

“ALMA MATER STUDIORUM” UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Scuola di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica,  
curriculum Progettazione e Modellazione

# Progettazione assistita (CAD) di un sistema meccanico di terra (MGSE) a supporto dei montaggi di uno strumento per la Stazione Spaziale

Tesi di Laurea in Ingegnerizzazione del Prodotto

Relatrice

Prof.essa Daniela Francia

Correlatore

Prof. Alfredo Liverani

Correlatore

Prof. Alessandro Ceruti

Correlatore esterno

Ing. Martino Pinelli

Presentata da  
Sara Dell’Arciprete

Sessione Unica

Anno Accademico 2022-2023

# Premessa

Questo progetto di tesi affronta un argomento molto attuale che è quello della progettazione aerospaziale. Ho scelto questo campo poiché nonostante sembri un mondo molto lontano è anche grazie alla continua ricerca in questo campo che l'innovazione negli altri è potuta andare avanti. Infatti, basta pensare ai satelliti che ci permettono la comunicazione senza fili e l'utilizzo del GPS, oppure ai filtri dell'acqua e i rilevatori di fumo o ai materiali compositi che stanno permettendo innovazione in molti campi, tra cui l'automotive e il medicale. Le scoperte e le ricerche di questi oggetti sono cominciati proprio da questo settore. Un altro dei motivi per cui questo settore è salito alla ribalta, recentemente, è per la possibilità del turismo spaziale che per quanto ancora molto costoso sta diventando sempre di più una realtà.

Per tornare alla ricerca e all'innovazione, come si vedrà anche in questa tesi, la stessa Stazione Spaziale e un'ambiente di ricerca che ci permette di portare avanti esperimenti che sono molto complicati da effettuare sulla terra nelle condizioni ideali.

In particolare, gli esperimenti sui materiali granulari che verranno portati avanti nelle strutture presentate in seguito potranno avere importanti effetti nell'industria farmaceutica, in agricoltura, nella produzione di energia e nell'edilizia.

Personalmente mi sono appassionata all'ingegneria e al settore aerospaziale fin da piccola e questa passione è stata alimentata grazie mia formazione scientifica liceale in matematica. Mi piace applicare abilità matematiche e analitiche per risolvere problemi della vita reale. Ho, quindi, sviluppato un interesse per la progettazione e la modellazione grazie ai corsi seguiti durante il mio percorso universitario tanto da scegliere questo come curriculum e in particolare la mia passione per questo ambito è aumentata anche grazie ai numerosi progetti svolti nel io percorso magistrale.

Per concludere questa premessa quello dell'aerospazio è un campo in continua innovazione e ci tenevo particolarmente a farne parte.

## Sommario

|   |    |
|---|----|
| Abstract.....   | 5  |
| Introduzione .....  | 6  |
| Le specifiche del progetto VIP-GRAN.....  | 6  |
| Metodo di progetto .....  | 11 |
| CAPITOLO 1 – Progettazione aerospaziale e processo di design .....                                    | 14 |
| Processo di design di Pahl.....   | 14 |
| Definizione del metodo di progettazione per questo progetto di tesi .....                             | 19 |
| Concurrent Engineering.....   | 20 |
| CAPITOLO 2 - Progettazione MGSE.....  | 22 |
| FASE 1 – INDIVIDUAZIONE DELLE SPECIFICHE .....  | 22 |
| FASE 2 – VALUTAZIONE DELLE SOLUZIONI UTILIZZABILI E PRECEDENTEMENTE UTILIZZATE.....                   | 23 |
| FASE 3 – DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI.....   | 25 |
| FASE 4 – SCELTA DEI COMPONENTI COMMERCIALI.....   | 26 |
| Specifiche del carrello elevatore.....  | 26 |
| CAPITOLO 3 - Progettazione piattaforma di inserimento .....   | 28 |
| FASE 1 – INDIVIDUAZIONE DELLE SPECIFICHE .....  | 28 |
| FASE 2 – VALUTAZIONE DELLE SOLUZIONI UTILIZZABILI E PRECEDENTEMENTE UTILIZZATE.....                   | 29 |
| FASE 3 – DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI.....   | 32 |
| FASE 4 – SCELTA DEI COMPONENTI COMMERCIALI.....   | 34 |
| Specifiche dei rulli di trasporto Ø50 .....   | 35 |
| Specifiche dei set cuscinetti per rullo di trasporto .....  | 36 |
| Specifiche delle cerniere in Al e PP4.....  | 37 |
| Specifiche dei profilati 50x50.....   | 38 |
| Specifiche dei profilati 100x50 .....   | 39 |
| Specifiche dei tasselli scorrevoli in acciaio M8 .....  | 40 |
| Specifiche della calotta 50x50 .....  | 41 |
| Specifiche della calotta 100x50 .....   | 42 |
| Specifiche del set squadra 50x50 .....  | 43 |
| Specifiche del profilato di copertura .....   | 44 |
| Specifiche otturatori compatti con colletto esagonale ed arresto con impugnatura a T .....            | 45 |
| Specifiche dado di serraggio ISO 8675 .....   | 46 |
| Specifiche della vite a testa cilindrica con esagono incassato M8x25 DIN 912 (ISO 4762 UNI 5931) .... | 47 |
| Specifiche della vite a testa cilindrica con esagono incassato M8x30 DIN 912 (ISO 4762 UNI 5931) .... | 48 |
| Specifiche della rondella DIN 125.....  | 49 |
| FASE 5 – MODELLO 3D DELL'ASSIEME.....   | 50 |

|   |    |
|---|----|
| FASE 6 – MODELLO 3D, DISEGNO COSTRUTTIVO E PRODUZIONE DI COMPONENTI NON COMMERCIALI . | 51 |
| Modelli 3D .....  | 51 |
| Disegni costruttivi .....   | 52 |
| Preparazione alla produzione di pezzi non commerciali .....                           | 52 |
| CAPITOLO 4 - Progettazione struttura per il recupero dei disallineamenti .....        | 54 |
| FASE 1 – INDIVIDUAZIONE DELLE SPECIFICHE .....  | 54 |
| FASE 2 – VALUTAZIONE DELLE SOLUZIONI UTILIZZABILI E PRECEDENTEMENTE UTILIZZATE.....   | 56 |
| FASE 3 – DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI.....   | 57 |
| FASE 4 – SCELTA DEI COMPONENTI COMMERCIALI.....                                       | 58 |
| Specifiche della vite a leva con leva mobile e piattello DIN 6306.....                | 59 |
| Specifiche della vite M6x35 a testa svasata con esagono incassato DIN 7991 .....      | 60 |
| Specifiche del dado M16 DIN 934 .....   | 61 |
| FASE 5 – MODELLO 3D DELL'ASSIEME.....   | 62 |
| FASE 6 – MODELLO 3D, DISEGNO COSTRUTTIVO E PRODUZIONE DI COMPONENTI NON COMMERCIALI . | 63 |
| Modelli 3D .....  | 63 |
| Disegni costruttivi .....   | 65 |
| Preparazione alla produzione di pezzi non commerciali .....                           | 68 |
| CAPITOLO 5 - Risultati.....   | 69 |
| FASE 7 – MONTAGGIO DI TUTTI I COMPONENTI .....  | 69 |
| Conclusioni .....   | 70 |
| Bibliografia e sitografia .....   | 71 |

## Abstract

In questa tesi si parte dallo sviluppo di un metodo di progettazione teorico basato sulla letteratura che riguarda il design e l'esperienza dell'azienda con cui il progetto è stato portato avanti, per poi applicarlo a un caso di progettazione aerospaziale. Il tutto in un'ottica di efficientamento delle soluzioni così da evitare l'utilizzo di parti inutili, lo spreco di materiali e ridurre il numero di oggetti da trasportare. L'obiettivo di questo progetto è di ottenere i modelli CAD degli assiemi progettati, i fogli d'ordine delle parti commerciali e le tavole di produzione delle parti non commerciali che devono essere prodotte in azienda così da poter arrivare al montaggio completo del prodotto. Il progetto sviluppato riguarda un sistema meccanico di terra (MGSE) a supporto dei montaggi della struttura che deve contenere gli esperimenti a gravità zero tenuti sulla Stazione Spaziale Internazionale e quelli di confronto con la gravità terrestre che saranno portati avanti sulla terra nello Space Center di Toulouse.

## Introduzione

In questo progetto di tesi si vogliono analizzare le metodologie utilizzate nella progettazione aerospaziale e la loro applicazione a un caso pratico all'interno del progetto VIP-GRAN affidato dall'ESA alla DTM di Modena. Il caso pratico riguarda la modellazione con l'ausilio di un programma CAD (SolidEdge) di un sistema meccanico di terra (MGSE) a supporto dei montaggi della struttura che deve contenere gli esperimenti a gravità zero portati avanti sulla Stazione Spaziale Internazionale e quelli di confronto con la gravità terrestre che saranno portati avanti sulla terra nello Space Center di Toulouse.

### Le specifiche del progetto VIP-GRAN

L'ESA ha affidato alla DTM la progettazione e la produzione della struttura, di cui si può osservare il modello sia montato che esploso in *Figura 1* (elemento ①), che è deputata a contenere non solo gli esperimenti eseguiti, ma anche le schede dati, i tubi necessari per il raffreddamento e i circuiti elettrici di tali esperimenti. L'utilizzo di questi ultimi risulta particolarmente complesso in quanto le posizioni dei cavi esterni e il loro montaggio deve essere accuratamente definito in quanto le spine possono essere inserite in una sola direzione e per un funzionamento il più possibile ottimale vengono fissate.

Nello specifico gli esperimenti per cui è stata modellata questa struttura riguardano la soglia di transizione da gas a clustering in mezzi granulari guidati in ambiente a bassa gravità come si può leggere nell'articolo *'Threshold of gas-like to clustering transition in driven granular media in low-gravity environment'*<sup>1</sup>.

Parte di questi esperimenti sono già stati effettuati su dei voli parabolici. Su questa strumentazione si basa il progetto della nostra struttura. Gli esperimenti precedenti sono stati svolti all'interno di una cella 3D piena di perline che sono azionate da due pistoni vibranti, faccia a faccia e a bassa gravità, durante le campagne di volo paraboliche. Variando ampi intervalli di parametri, si ottiene il diagramma di fase completo dei regimi dinamici raggiunti dal sistema fuori equilibrio: gas, cluster o aggregato rimbalzante. Le immagini della cella registrate da due telecamere perpendicolari vengono elaborate per ottenere i profili di densità delle particelle lungo l'asse di vibrazione della cella. Su queste distribuzioni viene quindi eseguito un test statistico per determinare quale regime è raggiunto dal sistema. I risultati sperimentali si trovano in ottimo accordo con i modelli teorici per la transizione gas-cluster e per l'emergere dello stato di rimbalzo. Si mostra che la transizione avviene quando il tipico tempo di propagazione necessario per trasmettere l'energia cinetica da un pistone all'altro è dell'ordine del tempo di rilassamento dovuto agli urti dissipativi.

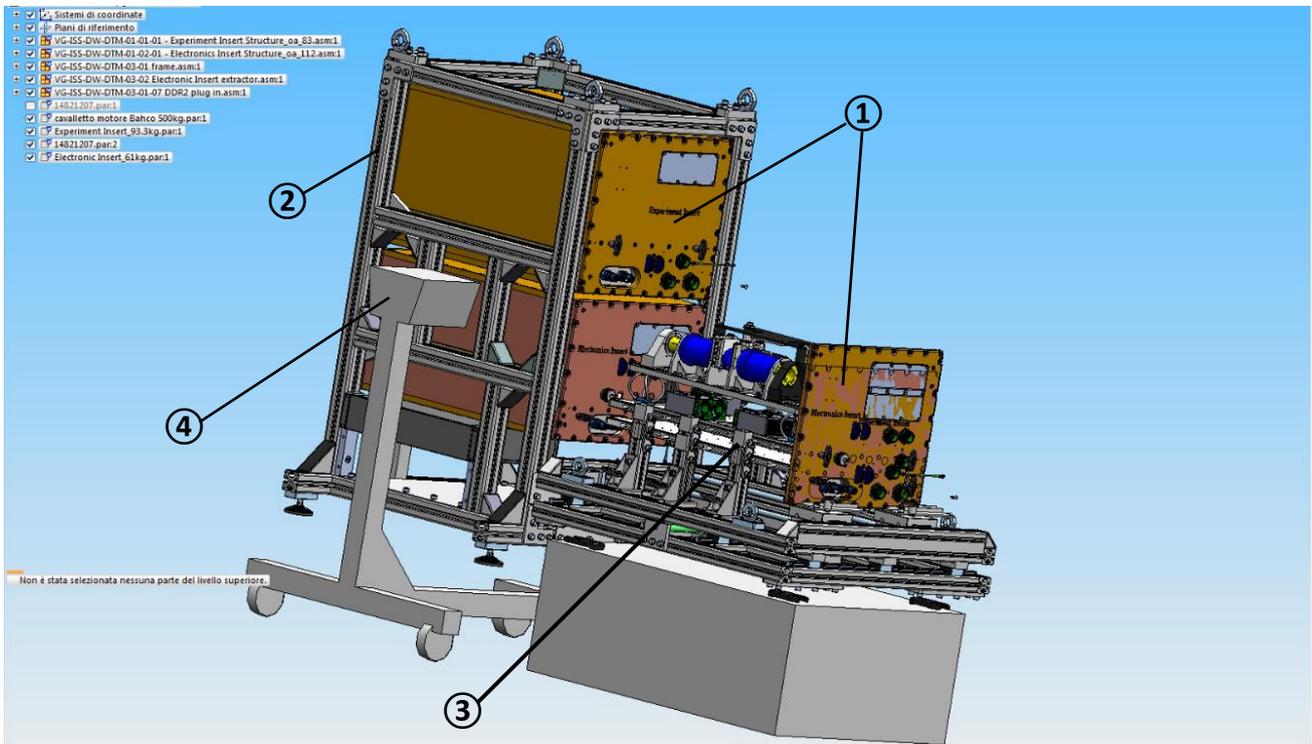
Tutti i dispositivi utilizzati nei test dovranno essere presenti anche nella struttura che andrà sulla Stazione Spaziale Internazionale.

---

<sup>1</sup> Noirhomm M., Cazaubiel A., Darras A., Falcon E., Fischer D., Garrabos Y., Lecoutre-Chabot C., Merminod S., Opsomer E., Palencia F., *Threshold of gas-like to clustering transition in driven granular media in low-gravity environment*, 13 August 2018, Europhysics Letters, Volume 123, No.

Una volta installato, l'elemento ①, deve avere la possibilità di essere estratto così che le schede dati e le condizioni dell'esperimento possano essere modificate o sostituite.

Esso deve essere posto all'interno del rack, la struttura composta dai profilati rappresentata in *Figura 1* dall'elemento ②.



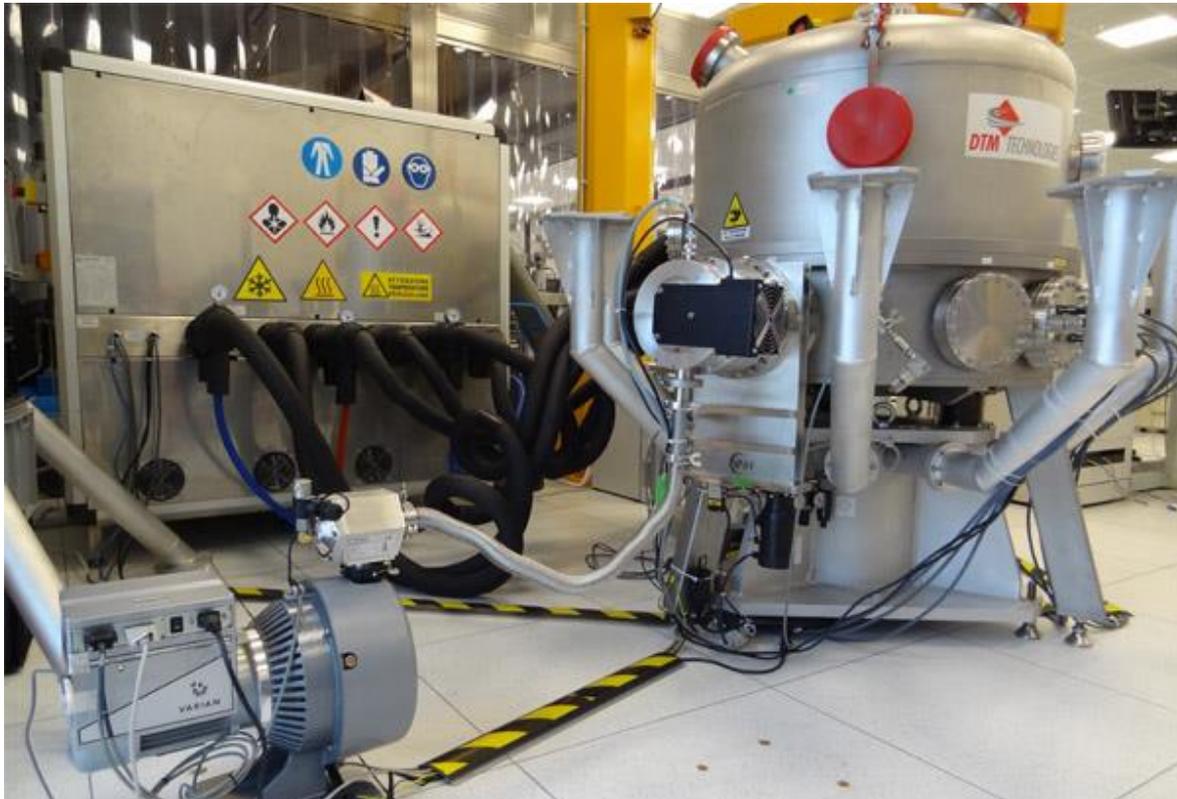
*Figura 1 – Insieme esploso della struttura da montare deputata allo svolgimento degli esperimenti sull'ISS*

Sono presenti due copie identiche dell'elemento ①: l'Unità 1 viene lanciata in orbita e viene montata sulla Stazione Spaziale Internazionale; l'Unità 2 rimane a terra nel Centro Spaziale di Toulouse e viene, non solo testata prima del lancio della gemella, ma anche utilizzata per eseguire gli stessi esperimenti realizzati in orbita così da poter valutare l'influenza della gravità sugli stessi. La prima unità, dunque, non richiede supporti per il montaggio, ma un sistema che ne permetta l'estrazione ripetuta evitandone l'instabilità. Questo è rappresentato in *Figura 1* dall'elemento ③. Per la seconda, invece, oltre al sistema menzionato per la prima unità, deve anche essere previsto un sistema (rappresentato in *Figura 1* dall'elemento ④) che permetta il ribaltamento a 90° del rack poiché una serie di test hanno dimostrato che gli esperimenti compiuti sulla Terra davano risultati incompatibili con quelli effettuati sulla Stazione Spaziale in quanto le particelle analizzate non venivano in contatto con le pareti laterali come invece accadeva a gravità zero. Inoltre, quest'ultima richiede anche un sistema di sollevamento e inserimento oltre che di recupero dei disallineamenti.

C'è, quindi, bisogno di un GSE (Ground Support Equipment, ovvero attrezzatura di supporto a terra).

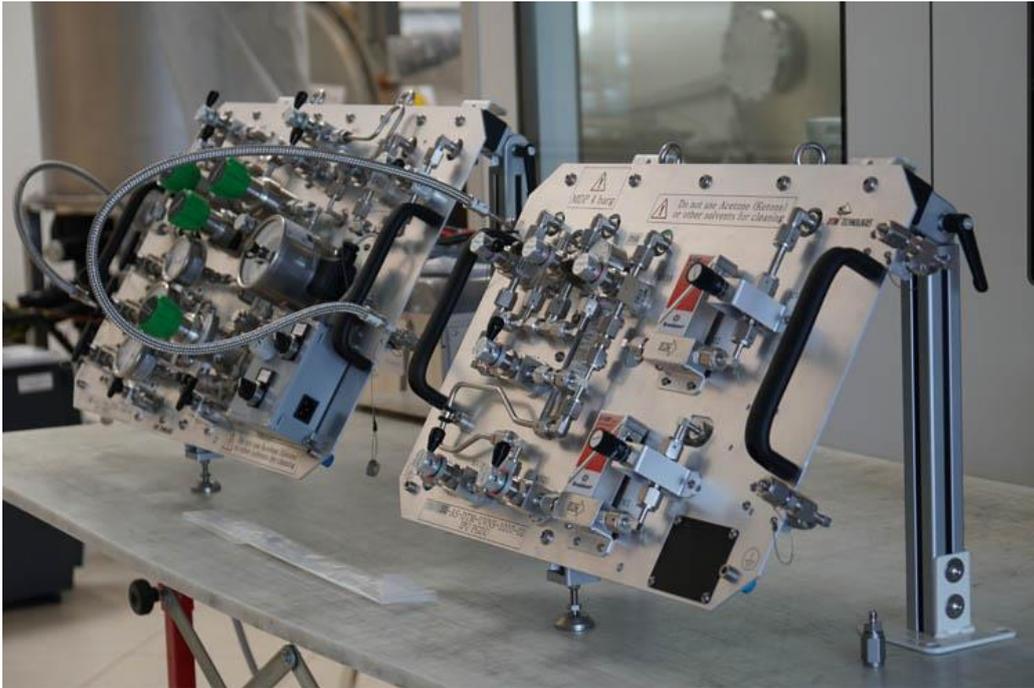
I GSE in questo campo possono essere: termici, fluidici o meccanici.

I TGSE (Thermal Ground Support Equipment) sono camere a vuoto termiche o meccanico-termiche composte da un sistema di raffreddamento e riscaldamento, tre piastre fredde, 4 pompe da vuoto (compresa la pompa turbomolecolare e la pompa ionica), sistemi di acquisizione di temperatura e pressione ad alta precisione e il software di controllo, un esempio è mostrato in *Figura 2*. Queste vengono utilizzate e modificate, a seconda dell'uso, per qualificare la diversa strumentazione necessaria nelle missioni spaziali come gli accelerometri.

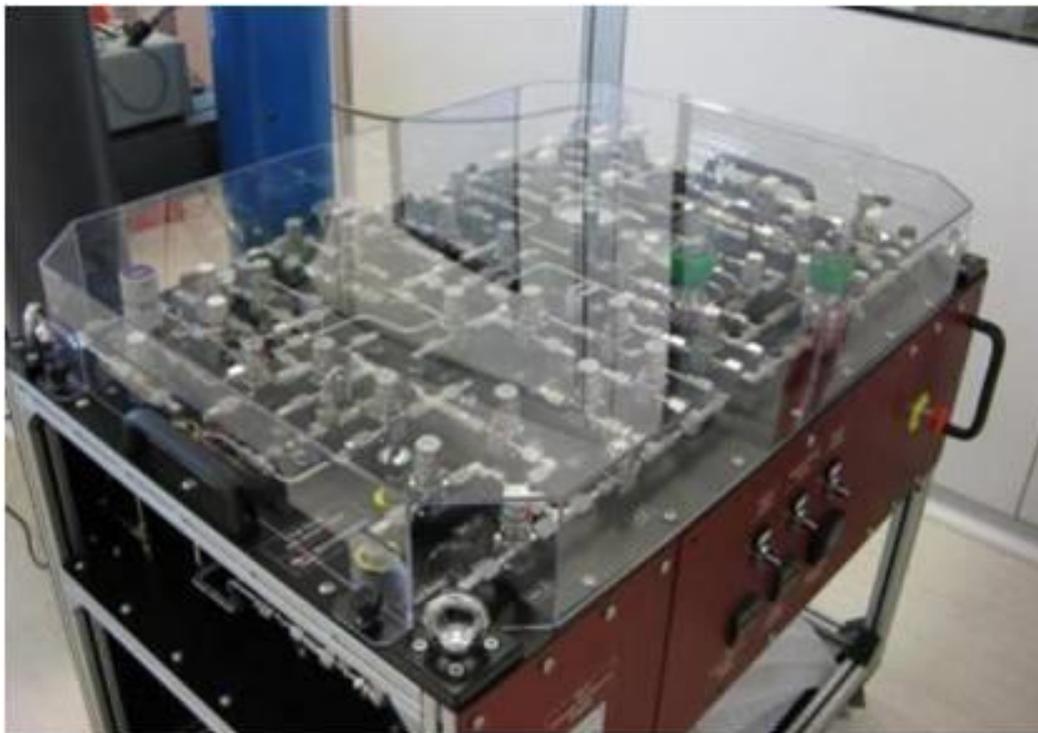


*Figura 2 - ISA-GSE thermal vacuum chamber*

Gli FGSE (Fluidic Ground Support Equipment) sono usati per supportare le operazioni e i test dell'hardware di volo. Questi devono avere altissima purezza sia per la contaminazione biologica, molecolare e particellare. Ne sono due esempi quello rappresentato in *Figura 3* e quello rappresentato in *Figura 4*.



*Figura 3 - Sentinel 5 Instrument Fluidic GSE*



*Figura 4 - Exomars UHZ FGSE*

E infine quelli che vengono trattati in questa tesi sono gli MGSE (Mechanical Ground Support Equipment). Questi vengono utilizzati per strumentazione e movimentazione satellitare, integrazione, sollevamento e trasporto. Un esempio di questi sistemi si può vedere in *Figura 5.a* e *5.b*



*Figura 5.a - Sentinel 5 Instrument Transport Container*



*Figura 5.b - Sentinel 5 Instrument Trolley*

## Metodo di progetto

La progettazione dell'MGSE si è svolta seguendo un iter che potremo riassumere in sette fasi:

- INDIVIDUAZIONE DELLE SPECIFICHE  
In questa fase è stato identificato il problema che volevamo risolvere, e di conseguenza le caratteristiche che il nostro modello doveva avere.
- VALUTAZIONE DELLE SOLUZIONI UTILIZZABILI E PRECEDENTEMENTE UTILIZZATE  
Si ricercano le soluzioni utilizzate dalla propria azienda e dalle concorrenti o si cerca di trovarne di nuove e se ne valutano i pro e i contro.
- DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI  
Si sceglie la soluzione più adatta al caso specifico
- SCELTA DEI COMPONENTI COMMERCIALI ADATTI  
Si ricercano i pezzi necessari per la costruzione del nostro assieme nei cataloghi delle aziende produttrici così da valutare anche se necessitiamo di produrre qualcosa poiché non troviamo parti unificate adatte allo scopo
- MODELLO 3D DELL'ASSIEME  
Si modellano tutte le parti necessarie e si assembla il modello 3D
- MODELLO 3D, DISEGNO COSTRUTTIVO E PRODUZIONE DI COMPONENTI NON COMMERCIALI  
Si crea il modello 3D e le tavole costruttive dei pezzi che non siamo riusciti a trovare nei cataloghi commerciali e successivamente vengono prodotti
- MONTAGGIO DI TUTTI GLI ELEMENTI:  
Dopo ordinato le parti commerciali necessarie si assembla il prodotto

Queste sette fasi vengono poi reiterate (anche solo parzialmente) ogni volta che si disegna uno dei sottoassiemi che costituisce l'assieme finale, ma più in generale ogni volta che si presenta un problema o che dalla messa in pratica di una delle soluzioni identificate, questa risulta essere poco adatta.

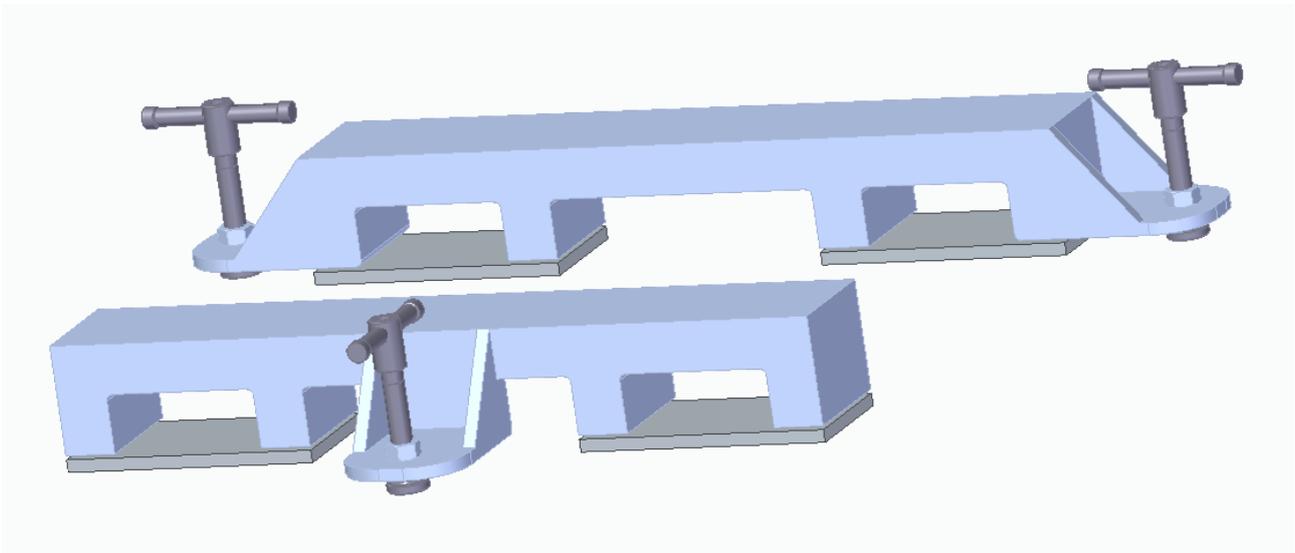
L'applicazione di questo metodo ha portato a un MGSE composto di tre parti: un carrello elevatore a pompa idraulica (rappresentato in *Figura 6*), una piattaforma di inserimento (rappresentato in *Figura 7*) e la struttura per il recupero dei disallineamenti della piattaforma (rappresentato in *Figura 8*).



*Figura 6 - Carrello elevatore a pompa idraulica*



*Figura 7 - Piattaforma di inserimento*



*Figura 8 - Struttura per il recupero dei disallineamenti della piattaforma*

## CAPITOLO 1 – Progettazione aerospaziale e processo di design

“The main task of engineers is to apply their scientific and engineering knowledge to the solution of technical problems, and then to optimise those solutions within the requirements and constraints set by material, technological, economic, legal, environmental and human-related considerations. [...] The mental creation of a new product is the task of design and development engineers, whereas its physical realisation is the responsibility of production engineers.”

Così comincia il primo capitolo del libro *‘Engineering Design. A Systematic Approach’* che tradotto risulta essere: “Il compito principale degli ingegneri è applicare le loro conoscenze scientifiche e ingegneristiche alla soluzione di problemi tecnici e quindi ottimizzare tali soluzioni entro i requisiti e i vincoli imposti da fattori materiali, tecnologici, economici, considerazioni legali, ambientali e umane. [...] La creazione mentale di un nuovo prodotto è compito degli ingegneri di progettazione e sviluppo, mentre la sua realizzazione fisica è responsabilità degli ingegneri di produzione.”

Nel progetto di questa tesi sono stati svolti entrambi i compiti sia degli ingegneri di progettazione e sviluppo che di quelli di produzione. Questo perché, nella progettazione aerospaziale bisogna spesso trovare soluzioni tecniche a problemi che non si erano mai presentati prima.

A differenza della produzione industriale, in questo caso vengono prodotti lotti molto piccoli dell'ordine dell'unità come nel caso di questo lavoro in cui si ha una produzione di due o di un'unità. Quindi vengono meno molte delle problematiche della produzione industriale sui costi delle materie prime e sui costi di fabbricazione ma si aggiungono specifiche molto stringenti sia sulla qualità che sulla sicurezza e di conseguenza il bisogno di un elevato numero di test e prove in tutte per valutare la sicurezza e la rispondenza a situazioni estreme.

### Processo di design di Pahl

Il processo di design però risulta essere lo stesso ma tenendo in considerazione le differenze sia produttive che di ambito.

Il libro già citato riassume nello schema in *Figura 9* il metodo di approccio al design.

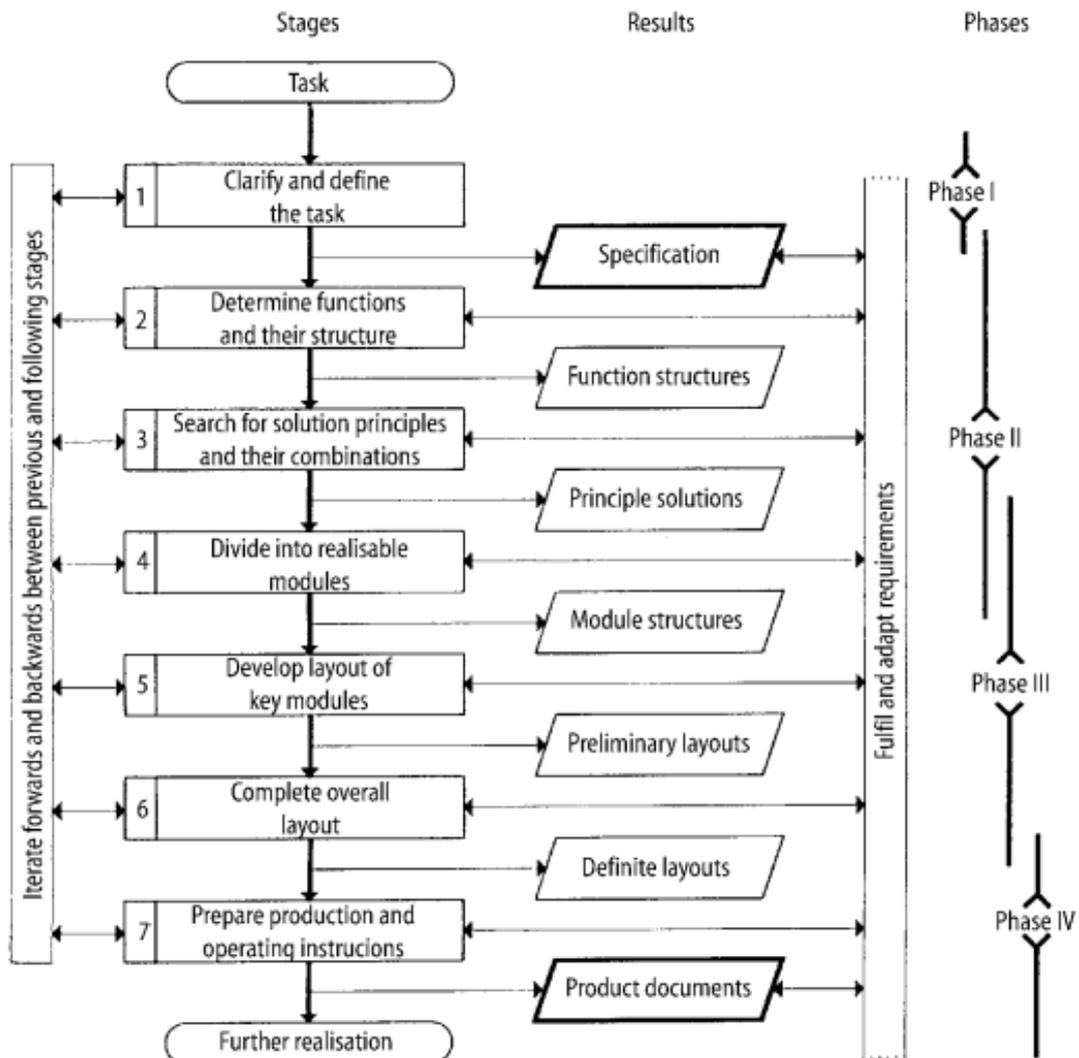


Figura 9 - Metodo di approccio al design

È questo lo schema a cui si è ispirato il metodo di progettazione applicato al caso trattato in questa tesi e che trovate riassunto nell'introduzione.

Nella prima fase troviamo

1. La **definizione delle funzioni** che consiste nel definire gli obiettivi formulando l'obiettivo generale, i singoli sotto-obiettivi e la loro importanza. Ciò supporta l'intuizione del problema.

Nella seconda fase abbiamo:

2. La **determinazione delle funzioni e delle loro strutture** che consiste nel chiarire le condizioni definendo i vincoli iniziali e al contorno.
3. La **ricerca delle soluzioni e le loro combinazioni** che consiste nella ricerca di varianti per trovare una serie di possibili soluzioni o combinazioni di soluzioni dalle quali scegliere il

meglio, nel dissolvere i pregiudizi per garantire la più ampia ricerca di possibili soluzioni e per evitare errori logici, nel prendere decisioni su valutazioni obiettive.

Queste due tappe del processo sono basate sul lavoro di Holliger, Nadler, Müller e Schmidt, e rappresentano quello che nel libro di Pahl è indicato come design concettuale.

Il design concettuale è la parte del processo di progettazione in cui il percorso risolutivo di base è stabilito attraverso l'elaborazione di un principio risolutivo. Questo avviene identificando i problemi essenziali attraverso l'astrazione, stabilendo strutture funzionali, effettuando ricerche principi di lavoro appropriati e combinandoli in una struttura di lavoro.

Il design concettuale specifica la soluzione principale.

La fase concettuale è preceduta da una decisione.

Lo scopo di questa decisione è quello di rispondere alle seguenti domande sulla base del elenco dei requisiti concordati durante il chiarimento dell'attività:

- Il compito è stato sufficientemente chiarito per consentire lo sviluppo di una soluzione in la forma di un disegno?
- C'è davvero bisogno di un'elaborazione concettuale, o le soluzioni conosciute lo consentono direttamente passare alle fasi di realizzazione e progettazione di dettaglio?
- Se la fase concettuale è indispensabile, come e in che misura dovrebbe esserlo sviluppato sistematicamente?

La fase di progetto concettuale segue il chiarimento del compito. In *Figura 10* sono mostrati i passaggi coinvolti, correlati in modo tale da soddisfare i principi del problem solving.

Tuttavia, nell'ottica di un perfezionamento di uno qualsiasi dei passaggi questi ultimi possono essere reiterati.

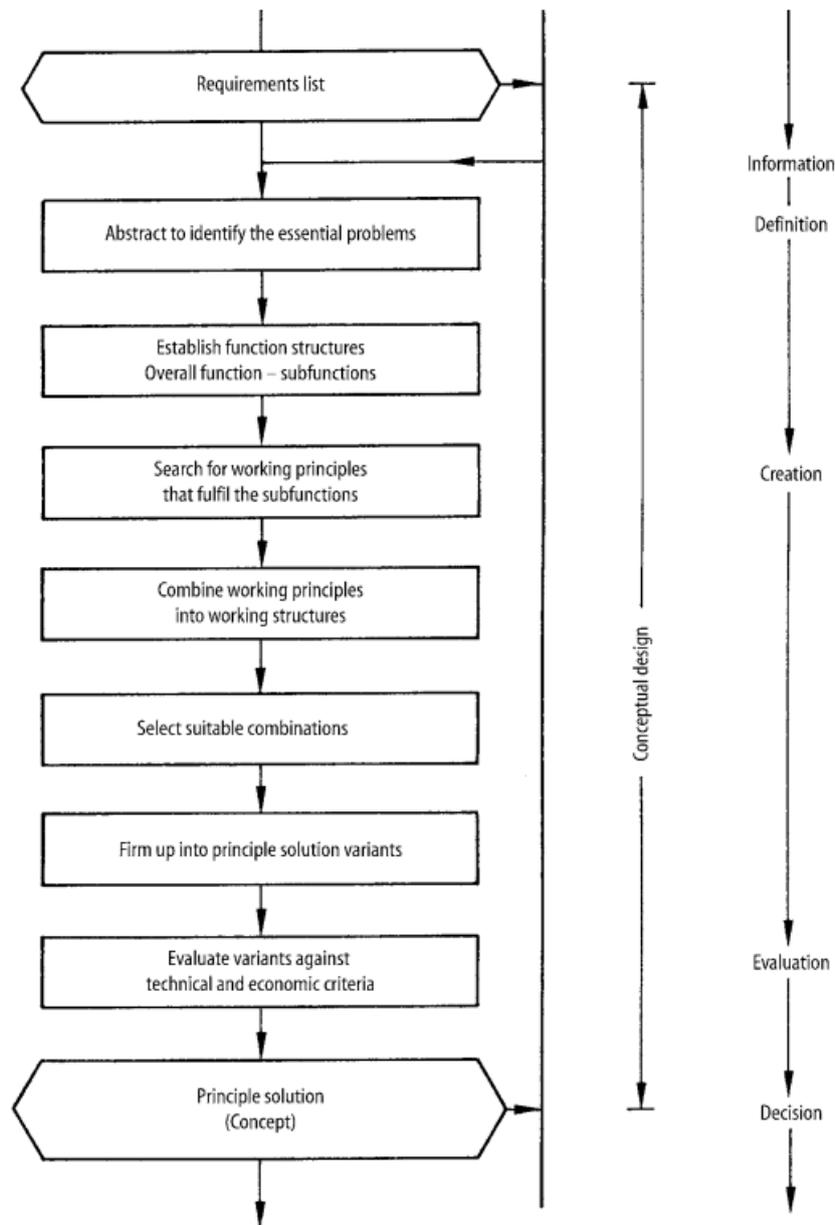


Figura 10 –Schema fasi del design concettuale

Nella terza fase abbiamo:

4. La **divisione in moduli realizzabili** poiché nel caso di prodotti completi bisognerà suddividere la progettazione in sottogruppi di cui andranno al loro volta progettati singolarmente.
5. Lo **sviluppo del layout** che verrà sviluppato attraverso una serie di fasi che saranno analizzate più nel dettaglio in seguito.
6. Il **completamento del layout** poiché il layout definitivo deve essere sviluppato fino al punto in cui un chiaro controllo di funzionalità, durata, produzione, assemblaggio, funzionamento e costi può essere effettuato.

Nella quarta abbiamo:

7. La **preparazione alla produzione** in cui si aggiungono al layout finale le indicazioni di produzione (ad esempio rugosità, metodi di lavorazione ecc.)

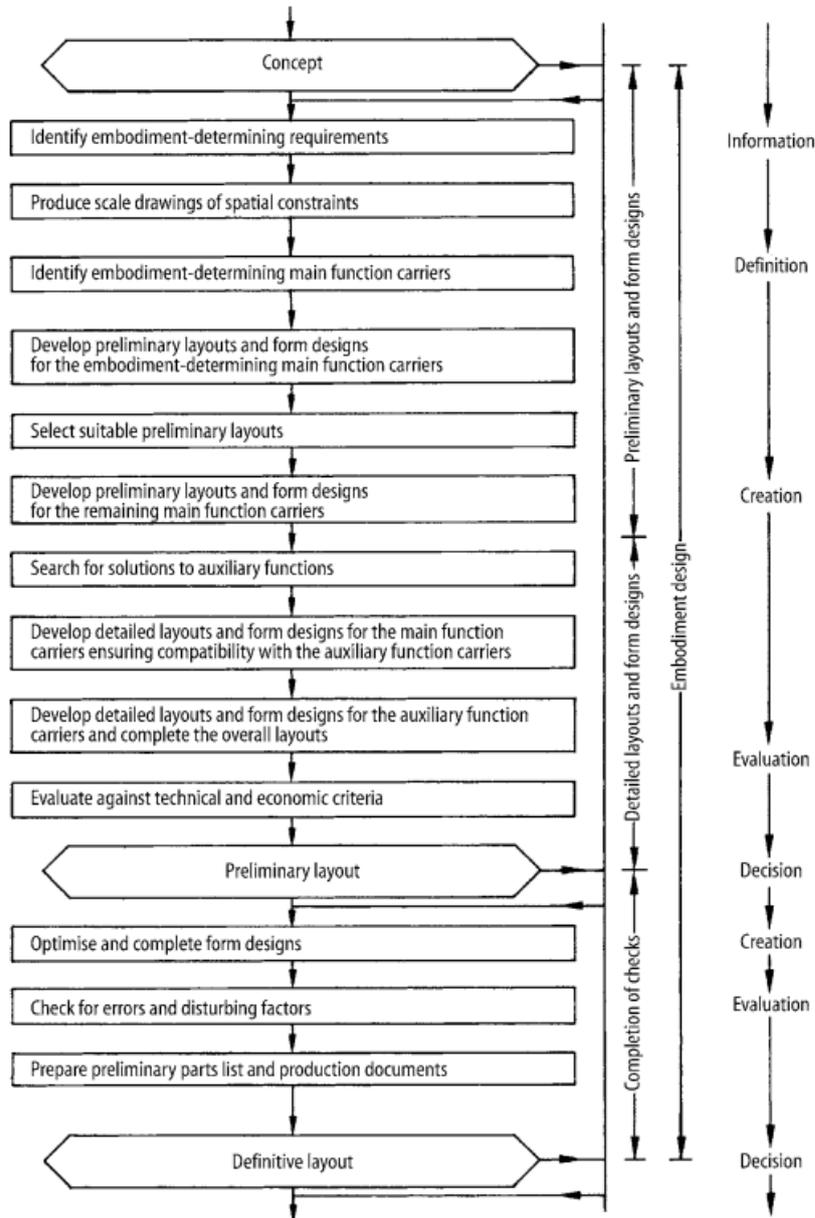
Queste ultime quattro fasi invece rappresentano quello che libro di Pahl è identificato come *embodiment* (la realizzazione o meglio il dare forma).

Il processo di realizzazione è complesso in quanto:

- molte azioni devono essere eseguite contemporaneamente
- diversi passaggi devono essere ripetuti a un livello di informazioni più elevato
- integrazioni e modifiche in un'area hanno ripercussioni sul progetto esistente in altre zone

Di seguito si analizzano le principali fasi dell'embodiment risultano elencate nello schema in *Figura 11*:

- Identificazione dei requisiti che hanno un impatto cruciale sulla progettazione della forma di realizzazione (ad esempio requisiti che determinano le dimensioni, requisiti che determinano la disposizione, requisiti che determinano i materiali, requisiti basati sulla sicurezza, ergonomia, produzione, montaggio, riciclaggio ecc.)
- Identificazione dei vincoli spaziali che determinano o limitano il progetto di realizzazione (ad esempio giochi, posizioni degli assi, requisiti d'installazione, ecc.)
- Produzione di un layout approssimativo, derivato dal concetto l'enfasi sui portatori di funzioni principali che determinano l'incarnazione complessiva, ovvero gli assiemi e i componenti che svolgono le funzioni principali.
- Sviluppo di layout preliminari in scala e disegni di forma che comprendano le funzioni principali; vale a dire, la disposizione generale, le forme dei componenti e i materiali devono essere determinati provvisoriamente
- Selezione di uno o più layout preliminari idonei
- Sviluppo di layout preliminari e di progettazioni delle forme per i restanti principali portatori di funzioni che non sono stati ancora considerati perché noti esistono soluzioni per loro o non determinano l'incarnazione fino a questo momento palcoscenico.
- Determinazione di quali funzioni ausiliarie essenziali (come supporto, ritenzione, tenuta e raffreddamento) sono necessarie e, ove possibile, sfruttare soluzioni (come parti ripetute, parti standard, soluzioni di catalogo).
- Sviluppo di layout dettagliati e i design dei moduli per i vettori delle funzioni principali devono ora essere sviluppato in conformità con le regole di progettazione e le linee guida della forma di realizzazione
- Sviluppo dei layout dettagliati e dei progetti di forma per l'ausiliario portatori di funzioni, aggiungendo parti standard e acquistate.
- Valutazione dei layout rispetto a criteri tecnici ed economici
- Decisione del layout generale preliminare. Il layout generale descrive la struttura costruttiva completa del sistema o del prodotto in fase di progettazione.
- Ottimizzazione e completamento dei design dei moduli per il layout selezionato eliminando i punti deboli individuati nel corso della valutazione.
- Controllo del progetto di layout per errori di progettazione nella funzione, compatibilità spaziale, ecc. e per gli effetti di fattori di disturbo.
- Conclusione della fase di progettazione della realizzazione predisponendo un elenco preliminare delle parti così come una produzione preliminare e documenti di montaggio.
- Decisione del layout definitivo e passare alla fase di progettazione di dettaglio.



- Figura 11 –Schema fasi dell'embodiment

### Definizione del metodo di progettazione per questo progetto di tesi

Alla luce di queste nozioni teoriche è stato sviluppato il metodo di progetto del prodotto trattato in questo lavoro. Si parte infatti dall'**individuazione delle specifiche** che risulta essere molto simile alla **definizione delle funzioni** vista nel paragrafo precedente. La **valutazione delle soluzioni utilizzabili e precedentemente utilizzate** trova dei punti in comune con la **determinazione delle funzioni e delle loro strutture**, infatti, in entrambe vengono valutati e definiti i vincoli e le funzioni che il prodotto su cui si lavora dovrà avere. Inoltre, la fase 2 del metodo di progettazione usato per l'MGSE, rimanda a quella che nel libro di Pahl risulta essere la **ricerca delle soluzioni e le loro combinazioni** e che si conclude con la fase 3 del progetto affidato a DTM ovvero con la **definizione delle soluzioni**, poiché infatti lo scopo ultimo di entrambe è arrivare a soluzioni di progetto definite.

A monte della **scelta dei componenti commerciali adatti** troviamo poi una divisione dei diversi sotto-assiemi da progettare che quindi rimanda alla **divisione in moduli realizzabili**.

Il **modello 3D dell'assieme** rappresenta l'ultimo passo dello **sviluppo del layout** che, come questo, è costituito da una serie di fasi e disegni che permettono alla fine di arrivare a un design finale.

Il **modello 3D, disegno costruttivo e preparazione alla produzione di componenti non commerciali** rappresenta le valutazioni finali sul prodotto e quindi rimanda sia al **completamento del layout** che alla **preparazione alla produzione** come si nota dalla presenza dei disegni costruttivi e dall'ultima definizione della fase.

In ultimo il **montaggio di tutti gli elementi** che corrisponderebbe in questa analogia alla produzione vera propria e quindi non trova una definizione all'interno del processo di progettazione ma che risulta essere fondamentale per la fase dei test che permette di valutare e correggere eventuali errori di progettazione.

### Concurrent Engineering

La necessità di dover spesso reiterare i passaggi fa inoltre riflettere sul risparmio di tempo di progettazione che l'utilizzo della **Concurrent Engineering** (o progettazione simultanea) comporterebbe anche in questo campo in cui la competizione con i concorrenti non è così spietata come in quella industriale. Per descrivere questo processo di design, affrontato nella maggior parte dei libri che descrivono metodi di progettazione, ho preso a riferimento il libro *'Imparare a progettare. Principi e metodi del progetto concettuale per lo sviluppo della creatività industriale'* di A. Freddi.

La Concurrent Engineering permette di portare avanti i diversi obiettivi del processo di sviluppo del prodotto contemporaneamente piuttosto che sequenzialmente. Progettazione, verifica, produzione e pianificazione dei processi attraverso la logistica, vengono svolti fianco a fianco, iterativamente. I problemi potenziali nella fabbricazione, assemblaggio, supporto e qualità sono identificati e risolti nelle prime fasi della progettazione. Si può vedere uno schema del metodo di processo in *Figura 12*.

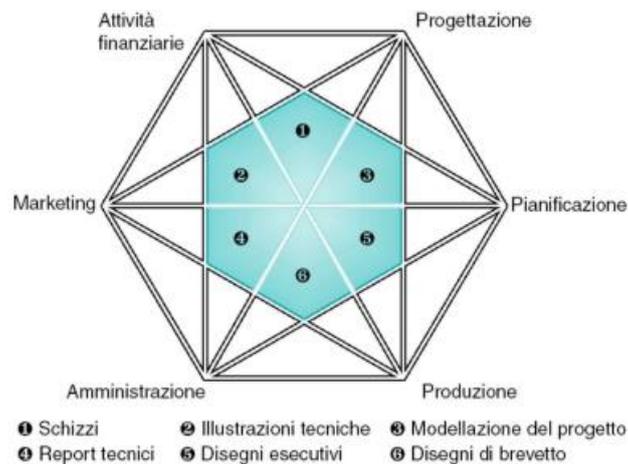


Figura 12 – Schema metodo di processo della Concurrent Engineering

Si tratta, dunque, di una metodologia di organizzazione del processo progettuale, basata sullo svolgimento in parallelo di tutte le attività che concorrono alla definizione di un prodotto e dei mezzi per la sua fabbricazione, gestione e smaltimento finale. Lo scopo della concurrent engineering è quello di esaminare e risolvere ogni problema inerente alla definizione del prodotto e dei relativi processi prima dell'avvio materiale dei processi stessi, operando tutte le necessarie modifiche progettuali in anticipo rispetto all'inizio del processo produttivo.

La Concurrent Engineering permette di:

- Ridurre i tempi di progettazione (nel caso industriale questa caratteristica risulta particolarmente proficua in termini di time to market)
- Minimizzare il ciclo di vita del prodotto poiché elimina la procedura di ridisegno
- Diminuire i costi di produzione
- Massimizzare la produzione
- Ottimizzare il progetto concettuale anche se di conseguenza necessita di una spesa maggiore sia in termini di soldi che in termini di tempo in questo ambito

I principi alla base di questo metodo comprendono il progettare simultaneamente, il focalizzarsi sul processo produttivo, tenere sempre ben presenti i costi e le quantità, passare da un'organizzazione gerarchica a gruppi di lavoro.

Gli obiettivi alla base del processo vanno dal miglioramento delle tempistiche di produzione e di costi a miglioramenti nella qualità dei prodotti all'ottenere di più con meno sprechi sia in termini di tempi che di materiali che di costi.

La caratteristica più importante che permette a questo metodo di funzionare è la comunicazione e la disponibilità di informazioni.

Per quanto questo metodo abbia molti vantaggi a livello industriale per i grandi numeri di produzione, anche in ambiti che lavorano con lotti infinitesimali rispetto a quelli industriali e con prodotti che puntano molto più sulla qualità e la sicurezza può avere vantaggi importanti in particolare sulla qualità e le riduzioni di tempistiche.

## CAPITOLO 2- Progettazione MGSE

### FASE 1 – INDIVIDUAZIONE DELLE SPECIFICHE

Per prima cosa nella modellazione del MGSE sono stati individuati i problemi e di conseguenza ciò di cui necessitava il progetto:

**PROBLEMA 1:** Le attrezzature dovranno viaggiare per circa 1000 km (Modena-Toulouse).

**NECESSITÀ 1:** Avere un unico macchinario pesante che permetta sia il sollevamento da terra che l'inserimento nel rack che il montaggio del sistema di stabilità, per semplificare il trasporto e ridurre i consumi.

**PROBLEMA 2:** L'elemento ① non deve presentare modifiche superficiali causate dall'inserimento (graffi e imperfezioni).

**NECESSITÀ 2:** La struttura deputata all'inserimento deve generare un attrito molto basso sul pezzo e deve consentire un gioco adeguato, così da permettere un facile inserimento dell'elemento evitando di segnarlo, ma non eccessivo così da evitare urti.

**PROBLEMA 3:** Potremmo avere dei disallineamenti dovuti a piccoli errori nelle dimensioni del sistema elevatore.

**NECESSITÀ 3:** La struttura deputata all'inserimento deve poter recuperare disallineamenti minimi.

## FASE 2 – VALUTAZIONE DELLE SOLUZIONI UTILIZZABILI E PRECEDENTEMENTE UTILIZZATE

A questo punto sono state identificate le soluzioni utilizzate in casi simili per incontrare le specifiche definite nella fase precedente.

Per quanto riguarda la prima richiesta all'inizio si pensava di utilizzare una tavola elevatrice ma sarebbe stata necessaria anche una gru per appoggiare l'elemento su di essa.

Quindi si è optato per un carrello elevatore a pompa idraulica poiché una soluzione simile era stata utilizzata nel progetto PK4<sup>2</sup> che vedete in *Figura 13*.



*Figura 13 - Carrello elevatore del progetto PK4*

Per la seconda richiesta invece si è partiti considerando una piattaforma d'inserimento con una struttura intorno che potesse impedire il movimento dell'elemento ① e si è valutato quale fosse il gioco migliore tra questa struttura e l'elemento grazie a una serie di test e misure. Inoltre, si sono valutati non solo i sistemi d'inserimento con minor attrito possibile (piani levigati, rulli...) ma anche le distanze rispettive degli elementi di sistemi sia tra di loro che con la struttura esterna della piattaforma e i materiali con minor che generassero minor attrito possibile.

---

<sup>2</sup> <https://www.dlr.de/en/research-and-transfer/projects-and-missions/horizons/pk-4>

Per la terza richiesta invece si è considerata l'aggiunta di piedini alla struttura del carrello elevatore stesso considerando di effettuare dei fori sul muletto o saldarvi dei bulloni ma essendo il carrello un prodotto commerciale la sua modifica avrebbe invalidato la garanzia in caso di eventuale rottura per cui si è optato anche in questo caso per una soluzione precedentemente nel progetto PK4.

### FASE 3 – DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI

La prima soluzione di progetto è stata quindi quella di utilizzare un carrello elevatore a pompa idraulica, sulle cui forche sarebbe montata una piattaforma specificatamente progettata per il carrello scelto e per inserire all'interno del rack l'elemento ①.

La seconda soluzione prevede la progettazione di una piattaforma con profilati commerciali la cui struttura consenta un gioco di 20-40 mm con l'elemento. Inoltre, prevede il montaggio al suo interno di rulli trasportatori in PVC (che riduce l'attrito e il rischio di segnare il pezzo rispetto ai materiali metallici) senza distanziatori la cui assenza anche se rende più oneroso il montaggio permette di poter variare la distanza in fase di montaggio in caso fosse necessario per rendere il più facile possibile lo scorrimento.

Per quanto riguarda la terza soluzione invece si è deciso di creare due strutture imbullonate a delle piastre che gli permettono di circondare le forche del muletto e avvitare a queste quattro piedini.

#### FASE 4 – SCELTA DEI COMPONENTI COMMERCIALI

In questo momento del progetto è stato scelto solo il carrello elevatore poiché gli altri elementi vengono scelti a mano a mano che si definiscono i due sottoassiemi principali: la piattaforma di inserimento e la struttura per il recupero dei disallineamenti.

Specifiche del carrello elevatore<sup>3</sup>

In questa sezione si possono leggere le specifiche del carrello elevatore di cui vedete una foto in *Figura 14* e ne trovate le dimensioni in *Figura 15* e in *Tabella 1*.



*Figura 14 - Carrello elevatore*

---

<sup>3</sup> <https://movimentomerci.eu/products/bc200-n1-s300-carrello-elevatore-manuale-con-pompa-idraulica>

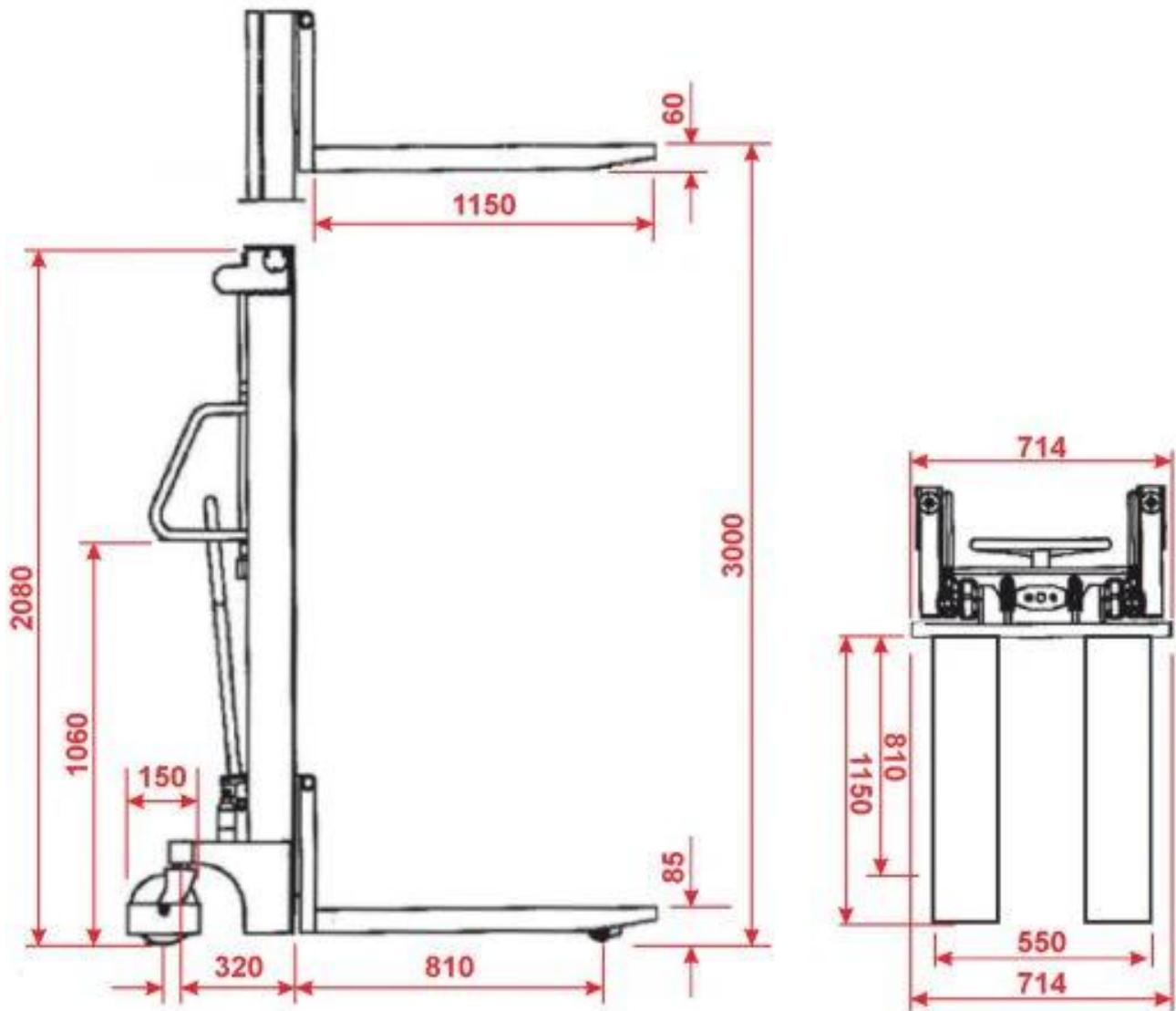


Figura 15 - Carrello elevatore quotato

Tabella 1 – Specifiche carrello elevatore

**Caratteristiche carrello elevatore manuale**

|                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Altezza max: 3000 mm               | Diametro ruote diretrici: 160 mm |
| Altezza min: 85 mm                 | Diametro monorullo: 80 mm        |
| Lunghezza forche standard: 1150 mm | Portata: 1000 kg                 |

## CAPITOLO 3- Progettazione piattaforma di inserimento

Oltre alla scelta del carrello elevatore è necessario progettare le strutture identificate dalle soluzioni.

### FASE 1 – INDIVIDUAZIONE DELLE SPECIFICHE

La struttura identificata dalla prima e dalla seconda soluzione è una piattaforma a rulli con delle falde lungo tutto il perimetro costituite da dei profilati commerciali deve poter essere montata sulle forche del muletto in maniera da riuscire a recuperare giochi eccessivi o troppo piccoli dovuti alle dimensioni sbagliate causate da piccoli errori nella produzione del carrello elevatore. Deve anche poter poggiare sul pavimento evitando strisciamenti e graffi dello stesso. Inoltre, deve anche permettere il sollevamento dell'elemento fino al suo vano senza che questo scivoli dalla piattaforma e permetterne invece l'inserimento agevole quando si trova in posizione.

Per il dimensionamento si sono prese a riferimento le misure dell'elemento ① la cui area di base aveva una lunghezza di 688 mm e una larghezza di 452 mm mentre l'altezza risultava essere 408 mm. Partendo dall'area di base è stato aggiunto un gioco di 20 mm in lunghezza da entrambi i lati e uno di 40 mm in larghezza.

## FASE 2 – VALUTAZIONE DELLE SOLUZIONI UTILIZZABILI E PRECEDENTEMENTE UTILIZZATE

Per incontrare le specifiche, sono stati valutati i profilati già utilizzati per altre strutture di supporto come il rack e sono stati presi in considerazione sia i profilati singoli (in *Figura 16*) che quelli doppi (in *Figura 17*).



*Figura 16 - Profilato singolo (modello CAD)*



*Figura 17 - Profilato doppio (modello CAD)*

Per i rulli invece, si è dubitato del fatto che quelli in PVC potessero reggere il peso del cassetto che, avendo una massa di 93,3 kg, risultava essere di 915 N. Quindi si sono cominciati a tenere in considerazione anche quelli in alluminio.

Per il montaggio sulle forche, è stata valutato l'utilizzo di strutture a 'C' (da produrre in azienda) poste al di sotto della piattaforma e imbullonate ma questo non lasciava la possibilità del recupero dei giochi in quanto sarebbero state prodotte esattamente della lunghezza delle forche. Si è presa, dunque, in considerazione una soluzione con dei profilati fissati con degli angolari montabili con facilità.

Per l'appoggio a terra si è valutata la possibilità di aggiungere dei piedini rivestiti da materiale plastico così da ridurre al minimo gli strisciamenti sul pavimento della struttura o come ricoprire con materiale plastico i profilati.

Per l'ultima specifica invece si è considerato l'uso di una cerniera fra due profilati in modo che quello in posizione superiore potesse ribaltarsi. Quest'ultimo, però, necessita di essere bloccato quando il carrello solleva il pezzo. A questo scopo si sono considerati diversi elementi di bloccaggio: un sistema il cui in perno infilato nel profilato superiore era legato a un filo fissato sul profilato inferiore e che quando c'era necessità di ribaltare il profilato superiore veniva estratto il perno che però poi risultava pendere incontrollato, degli otturatori con impugnatura zigrinata (in *Figura 18*) e degli otturatori con impugnatura a T (in *Figura 19*).



*Figura 18 - Otturatori con impugnatura circolare*

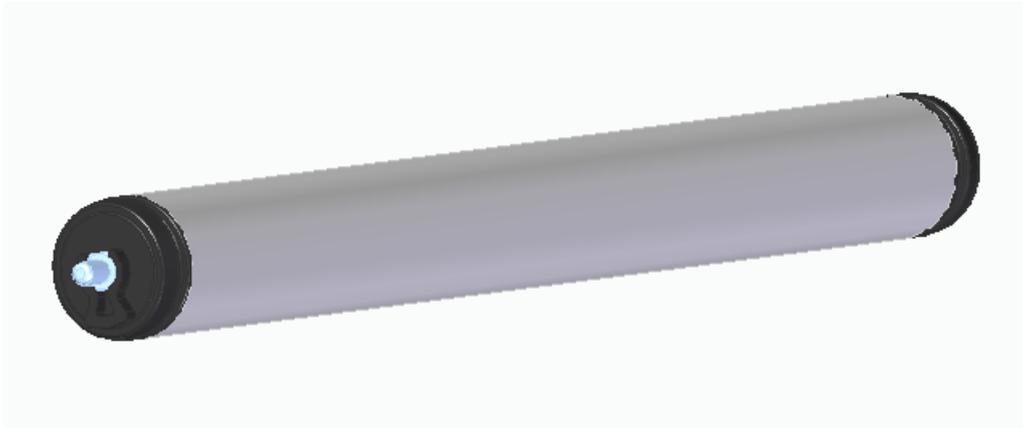


*Figura 19 - Otturatori con impugnatura a T*

### FASE 3 – DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI

Per quanto riguarda la specifica dei profilati dopo un'iniziale costruzione del modello con solo profilati singoli, la difficoltà di fissarli tutti tra di loro ha spinto all'utilizzo di profilati doppi per tre lati della struttura contenitiva della piattaforma e due profilati singoli per garantire la possibilità di inserimento una volta che l'elemento è in posizione e di blocco nel sollevamento della piattaforma.

Per quella sui rulli (in *Figura 20*) è stato scelto l'alluminio come materiale in quanto, dalle specifiche di catalogo, i tubi in PVC riuscivano a sostenere un peso di soli 500 N. Inoltre, come visto nella FASE 3 del capitolo precedente si è scelto un montaggio senza distanziatori che poneva ogni rullo a una distanza di 12 mm l'uno dall'altro e 6 mm dalla struttura contenitiva.



*Figura 20 - Rullo di trasporto (modello CAD)*

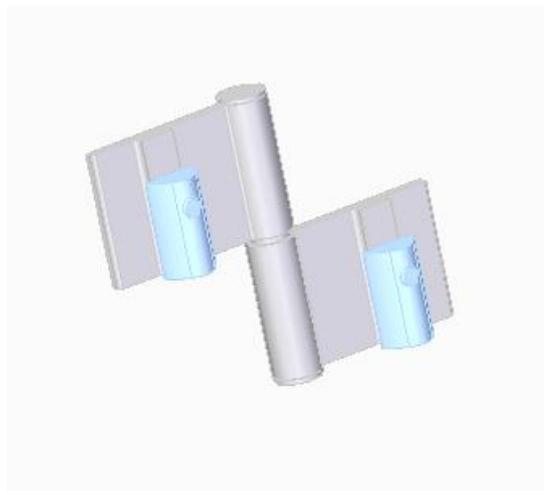
Per il montaggio sulle forche si è quindi scelta la soluzione che permettesse l'eventuale recupero dei giochi con quattro profilati doppi disposti al di sotto della piattaforma sul lato lungo e fissati con gli 8 angolari mostranti in *Figura 21*



*Figura 21 - Angolare (modello CAD)*

Per l'appoggio a terra invece pur essendo più orientati per la soluzione dei piedini, la quale avrebbe permesso il minimo strisciamento in assoluto alla fine è stata scelta quella della copertura con dei pezzi fatti di materiale plastico. Questo perché dopo aver preso le misure esatte del muletto e costruito il modello della struttura che avrebbe permesso in montaggio sulle forche è stato valutato che sarebbe stato necessario allungare eccessivamente i profilati su cui sarebbero stati montati i piedini in quanto oltre a questi ultimi su di essi venivano montati anche gli angolari per il bloccaggio.

Per l'ultima soluzione, che riguarda l'inserimento e il bloccaggio in elevazione dell'elemento ①, oltre a delle cerniere che permettessero al profilato superiore di ribaltarsi di 180 ° (in *Figura 22*) si è scelto di utilizzare due otturatori con impugnatura a T poiché questi permettono di conoscere visivamente dall'esterno la posizione del perno all'interno dell'otturatore. Questa decisione è stata presa in un'ottica sia di sicurezza dell'elemento che di praticità in quanto nella necessità di far utilizzare il meccanismo a persone che non lo conoscono basterebbe indicare con delle scritte on-off dipinte sulla struttura in corrispondenza della posizione della dell'impugnatura, quando il meccanismo è attivo e quando non lo è. Per adempire a questi compiti vengono utilizzati due otturatori che introducono i loro perni interni nel foro che si trova al centro del profilato. Per potere utilizzare gli otturatori sono necessarie delle piastre di fissaggio bloccate con delle viti e dei tasselli scorrevoli alla struttura di profilati doppi. Queste ultime sono state prodotte in azienda e hanno portato a delle considerazioni sull'eliminazione dei quattro angolari esterni che bloccano la struttura che permette il montaggio sulle forche, così che la regolazione dei giochi fosse affidata solo a quelli interni e che potesse essere di nuovo considerata di nuovo l'opzione dei piedini di appoggio. Alla fine, però a causa di incongruenze geometriche della struttura con questa soluzione, per l'appoggio è stata applicata quella identificata precedentemente.



*Figura 22 - Cerniera che permette un montaggio con un angolo di 180° (modello CAD)*

#### FASE 4 – SCELTA DEI COMPONENTI COMMERCIALI

In *Tabella 2* c'è la lista degli ordini dei componenti necessari al montaggio del pezzo.

*Tabella 2 – Lista componenti della piattaforma di inserimento*

| <b>No. disegno/Codice pz</b> | <b>Descrizione</b>                      | <b>Q.tà</b> | <b>Materiale</b> | <b>Fornitore</b> | <b>Mass Kg</b> |
|------------------------------|---|-------------|------------------|------------------|----------------|
| VG-ISS-DW-DTM-03-01-02.001   | Piastra                                 | 2           | Alluminio        | DTM              | 0,5385         |
| 0.0.416.03                   | Rullo di trasporto TR50 L=510           | 11          | Alluminio        | item             | 4,2636         |
| 0.0.422.63                   | Set cuscinetti per rullo di trasporto   | 11          | PA-GF            | item             | 2,7500         |
| 0.0.615.45                   | Cerniera 10 Al PP4 leggera              | 2           | Alluminio        | item             | 0,3204         |
| 0.0.624.52                   | Profilato 10 50x50 L=740                | 1           | Alluminio        | item             | 2,8104         |
| 0.0.624.52                   | Profilato 10 50x50 L=636                | 1           | Alluminio        | item             | 2,4154         |
| 0.0.624.60                   | Profilato 10 100x50 L=740               | 1           | Alluminio        | item             | 5,6211         |
| 0.0.624.60                   | Profilato 10 100x50 L=820               | 4           | Alluminio        | item             | 24,9152        |
| 0.0.624.60                   | Profilato 10 100x50 L=720               | 2           | Alluminio        | item             | 10,9384        |
| 0.0.624.97                   | Tassello scorrevole 10 acciaio M8       | 6           | Acciaio          | item             | 0,1928         |
| 0.0.625.09                   | Calotta 10 50x50                        | 2           | ERTALON          | item             | 0,0356         |
| 0.0.625.10                   | Calotta 10 100x50                       | 10          | ERTALON          | item             | 0,3505         |
| 0.0.625.23                   | Set squadra 10 50x50                    | 14          | Alluminio        | item             | 0,8651         |
| 0.0.632.04                   | Profilato di copertura                  | 16          | PP               | item             | 1,0080         |
| 22110,0838                   | Otturatore                              | 2           | -                | HALDER           | 0,0888         |
| 22120,0118                   | Dado di serraggio ISO 8675<br>(DIN 439) | 2           | Acciaio          | HALDER           | 0,0421         |
| DIN 912 M8x25                | Vite M8x25                              | 4           | AISI 316         |                  | 0,0693         |
| DIN 912 M8x30                | Vite M8x30                              | 2           | AISI 316         |                  | 0,0387         |
| DIN 125 8.4                  | Rondella                                | 6           | AISI 316         |                  | 0,0112         |
|                              |   |             |                  | TOT.             | 244,91         |

#### Specifiche dei rulli di trasporto Ø50<sup>4</sup>

I rulli di trasporto della *item* sono stati utilizzati come spiegato nel paragrafo precedente per permettere l'inserimento agevole dell'elemento ①.

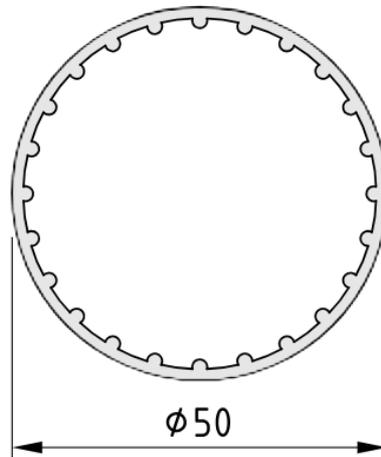


Figura 23 - Rullo di trasporto quotato

Tabella 3 – Specifiche del rullo di trasporto

| Caratteristiche   |   |
|---|---|
| Qualità: Naturale   | Peso specifico lunghezza, m: 0,76 kg/m                  |
| Diametro: 50 mm   | Lunghezza richiesta: 510 mm                             |
| ESD antistatico: No   | Materiale: Alluminio anodizzato                         |
| Momento d'inerzia a torsione, $I_t$ : 11,87 cm <sup>4</sup> | Momento resistente, x-asse $W_x$ : 2,93 cm <sup>3</sup> |
| Momento d'inerzia, x-asse $I_x$ : 7,33 cm <sup>4</sup>      | Momento resistente, y-asse $W_y$ : 2,93 cm <sup>3</sup> |
| Momento d'inerzia, y-asse $I_y$ : 7,33 cm <sup>4</sup>      |   |

<sup>4</sup> <https://www.item24.com/it-it/tubolare-d50-al-naturale-45346#technical-data>

Specifiche dei set cuscinetti per rullo di trasporto<sup>5</sup>

I set di cuscinetti per rullo di trasporto della *item* sono stati utilizzati per montare i rulli nei profilati della struttura tramite dei tasselli scorrevoli.

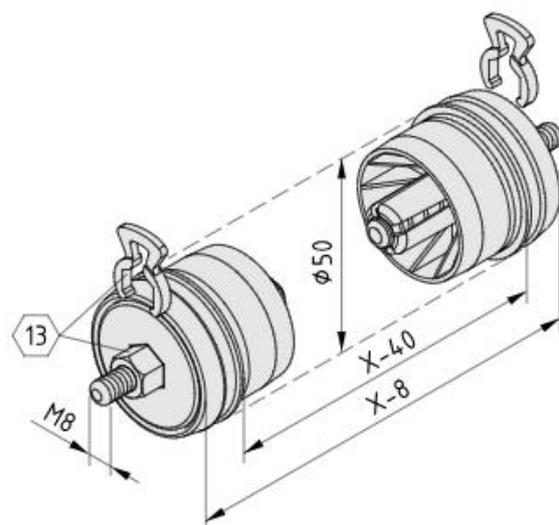


Figura 24 - Set cuscinetti per rullo di trasporto quotato

Tabella 4 – Specifiche del set cuscinetti per rullo di trasporto

| Caratteristiche     |                               |
|---------------------|-------------------------------|
| Serie: 8            | Peso unità, m: 250 g          |
| ESD antistatico: No | Carico max, $F_{max}$ : 100 N |

**Nell'unità di consegna:**

- 2 Flange cuscinetto, PA-GF, nere con cuscinetti a sfere
- Perno, acciaio, zincato
- 2 Elementi di fissaggio, PA-GF, neri

<sup>5</sup> <https://www.item24.com/it-it/set-cuscinetto-per-rullo-di-trasporto-tr50-42263#technical-data>

Specifiche delle cerniere in Al e PP4<sup>6</sup>

Le cerniere della *item* sono state utilizzate per permettere il ribaltamento a 180° del profilato singolo superiore.

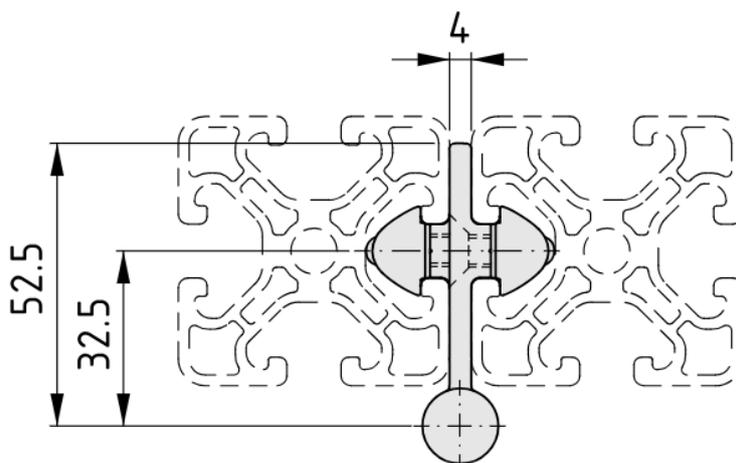


Figura 25.a - Cerniera che permette un montaggio con un angolo di 180° quotata

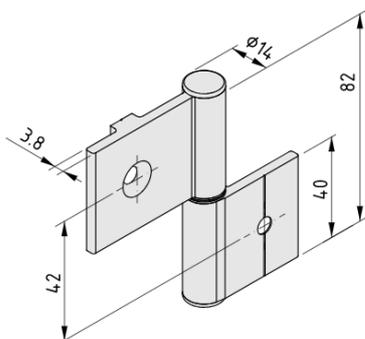


Figura 25.b - Cerniera che permette un montaggio con un angolo di 180° quotata

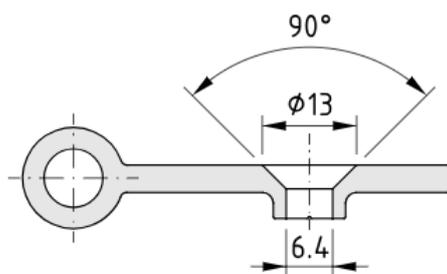


Figura 25.c - Cerniera che permette un montaggio con un angolo di 180° quotata

Tabella 5 – Specifiche della cerniera che permette un montaggio con un angolo di 180°

| Caratteristiche     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Serie: 10           | Peso unità, m: 144 g |
| ESD antistatico: No |                      |

**Nell'unità di consegna:**

- 2 Alette, Al, anodizzate, naturali
- 2 Tasselli scorrevoli 10 acciaio M6, zincato
- 2 Viti a testa svasata DIN 7991-M6x18, acciaio, zincato
- Cerniera Al leggera
- Set di perni D6

<sup>6</sup> <https://www.item24.com/it-it/cerniera-10-al-pp4-leggera-63286#technical-data>

## Specifiche dei profilati 50x50<sup>7</sup>

I profilati singoli della *item* sono stati utilizzati per costruire il meccanismo che permette il blocco nel sollevamento e l'inserimento in posizione dell'elemento ①.

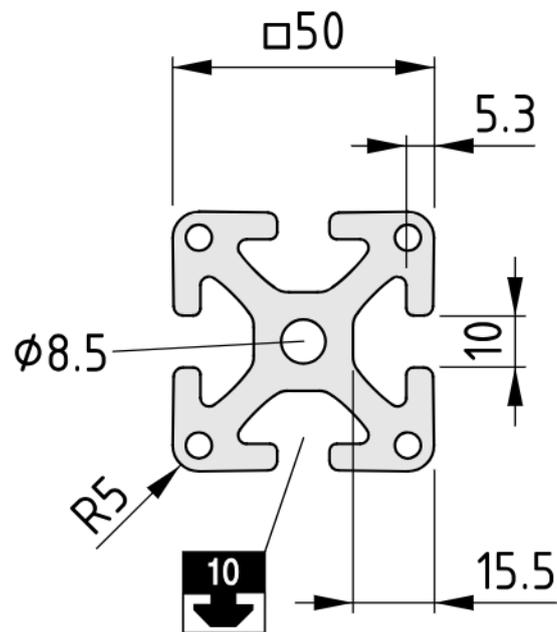


Figura 26 - Profilato singolo quotato

Tabella 6 – Specifiche del profilato singolo

| Caratteristiche   |   |
|---|---|
| Serie: 10   | Qualità: Naturale   |
| Sezione trasversale, A: 13,31 cm <sup>2</sup>                       | Peso specifico lunghezza, m: 3,59 kg/m                            |
| ESD antistatico: Si   | Lunghezze richieste: 636 mm e 740 mm                              |
| Momento d'inerzia a torsione, I <sub>t</sub> : 4,17 cm <sup>4</sup> | Materiale: Alluminio anodizzato                                   |
| Momento d'inerzia, x-asse I <sub>x</sub> : 30,68 cm <sup>4</sup>    | Momento resistente, x-asse W <sub>x</sub> : 12,27 cm <sup>3</sup> |
| Momento d'inerzia, y-asse I <sub>y</sub> : 30,68 cm <sup>4</sup>    | Momento resistente, y-asse W <sub>y</sub> : 12,27 cm <sup>3</sup> |

<sup>7</sup> <https://www.item24.com/it-it/profilato-10-50x-50-naturale-62452#technical-data>

Specifiche dei profilati 100x50<sup>8</sup>

I profilati doppi della *item* sono stati utilizzati per costruire le falde e la struttura base della piattaforma.

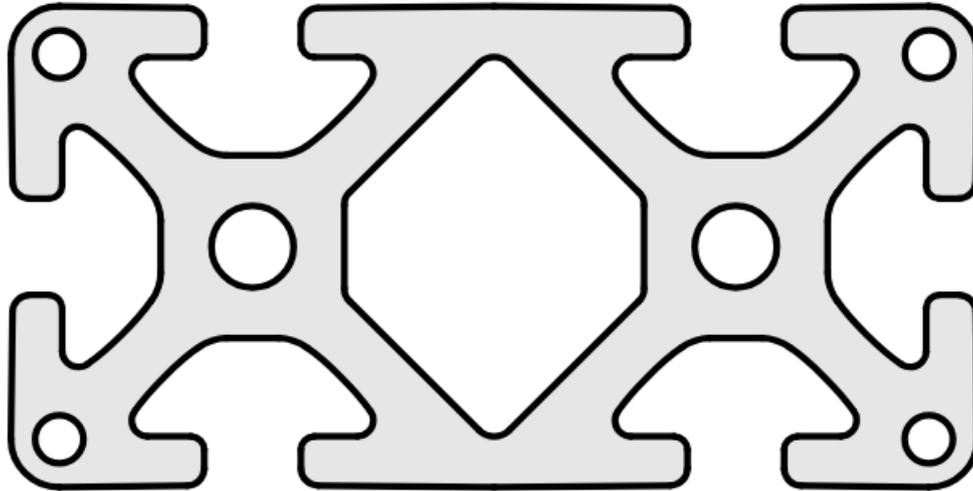


Figura 27 - Profilato doppio sezione

Tabella 7 – Specifiche del profilato doppio

| Caratteristiche  |   |
|--|---|
| Serie: 10  | Qualità: Naturale   |
| Sezione trasversale, A: 24,7 cm <sup>2</sup>                         | Peso specifico lunghezza, m: 6.67 kg/m                            |
| ESD antistatico: Si  | Lunghezze richieste: 720 mm, 740 mm e 820 mm                      |
| Momento d'inerzia a torsione, I <sub>t</sub> : 44,03 cm <sup>4</sup> | Materiale: Alluminio anodizzato                                   |
| Momento d'inerzia, x-asse I <sub>x</sub> : 61,28 cm <sup>4</sup>     | Momento resistente, x-asse W <sub>x</sub> : 24,51 cm <sup>3</sup> |
| Momento d'inerzia, y-asse I <sub>y</sub> : 227,47 cm <sup>4</sup>    | Momento resistente, y-asse W <sub>y</sub> : 45,49 cm <sup>3</sup> |

<sup>8</sup> <https://www.item24.com/it-it/profilato-10-100x-50-naturale-62460#technical-data>

Specifiche dei tasselli scorrevoli in acciaio M8 <sup>9</sup>

I tasselli scorrevoli della *item* oltre a essere presenti in tutti gli elementi da accoppiare con i profilati ma già compresi nei set sono stati utilizzati per fermare le viti a cui sono state fissate le piastre dell'otturatore.

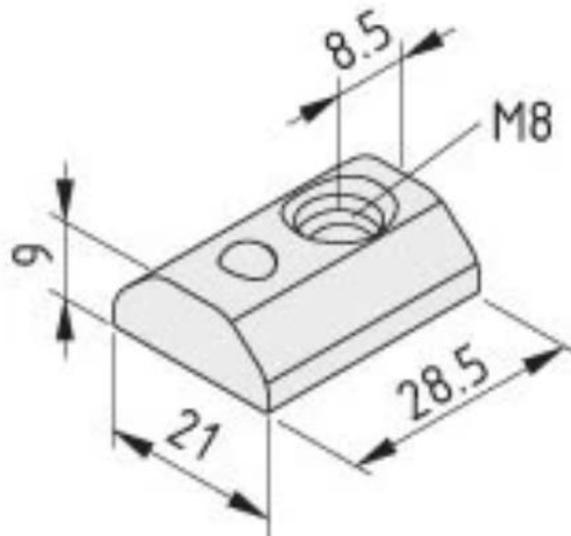


Figura 28 - Tassello scorrevole quotato

Tabella 8 – Specifiche del tassello scorrevole

| Caratteristiche     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| Serie: 10           | Peso unità, m: 32 g            |
| Qualità: Zincato    | Carico max, $F_{max}$ : 7000 N |
| ESD antistatico: Si | Materiale: Acciaio             |
| Filetto: M8         | Momento torcente, M: 34 Nm     |

<sup>9</sup> <https://www.item24.com/it-it/tassello-scorrevole-10-acciaio-m-8-pesante-zincato-62497#technical-data>

### Specifiche della calotta 50x50<sup>10</sup>

Le calotte 50x50 della *item* sono state utilizzate per coprire le sezioni finali dei profilati singoli scoperti per evitare che vi si depositasse sporco e impurità che sarebbero stati molto complicati da rimuovere.



Figura 29 - Calotta 50x50

Tabella 9 – Specifiche della calotta 50x50

| <b>Caratteristiche</b> |                      |
|------------------------|----------------------|
| Serie: 10              | Peso unità, m: 8,5 g |
| Qualità: Nero          | Materiale: PA-GF     |
| ESD antistatico: No    |                      |

<sup>10</sup> <https://www.item24.com/it-it/calotta-10-50x-50-nero-62509#technical-data>

### Specifiche della calotta 100x50<sup>11</sup>

Le calotte 100x50 della *item* sono state utilizzate per coprire le sezioni finali dei profilati doppi scoperti per evitare che vi si depositasse sporco e impurità che sarebbero stati molto complicati da rimuovere.



Figura 30 - Calotta 100x50

Tabella 10 – Specifiche della calotta 100x50

| Caratteristiche     |                     |
|---------------------|---------------------|
| Serie: 10           | Peso unità, m: 18 g |
| Qualità: Nero       | Materiale: PA-GF    |
| ESD antistatico: No |                     |

<sup>11</sup> <https://www.item24.com/it-it/calotta-10-100x-50-nero-62510#technical-data>

### Specifiche del set squadra 50x50<sup>12</sup>

I set squadra della *item* sono stati utilizzati per bloccare i profilati che permettono l'accoppiamento della piattaforma con il carrello elevatore e per accoppiare i profilati doppi della struttura di base tra loro.

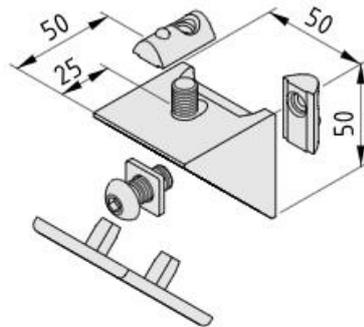


Figura 31 - Set squadra 50x50 quotato

Tabella 11 – Specifiche del set squadra 50x50

| Caratteristiche     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Serie: 10           | Peso unità, m: 335 g |
| ESD antistatico: No |                      |

#### Nell'unità di consegna:

- Squadra 10 50x50, GD-Zn, alluminio bianco simile a RAL 9006
- Calotta di copertura per squadra 10 50x50, PA-GF, grigio simile a RAL 7042
- 2 viti a testa tonda ISO 7380-M10x22, St, zincate
- 2 rondelle 2,6x18,4x18,4, St, zincate
- 2 tasselli scorrevoli 10 St M10, zincati

<sup>12</sup> <https://www.item24.com/it-it/set-squadra-10-50x50-62523#technical-data>

### Specifiche del profilato di copertura <sup>13</sup>

I profilati di copertura della *item* sono stati utilizzati per coprire le scanalature che danno verso l'esterno della struttura dei profilati doppi e singoli scoperti per evitare che vi si depositasse sporco e impurità che sarebbero stati molto complicati da rimuovere.

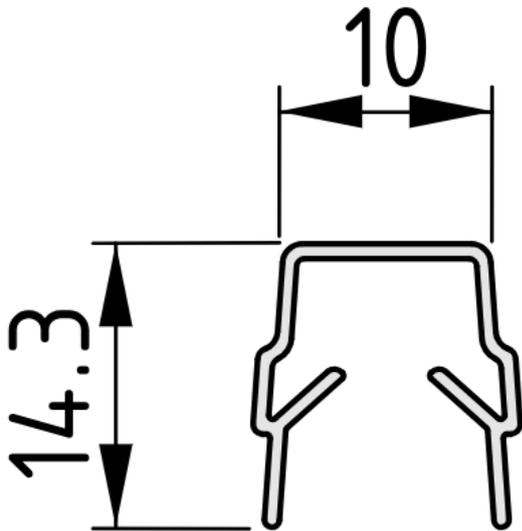


Figura 32.a - Profilato di copertura quotato

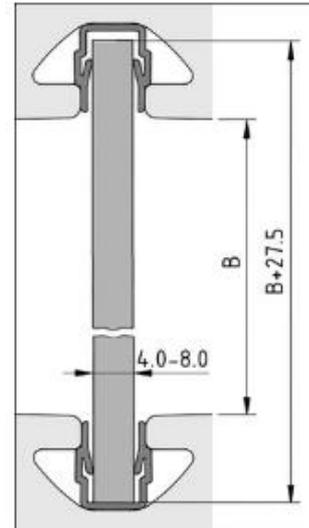


Figura 32.b - Profilato di copertura quotato

Tabella 12 – Specifiche del Profilato di copertura

| Caratteristiche     |                                   |
|---------------------|-----------------------------------|
| Serie: 10           | Peso specifico lunghezza, m: 31 g |
| Qualità: Nero       | Materiale: PP                     |
| ESD antistatico: Si |                                   |

<sup>13</sup> <https://www.item24.com/it-it/profilato-di-copertura-ed-intelaiatura-10-esd-nero-63204#technical-data>

Specifiche otturatori compatti con colletto esagonale ed arresto con impugnatura a T <sup>14</sup>

Gli otturatori della *HALDER* sono stati utilizzati per permettere il blocco del profilato singolo che può ribaltarsi quando il carrello elevatore solleva la piattaforma.

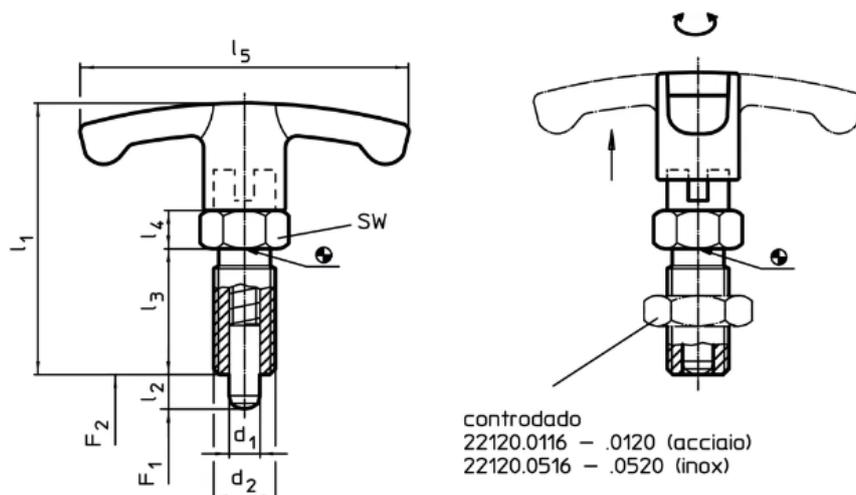


Figura 33 - Otturatore compatto con colletto esagonale ed arresto con impugnatura a T quotato

Tabella 13 – Specifiche dell'otturatore compatto con impugnatura a T

| Caratteristiche                  |  |
|----------------------------------|--|
| d <sub>1</sub> -0,02 -0,05: 8 mm | Materiale: Acciaio                               |
| l <sub>2</sub> : 12 mm           | SW: 17 mm  |
| d <sub>2</sub> : M16 x 1,5 mm    | Spinta media statistica F <sub>1</sub> : ~ 8,5 N |
| l <sub>1</sub> : 59 mm           | Spinta media statistica F <sub>2</sub> : ~ 28 N  |
| l <sub>3</sub> : 26 mm           | Intervallo di temperatura operativa min.: 30 °C  |
| l <sub>4</sub> : 8 mm            | Intervallo di temperatura operativa max.: 80 °C  |
| l <sub>5</sub> : 59 mm           | Peso: 71 g                                       |

<sup>14</sup><https://www.halder.com/it/PM/Normalizzati/Componenti-per-macchine-e-attrezzature/Otturatori-Arresti/Otturatori-compatti-con-colletto-esagonale-ed-arresto-con-impugnatura-a-T/22110.0838>

Specifiche dado di serraggio ISO 8675 <sup>15</sup>

I dadi di serraggio della *HALDER* sono stati utilizzati per bloccare gli otturatori.



*Figura 34 - Dado di serraggio per otturatore*

*Tabella 14 – Specifiche del dado per l’otturatore*

| <b>Caratteristiche</b>        |            |
|-------------------------------|------------|
| Acciaio                       | SW: 24 mm  |
| d <sub>2</sub> : M16 x 1,5 mm | Peso: 15 g |

---

<sup>15</sup><https://www.halder.com/it/PM/Accessori/Accessori-per-22110.-Otturatori-compatti-con-colletto-esagonale-con-impugnatura-a-T/22120.0118>

Specifiche della vite a testa cilindrica con esagono incassato M8x25 DIN 912 (ISO 4762 UNI 5931) <sup>16</sup>  
 Le viti M8x25 sono servite a fissare, insieme ai tasselli scorrevoli, le piastre degli otturatori ai profilati della struttura principale.

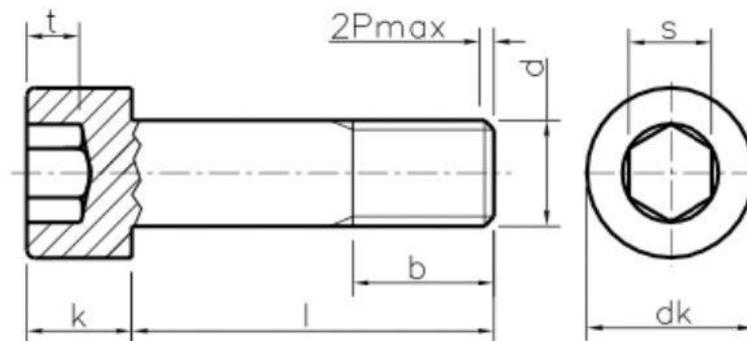


Figura 35 - Vite a testa cilindrica con esagono incassato DIN 912 quotata

Tabella 15 – Specifiche della vite M8x25 a testa cilindrica con esagono incassato DIN 912

| Caratteristiche        |                                    |
|------------------------|------------------------------------|
| Filetto: M8            | Spessore testa: 8 mm               |
| Lunghezza: 25 mm       | Diametro filetto: 8 mm             |
| Materiale: Acciaio 8.8 | Lunghezza filetto: 25 mm           |
| Diametro testa: 13 mm  | Dimensione Esagono Incassato: 6 mm |

<sup>16</sup><https://www.tuttoferramenta.it/prodotto/vite-tcei-m8x25-per-acciaio-con-esagonale-incassato-uni-5931-din-912-classe-88-finitura-zincato/GT000165>

Specifiche della vite a testa cilindrica con esagono incassato M8x30 DIN 912 (ISO 4762 UNI 5931) <sup>17</sup>  
 Le viti M8x30 sono servite a fissare, insieme ai tasselli scorrevoli, le piastre degli otturatori ai profilati della struttura necessaria per l'accoppiamento con il carrello elevatore.

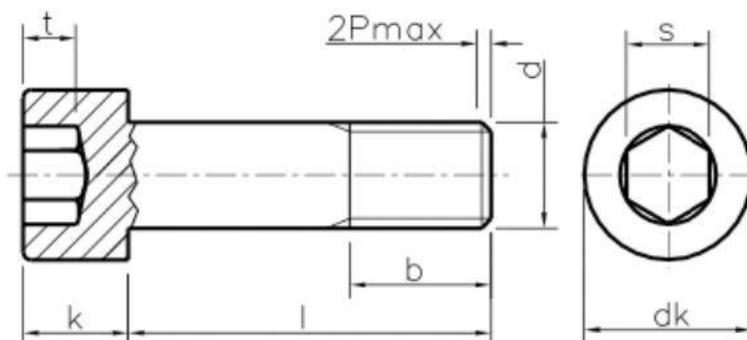


Figura 36 - Vite a testa cilindrica con esagono incassato DIN 912 quotata

Tabella 16 – Specifiche della vite M8x30 a testa cilindrica con esagono incassato DIN 912

| Caratteristiche        |                                    |
|------------------------|------------------------------------|
| Filetto: M8            | Spessore testa: 8 mm               |
| Lunghezza: 30 mm       | Diametro filetto: 8 mm             |
| Materiale: Acciaio 8.8 | Lunghezza filetto: 25 mm           |
| Diametro testa: 13 mm  | Dimensione Esagono Incassato: 6 mm |

<sup>17</sup><https://www.tuttoferramenta.it/prodotto/vite-tcei-m8x30-per-acciaio-con-esagonale-incassato-uni-5931-din-912-classe-88-finitura-zincato/GT000166>

Specifiche della rondella DIN 125<sup>18</sup>

Le rondelle sono servite per distribuire il carico di serraggio delle viti utilizzate per bloccare le piastre degli otturatori in modo omogeneo.

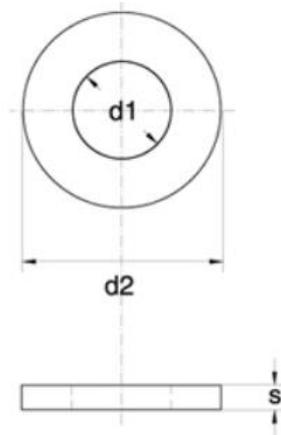


Figura 37 - Rondella DIN 125 quotata

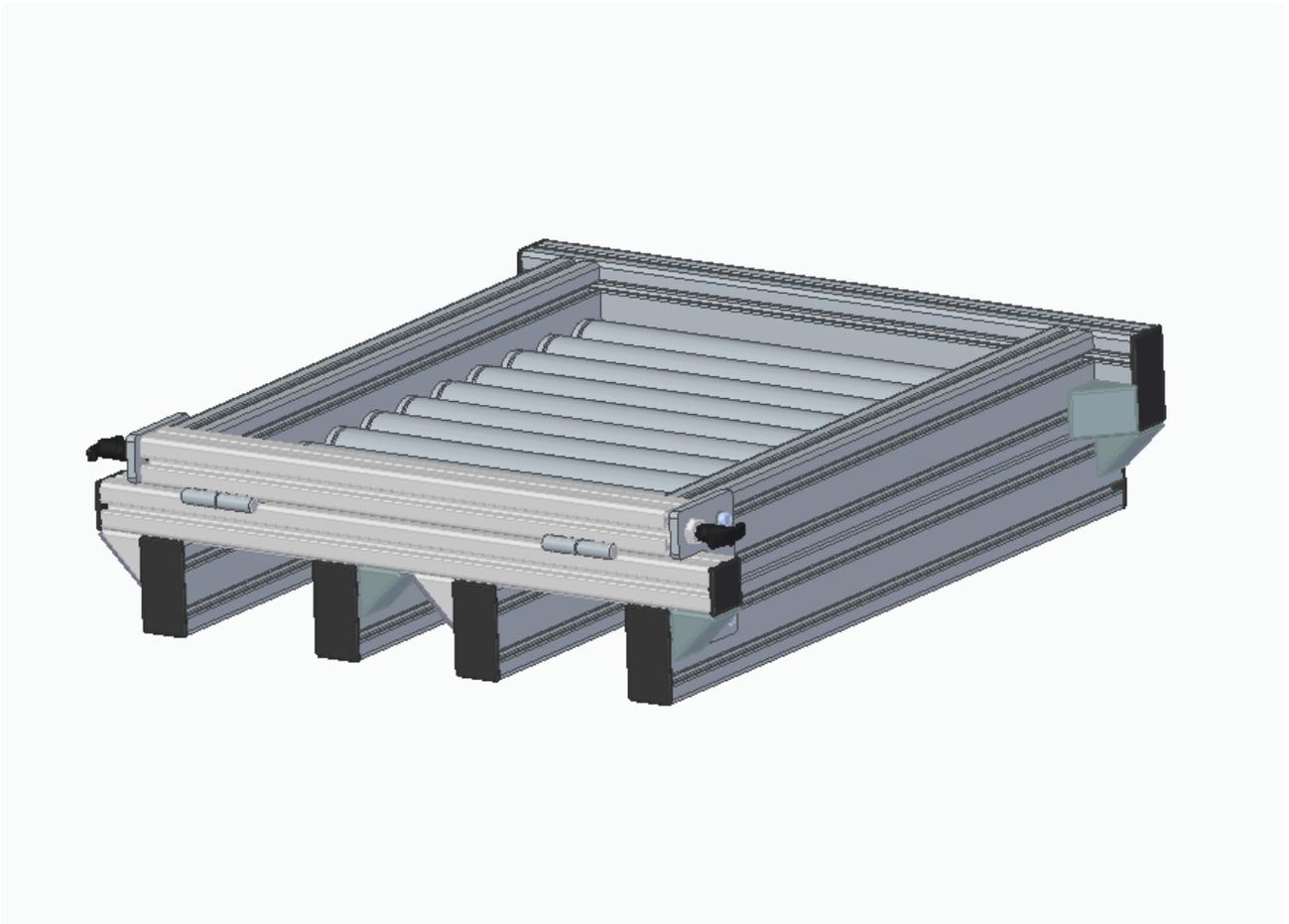
Tabella 17 – Specifiche della rondella DIN 125

| Caratteristiche |        |
|-----------------|--------|
| Filetto: M6     | d2: 12 |
| d1: 6,4         | s: 1,6 |

<sup>18</sup><https://www.gberardi.com/catalogo-prodotti/prodotto/rondella-piana-din125-a-iso7089-uni-6592-inox-a2/>

## FASE 5 – MODELLO 3D DELL'ASSIEME

In questa sezione si possono osservare i modelli costruiti utilizzando il software di disegno CAD (SolidEdge) della piattaforma di inserimento in *Figura 38*

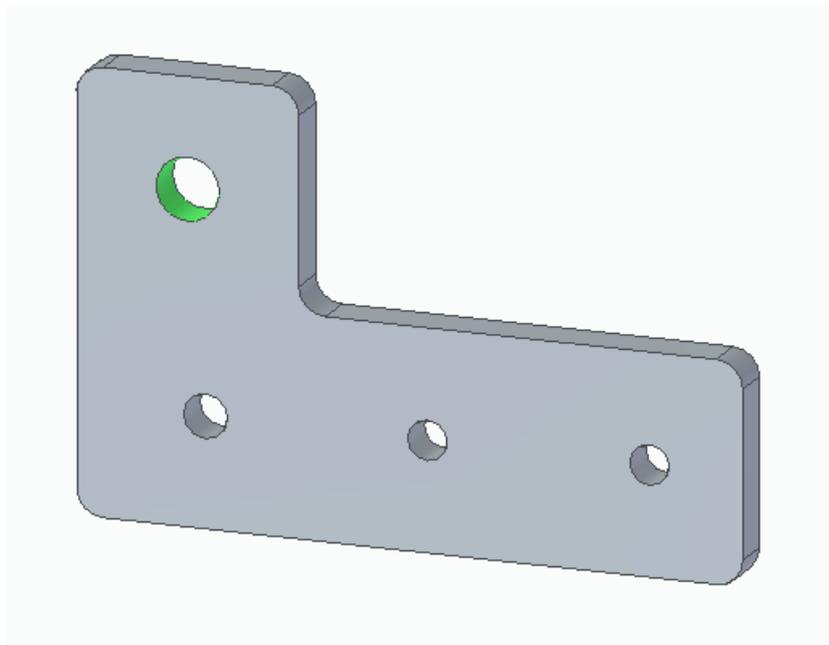


*Figura 38 - Piattaforma di inserimento (modello CAD)*

## FASE 6 – MODELLO 3D, DISEGNO COSTRUTTIVO E PRODUZIONE DI COMPONENTI NON COMMERCIALI

### Modelli 3D

In questa sezione si possono osservare i modelli costruiti utilizzando il software di disegno CAD (SolidEdge) della piastra per fissare l'otturatore alla piattaforma di inserimento in *Figura 39*, del



*Figura 39 - Piastra per fissare l'otturatore alla piattaforma di inserimento (modello CAD)*



lunghezza tramite sezioni. È anche importante identificare l'allineamento di elementi tramite assi e indicare a fianco alle quote delle stesse la presenza di elementi ripetuti. Inoltre, è necessario specificare rugosità ed eventuali lavorazioni desiderate.

## CAPITOLO 4- Progettazione struttura per il recupero dei disallineamenti

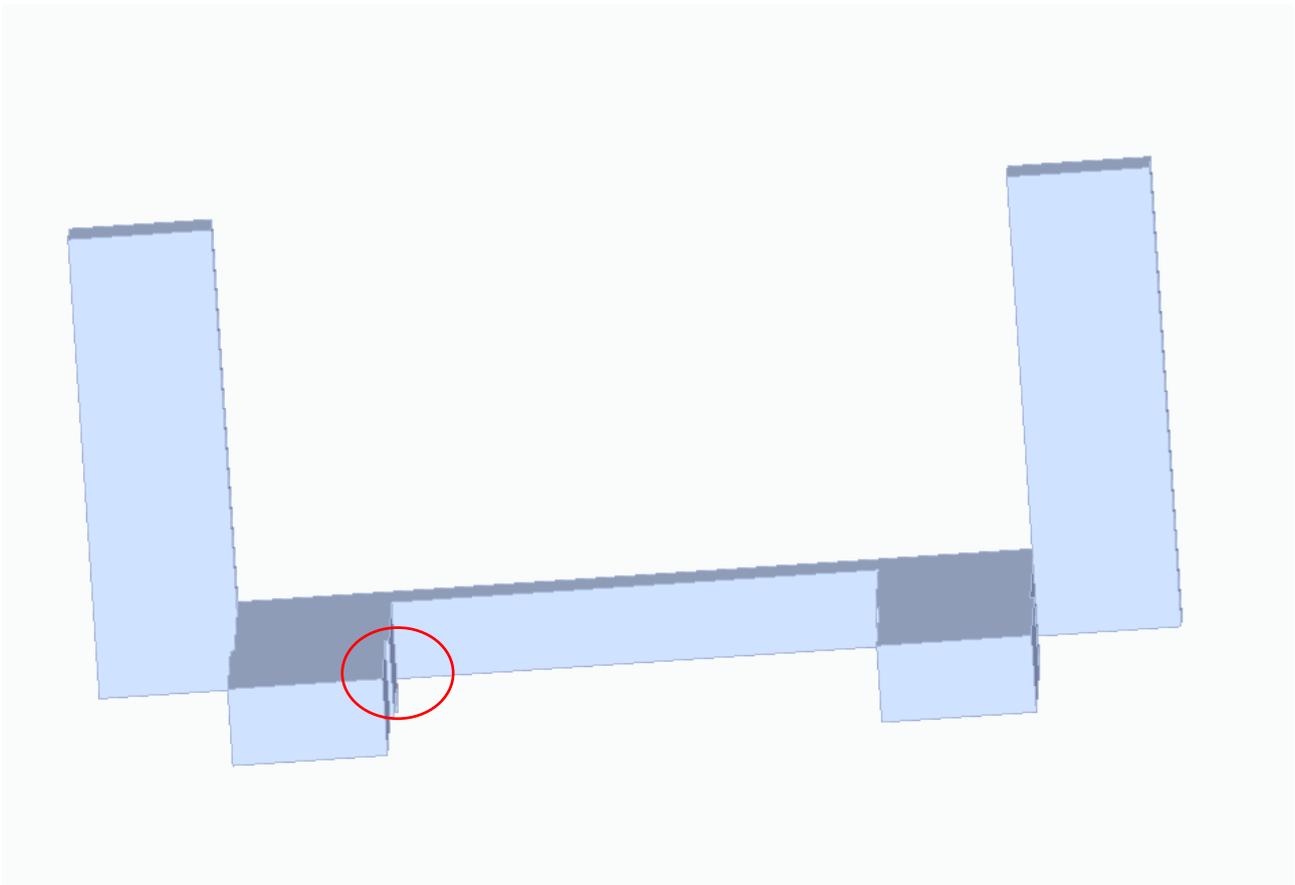
La seconda struttura da progettare è quella per recuperare i disallineamenti della piattaforma.

### FASE 1 – INDIVIDUAZIONE DELLE SPECIFICHE

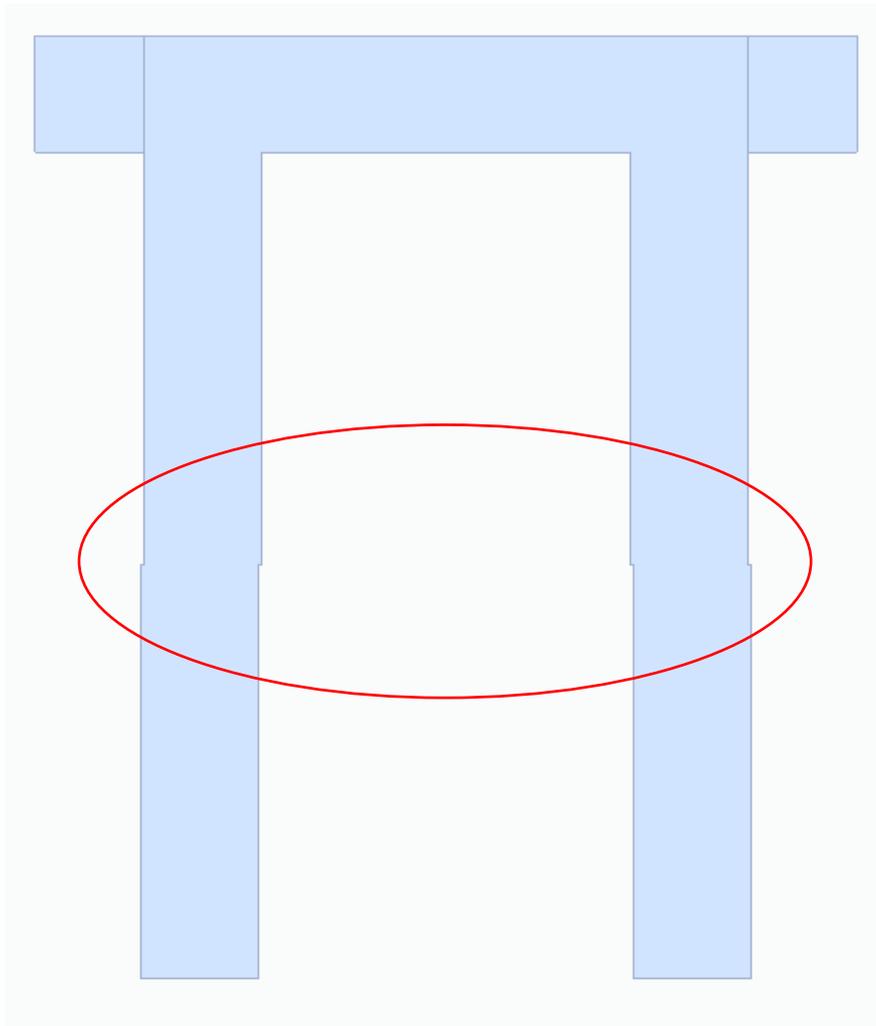
Per svolgere la sua funzione questa struttura deve permettere al carrello elevatore di inclinarsi leggermente nelle entrambe le direzioni in maniera agevole. Inoltre, come già identificato dalle soluzioni del CAPITOLO 2 sono necessarie strutture che non compromettano l'integrità del carrello elevatore in quanto questo ne invaliderebbe la garanzia.

Per individuare le ulteriori specifiche, sono state prese le misure del carrello elevatore per verificare se ci fossero dei disallineamenti. È risultato, infatti, che le superfici più esterne dei piedi di appoggio nella parte posteriore avevano una distanza di 515 mm mentre quelle nella parte anteriore avevano una distanza di 520 mm. Questo disallineamento è stato semplificato nel modello CAD rappresentato nelle *Figure 40.a e 40.b*

La nostra struttura deve quindi considerare il disallineamento delle forche.



*Figura 40.a - Ingombro carrello elevatore (modello CAD)*



*Figura 40.b - Ingombro carello elevatore (modello CAD) vista dall'alto*

Dalle misure prese sono anche sorti altri obblighi costruttivi, poiché i piedi di appoggio del muletto erano rinforzati con delle piastre saldate che risultavano avere uno spessore di 15 mm e una lunghezza di 100 mm. Da qui la necessità che né le piastre per il montaggio della struttura né i piedini completamente sollevati superassero i 15 mm in modo da evitare problemi nella movimentazione. Si aggiunge anche l'obbligo di non potere utilizzare i 100 mm in cui si trovavano i rinforzi per il montaggio della struttura.

Un'altra specifica trovata successivamente alle misure del carrello è stata determinata dalla necessità che le leve dei piedini posteriori non fossero impossibilitate nella rotazione dagli elementi che saldati alla struttura portante del muletto vi accoppiavano le ruote posteriori e di cui ne vediamo una parte rappresentata in *Figura....*

L'ultima specifica identificata è quella dei fori per i piedini nella struttura.

## FASE 2 – VALUTAZIONE DELLE SOLUZIONI UTILIZZABILI E PRECEDENTEMENTE UTILIZZATE

Per quanto riguarda la prima specifica sono state valutate soluzioni a tre e a quattro piedini per capire quale fosse la migliore per questa applicazione.

Per la seconda, invece, si è tenuta in considerazione una struttura unica ma che risultava difficile da progettare a causa del disallineamento dei piedi di base del carrello quindi si pensò di dividere la struttura in due se si sono valutati i giochi adatti da lasciare tra struttura e piedi.

Per la specifica relativa alla lunghezza della leva sono state valutate due lunghezze da catalogo di viti a leva con leva mobile e piattello, una con leva più corta ma più bassa delle strutture saldate (in *Figura 41*) e una con leva più lunga ma più alta delle strutture saldate (in *Figura 42*)

| Versione               | Fig. | d <sub>1</sub> [mm] | l <sub>1</sub> [mm] | l <sub>3</sub> [mm] | l <sub>4</sub> [mm] | l <sub>5</sub> ~ [mm] | Article-No. | Documenti | Disponibile |
|------------------------|------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------|-----------|-------------|
| Con piattello, forma E | 2    | M12                 | 60 mm               | 100 mm              | 50 mm               | ~ 64,6 mm             | 24500.0113  |           |             |



Con piattello, forma E – Fig. 2

d<sub>1</sub>: M12

**l<sub>1</sub>: 60 mm**

d<sub>2</sub>: 20 mm

d<sub>3</sub>: 10 mm

d<sub>4</sub>: 8 mm

d<sub>5</sub>: 25 mm

l<sub>2</sub>: 35 mm

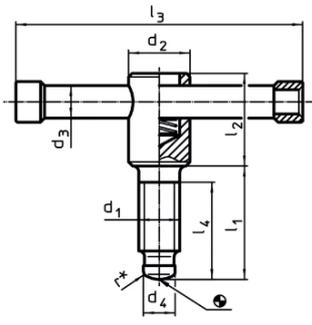
**l<sub>3</sub>: 100 mm**

l<sub>4</sub>: 50 mm

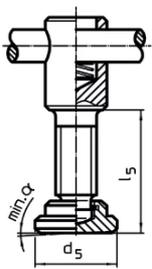
Peso: 198 g

l<sub>5</sub>: ~ 64,6 mm

α min.: 3°



**fig. 1**



**fig. 2**

*Figura 41 - Vite a leva con leva mobile e piattello l<sub>3</sub>=100 mm, l<sub>1</sub>=60 mm*

| Versione               | Fig. | d <sub>1</sub> [mm] | l <sub>1</sub> [mm] | l <sub>3</sub> [mm] | l <sub>4</sub> [mm] | l <sub>5</sub> ~ [mm] | Article-No. | Documenti | Disponibile |
|------------------------|------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------|-----------|-------------|
| Con piattello, forma E | 2    | M16                 | 90 mm               | 120 mm              | 80 mm               | ~ 95,4 mm             | 24500.0118  |           |             |



Con piattello, forma E – Fig. 2

d<sub>1</sub>: M16

**l<sub>1</sub>: 90 mm**

d<sub>2</sub>: 24 mm

d<sub>3</sub>: 13 mm

d<sub>4</sub>: 12 mm

d<sub>5</sub>: 32 mm

l<sub>2</sub>: 40 mm

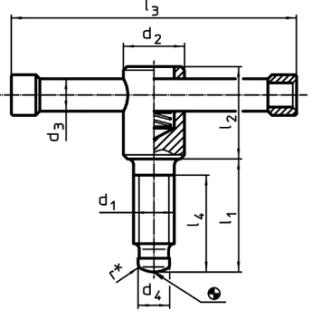
**l<sub>3</sub>: 120 mm**

l<sub>4</sub>: 80 mm

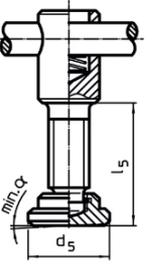
Peso: 402 g

l<sub>5</sub>: ~ 95,4 mm

α min.: 5°



**fig. 1**



**fig. 2**

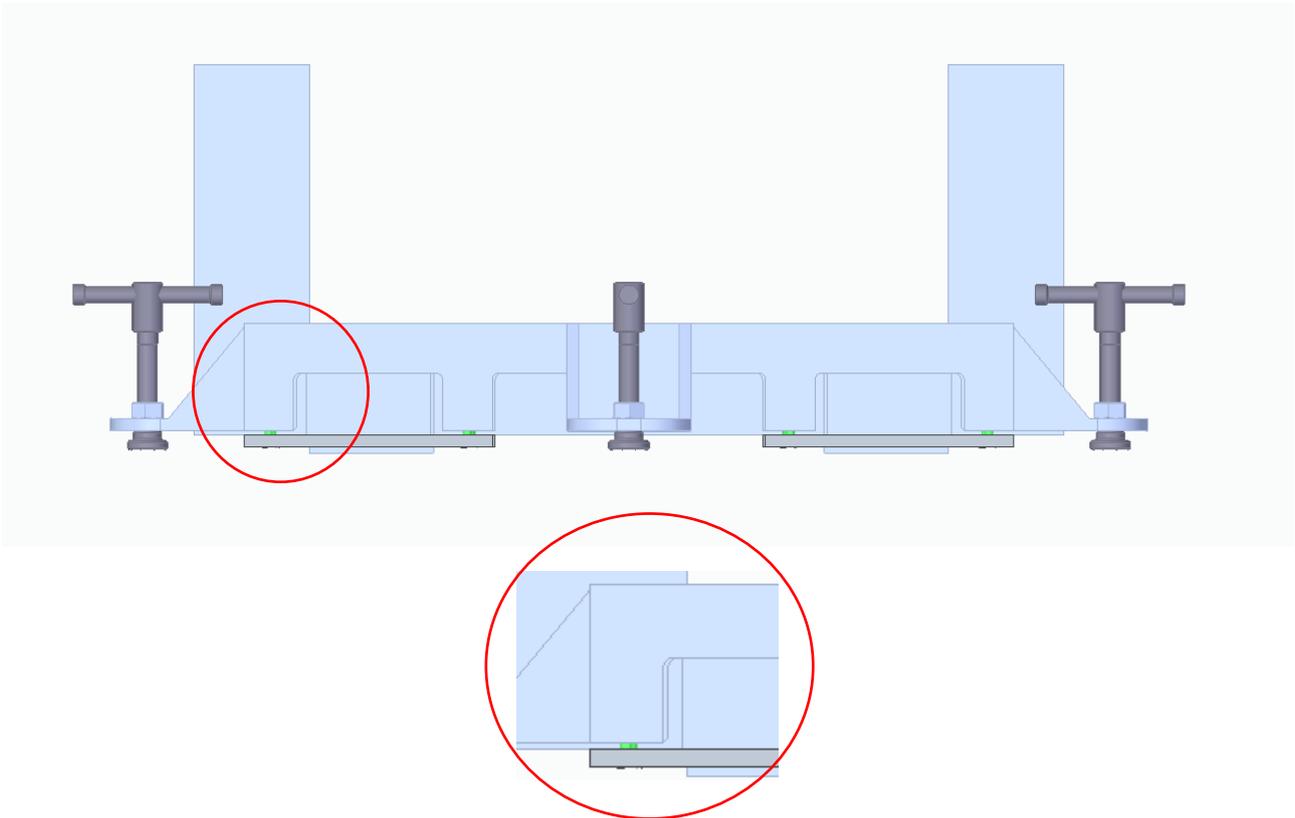
*Figura 42 - Vite a leva con leva mobile e piattello l<sub>3</sub>=120 mm, l<sub>1</sub>=90 mm*

Per l'ultima specifica è stato valutato se forare la struttura con una filettatura o se fare un foro liscio e poi saldarvi a si sopra un bullone.

### FASE 3 – DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI

Come prima soluzione è stato deciso di posizionare i tre piedini in una disposizione a triangolo, invece che quattro, così da riuscire ad avere un controllo più agevole e meno macchinoso.

Per la seconda soluzione si è deciso di progettare due strutture diverse e lasciare un gioco 10 mm per lato tra i piedi del carrello e la struttura invece nella parte superiore di non lasciare gioco anzi progettata in modo che la cava fosse di 2 mm più corta dello spessore del piede del carrello così da poter assicurare un precarico alle viti delle piastre come si può vedere nel particolare in *Figura 43*



*Figura 43 - Particolare del precarico delle viti sulle piastre*

Per quanto riguarda le specifiche relative alle posizioni della struttura e le dimensioni degli elementi sono state utilizzate nel modello 3D così come erano state individuate.

Per l'ultima soluzione si è deciso di utilizzare i bulloni saldati così da evitare di dover filettare il foro.

#### FASE 4 – SCELTA DEI COMPONENTI COMMERCIALI

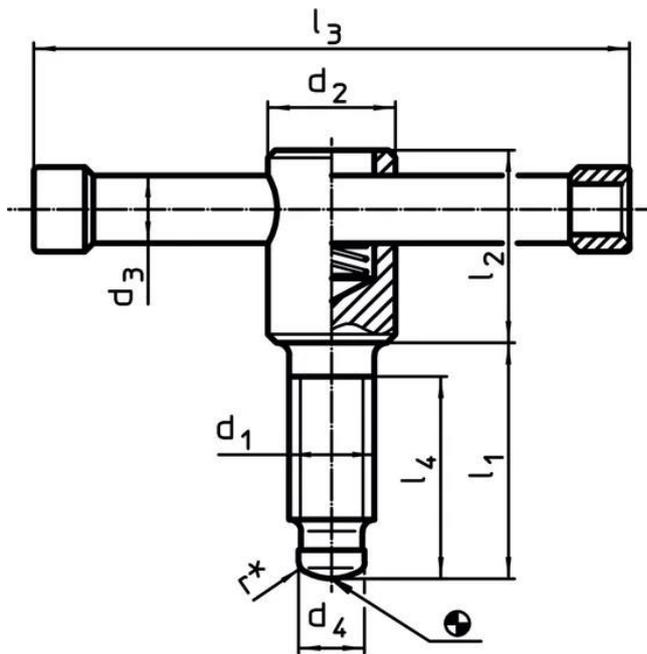
In *Tabella 18* c'è la lista degli ordini dei componenti necessari al montaggio del pezzo.

*Tabella 18 – Lista componenti della struttura per il recupero dei disallineamenti*

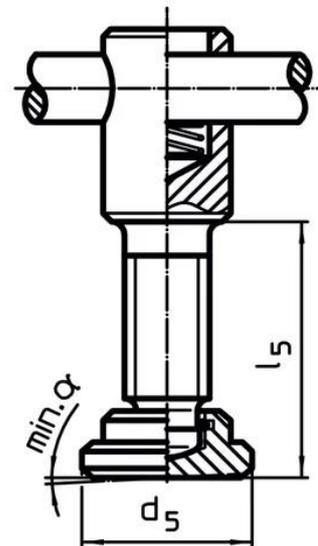
| No. disegno/Codice pz      | Descrizione                          | Q.tà | Materiale | Fornitore | Mass Kg  |
|----------------------------|--------------------------------------|------|-----------|-----------|----------|
|                            | Supporto piedi muletto montato       |      |           |           |          |
| -                          | Ingombro muletto                     | 1    | Acciaio   | DTM       | 124,2    |
| VG-ISS-DW-DTM-03-01-02.002 | Piastra                              | 4    | Fe 360    | DTM       | 6,24616  |
| VG-ISS-DW-DTM-03-01-02.003 | Supporto muletto 1 piede senza dadi  | 1    | Fe 360    | DTM       | 27,1287  |
| VG-ISS-DW-DTM-03-01-02.004 | Supporto muletto 2 piedi senza dadi  | 1    | Fe 360    | DTM       | 27,61369 |
| 24500,0118                 | Vite a leva DIN 6306 con leva mobile | 3    |           | HALDER    | 0,4705   |
| DIN 7991 M6x35             | Vite DIN 7991 M6x35 svasata          | 16   | AISI 316  | -         | 0,14942  |
| DIN 934 M16                | Dado DIN 934 M16                     | 3    | AISI 316  | -         | 0,10748  |
|                            |                                      |      |           | TOT.      | 61,71595 |

Specifiche della vite a leva con leva mobile e piattello DIN 6306 <sup>19</sup>

Le viti a leva con piattello della *HALDER* sono state utilizzate per permettere il recupero dei disallineamenti del muletto.



**fig. 1**



**fig. 2**

Figura 44 - Vite a leva con leva mobile e piattello quotata

Tabella 19 – Specifiche della vite a leva con leva mobile

| Caratteristiche                       |                            |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Tipo: Con piattello, forma E – fig. 2 | Peso: 402 g                |
| d <sub>1</sub> : M16                  | l <sub>2</sub> : 40 mm     |
| l <sub>1</sub> : 90 mm                | l <sub>3</sub> : 120 mm    |
| d <sub>2</sub> : 24 mm                | l <sub>4</sub> : 80 mm     |
| d <sub>3</sub> : 13 mm                | l <sub>5</sub> : ~ 95,4 mm |
| d <sub>4</sub> : 12 mm                | α min.: 5°                 |
| d <sub>5</sub> : 32 mm                |                            |

<sup>19</sup><https://www.halder.com/it/PM/Normalizzati/Elementi-di-comando/Viti-a-leva-Controviti-a-leva/Viti-a-leva-DIN-6306-con-leva-mobile/24500.0118>

Specifiche della vite M6x35 a testa svasata con esagono incassato DIN 7991 <sup>20</sup>

Le viti a testa svasata sono servite a fissare le piastre e la struttura per il recupero dei disallineamenti. Sono state scelte quelle a testa svasata così da non superare i 15 mm al di sotto dei piedi del carrello elevatore che erano stati identificati nelle specifiche.

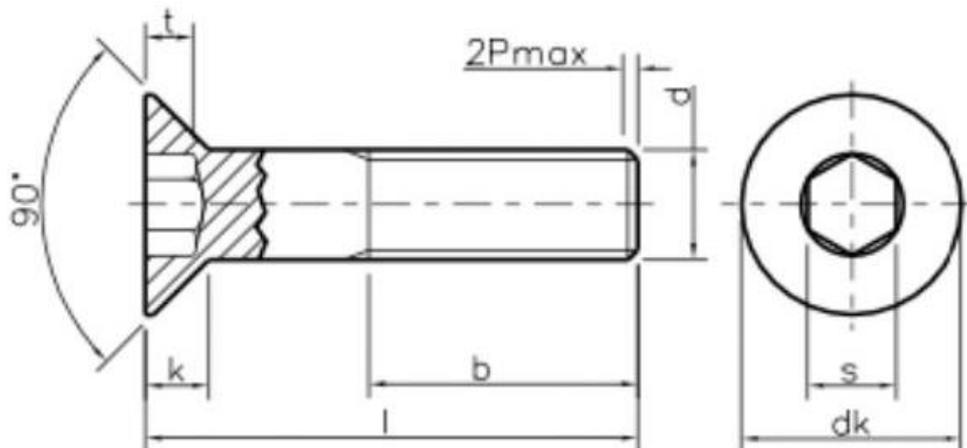


Figura 45 - Vite a testa svasata con esagono incassato DIN 7991 quotata

Tabella 20 – Specifiche della vite M6x35 a testa svasata con esagono incassato

| Caratteristiche         |                                    |
|-------------------------|------------------------------------|
| Filetto: M6             | Spessore testa: 6 mm               |
| Lunghezza: 35 mm        | Diametro filetto: 6 mm             |
| Materiale: Acciaio 10.9 | Lunghezza filetto: 35 mm           |
| Diametro testa: 12 mm   | Dimensione Esagono Incassato: 4 mm |

<sup>20</sup><https://www.tuttoferramenta.it/prodotto/vite-tpsce-m6x35-per-metallo-con-esagonale-incassato-uni-5933-din-7991-classe-109-finitura-zincato/GT000125>

Specifiche del dado M16 DIN 934<sup>21</sup>

I bulloni sono stati saldati ai fori per il passaggio delle viti a leva e utilizzati come filettatura per il bloccaggio delle stesse.

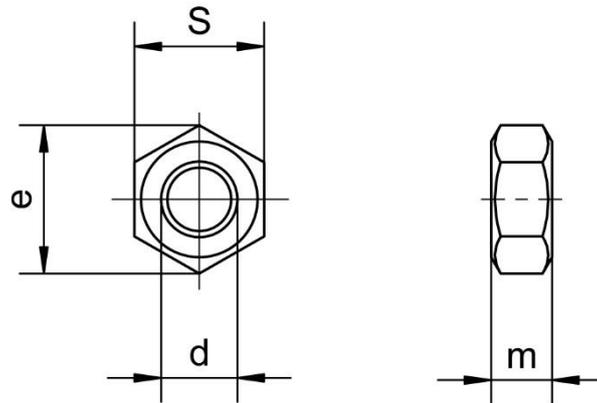


Figura 46 - Dado DIN 934 quotato

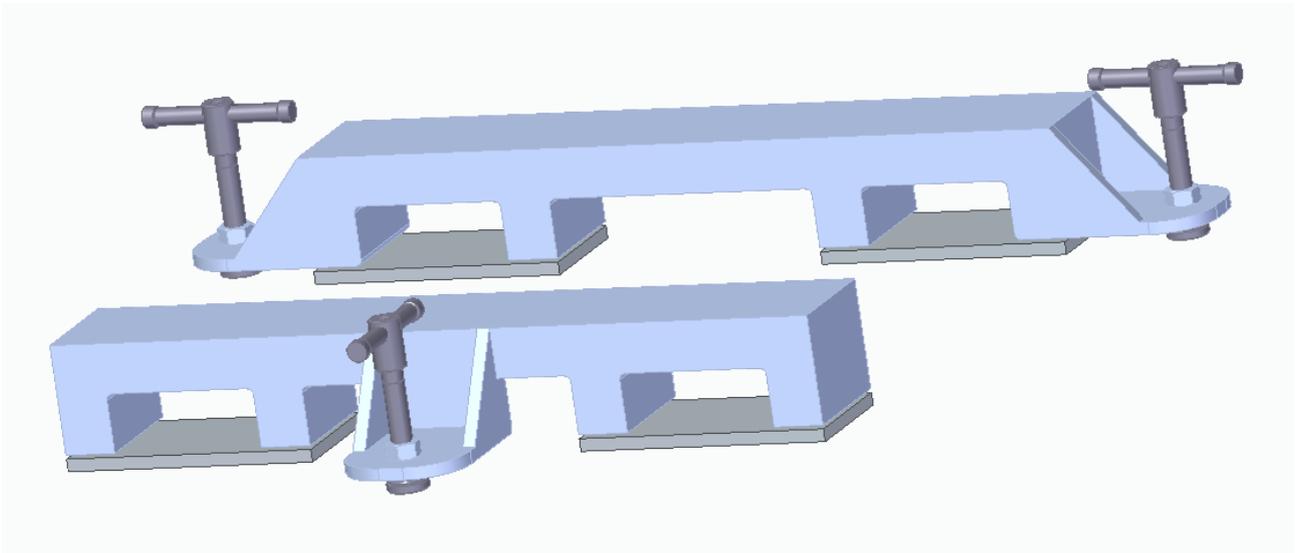
Tabella 21 – Specifiche del dado M16 DIN 934

| Caratteristiche |              |
|-----------------|--------------|
| Filetto: M16    | m: 13        |
| Passo: 2        | e min: 26,75 |
| s: 24           |              |

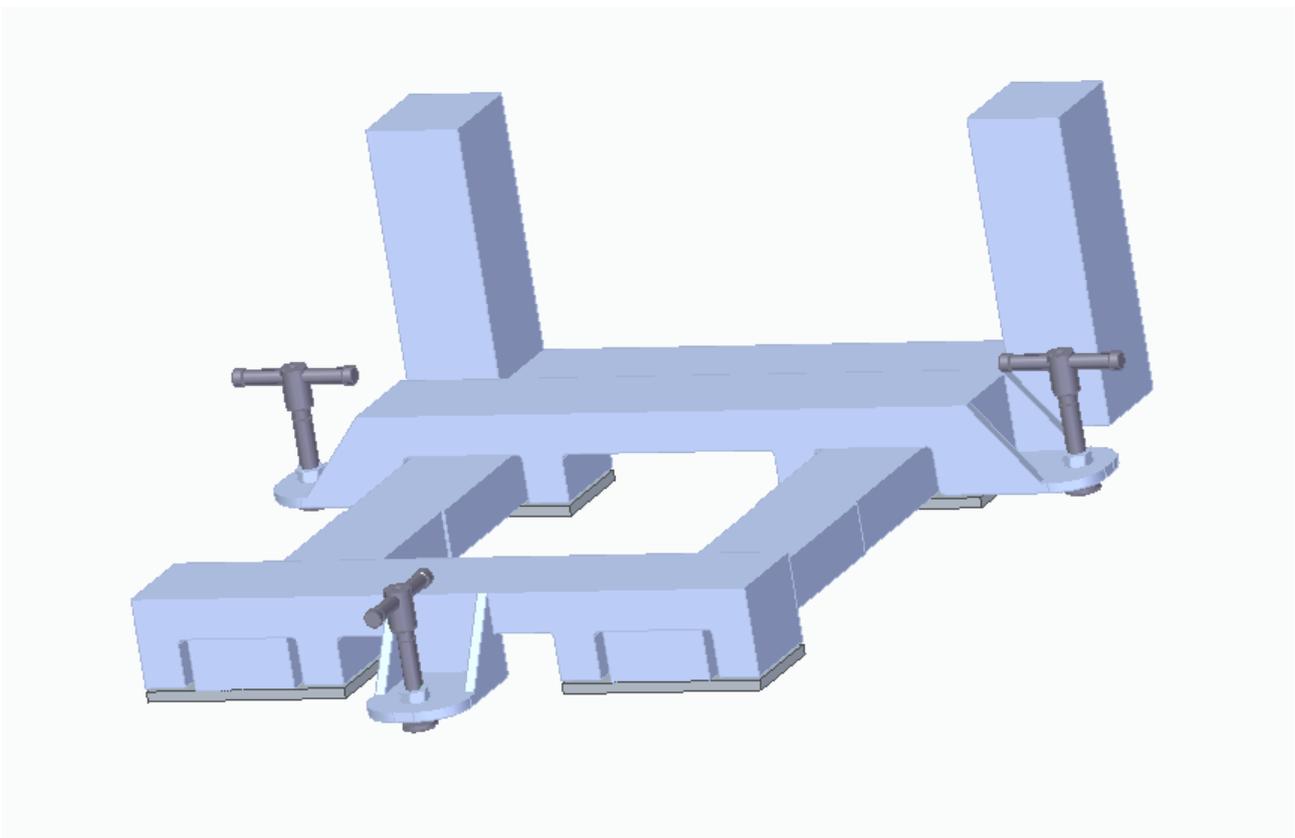
<sup>21</sup><https://www.gberardi.com/catalogo-prodotti/prodotto/dado-esagonale-medio-din-934-uni-5588-cl10/>

## FASE 5 – MODELLO 3D DELL'ASSIEME

In questa sezione si possono osservare i modelli costruiti utilizzando il software di disegno CAD (SolidEdge) della struttura per il recupero dei disallineamenti in *Figura 47.a* e della struttura per il recupero dei disallineamenti fissata all'ingombro dei piedi del carrello elevatore in *Figura 47.b*



*Figura 47.a - Struttura per il recupero dei disallineamenti (modello CAD)*

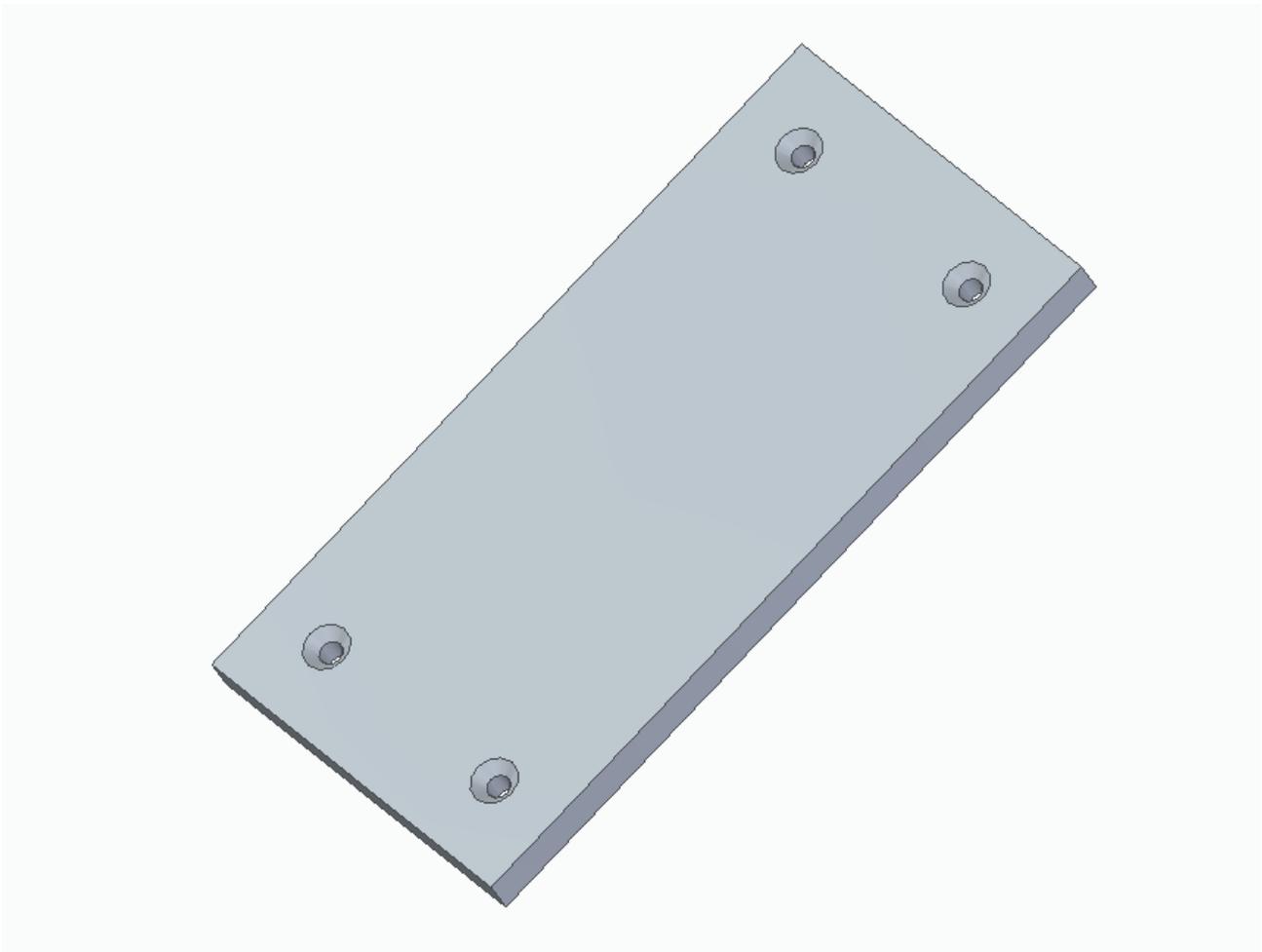


*Figura 47.b - Struttura per il recupero dei disallineamenti fissata all'ingombro dei piedi del carrello elevatore (modello CAD)*

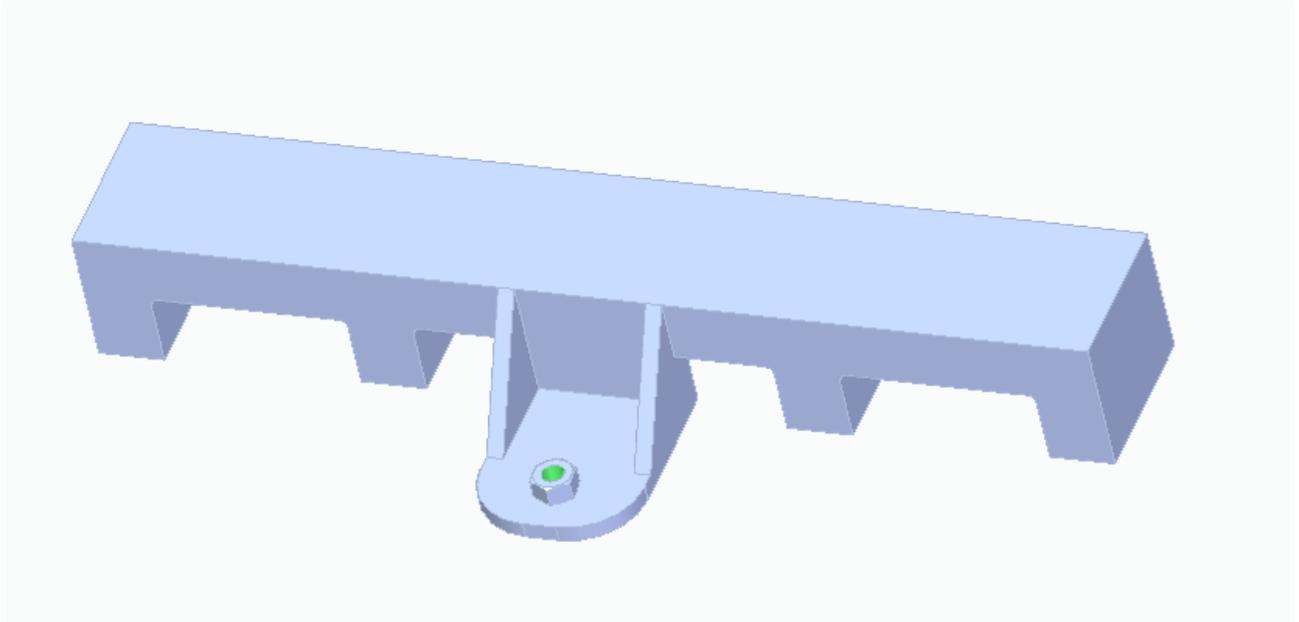
## FASE 6 – MODELLO 3D, DISEGNO COSTRUTTIVO E PRODUZIONE DI COMPONENTI NON COMMERCIALI

### Modelli 3D

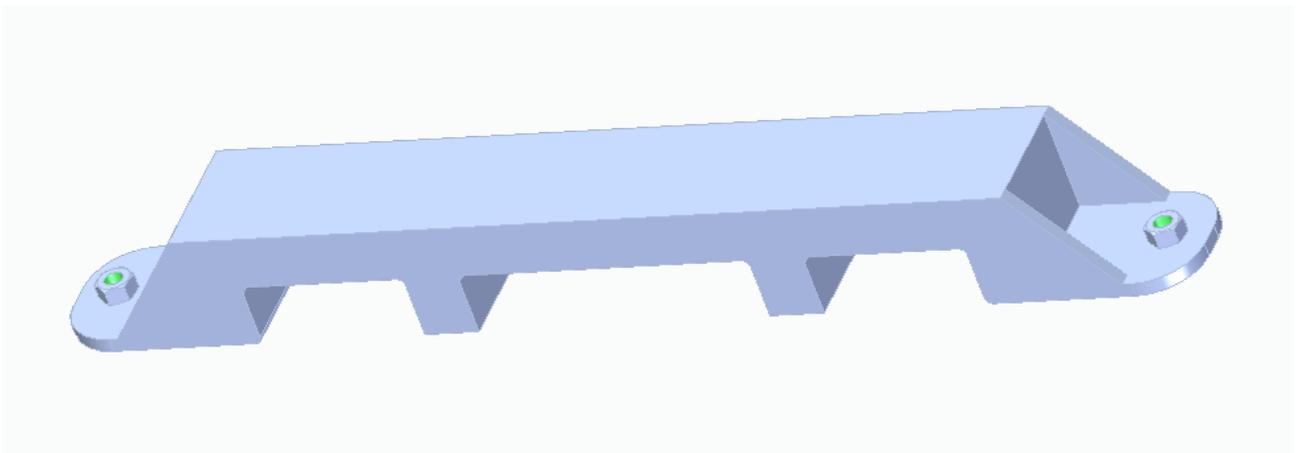
In questa sezione si possono osservare i modelli costruiti utilizzando il software di disegno CAD (SolidEdge) della piastra per fissare la struttura per il recupero dei disallineamenti in *Figura 48*, del supporto anteriore per il recupero dei disallineamenti in *Figura 49* e del supporto posteriore per il recupero dei disallineamenti in *Figura 50*



*Figura 48 - Piastra per fissare la struttura per il recupero dei disallineamenti (modello CAD)*



*Figura 49 - Supporto anteriore per il recupero dei disallineamenti (modello CAD)*



*Figura 50 - Supporto posteriore per il recupero dei disallineamenti (modello CAD)*

## Disegni costruttivi

In questa sezione si possono osservare i disegni costruttivi per cui è stato utilizzato il software di disegno CAD SolidEdge della piastra per fissare la struttura per il recupero dei disallineamenti nella *Tavola 2*, del supporto anteriore per il recupero dei disallineamenti nella *Tavola 3* e del supporto posteriore per il recupero dei disallineamenti nella *Tavola 4*.

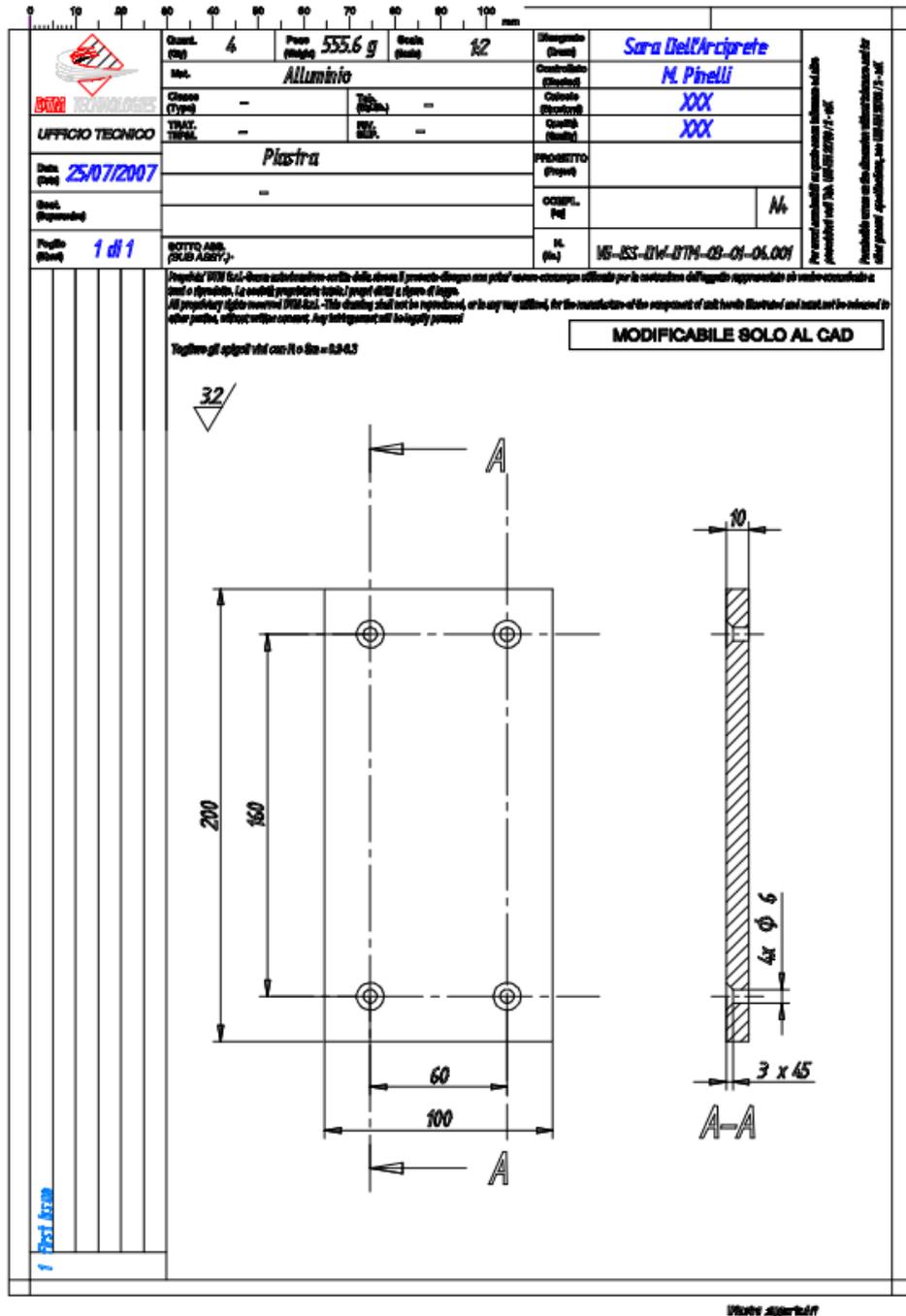


Tavola 2 – Disegno costruttivo piastra per fissare i supporti per il recupero dei disallineamenti





Preparazione alla produzione di pezzi non commerciali

Come già specificato nella stessa sezione del capitolo precedente è necessario rendere i disegni il più chiari possibili ed evidenziare eventuali lavorazioni desiderate. In questo caso abbiamo dovuto specificare la necessità di saldare il dado sul foro.

## CAPITOLO 5- Risultati

Alla fine di questo progetto è stato ottenuto, a livello teorico, un metodo di progettazione, a livello pratico tutto il necessario per costruire l'MGSE che, a sua volta, permette il montaggio della struttura deputata allo svolgimento degli esperimenti sulla soglia di transizione da gas a clustering in mezzi granulari guidati in ambiente a bassa gravità nello Space Center di Toulouse.

Nel capitolo 2 erano stati identificati i tre sottoassiemi principali da definire nel dettaglio durante il processo di design e alla fine per ogni sottogruppo abbiamo ottenuto le parti commerciali che sono state ordinate ai relativi fornitori, i modelli CAD progettati e disegnati nei capitoli 3 e 4 e le tavole costruttive degli elementi che sono stati prodotti in azienda.

Arrivati a questo punto si può quindi passare alla fase di montaggio anche questa fondamentale per valutare eventuali errori di progettazione e verificare che tutte le variabili in gioco siano state considerate.

### FASE 7 – MONTAGGIO DI TUTTI I COMPONENTI

Come specificato nel paragrafo precedente questa fase è molto importante per verificare se ci sono dei problemi che non erano stati valutati nel processo di progettazione. Infatti, in questa fase i pezzi vengono testati in azienda e questo passaggio permette di correggere qualche errore di gioco e di misura che può esserci stato in fase di progettazione (motivo per cui si nei casi di giochi e misure poco precise si tende ad approssimare per eccesso).

Successivamente, in una fase di post-produzione, il prodotto sarà sperimentato anche da chi dovrà utilizzarlo non conoscendolo ma che soprattutto conosce le condizioni a cui verranno utilizzato. Nel nostro caso questi soggetti sono gli astronauti per i pezzi che verranno utilizzati nella Stazione Internazionale e gli scienziati per quelli che rimarranno a terra nel Centro Spaziale di Toulouse.

Quindi anche se, una volta montati i pezzi, il progetto risulta concluso, si continua a seguire il prodotto per i test 'sul campo'.

## Conclusioni

Per concludere in questo progetto di tesi, partendo da nozioni teoriche sul design si è volto seguire un metodo di progettazione ben definito e basato su processi di design ampiamente discussi in letteratura e applicarlo a un caso pratico di ingegneria aerospaziale, ovvero il progetto che un committente esterno (l'ESA) ha affidato a un'azienda di servizi (DTM). Ogni fase è stata seguita e analizzata scrupolosamente dalla redattrice di questa tesi e dal tutor assegnatole al fine di ottenere un prodotto completo non solo a livello di modellistica ma anche fisicamente.

Per quanto riguarda i futuri sviluppi di questo lavoro oltre all'eventuale correzione tramite le reiterazioni del metodo dei problemi che potrebbero presentarsi nel testare il prodotto, si potrebbe applicare a un progetto complesso il metodo della Concurrent Engineering a un campo diverso dalla produzione industriale che abbia lotti inferiori e valutarne vantaggi e svantaggi.

## Bibliografia e sitografia

Progetto VIP-GRAN ESA, <https://spacegrains.org/>

Noirhomm M., Cazaubiel A., Darras A., Falcon E., Fischer D., Garrabos Y., Lecoutre-Chabot C., Merminod S., Opsomer E., Palencia F., *Threshold of gas-like to clustering transition in driven granular media in low-gravity environment*, 13 August 2018, Europhysics Letters, Volume 123, No. 1.

Materia granulare, [https://it.wikipedia.org/wiki/Materia\\_granulare](https://it.wikipedia.org/wiki/Materia_granulare)

Materiali granulari, <https://www.isc.cnr.it/public-outreach/divulgazione/materiali-granulari/>

Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K. H., *Engineering Design. A Systematic Approach*, Springer, 3<sup>a</sup> edizione (2014). (Pagg. 65-80, pagg.162-197, pagg. 238-256)

Holliger H., *Handbuch der Morphologie. Elementare Prinzipien und Methoden zur Lösung kreativer Probleme*. Zürich, MIZ Verlag (1972).

Nadler G., *Work Design*. Homewood, Illinois, Richard D. Irwin Inc. (1963).

Müller J., *Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften*, Berlin, Springer (1990).

Schmidt H.G., *Heuristische Methoden als Hilfen zur Entscheidungsfindung beim Konzipieren technischer Produkte*. Schriftenreihe Konstruktionstechnik, H. 1, Herausgeber W. Beitz. Technische Universität Berlin (1980).

Progetto PK4, <https://www.dlr.de/en/research-and-transfer/projects-and-missions/horizons/pk-4>

Freddi A., *Imparare a progettare. Principi e metodi del progetto concettuale per lo sviluppo della creatività industriale*, Pitagora Editore (2005), Bologna.

Cuffaro D., Zaksenberg I., *The Industrial Design Reference & Specification Book: Everything Industrial Designers Need to Know Every Day*, Rockport Publishers, Illustrated edition (2013).

Progetti sui GSE della DTM, <http://www.dtm.it/home.php?id=20301>

Progetto Sentinel Airbus, <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2022-02-sentinel-5p-a-breath-of-fresh-air>

Catalogo carrello elevatore, <https://movimentomerci.eu/products/bc200-n1-s300-carrello-elevatore-manuale-con-pompa-idraulica>

Catalogo item, <https://www.item24.com/it-it>

Catalogo HALDER, <https://www.halder.com/it>

Catalogo Tuttoferramenta, <https://www.tuttoferramenta.it>

Catalogo Gberardi, <https://www.gberardi.com/catalogo-prodotti>

Manfè G., Pozza R., Scarato G., *Disegno meccanico Volume 2*, Principato Editore.

Norma ISO 8675

Norma DIN 912

Norma DIN 125

Norma DIN 6306

Norma DIN 7991

Norma DIN 934