con buona approssimazione che il kart nacque ufficialmente oltre oceano nel 1956 grazie ad Art Ingels. Grazie alla risonanza ottenuta sui media, la sua diffusione fu tanto rapida da stupire anche i pionieri di questa disciplina. Al tempo le auto da corsa diventavano sempre più costose, il numero di partecipanti si andava assottigliando ed il costo dei biglietti delle gare aumentava continuamente; il karting ebbe il merito di sanare, almeno in parte, questa situazione, richiedendo delle spese molto più contenute e un minore impegno di guida, pur dando sensazioni molto vicine a quelle delle auto da corsa.

### **3.2 Telaistica**

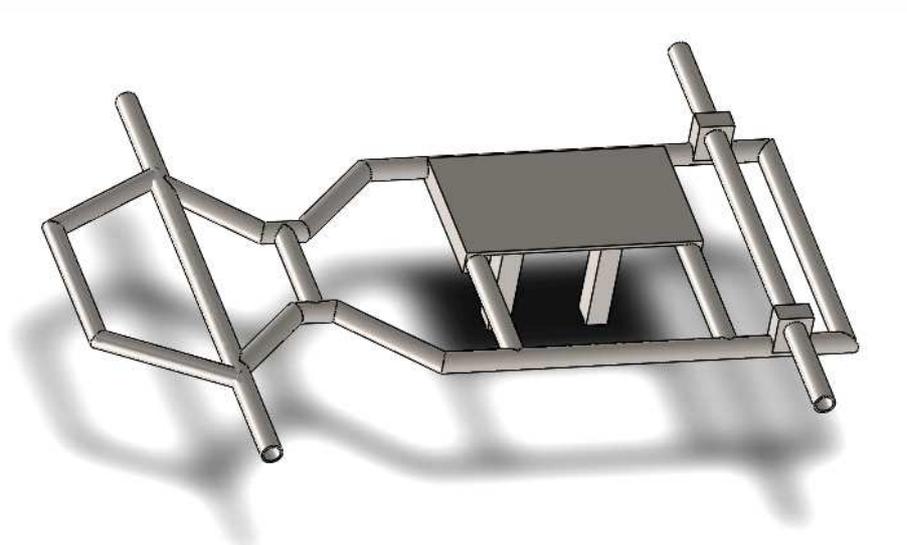
I kart sono costituiti essenzialmente da un telaio tubolare in acciaio, privo di sospensioni e da un motore di piccola cilindrata che trasferisce il moto ad un assale rigido posteriore privo di differenziale. In alcuni veicoli, come ad esempio i veicoli ferroviari, alcune macchine operatrici ed i kart, non esistono differenziali e le due ruote motrici sono solidali all'asse, esse dunque ruotano necessariamente sempre alla stessa velocità. Tale soluzione non presenta problemi nella marcia su percorsi rettilinei, ma nella percorrenza di una curva la ruota esterna si trova a dover seguire una traiettoria di lunghezza maggiore di quella della ruota interna: in assenza di differenziale una delle due ruote, essendo esse vincolate, deve slittare rispetto al piano di rotolamento, provocando notevole usura del battistrada ed una minor capacità di affrontare curve strette. In presenza del differenziale, invece, la ruota esterna gira più velocemente di quella interna, senza alcuno

slittamento. Nel caso dei kart, l'assenza del differenziale è voluta; essi sono infatti progettati per sollevare la ruota posteriore interna alla curva.



Il disegno del telaio può essere più o meno movimentato ed utilizzare tubolare di sezione differente al fine di migliorare le caratteristiche dinamiche del mezzo ed eventualmente adattarlo al tipo di pneumatici utilizzato. Comunemente i telai costituiti da tubolari di piccolo diametro si adattano meglio alle gomme di mescola morbida, viceversa i telai costituiti da tubolari di grande diametro si adattano meglio agli pneumatici meno performanti.

La seguente immagine rappresenta il telaio del kart che avrà il compito di sorreggere lo svolgibobina, e quindi resistere alle sollecitazioni in gioco dovute dalla forza peso e alla forza centrifuga.



*scocca in lega di acciaio 41CrMo4.*

### **3.3 Materiale Scocca**

L'acciaio utilizzato è una lega al Cromo-Molibdeno, 41CrMo4. Presenta un carico di snervamento pari 700 MPa e trazione pari a 1000 MPa. Il tubolare ha una sezione compresa fra i 28 mm ed i 32 mm. I tubi che costituiscono il telaio sono saldati a filo.

L'acciaio al cromo-molibdeno, presenta i vantaggi apportati sia dal cromo che dal molibdeno, conferendo elevate doti di temperabilità e durezza. I componenti principali sono il cromo e il molibdeno. Rispetto ad un acciaio non legato, presenta maggiore resistenza ai carichi, minore peso specifico, e migliore resistenza alla trazione. Viene impiegato nella costruzione di telai ciclistici e motociclistici, in genere come acciaio DIN (denominazione ASTM: 4130, avente composizione: Cr 1%, Mo 0,3%, C 0,3%, fosforo e

silicio in minime parti.). Contrariamente a quanto si può pensare gli acciai al Cr-Mo non sono apprezzati solo per la loro resistenza a temperatura ambiente, infatti con questi acciai si realizzano tubazioni e recipienti per alte temperature in quanto hanno un'ottima resistenza allo scorrimento viscoso (creep) conferitogli dalla presenza del Mo in forma sostituzionale nella matrice di Fe e dalla presenza di carburi dispersi di Mo e di Cr, e per alcune leghe anche di Vanadio

### 3.4 Componenti Kart

Elenco di seguito i componenti principali che andranno montati sul kart.

#### **Motore elettrico N20.**

Ideale per piccoli veicoli elettrici. Dispone inoltre di alcune caratteristiche importanti tra cui: cavi di potenza direttamente connessi all'avvolgimento, sensore di velocità e di temperatura integrati, tecnologia multitemperatura e disponibilità con raffreddamento naturale ad aria o forzato a liquido.

#### ***Caratteristiche tecniche***

Motore elettrico asincrono AC trifase	N20A	N20B	N20C
Potenza nominale a 48Vdc* 2000rpm	2kW	3kW	4kW
Potenza nominale a 72Vdc* 3000rpm	3kW	4.5kW	6kW
Potenza nominale a 96Vdc* 4000rpm	4kW	6kW	8kW
Coppia massima	15Nm	25Nm	30Nm
Lunghezza mm	199	230	264
Diametro mm	170 (180 versione raffr.liquido)		
Rendimento massimo	88%		
Velocità massima	8000 rpm		
Massa	16kg	19kg	23kg

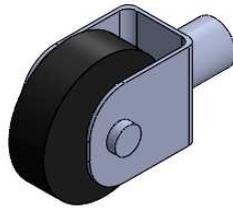
Raffreddamento

naturale ad aria (opzionale a liquido)

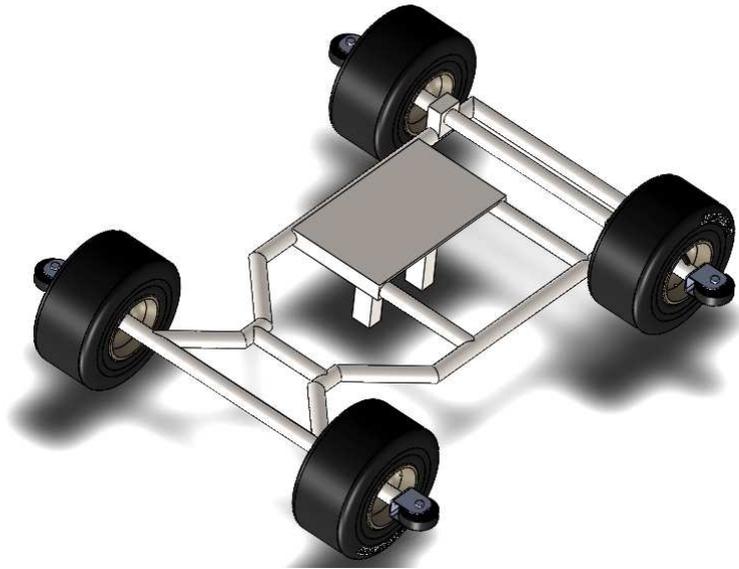
Protezione

IP65

### **Ruote orizzontali**



Sono 4 piccole ruote montate all'interno dei due assi. Servono a mantenere la giusta traiettoria all'interno della guida circolare in cui verrà posizionato il kart. La scocca sarà quindi vincolata e non potrà subire spostamenti radiali in seguito all'effetto della forza centrifuga.



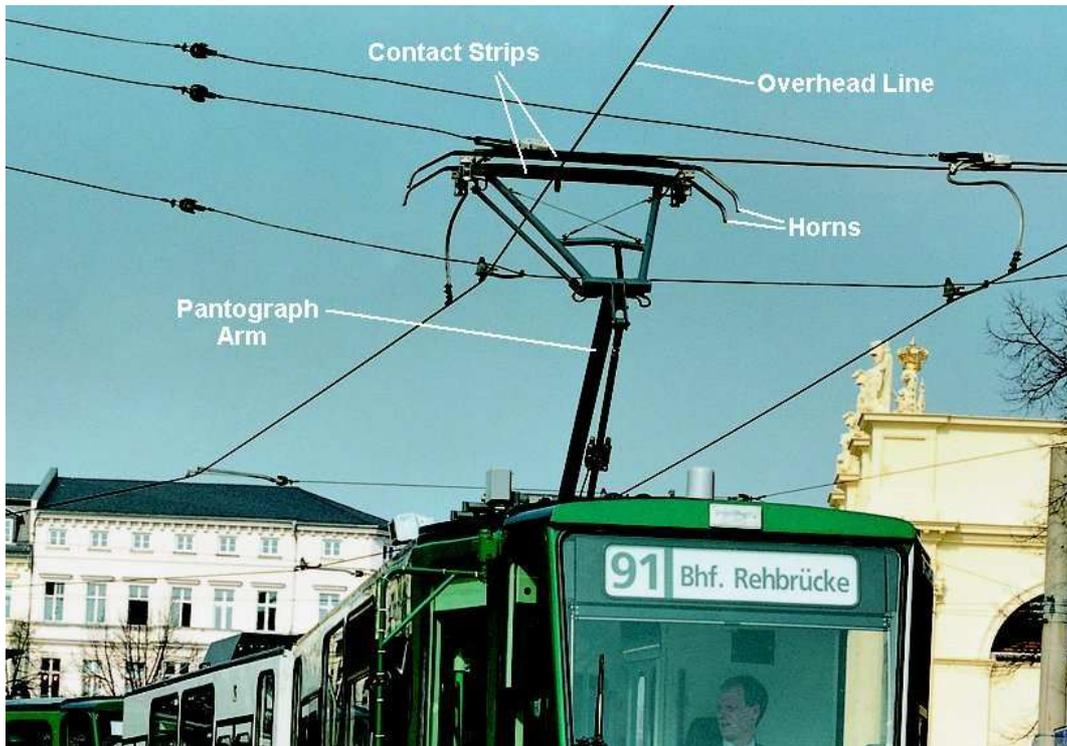
### ***Piastra di supporto e tubolari***

Si tratta di una piastra saldata al kart che verrà utilizzata come sostegno di supporto allo svolgibobina. Le forze in gioco saranno concentrate tutte lungo i tubolari a sezione rettangolare collegati alla piastra stessa.

### ***Pantografo***

È lo strumento principale del sistema di movimentazione. Captando energia da un filo in tensione, trasferisce energia al motore elettrico consentendo al kart di muoversi. Strumentazione tipica dei sistemi elettrici per trasporti.

Il sistema pantografo – catenaria:



Con il termine catenaria si indica l'insieme di cavi elettrici da cui alcuni mezzi di trasporto ricevono la corrente elettrica necessaria alla loro alimentazione (il nome deriva evidentemente dalla curva che tali cavi, sospesi alle due estremità, assumono). Tale prelievo avviene di norma attraverso i trolley (aste tipiche di tram e filobus elettrici) e i pantografi.

La catenaria è costituita fondamentalmente da un conduttore aereo (*overhead line*) che viene mantenuto orizzontale ad una certa altezza sopra i binari. I rotabili, sull'imperiale (tetto), sono dotati di una presa di corrente denominata pantografo, che, nella parte superiore, presenta una o più sbarrette chiamate striscianti. Questi ultimi hanno il compito di toccare il filo di contatto e addurvi l'energia elettrica necessaria per l'apparato motore.

Si definisce quindi pantografo quell'organo che permette la captazione dell'energia elettrica da una linea aerea soprastante allo scopo di

alimentarne le apparecchiature come i motori, il riscaldamento elettrico, il condizionamento e tutti gli eventuali dispositivi ausiliari di bordo.

La qualità di captazione è influenzata notevolmente dal comportamento dinamico del pantografo. Esso, con i propri movimenti, deve cercare di compensare quelli della catenaria, mantenendo un contatto sicuro e stabile, con un numero ridotto di distacchi. Sotto la medesima catenaria si possono avere comportamenti dinamici completamente diversi a seconda delle caratteristiche e delle tarature dei pantografi che vi transitano. E' per questa ragione che la catenaria ed il pantografo rappresentano un unico sistema.

Il quadro principale in tubolari o scatolati di acciaio è ancorato inferiormente alla base del pantografo che è a sua volta sostenuta da isolatori di porcellana installati sull'imperiale del rotabile.

Superiormente troviamo un archetto più leggero, costruito in acciaio o lega leggera, che ha il compito di seguire le brusche e limitate variazioni di quota del filo. Sulla parte superiore dell'archetto sono fissate le barrette degli striscianti che possono essere di carbone, di rame, d'acciaio, oppure di leghe speciali.

Il quadro principale è sottoposto a due sistemi di molleggio:

- Le molle di salita, o di lavoro, devono vincere il peso proprio determinando

l'innalzamento del pantografo e l'applicazione della forza statica  $F_s$  sul filo di contatto.

- Le molle di discesa, o principali, contrastano le precedenti ed hanno il compito di tenere

abbassato il quadro. La loro azione è prevalente sulle molle di salita.

Il pantografo normalmente può assumere due posizioni:

- Riposo, quando è abbassato e non è quindi in contatto con la linea aerea.
- Lavoro, quando invece è completamente sollevato fino ad ottenere il contatto con il filo.

La corsa verticale del quadro è di circa 2m, mentre nella posizione di riposo deve inoltre risultare contenuto nella sagoma limite definita dalle norme UIC (Union Internationales Chemins de Fer) che fissano l'altezza massima in 4,310 m.

Eccone qui di seguito alcuni esempi:



*Modello di pantografo classico: parallelogramma a bracci snodabili*

È composto da un parallelogramma a bracci snodabili che nel vertice superiore sorregge un pattino denominato *strisciante* realizzato con materiali resistenti agli agenti atmosferici, con basso coefficiente d'attrito e con buona conducibilità elettrica; nel tempo si sono succeduti vari tipi di materiali, in genere leghe a base di rame; oggi si cerca di utilizzare striscianti in grafite e rame sinterizzati, poiché risulta più semplice la manutenzione del pantografo rispetto a quella della catenaria.

Esistono poi sistemi di captazione asimmetrica, come ad esempio il monobraccio **Faveley**, meno diffuso in Italia ma di largo uso in molte altre amministrazioni ferroviarie.



*Pantografo monobraccio Faveley*



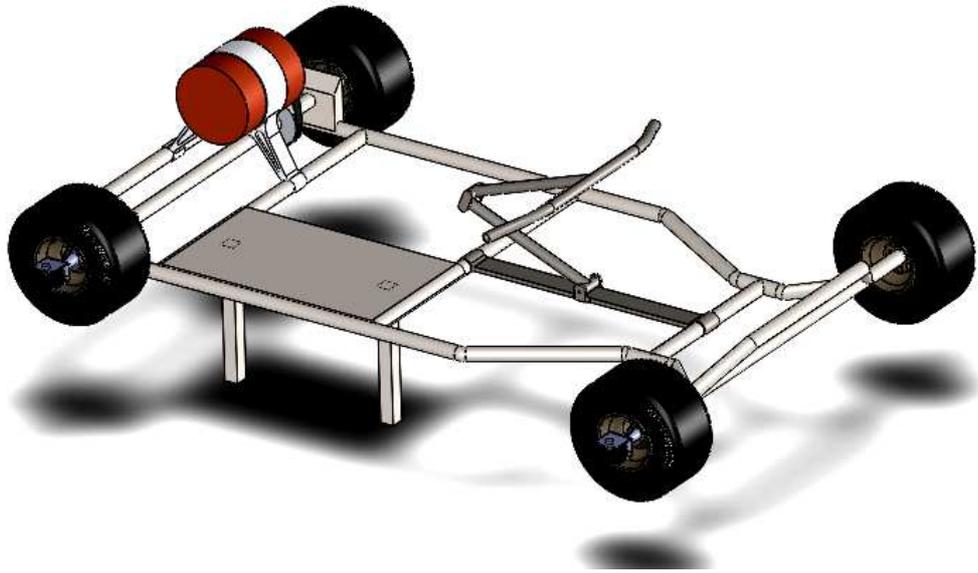
*Modello Faveley*

Viene montato sul tetto dei veicoli ferroviari su un telaio isolato e collegato, mediante cavo ad alto isolamento, a dei dispositivi di protezione contro le sovratensioni accidentali e quindi ai circuiti di utilizzazione di bordo.



*pantografo: modello semplificato*

Nei mezzi di trazione ferroviaria, in genere, vengono montati due pantografi. Questo per evitare che, in caso di guasto del pantografo in uso, il treno venga immobilizzato: dunque è sufficiente escludere il pantografo guasto dal circuito facendolo abbassare e sostituirlo per l'alimentazione con l'altro pantografo facendolo sollevare. In Italia viene prescritto l'uso normale del pantografo posteriore rispetto al verso di marcia; se fosse utilizzato quello anteriore, in caso di rottura dello stesso i frammenti potrebbero mettere fuori uso anche quello incontrato subito dopo.





# Capitolo 4

## *Modellazione*

### *4.1 Elementi finiti*

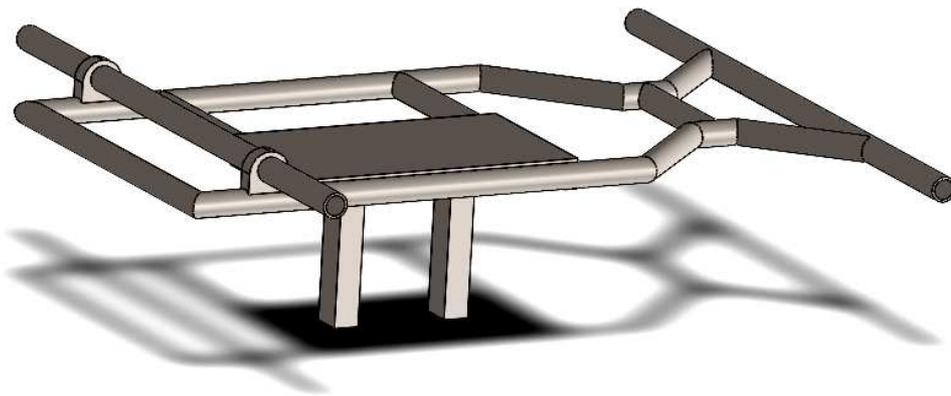
Per le prove di resistenza del kart, sottoposto a forza centrifuga e forza peso, ho scelto di eseguire un'analisi agli elementi finiti tramite il programma Simulation di Solidworks.

Il metodo degli elementi finiti (FEM) è una tecnica numerica atta a cercare soluzioni approssimate di problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali riducendo queste ultime ad un sistema di equazioni algebriche. Benché esso competa in alcuni ambiti limitati con altre strategie numeriche (metodo delle differenze finite, metodo dei volumi finiti, metodo degli elementi al contorno, metodo delle celle, metodo spettrale, etc.), il metodo FEM mantiene una posizione dominante nel panorama delle tecniche numeriche di approssimazione e rappresenta il kernel di gran parte dei codici di analisi automatici disponibili in commercio. In generale, il metodo agli elementi finiti si presta molto bene a risolvere equazioni alle derivate parziali quando il dominio ha forma complessa (come il telaio di un'automobile o il motore di un aereo),

variabile (per esempio una reazione a stato solido con condizioni al contorno variabili), quando l'accuratezza richiesta alla soluzione

non è omogenea sul dominio (in un crash test su un autoveicolo, l'accuratezza richiesta è maggiore in prossimità della zona di impatto) e quando la soluzione cercata manca di regolarità.

Una volta disegnato il modello del kart compreso di piastra e tubolari a sezione rettangolare, è necessario pensarlo come unico pezzo per permettere al programma di effettuare correttamente l'analisi.

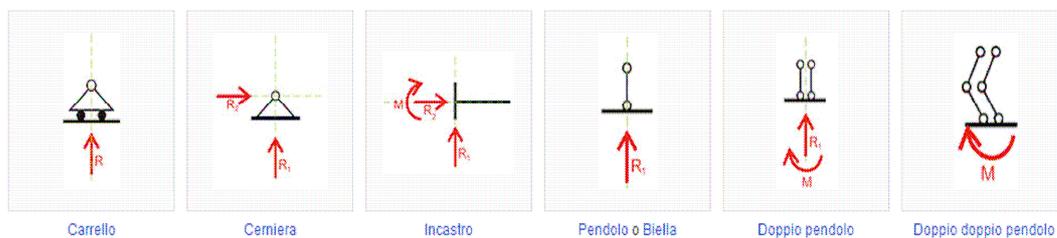


*modello utilizzato al Fem*

## 4.2 I vincoli

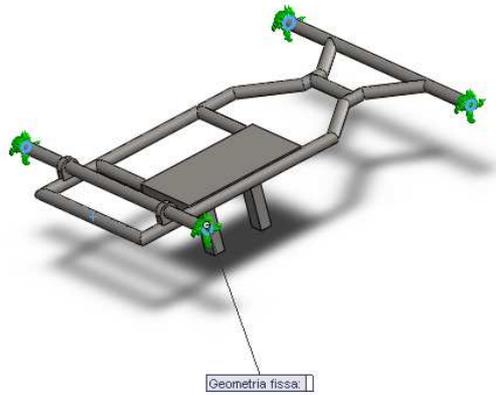
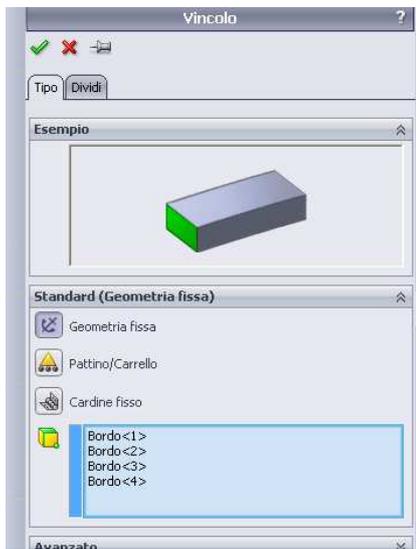
Un vincolo è una qualsiasi condizione che limita il moto di un corpo. In meccanica, essendo solo le forze capaci di modificare lo stato di quiete o di moto di un sistema, l'azione dei vincoli si esplica attraverso un insieme di forze dette vincolari o reazioni vincolari che agiscono sui punti del sistema limitandone il moto.

Tabella riassuntiva dei vincoli principali con, in rosso, le reazioni vincolari; per ogni reazione corrisponde un movimento bloccato.



Uno dei primi problemi da affrontare durante la simulazione al CAD è il fissaggio dei vincoli all'elemento in esame.

Il kart è stato opportunatamente vincolato tramite una geometria di vincoli fissi in corrispondenza degli estremi dell'albero posteriore e di quello anteriore.



*fissaggio vincoli*

### **4.3 Forze in gioco**

La verifica strutturale del telaio è stata tradotta in una prova di trazione unita ad una prova di flessione, quest'ultima dovuta alla forza centrifuga.

In dati di partenza sono la velocità di rotazione massima del carrello , pari a 60 rpm, e la massa complessiva dello svolgibobina che il carrello dovrà trascinare pari a 120 Kg.

Dati :

$$m = 120Kg$$

$$\omega = \frac{2\pi}{60} * n = 6,28rad / sec$$

,

$$a_c = \omega^2 * r = 58,21m / s^2$$

### ***Le forze agenti sul telaio***

Forza peso:

$$F_p = m * a_g = 120 \cdot 9,81 = 1177N$$

Forza centrifuga, considerato un raggio guida circolare pari a  $R = 1476mm$  :

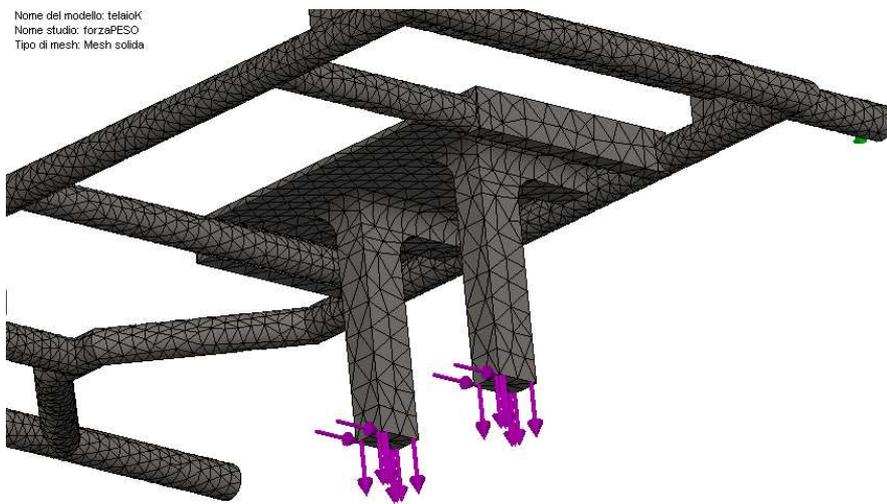
$$F_c = m * \omega^2 * R = 120 \cdot 6,28^2 \cdot 1,476 = 6985N$$

La forza dovuta all'accelerazione invece, è importante specificare che viene contrastata dalla tensione del film dello svolgibobina.

### ***4.4 Applicazione forze***

Vengono poi applicate le forze. Prima però di procedere all'analisi strutturale del kart è necessario effettuare la discretizzazione , o mesh dell'elemento.

Per poter applicare il metodo a elementi finiti, un passaggio fondamentale è la frammentazione del dominio di calcolo. Si passa da un modello continuo ad un modello discretizzato e si risolvono, per via numerica, le equazioni che descrivono il modello fisico-matematico.

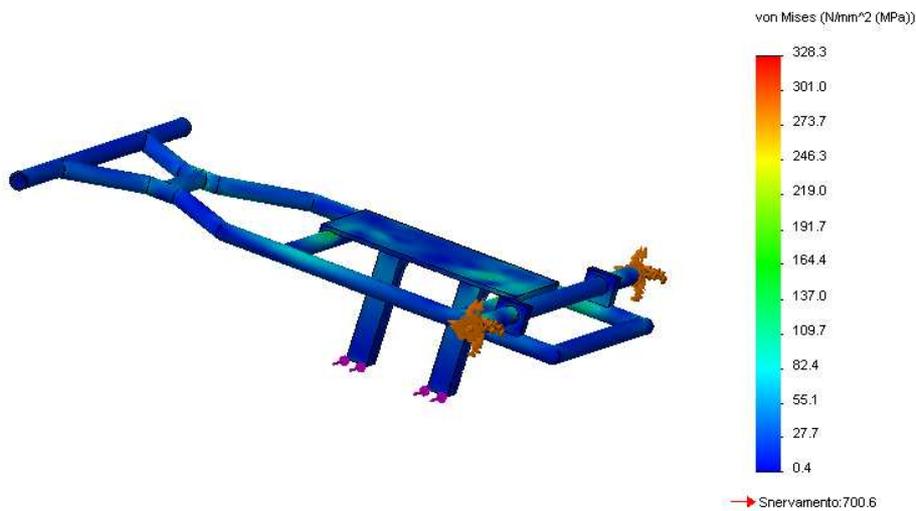


*applicazione mesh*

Un problema complesso può essere scomposto in tanti problemi semplici.  
La soluzione di tutti i sotto problemi porta alla soluzione del problema generale.  
In altre parole, si passa da un numero di gradi di libertà infiniti, il continuo, a un numero di gradi di libertà finiti, la mesh.

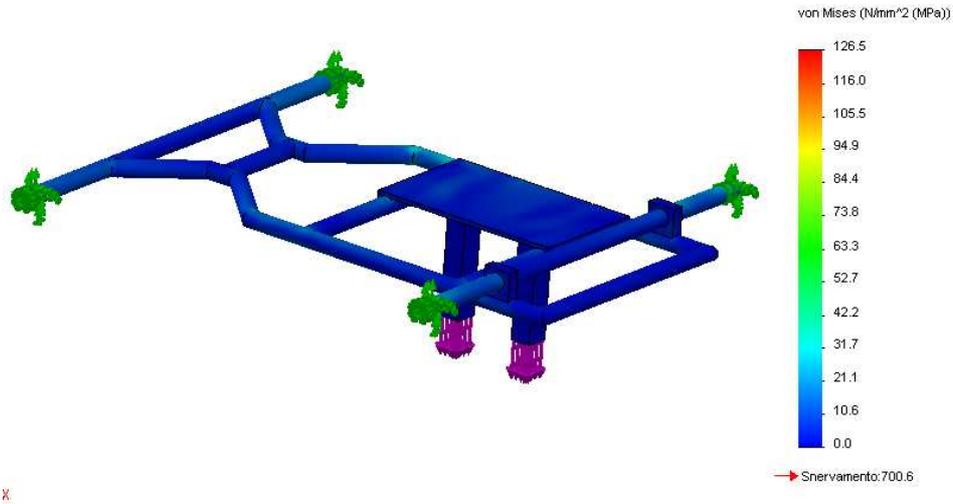
#### 4.5 Risultati ottenuti

Per quanto riguarda la resistenza a flessione in seguito alla forza centrifuga, il telaio, realizzato in acciaio Cromo-Molibdeno 41CrMo4, è sottoposto ad una tensione massima:  $\sigma_{\max} = 328\text{MPa}$ . Considerato che il materiale con cui è stato realizzato il kart presenta una tensione di snervamento pari a 700 MPa, ed una resistenza alla trazione pari a 1000 MPa, si può considerare la prova positiva in cui la sollecitazione è sicuramente accettabile, consentendo quindi un buon funzionamento.



*resistenza a flessione*

Meno rilevante è stata la prova di resistenza a trazione dovuta dalla forza peso esercitata dallo svolgibobina. Essendo le forze in gioco molto minori rispetto al caso precedente non sono stati riscontrati problemi.  $\sigma_{\max} = 126,5 \text{ MPa}$



*resistenza a trazione*

E' stato quindi raggiunto un coefficiente di sicurezza positivo ritenuto sufficiente ai fini della progettazione



# Capitolo 5

## Conclusioni

### *5.1 Conclusioni e sviluppi futuri*

Lo studio è stato concluso definendo in maniera essenziale l'aspetto del carrello che servirà a movimentare lo svolgibobina. Sono stati scelti inoltre gli elementi ausiliari necessari alla movimentazione del kart, come il motore elettrico ed il relativo sistema catenaria - pantografo.

E' stata progettata una guida circolare ad anello, in grado di contenere il kart e permettere il passaggio dello svolgibobina. In seguito, è stata progettata la struttura esterna, argomento che però richiederà maggiore attenzione in futuro.

La macchina incellofanatrice per funzionare correttamente dovrà essere completa di un sistema che permetta un moto in senso verticale tale da consentire allo svolgibobina di imballare in maniera adeguata il pallet. Infatti lo strato di cellophane ha un'altezza tale (500mm) da non riuscire a coprire totalmente i pallets più alti.

Particolare attenzione bisognerà rivolgere agli ingombri totali laterali della macchina avvolgitrice poichè significanti dal punto di vista della superficie richiesta per l'installazione.

Infine, gli studi eseguiti mediante programma ad elementi finti, "Simulation", hanno dato esito positivo. Le prove di resistenza a flessione e di resistenza a trazione si sono concluse con valori di sollecitazioni massime accettabili. Per tanto lo studio di massima del progetto è da considerarsi superato.



# Bibliografia

1\_ A. Pareschi - A. Persona - E. Ferrari - A. Regattieri

*"Logistica integrata e flessibile"*

Progetto Leonardo

2\_ Tesi Gabellini Lorenzo : Studio di un carrello innovativo per movimentazione di una macchina incellofanatrice automatica

3\_ Benedetto Allotta, Luca Pugi, Fabio Bartolini

Design and development of a railway pantograph (Tendon 1) with a wirepulley transmission system

4\_ siti : [www.pieri.it](http://www.pieri.it)

[www.grabcad.com](http://www.grabcad.com)

Software utilizzato : Solidworks 2011 SPO