

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SECONDA FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CON SEDE A CESENA

CORSO DI LAUREA
IN INGEGNERIA MECCANICA

Sede di Forlì

ELABORATO FINALE DI LAUREA
in
DISEGNO ASSISTITO DAL CALCOLATORE L

STUDIO E OTTIMIZZAZIONE DI UNA MACCHINA A SFILI
MULTIPLI PER AVVOLGERE PALLET

CANDIDATO
Marco Zannoni

RELATORE
Prof. Ing. Luca Piancastelli

Anno accademico 2010/2011

Sessione III

Indice

| | |
|---|----|
| Capitolo 1: Introduzione..... | 3 |
| 1.1 Il nuovo progetto..... | 3 |
| 1.2 Il problema degli imballaggi..... | 4 |
| 1.3 Presentazione macchine..... | 9 |
| 1.4 Il nuovo progetto..... | 11 |
| Capitolo 2: Gli sfilati telescopici..... | 13 |
| 2.1 Sistema telescopico..... | 13 |
| 2.2 Struttura degli sfilati..... | 15 |
| 2.3 Catene..... | 17 |
| Capitolo 3: Modellazione CAD..... | 18 |
| 3.1 Modello semplificato..... | 18 |
| 3.2 Materiali | 21 |
| Capitolo 4: Ottimizzazione sfilati..... | 27 |
| 4.1 Vincoli..... | 27 |
| 4.2 Forze in gioco..... | 29 |
| 4.3 Applicazione forze..... | 31 |
| Capitolo 4: Analisi degli sfilati..... | 34 |
| Capitolo 6: Traversa..... | 41 |
| Capitolo 7: Risultati ottenuti dalle analisi e sviluppi futuri..... | 42 |
| Bibliografia..... | 44 |

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Il nuovo progetto.

Oggetto di questa tesi è lo studio volto allo sviluppo preliminare dei bracci telescopici di una nuova avvolgitrice di pallet per conto della PIERI S.r.l. di Cesena.

Sarà riservata particolare attenzione all'analisi strutturale degli sfili con l'intento di ottenere, partendo dal disegno di progetto iniziale, una struttura più leggera e meno dispendiosa in termini di energia e costi del materiale.

L'idea di tale macchina è nata dalla volontà da parte dell'azienda di proporre un nuovo prodotto competitivo per il mercato, unendo le qualità di altre due macchine note per affidabilità e prestazioni.

Si tratta delle già esistenti AVR 400 Flexa e Silver Twin, conosciute come le top gamma PIERI nell'ambito dell'imballaggio pallet su linea per aziende ad alti numeri di produzione.

Lo scopo è di aggiungere alle caratteristiche di velocità e ritmi elevati di confezionamento della prima, la versatilità e la trasportabilità dovuta ai bracci rotanti della seconda.

Verrebbero così risolti i problemi scaturiti da operazioni di riparazione o sostituzione di un elemento, noti nella Flexa, comportanti lo smontaggio dell'intero anello porta bobine.

Infatti, l'operazione risulta scomoda e dispendiosa in termini di tempo a causa delle elevate dimensioni dell'anello stesso.

1.2 Il problema degli imballaggi

L'imballaggio è il prodotto, composto di materiali di varia natura, adibito a contenere, proteggere e trasportare determinate merci.

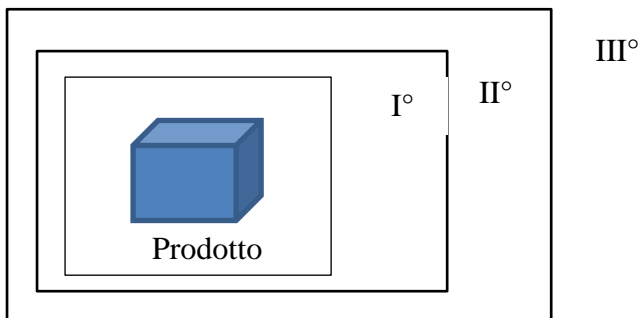
Deve soddisfare alcune predefinite funzioni:

- Proteggere l'articolo commerciale
- Proteggere l'utente
- Conservare la merce
- Facilitare il trasporto

Materiali per l'imballaggio:

- Carta/cartone
- Vetro
- Plastica
- Ferro
- Alluminio
- Legno

Nell'intuitivo grafico sotto riportato viene rappresentato come sono classificati i vari tipi di imballo, il primario(I°) è quello direttamente a contatto con il prodotto, il secondario(II°) ha il compito di agevolare il supporto della merce e il terziario(III°) solitamente è quello utilizzato per il trasporto come ad esempio i pallet.



L'impegno da parte delle aziende per produrre macchine sempre più performanti nell'ambito dell'imballaggio pallet è dovuto al fatto che esso non è solo il supporto più diffuso per gestire in modo efficace i flussi fisici di trasporto, di movimentazione e di stoccaggio delle merci(in particolare per quanto riguarda i prodotti finiti), ma è anche a tutti gli effetti, un titolo di credito trasferito dal mittente al destinatario attraverso una società terza (il trasportatore/logistico).

Tale valore trasferito, certo trascurabile per chi compra e vende le merci, è invece rilevante per chi esegue i servizi di trasporto e di logistica: un carico completo (tipicamente 33 pallet) ha infatti un valore (dei pallet) prossimo ai 250 €, in molti casi quindi confrontabile con il costo stesso del viaggio.

Dunque "pallet" significa "denaro", e in quanto tale, richiede una gestione attenta da parte di tutti gli attori coinvolti nella filiera, incluse le aziende di trasporti e logistica, che subiscono da un lato, le modalità di gestione del pallet scelte dai produttori e, dall'altro, il potere contrattuale della grande distribuzione.

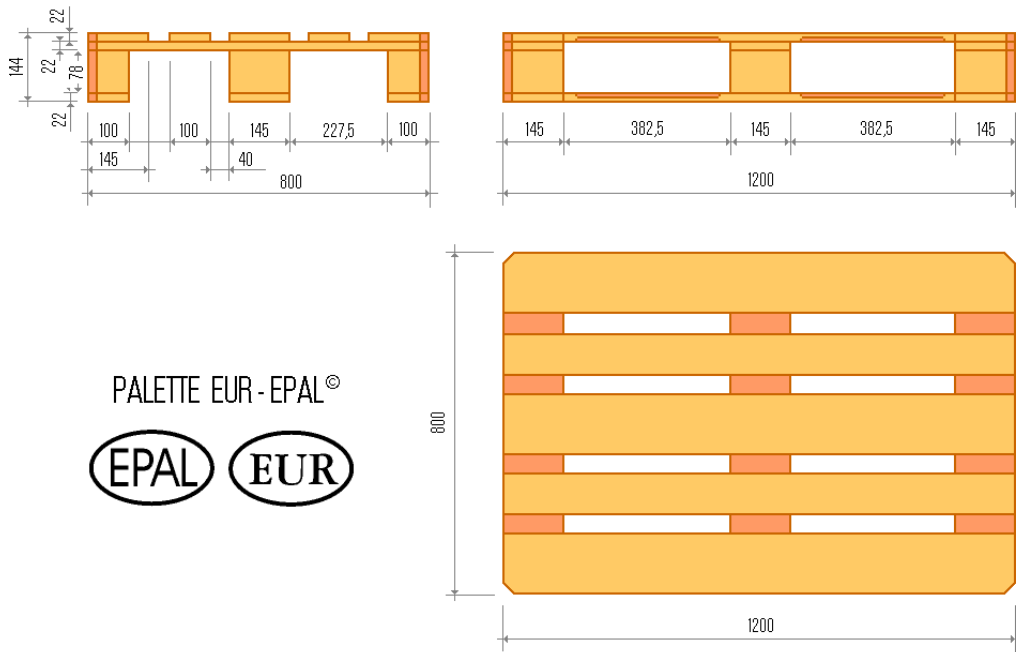


Tabella con le tipiche dimensioni del pallet in particolare dell' EPAL

Nel corso degli anni e con l'aumentare dei numeri 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.

Si hanno, infatti, le 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 e in automatico eseguono le operazioni di imballaggio. Nella maggior parte dei modelli, anche il taglio del film .



- 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.

1.3 Presentazione Macchine.

AVR 400 Flexa:

Unisce elevate prestazioni ad una insuperabile flessibilità, gli oltre 15 programmi di avvolgimento assicurano difatti una perfetta stabilità al carico anche con prodotti e dimensioni estreme. L'AVR 400 Flexa è dotata di un carrello portabobina che consente, grazie al motore controllato da inverter, elevate 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 film. Ulteriore punto di forza dell'AVR 400 Flexa è il suo dispositivo di taglio e bloccaggio del film .



AVR 400 Flexa

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 dispositivo 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.



Silver Twin

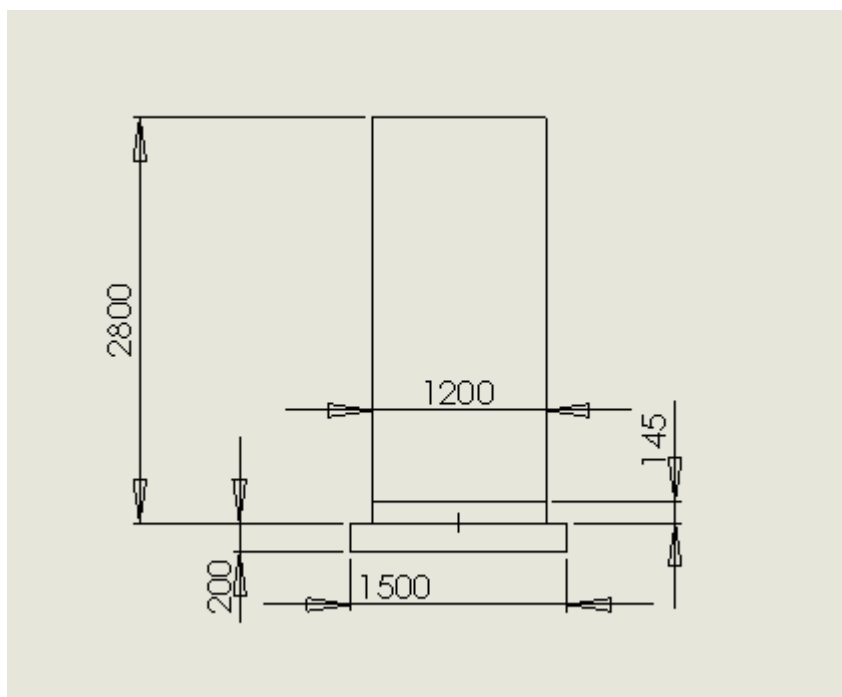
1.4 Il nuovo progetto.

La nuova macchina nasce con lo scopo di soddisfare la necessità di avvolgere direttamente sulla linea di produzione, pallet caricati con merce che raggiungono un totale di 2,80 metri di altezza e di avere un sistema di avvolgimento del film con doppio carrello dotato di prestiro e saldatura del lembo finale del nylon tramite resistenza.

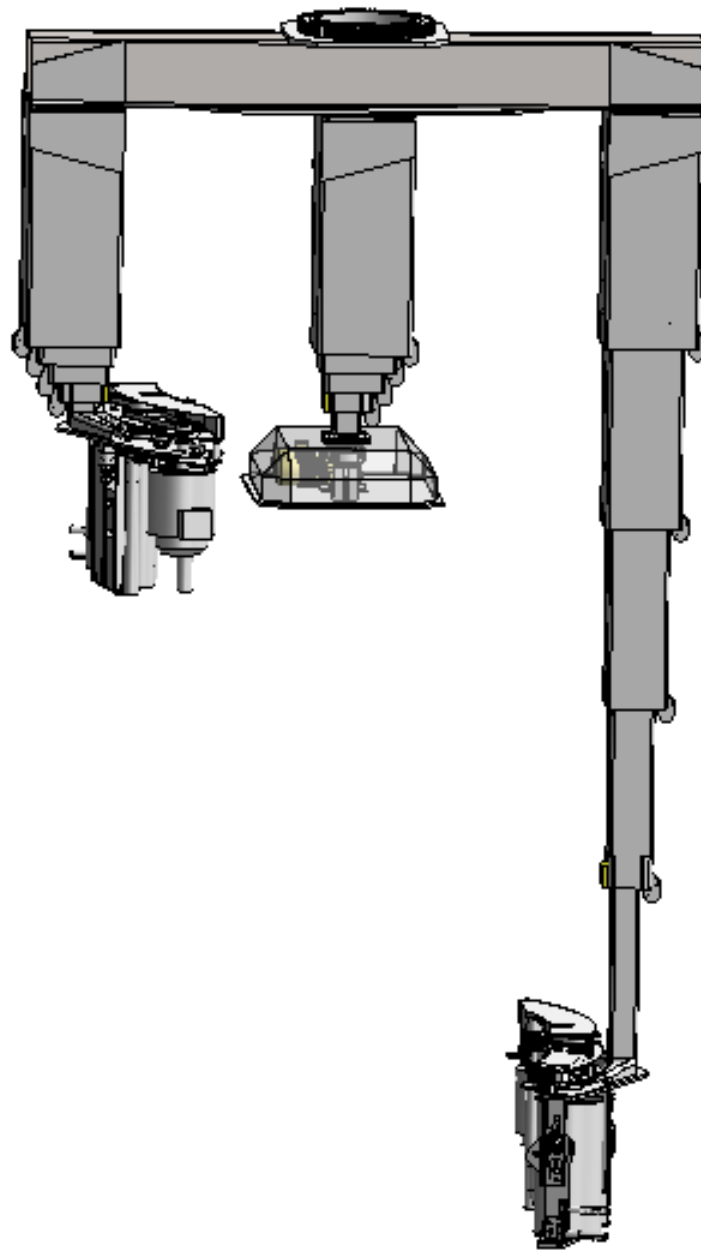
La struttura è costituita da una traversa portante di lunghezza 4 metri di sezione quadrata 350x350 x10 mm, alloggerà in un portale montato direttamente sulla linea di produzione, e ad essa sono poi fissati tramite flange imbullonate, il braccio porta pressore, al centro e i due sfili porta carrello alle estremità.

La movimentazione dell'apparecchiatura è affidata a motori e motoriduttori elettrici Bonfiglioli che garantiscono una velocità di 60 giri al minuto.

La peculiarità di questa macchina è che svolge il suo lavoro attraverso l'ausilio di elementi telescopici scelti con l'intento di garantire una facilitazione nella manutenzione e una maggiore agilità durante il movimento rotativo.



Ingombro del pallet



Nuova macchina con i bracci nelle due posizioni , uno completamente esteso e l'altro ritratto

Capitolo 2.

Sfili telescopici

2.1 Sistema telescopico.

Un sistema telescopico è costituito da una serie di elementi disposti uno dentro l'altro, con la possibilità di scorrere in avanti e in dietro, in questo modo è possibile coprire lunghe distanze minimizzando gli ingombri.

Grazie alla disponibilità di molteplici attrezzature, l'organo telescopico risulta essere una macchina polivalente, e per questo può essere impiegato per lavori di movimentazione di materiale pallettizzato, di sollevamento persone ed attrezzature e di impiego del verricello. La movimentazione è garantita, di solito, dall'ausilio di motoriduttori e catene o sistemi oleodinamici.

I campi di impiego variano quindi da quello dell'edilizia, al restauro, alle costruzioni, alla manutenzione dei ponti, alle cave, alle miniere, al trattamento dei rifiuti.



Gru con braccio telescopico



Gru edile con attuatori oleodinamici

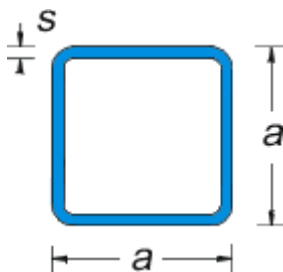
2.2 Struttura degli sfilii.

Si è deciso di progettare gli sfilii con struttura telescopica in maniera da rendere la movimentazione del portabobina il più agile possibile e ottenere un'ottimizzazione degli spazi. L'altezza da coprire è di circa 5 metri, considerando gli ingombri stimati di carrello porta film, pallet, traversa centrale e dei vari motoriduttori si è ipotizzato di strutturare i bracci in 5 sfilii(4, più la base) di sezione quadrata con le dimensioni riportate nella tabella a piè pagina.

La base è collegata alla traversa principale tramite flange e bulloni, e da essa partono i quattro stadi che servono a coprire la corsa necessaria.

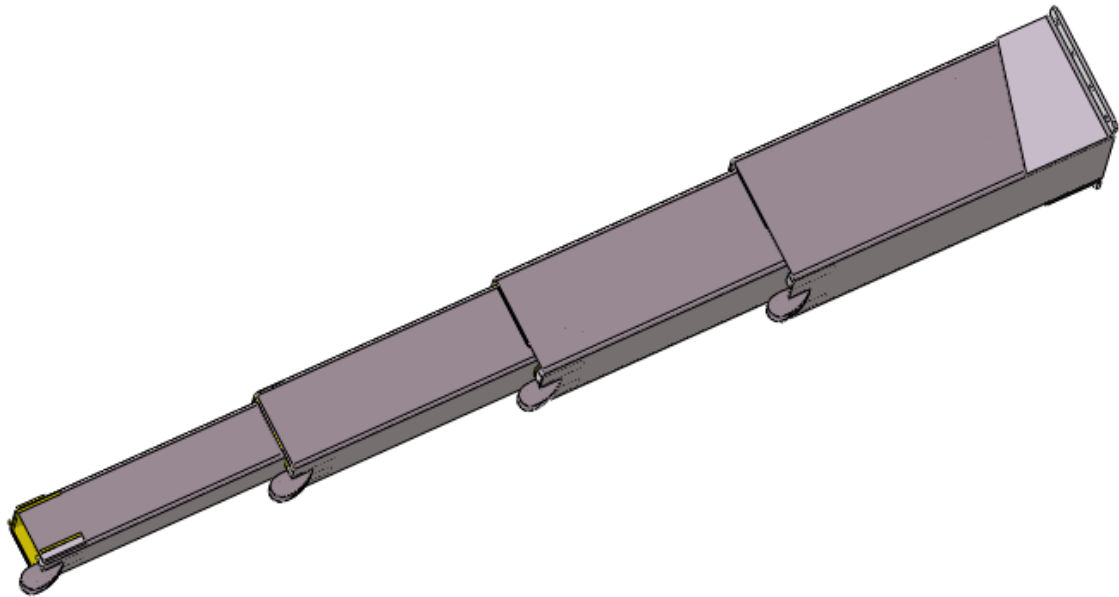
Nell'ultimo sfilio invece sono ancorati, uno per braccio, i carrelli portabobine i quali montano già tutti gli organi necessari al fissaggio, prestiro e taglio del film .

Tale configurazione è stata studiata per avere il corretto imballaggio del pallet passando dalla posizione di completa estensione, nella quale si effettua l'ancoraggio del film di nylon e l'inizio del ciclo di avvolgimento, a quella completamente ritratta dove avvengono le operazioni di taglio.

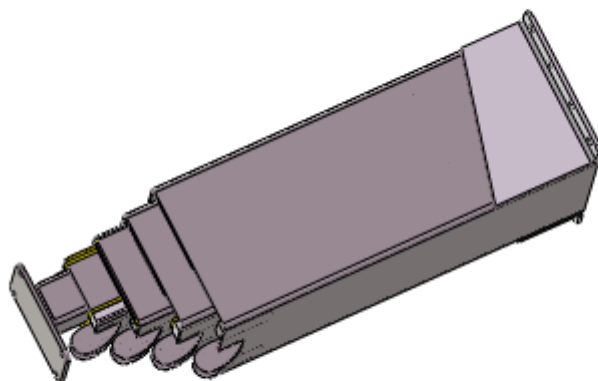


| | Lunghezza in mm | Sezione a | Spessore S |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------|
| Unità di misura | mm | mm | mm |
| Base | 900 | 350x350 | 10 |
| Sfilio 1 | 900 | 280x280 | 10 |
| Sfilio 2 | 900 | 220x220 | 10 |
| Sfilio 3 | 900 | 160x160 | 10 |
| Sfilio 4 | 900 | 100x100 | 10 |

Gli sfili sono accoppiati tramite pattini, ancora in fase di studio, che dovranno fungere da guida e appoggio mentre la macchina è in rotazione. Dovranno, inoltre, essere progettati in modo da poter collocare in maniera ottimale i vari rinvii del sistema di catene che movimenterà gli organi telescopici.



Braccio telescopico completamente aperto



Braccio telescopico ritratto

2.3 Catene.

Le catene movimentano gli sfilii grazie a un motoriduttore installato all'interno della traversa centrale ai rocchetti e ai rinvii montati sui bracci.

Nella Figura 2 sottostante è raffigurato come potrà essere il giro di catena. Nella parte superiore si ha, a destra il punto in cui la catena riceve il moto dal motoriduttore, e a sinistra l'entrata negli sfilii attraverso due rocchetti. Nella Figura 1 si può vedere come, imponendo un moto relativo tra il braccio di base e il primo sfilio, tramite il sistema di catene, ne consegue il corrispondente moto del successivo sfilio a cui è applicata l'attrezzatura.

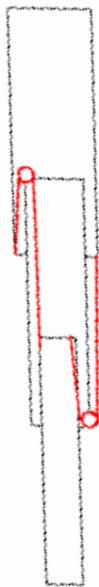


Figura 1: meccanismo catena

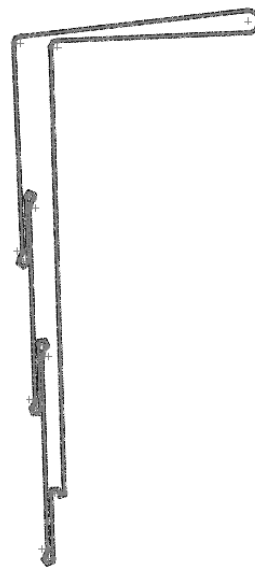


Figura 2 : giro della catena

Capitolo 3

Modellazione CAD

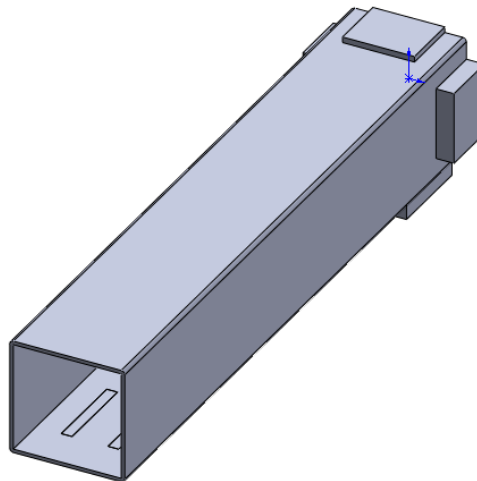
3.1 Modello semplificato.

Per lo studio degli sfili si è deciso 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), quando il dominio è 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

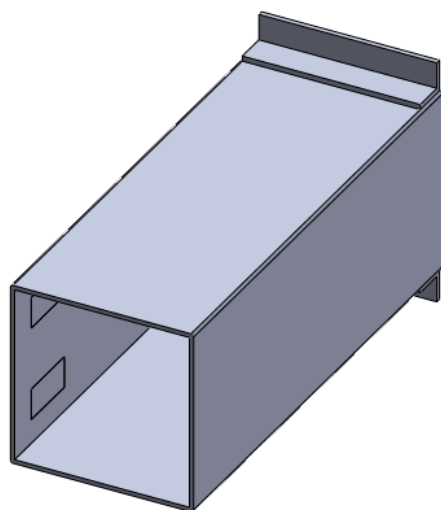
Si è quindi dovuto pensare a un modello semplificato del braccio rotante che fosse processabile con Simulation , e al quale risultasse poi possibile applicare le varie forze risultanti dalla macchina in movimento, dal peso del carrello portabobina, dal braccio stesso e dalle reazioni vincolari .

Sono stati quindi disegnati ad uno ad uno gli elementi, considerandoli come pezzo unico con le guide, le quali sono state ridotte a delle semplici sporgenze su cui poi si andranno a fissare i vincoli.

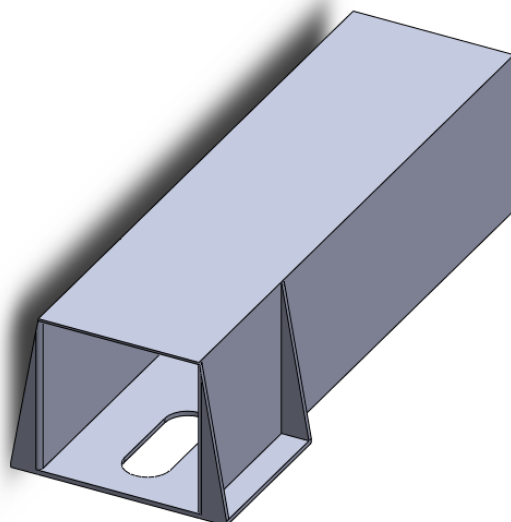


Esempio di elemento semplificato con guide

Per quanto riguarda l'attacco tra braccio e traversa centrale si è semplificato il collegamento disegnando sul profilo laterale, a 90° rispetto il lato guide della base, un aletta che simula il lembo di flangia saldato e come contro parte sulla traversa si è considerato un profilo simile a quello di prima ma con due nervature che lo collegano ai lati del profilo quadro. Per il passaggio delle catene e dei cavi elettrici per l'alimentazione del carello si è applicato un' asola alla base del profilato.



Base del braccio con le alette a simulare la flangia



Estremità della traversa centrale con alette,
nervature e asola

3.2 Materiali.

Per garantire leggerezza e solidità allo stesso tempo si utilizza come materiale di costruzione dei profilati metalli l'acciaio Domex 690.

Domex

È disponibile con limiti di snervamento garantiti da 240 N/mm² a 740 N/mm². Lo spessore va da un minimo di 2,00 mm a un massimo di 16,00 mm, a seconda della qualità di acciaio. Gli acciai per formatura a freddo Domex sono ideali per gli impieghi che richiedono un aumento della resistenza lasciando invariato il peso, oppure laddove sia necessario un raggio di curvatura più ristretto rispetto agli acciai tradizionali.

Per alcuni impieghi, la formatura a freddo con gli acciai Domex rappresenta un'alternativa conveniente rispetto alla formatura a caldo, decisamente più costosa. Gli acciai per formatura a freddo Domex mantengono costanti le loro caratteristiche, offrendo ai progettisti la possibilità di ottenere prodotti più resistenti con lo stesso peso oppure meno pesanti con la stessa resistenza, abbinando a tutto questo ottime caratteristiche di piegatura multidirezionale.

Vengono tipicamente impiegati per costruire telai di automobili, bracci di gru e scocche di veicoli.

Questi prodotti possono essere piegati, cesoiati e punzonati con attrezzature standard di officina. Gli utensili di lavorazione devono essere mantenuti in buone condizioni e possono richiedere una potenza leggermente maggiore di quella necessaria per gli acciai convenzionali. Gli acciai Domex presentano un'eccellente saldabilità con tutti i metodi comuni di saldatura e con qualsiasi materiale di apporto. La "lean analysis" rende l'acciaio resistente all'infragilimento termico e alle cricche. Il preriscaldamento è necessario soltanto in casi eccezionali.

Domex 690

Si distingue per:

- Altissima resistenza
- Buona lavorabilità
- Buona resilienza
- Buona saldabilità

Queste caratteristiche sono ottenute grazie a:

- Processo di affinamento del grano
- Gradualità nella trasformazione delle caratteristiche
- Assenza d'impurità
- Il perfetto controllo durante il processo termomeccanico di lavorazione

Caratteristiche meccaniche:

| | |
|--|---|
| Limite di snervamento R_{eH} N/mm ² | Carico di rottura R_m N/mm ² |
| min 690 | min 750 |
| Allungamento A_5 % ($L_0=5d_0$) | Durezza H_B |
| min 15 | approx. 240 |

Composizione chimica:

| % C max | % Si max | % Mn max | % P max | % S max | % Al min | % Nb max | % Ti max | % Mo max |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0,12 | 0,60 | 2,0 | 0,030 | 0,010 | 0,010 | 0,08 | 0,20 | 0,3 |

Materiale dei pattini

Le guide di supporto dei bracci devono garantire solidità al sistema e un perfetto scorrimento diminuendo al massimo le resistenze ad attrito, i materiali più indicati a questo scopo sono quindi polimeri a basso coefficiente d'attrito come PTFE, Torlon, Peek.

Si riportano alcune proprietà di questi materiali:

PTFE:

È una materia plastica liscia al tatto e resistente alle alte temperature (fino a 200 °C e oltre), usata nell'industria per ricoprire superfici sottoposte ad alte temperature alle quali si richiede una "antiaderenza" e una buona inerzia chimica. Le padelle da cucina definite "antiaderenti", sono appunto ricoperte all'interno di uno strato di PTFE (Teflon). Risulta, inoltre, il materiale più scivoloso al mondo. Nell'industria chimica è utilizzato per la realizzazione di guarnizioni e parti destinate al contatto con agenti corrosivi (ad esempio l'acido solforico concentrato). Viene usato nei motori, per abbattere l'attrito cilindro-pistone e nei laboratori chimici per garantire la tenuta dei giunti di vetro smerigliato, senza il rischio di incorrere nell'eventuale difficile distacco delle parti.

Presenta una serie interessante di caratteristiche peculiari che lo avevano portato a essere considerato materiale strategico fino agli anni settanta. Le caratteristiche principali sono:

- la completa inerzia chimica per cui non viene aggredito dalla quasi totalità dei composti chimici, fanno eccezione i metalli alcalini allo stato fuso, il fluoro ad alta pressione e alcuni composti fluorurati in particolari condizioni di temperatura .Soprattutto non modifica i fluidi con il quale viene posto in contatto come ad esempio i fluidi ultrapuri per l'industria elettronica
- la completa insolubilità in acqua e in qualsiasi solvente organico
- ottime qualità elettriche (65 kV/mm di rigidità dielettrica)
- ottime qualità di resistenza al fuoco: non propaga la fiamma
- ottime proprietà di scorrevolezza superficiale: il coefficiente di attrito risulta il più basso tra i prodotti industriali
- antiaderenza: la superficie non è incollabile (l'angolo di contatto risulta essere 127°), non è noto alcun adesivo capace di incollare il PTFE

Queste caratteristiche assumono ulteriore importanza se si considera che si mantengono praticamente inalterate in un campo di temperature comprese tra i -80 °C e i 250 °C.

| Caratteristiche | Metodo | Temperatura (°C) | Unità di misura | Valori |
|---|------------|--------------------------|--------------------|--|
| Peso specifico | DIN 53479 | 23° | g/cm ³ | 2,13 ÷ 2,18 |
| Carico di rottura a trazione | DIN 53479 | 23° | kg/cm ² | 200 ÷ 380 |
| Resistenza a compressione | DIN 53455 | 23° | kg/cm ² | 70 |
| Calore specifico | - | - | kcal/kg °C | 0,25 |
| Coefficiente di dilatazione termica lineare | ASTM-D 696 | 23° ÷ 60° 100° ÷ 200° | - - | 10·10 ⁻⁵ 21·10 ⁻⁵ |

Torlon:

Le diverse gradazioni di TORLON, che combinano eccellente ritenzione delle proprietà meccaniche, rigidità e resistenza al creep in un'ampia gamma di temperature, con espansione termica lineare estremamente bassa fino a 250°C, sono classificate ai primi posti per le applicazioni con temperature elevate.

Caratteristiche:

- Elevata temperatura massima di impiego in aria (250°C in continuo)
- Eccellente ritenzione della resistenza meccanica, rigidità e resistenza al creep in un'ampia gamma di temperature
- Bassissimo coefficiente di espansione termica lineare fino a 250°C
- Eccellente comportamento all'attrito e all'usura (in particolare per TORLON 4301 PAI)
- Bassa infiammabilità intrinseca
- Eccezionale resistenza alle forti
- radiazioni di energia

PEEK:

Il gruppo di materiali PEEK si basa sulla resina polietereeterchetone. Questo materiale semi-cristallino tecnologicamente avanzato presenta una combinazione unica di notevoli proprietà meccaniche, resistenza alla temperatura e un'eccellente resistenza chimica, che lo rendono il materiale più conosciuto tra gli "advanced plastic materials".

Caratteristiche:

- Bassissimo coefficiente di espansione termica lineare fino a 250°C
- Eccellente resistenza all'attrito e all'usura
- Bassa infiammabilità intrinseca
- Buone proprietà dielettriche e di isolamento elettrico
- Basso degassaggio sotto vuoto (materiale essiccato)
- Alto livello di purezza ionica
- Eccellente resistenza alle forti radiazioni di energia
- Elevata temperatura massima di impiego in aria (250°C in continuo)
- Eccellente ritenzione della resistenza meccanica, rigidità e resistenza al creep in un'ampia gamma di temperature

Fenomeno del creep:

Lo scorrimento viscoso o scorrimento plastico permanente o deformazione viscosa è la deformazione di un materiale sottoposto a sforzo costante. Tale fenomeno è presente nei materiali viscoelastici (tra cui l'acciaio, il calcestruzzo e le materie plastiche).

Capitolo 4

Ottimizzazione sfili

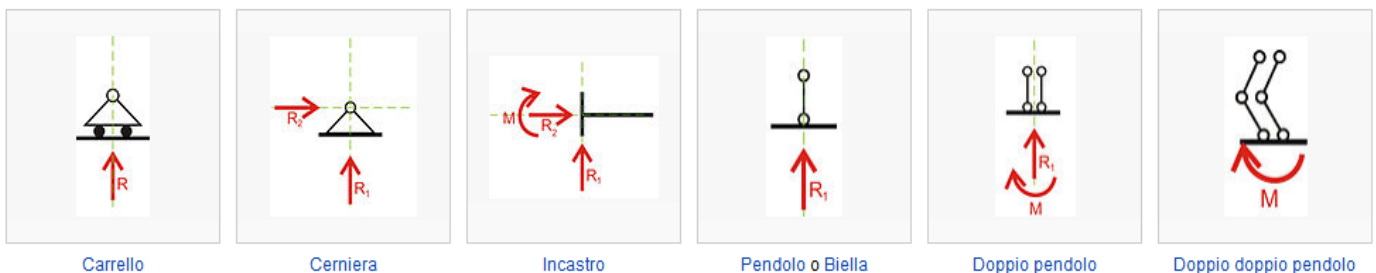
Per un primo approccio di ottimizzazione del braccio si è deciso di agire sullo spessore, cercando quindi una configurazione che, pur mantenendo le stesse caratteristiche dimensionali del progetto iniziale, non compromettesse la necessità di spazio riservata a catene e cablaggi e garantisce una struttura il più leggera possibile.

4.1 Vincoli.

Breve introduzione alla tipologia dei 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.

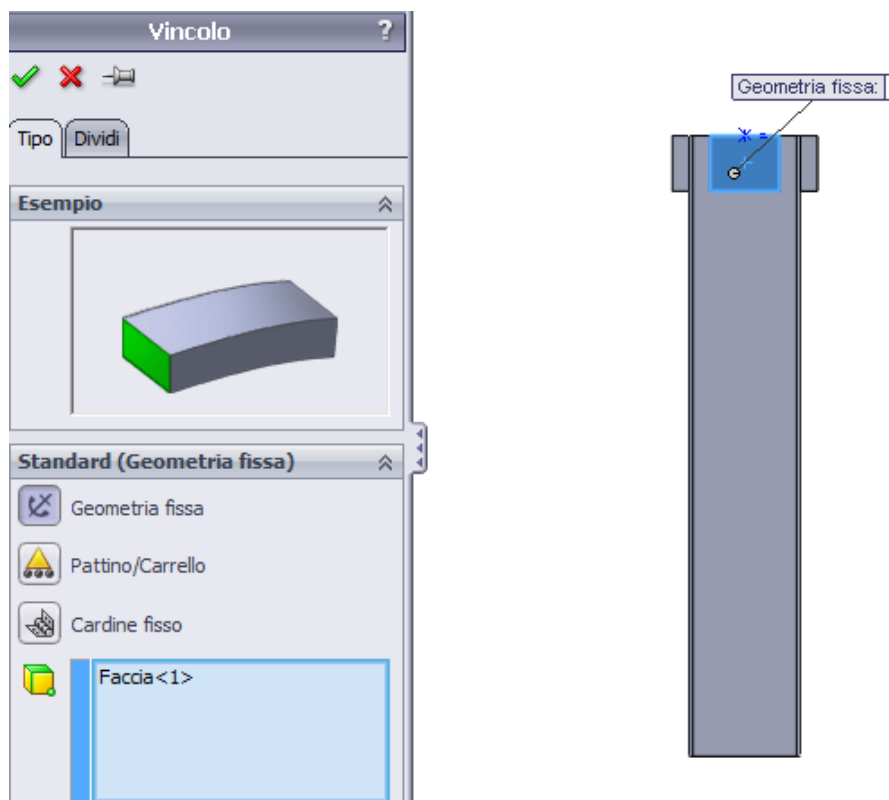
Tabella riassuntiva dei vincoli principali con rosso le reazioni vincolari, per ogni reazione corrisponde un movimento bloccato.



Uno dei primi problemi da affrontare durante la simulazione al cad è il fissare i vincoli agli elementi in esame.

La struttura considerata nella sua totalità risulta abbastanza complessa da analizzare poiché vi sono molte superfici di contatto e forze in gioco.

Si è quindi preso in considerazione un elemento alla volta e lo si è messo nelle condizioni più sfavorevoli possibili. Sono stati infatti considerati i suoi punti di appoggio con l'elemento successivo, ovvero le guide, come degli incastri. Questa configurazione non rispecchia in maniera realistica la conformazione della coppia cinematica, ma considerando l'azione dei pattini e della catena di movimentazione sui rinvii, può essere un ottimo modo per avvicinarsi alla realtà rimanendo comunque dal lato della sicurezza.



Applicazione vincoli in Simulation

4.2 Forze in gioco.

Il carrello:

Il peso stimato per il portabobina è di circa 80 kg, il baricentro non risulta perfettamente equilibrato causa la presenza dei motori per il prestiro, ed è fissato sull'ultimo sfilo tramite una piastra imbullonata.

Le dimensioni sono circa di 570 mm di altezza, 360 mm di larghezza e 1400mm di lunghezza. Il centro delle masse è stato stimato a circa 2/3 della sua lunghezza, quindi una volta in rotazione genererà forze derivanti dal suo peso e forze derivanti dalla accelerazione centrifuga e tangenziale che creeranno momenti sia flettenti che torcenti.

Considerando la velocità angolare della macchina $n = 60$ rpm:

$$\omega = 2 * \pi * \frac{n}{60} = 6.28 \text{ rad/sec}$$

e un raggio $r =$ di circa 1278 mm, l'accelerazione centrifuga sarà :

$$a = \omega^2 * r = 50.42 \text{ m/s}^2$$

Mentre l'accelerazione tangenziale tenendo conto che il regime di 60 giri al minuto viene raggiunto in 2 secondi sarà:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t} = \frac{6.28 \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}}\right)}{2 \text{ sec}} = 3.14 \text{ rad/sec}^2$$

$$a_t = r * \varepsilon = 3.14 \left(\frac{\text{rad}}{\text{sec}^2}\right) * 1.278 \text{ m} = 4.01 \text{ m/sec}^2$$

La forza tangenziale del carrello risulta essere:

$$f_{t=} m * a = 321 N$$

La forza risultante dall'azione centrifuga sarà quindi di:

$$f_c = m * a = 4033.8 N$$

La forza peso invece è di:

$$f_p = m * g = 784.8 N$$

Per quanto riguarda gravità, forze tangenziali e centrifughe sugli sfili, vengono direttamente calcolate dal programma attribuendo le caratteristiche meccaniche del materiale al pezzo in esame e inserendo i valori delle accelerazioni come variabili nel sistema.

In questa maniera si avrà una simulazione del pezzo messo in movimento e a regime.

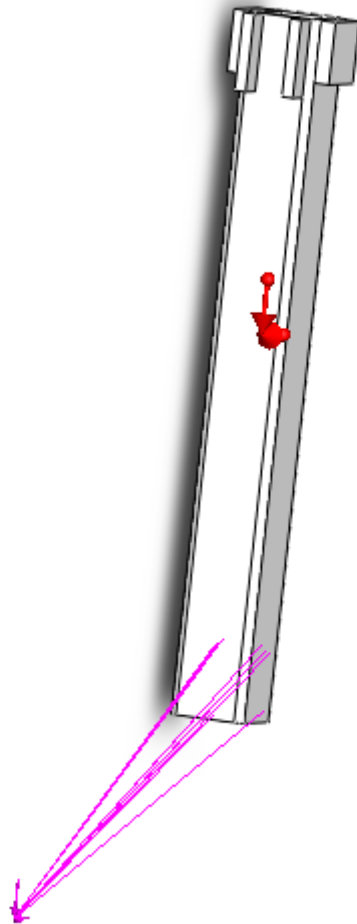
Forze generate dal carrello:

| | N |
|-------------------|--------|
| Forza peso | 784.8 |
| Forza centrifuga | 4033.8 |
| Forza tangenziale | 321 |

4.3 Applicazione forze

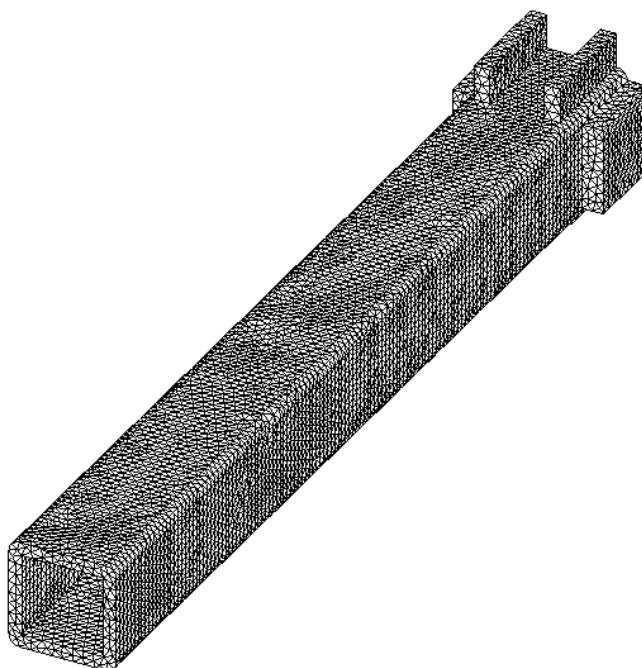
Per lo sfilo che monterà il porta carrello si è creata una piccola sporgenza in corrispondenza di dove quest'ultimo sarà fissato e attraverso il comando "applica forze /carchi remoti" si sono inserite forza centrifuga ,tangenziale e forza peso del carrello nel esatto punto stimato in cui si dovrebbero trovare, il programma terrà conto in automatico di esse in termini di momento flettente e torcente.

Si sono poi inserite le azioni delle accelerazioni che andranno ad interessare invece lo sfilo.



Sfilo 1 con forze applicate, in rosso le accelerazioni, in viola le forze risultanti del carrello.

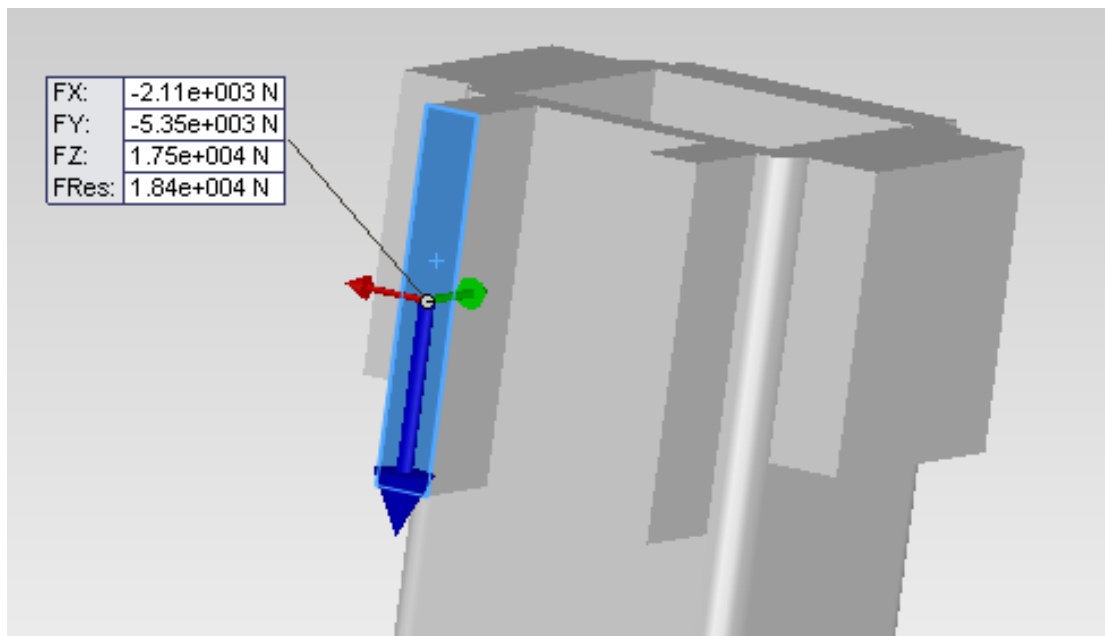
Per poter applicare il metodo a elementi finiti, un passaggio fondamentale è la frammentazione del dominio di calcolo. Si passa da un modello continuo ad un modello discretizzato e si risolvono, per via numerica, le equazioni che descrivono il modello fisico-matetico. Un problema complesso può essere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



Mesh eseguita sullo sfilo portacarrello

Le operazioni successive consistono nell'andare a leggere i valori delle reazioni vincolari relative ai vincoli fissati in precedenza. Verranno poi riportate con direzione contraria sul pezzo successivo nei corrispettivi punti di contatto tra i due, nello specifico, nella zona di contiguità tra le guide del primo sfilo e il secondo.

In questo modo si ottiene un'analisi certamente non minuziosa ma sicuramente soddisfacente in questa fase di preparatoria dello studio.



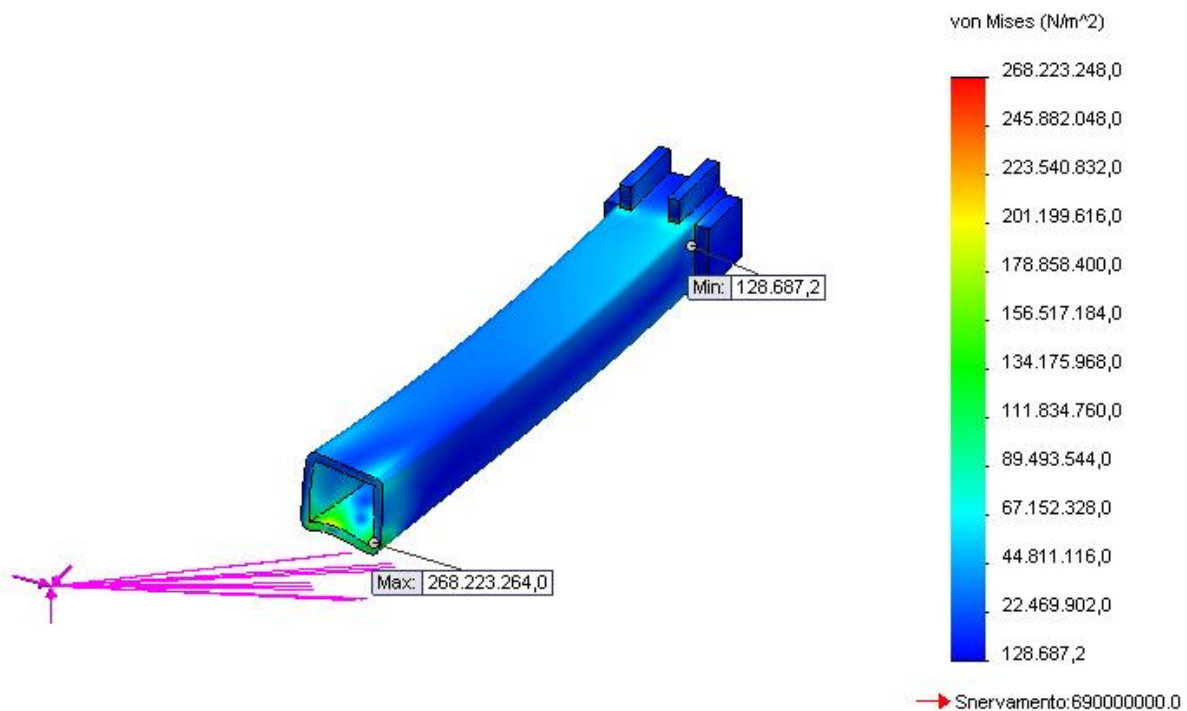
Reazioni vincolari

Capitolo 5: Analisi degli sfili

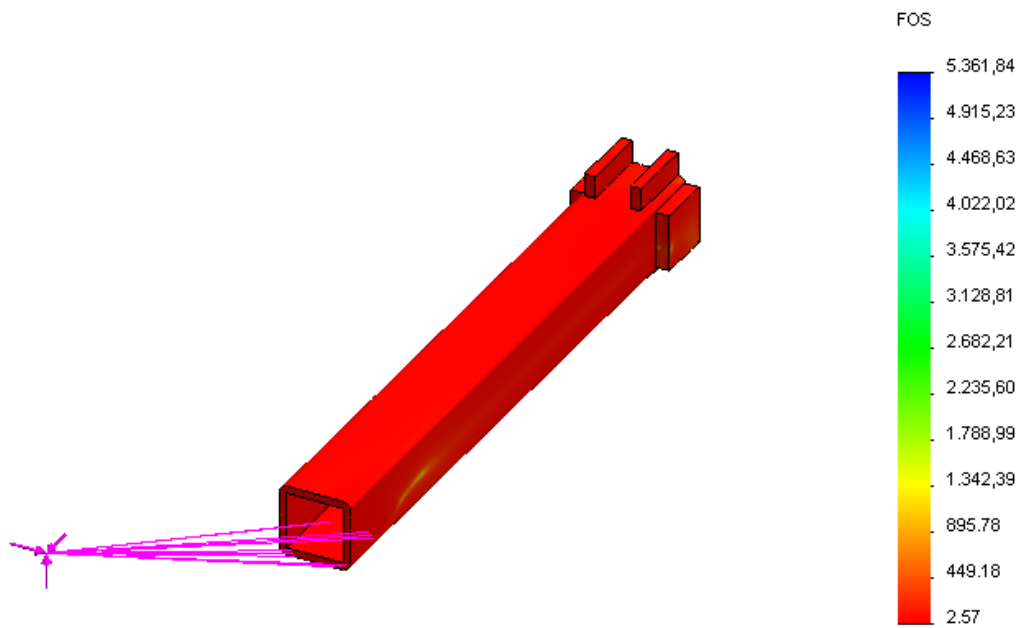
Di seguito saranno riportati i risultati e i grafici dell'analisi degli sfili con una nota particolare per l'ultimo elemento e per la base.

Sfilo 4

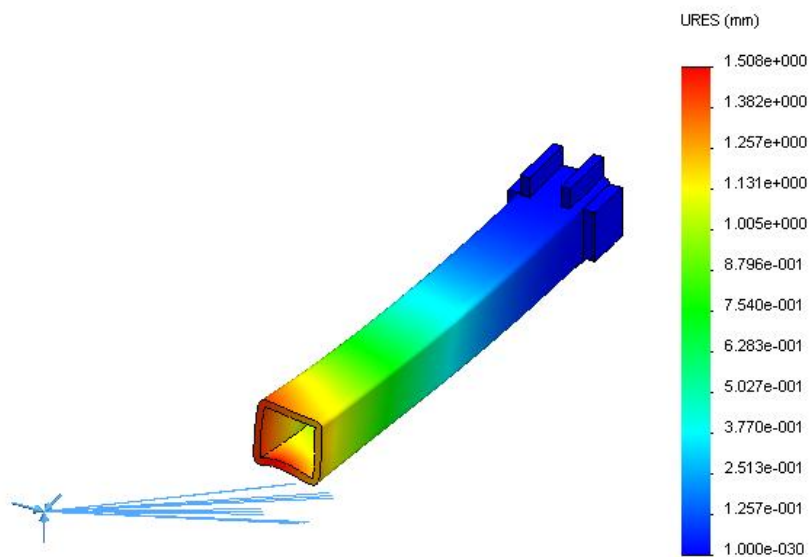
Esso risulta essere il più sollecitato in virtù della sua sezione, di dimensione ridotta, e a causa dei carichi generati dal porta carrello. Le analisi agli elementi finiti riportano una sollecitazione massima in prossimità dell'attacco di quest'ultimo.



Il coefficiente di sicurezza medio è di 2.57:

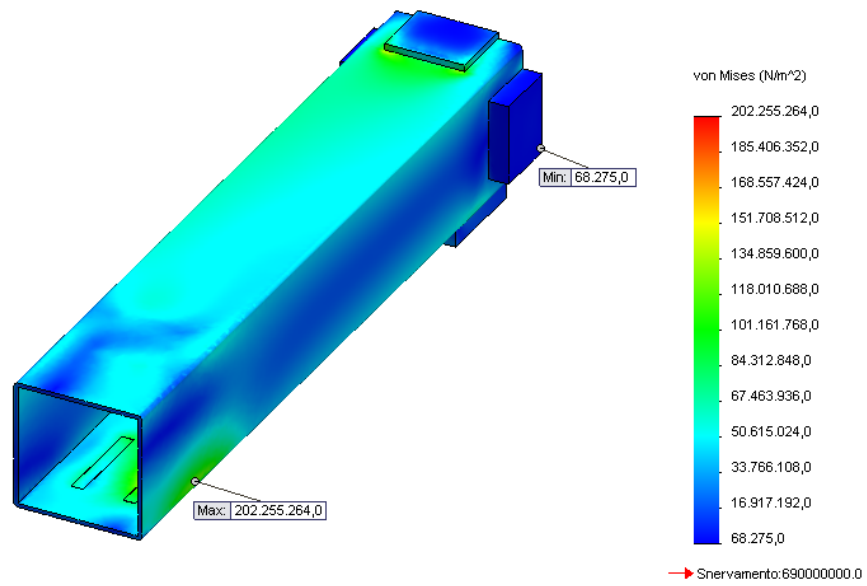


Mentre il grafico degli spostamenti è il seguente:

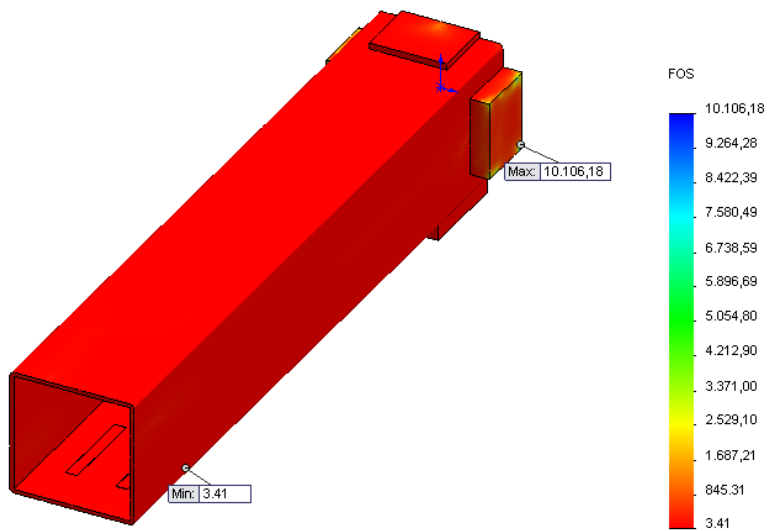


Sfilo 3:

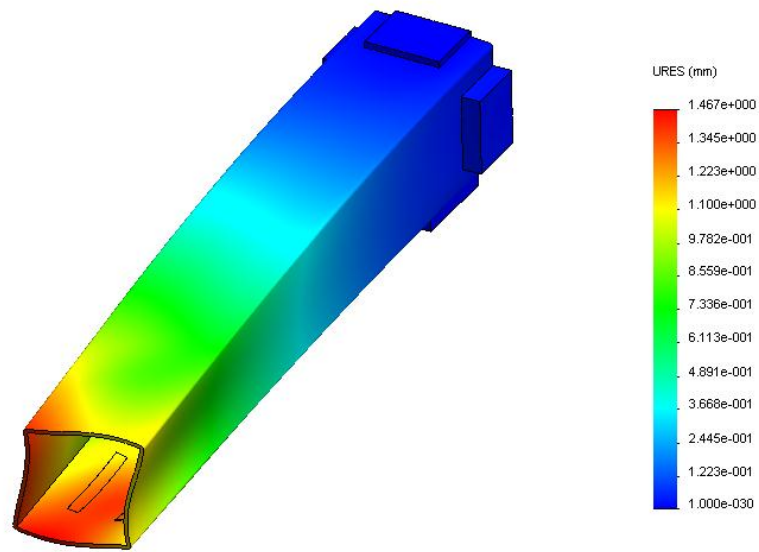
Sollecitazione (Von Mises)



Coefficiente di sicurezza medio:

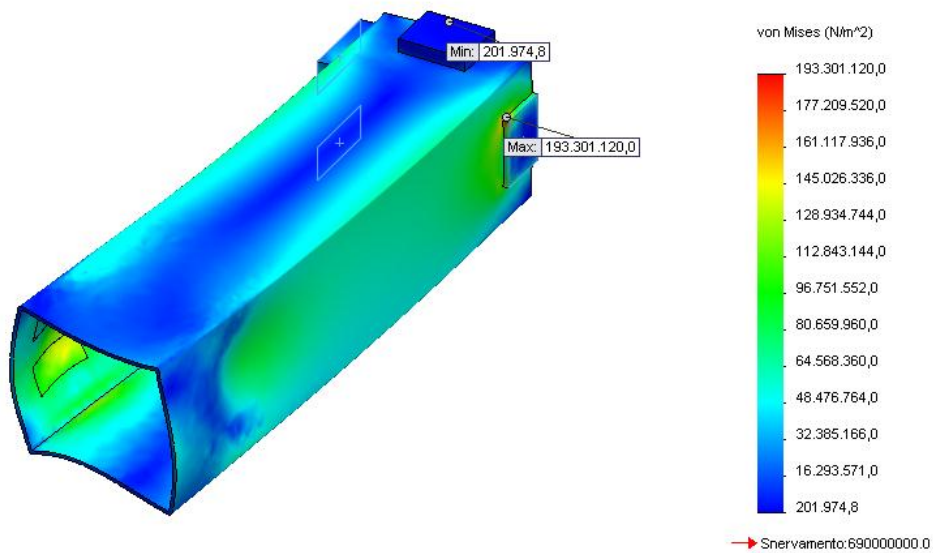


Spostamenti:

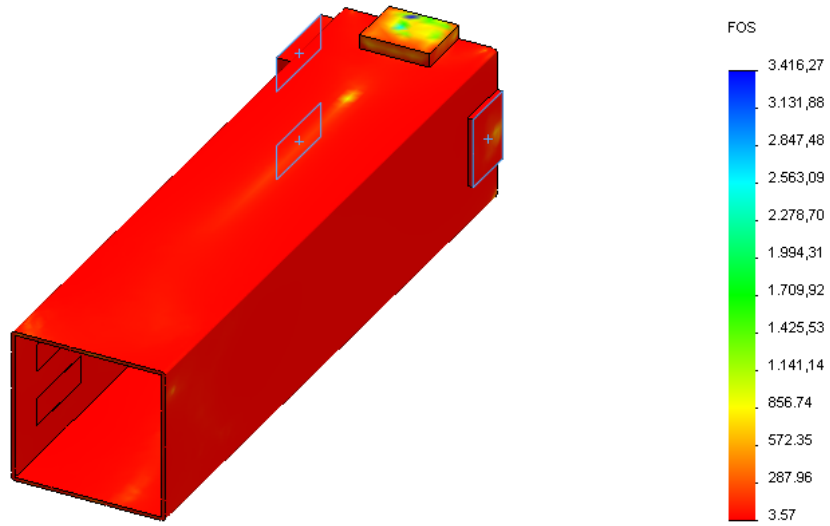


Sfilo 2

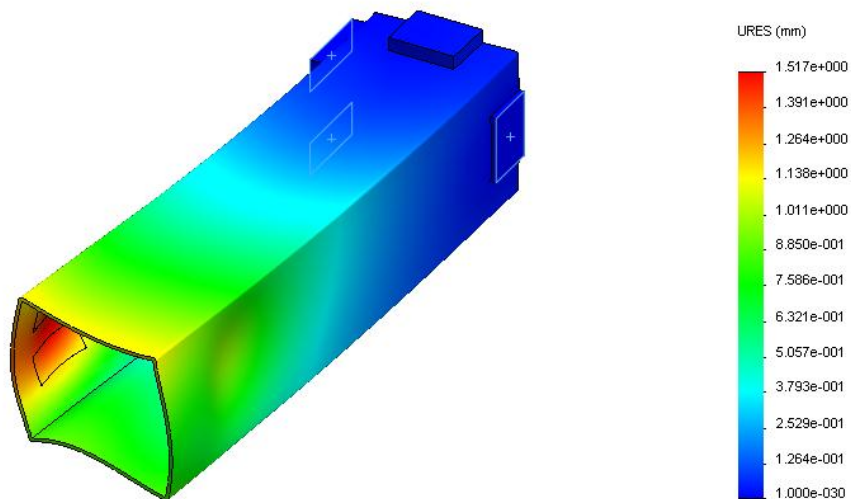
Sollecitazione (Von Mises):



Coefficiente di sicurezza medio:

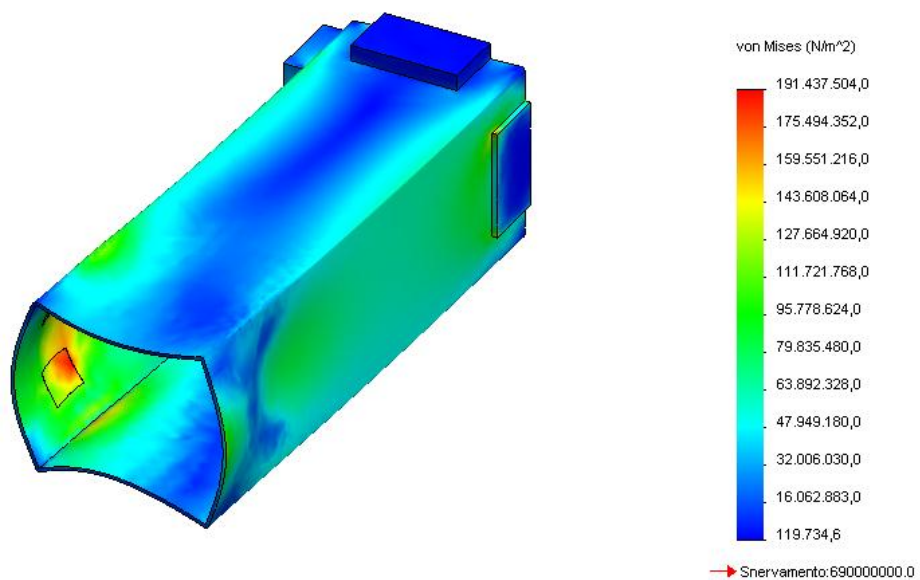


Spostamenti:

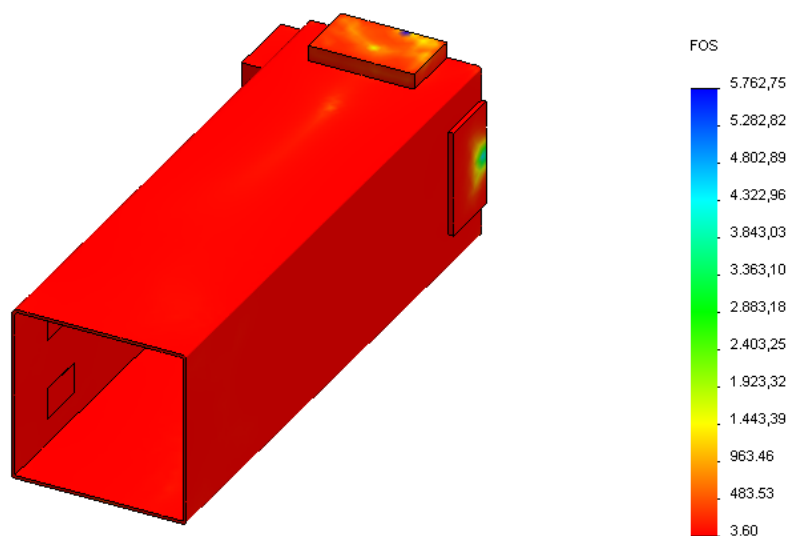


Sfilo 1:

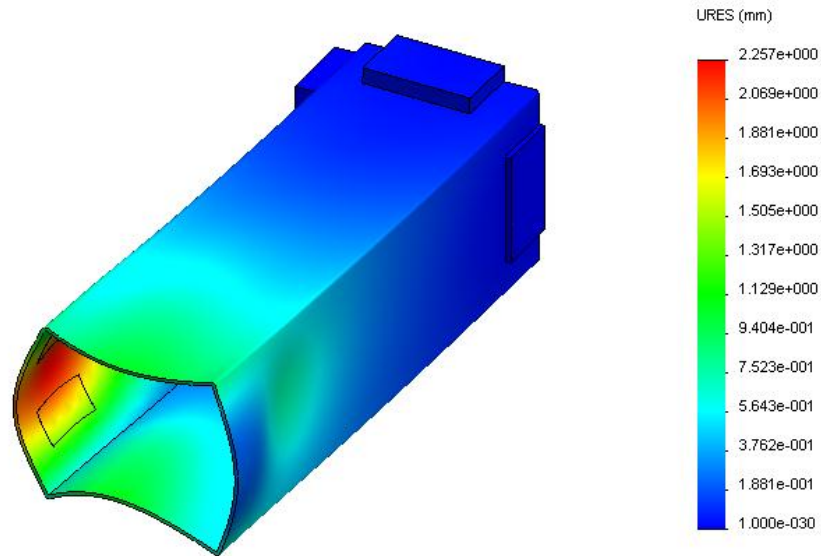
Sollecitazione(Von Mises):



Coefficiente di sicurezza medio:

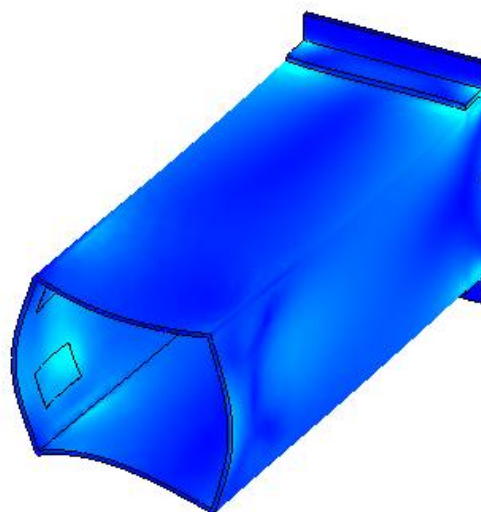


Spostamenti:



Base:

Essa possiede la sezione più grande di tutti gli altri sfilii (350x350 mm) e in virtù di ciò risulta, come in teoria dovrebbe, l'elemento che meno risente l'effetto dei carichi. Si noti come il grafico non comprende zone ad alta sollecitazione.



Capitolo 6

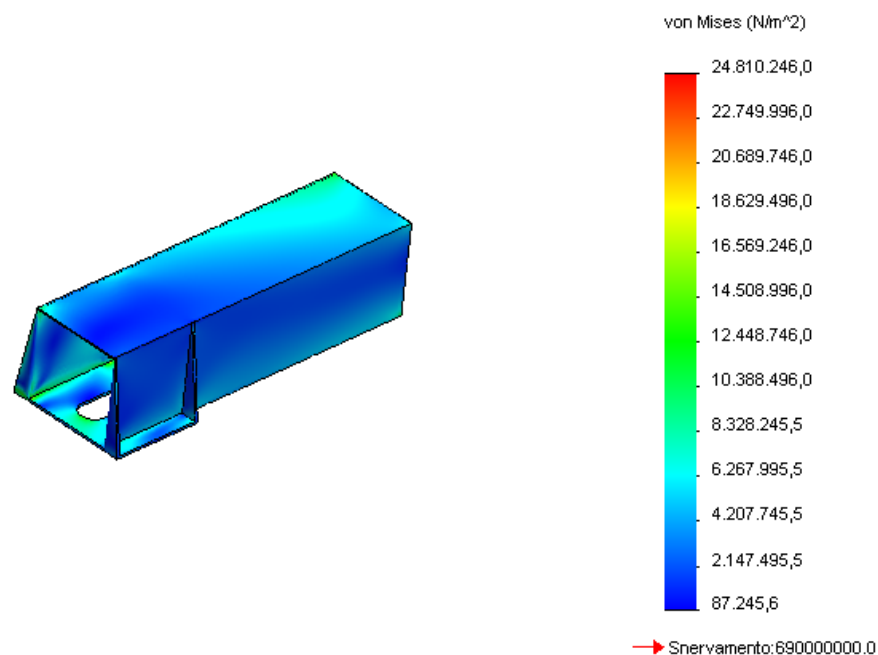
Traversa

Si riserva una trattazione a parte per la traversa, questo perché essendo ancora il progetto in fase di studio non si è ancora certi sulla sua realizzazione, si è quindi svolta un'analisi solo su una porzione di essa, troncandola a circa 1300 mm dall'attacco del braccio e considerandola come incastrata in quel punto.

Una volta determinato il progetto finale, i risultati ottenuti prima saranno applicati sul punto di troncamento senza bisogno di rifare i calcoli, questo chiaramente se tutto ciò che si è calcolato prima rimane invariato.

La traversa risulta comunque poco influenzata dalle forze del braccio fatto, che in sede di studio preliminare, sembra essere più che giustificato dalle dimensioni della stessa.

Valori di sollecitazione traversa:



Capitolo 7

Risultati ottenuti dall'analisi

Al termine della simulazione degli sfilii è stata ottenuta una sensibile diminuzione dello spessore dei profilati.

Infatti, mentre per il primo si dovrà mantenere il valore prestabilito da progetto, a causa del crollo relativo al coefficiente di sicurezza scendendo oltre ai 10 mm, per i restanti elementi si è riuscito a diminuire lo spessore fino a un valore di 5 mm.

I coefficienti di sicurezza, che variano da 2.57 per il primo sfilio a una media di 3.5 per i successivi, restano nei limiti ipotizzati in fase di progetto. Tuttavia, si potrebbero ottenere valori inferiori. Il vantaggio di una macchina più leggera creerebbe però uno spostamento eccessivo.

| | Lunghezza in mm | Sezione a | Spessore S | Peso | Spessore post analisi | Peso post analisi |
|--------------------|--------------------|--------------|---------------|-------|--------------------------|-------------------------|
| Unità di misura | mm | mm | mm | Kg | mm | kg |
| Base | 900 | 350x350 | 10 | 98.91 | 5 | 49.45 |
| Sfilio 1 | 900 | 280x280 | 10 | 79.12 | 5 | 39.56 |
| Sfilio 2 | 900 | 220x220 | 10 | 62.17 | 5 | 31.09 |
| Sfilio 3 | 900 | 160x160 | 10 | 45.21 | 5 | 22.60 |
| Sfilio 4 | 900 | 100x100 | 10 | 28.26 | 10 | 28.26 |

| | Lunghezza in mm | Sezione a | Spessore post analisi | Peso post analisi | Cs |
|--------------------|--------------------|--------------|--------------------------|-------------------------|------|
| Unità di misura | mm | mm | mm | kg | |
| Sfilo 1 | 900 | 280x280 | 5 | 39.56 | 3.40 |
| Sfilo 2 | 900 | 220x220 | 5 | 31.09 | 3.57 |
| Sfilo 3 | 900 | 160x160 | 5 | 22.60 | 3.41 |
| Sfilo 4 | 900 | 100x100 | 10 | 28.26 | 2.57 |

Il risultato implica una struttura molto più leggera rispetto al disegno iniziale, favorendo un minore dispendio di energia nella movimentazione. In particolare, sono privilegiate le forze di sollevamento, la scelta dei motoriduttori per la movimentazione della macchina e i costi dei materiali.

Il passo successivo sarà quello di analizzare il percorso e il dimensionamento delle catene. Queste dovranno essere posizionate consentendo la corretta e ottimale installazione della componentistica elettronica per l'alimentazione del carrello. Si dovrà poi considerare se l'ipotizzato posizionamento delle guide sia effettivamente quello ideale.

Bibliografia:

Libri:

1.Zanichelli-“Il nuovo MANUALE DI MECCANICA” - terza edizione, ZANICHELLI/ESAC, 2000

2.Giorgio Cagliero-“MECCANICA 1 - Meccanica generale. Resistenza dei materiali. Trasmissione del moto”, ZANICHELLI/ESAC, 1992

3.Luigi baldassini- “Vademecum per disegnatori e tecnici”-18^a edizione , ULRICO HOEPLI MILANO, 2000