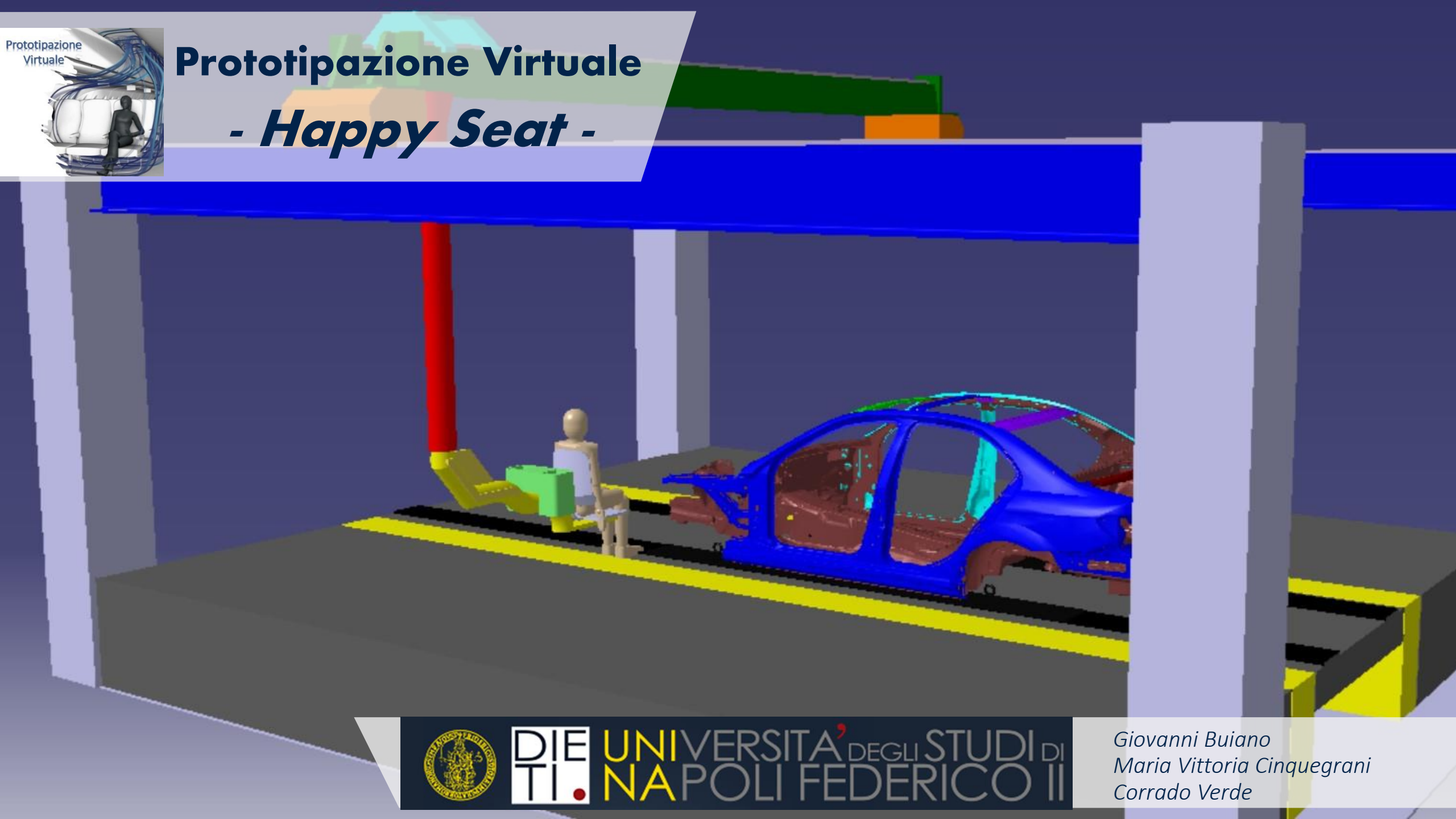




Prototipazione Virtuale

- *Happy Seat* -



DIE TI. UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
NAPOLI FEDERICO II

Giovanni Buiano
Maria Vittoria Cinquegrani
Corrado Verde

INDICE



01

Introduzione

02

Modellazione

03

Analisi FEM



04

Simulazione Cinematica

05

Ergonomia

06

Conclusioni



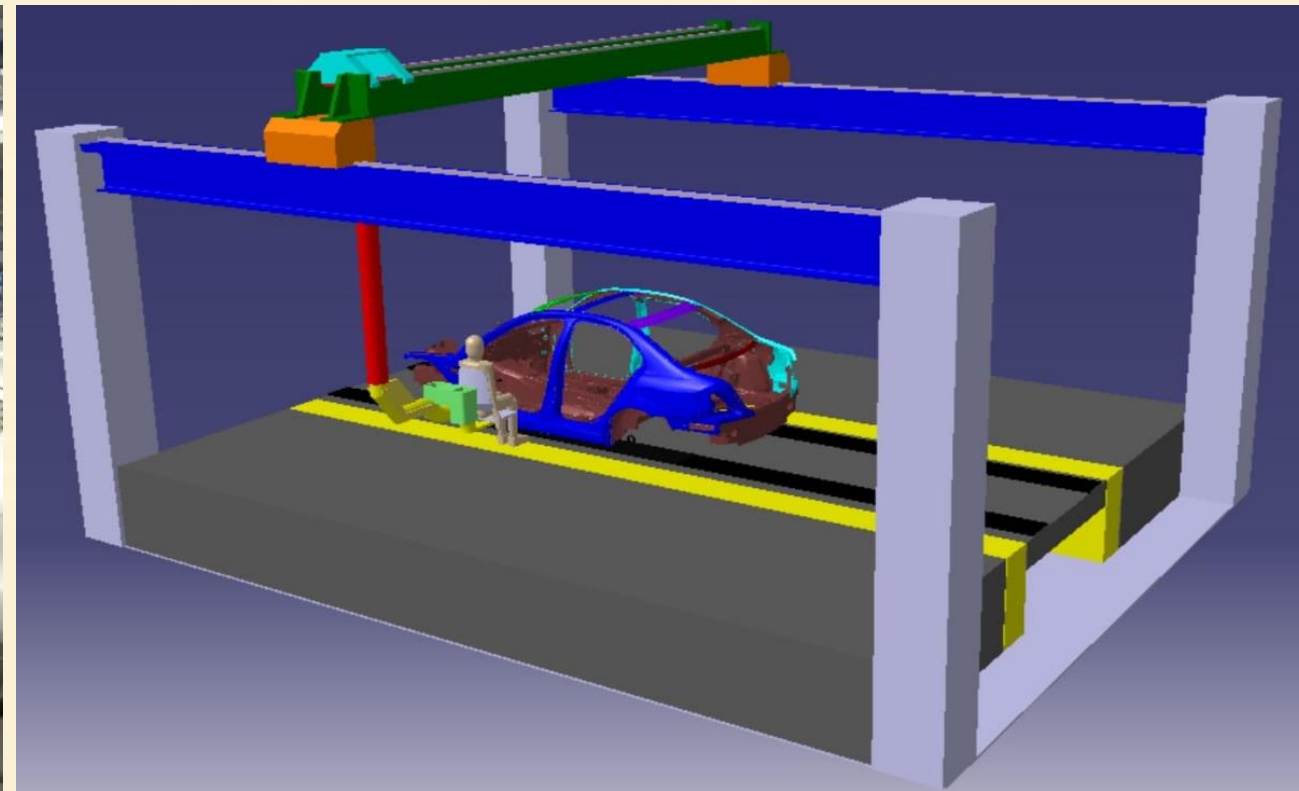
DIE
TI

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
NAPOLI FEDERICO II

Introduzione

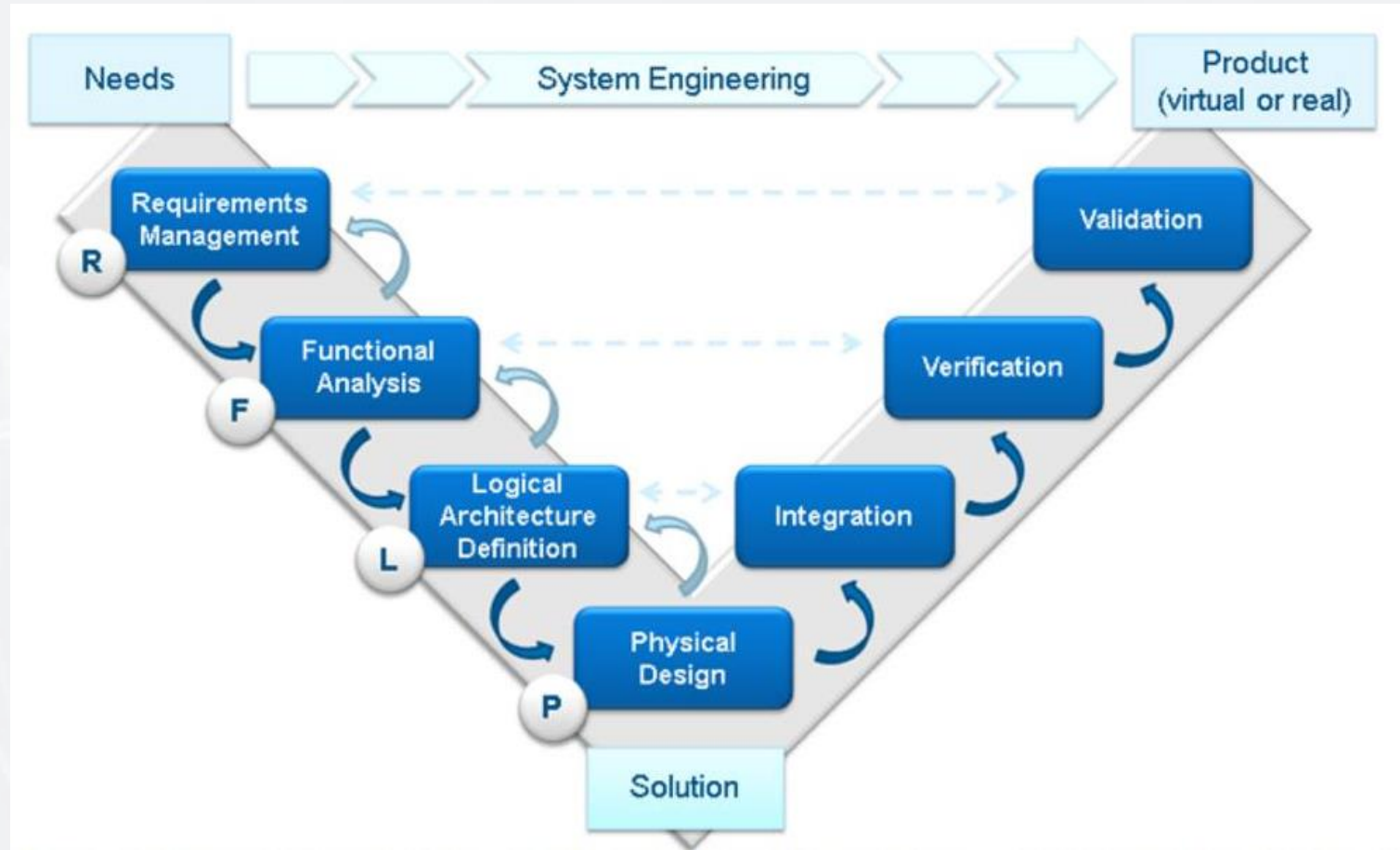
Il sistema “**Happy Seat**” è un sedile basculante agganciato a una struttura mobile verticale che permette di lavorare in una posizione confortevole durante l'assemblaggio delle autovetture in una linea di montaggio.

Il sistema, proposto dalla FORD, consente di lavorare in posizioni congrue ai principi ergonomici al fine di tutelare la salute degli operai.



Modellazione

La Prototipazione Virtuale di tale sistema è strutturata in diverse fasi secondo l'approccio del “modello a V”, una particolare declinazione della modellazione ‘Systems Engineering’.



Modellazione

Requirement management

1. deve consentire al lavoratore di operare da **seduto** sia all'esterno, sia all'interno della scocca di un autoveicolo in una linea di montaggio;
2. deve avere un numero di gradi di libertà tale da garantire il corretto posizionamento dell'operatore all'esterno ed all'interno della vettura;
3. deve consentire al lavoratore di cambiare la posizione operativa poggiando e **muovendo i piedi** sulle superfici sottostanti con **bassi livelli di sforzo**;
4. deve essere progettato in maniera tale da **non arrecare danno** al lavoratore durante il suo utilizzo;
5. deve avere una robustezza tale da poter trasportare nel volume di lavoro un operatore di **massa 100 kg**;
6. deve consentire al lavoratore di avere sempre **“a portata di mano” la cassetta** degli attrezzi.



Modellazione

Functional Analysis

Gradi di Libertà

Per soddisfare i requisiti 1 e 2 è necessario adottare una struttura che permette il movimento dell'operatore nelle direzioni x e y oltre che a due rotazioni intorno a due assi differenti paralleli all'asse z; Una rotazione deve essere garantita sia in loco, per facilitare i movimenti dell'operatore;

L'altra rotazione permette un corretto orientamento del elemento terminale della struttura. Inoltre per soddisfare il requisito 3 è necessario munire la struttura di organi che facilitino la trasmissione del moto

Pesi da sostenere

È necessario inserire dei sostegni alla struttura per soddisfare il requisito 5. Verrà poi eseguita un'analisi FEM per verificare la resistenza dell'intera struttura.

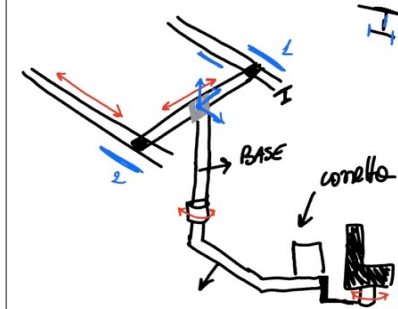
Forma

La forma del braccio deve essere tale da garantire il corretto inserimento dell'operaio nell'abitacolo senza interferenze tra le parti.

Tale braccio deve supportare anche la cassetta degli attrezzi. (requisiti 6 e 2)

MODULE	P. V. PROGETTO
DATE	04/07/2022
TIME	
EXAM DETAILS	
<input type="checkbox"/>	SKELETON
<input type="checkbox"/>	GUIDA AVANZAMENTO
<input type="checkbox"/>	GUIDA PROFONDITA
<input type="checkbox"/>	CARRIQUETE AVANZAMENTO
<input type="checkbox"/>	C " PROFONDITA'
<input type="checkbox"/>	(GIUNTO BASE)
<input type="checkbox"/>	(GIUNTO SEDILE)
<input type="checkbox"/>	BASE
<input type="checkbox"/>	BRACCIO
<input type="checkbox"/>	CASSETTA
<input type="checkbox"/>	SEDILE
<input type="checkbox"/>	PAVIMENTO
<input type="checkbox"/>	ABITACOLO +

EXAM NOTE



In una fase preliminare di progettazione, ci si è muniti di supporti grafici digitali come tablet o tablet, per poter abbozzare una prima idea della struttura.



DIE
TI.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
NAPOLI FEDERICO II

Modellazione

Logical Architecture Definition

Gradi di Libertà

La struttura ideata è composta da due coppie di guide disposte ortogonalmente, delle quali una scorre sull'altra e sulla seconda è posizionato un carro ponte. Tali guide realizzano dei giunti prismatici che andranno adeguatamente progettate per garantire la bassa presenza di attrito (utilizzando un sistema a rulli oppure slitte con meccanismo di lubrificazione). Solidale al carro ponte è presente un braccio verticale al quale è collegato, tramite un giunto rotazionale, un secondo arto che si sviluppa per lo più in orizzontale. Al livello della seduta è presente un ulteriore giunto rotazionale.

Pesi da sostenere

Si è supposto fosse necessario inserire una nervatura sul braccio inferiore e un'altra sul braccio superiore.

Inoltre sono stati inseriti degli opportuni collegamenti tra le parti dell'assieme (ad esempio tra le travi e le guide).

Forma

Il secondo braccio dovrà avere una forma non convenzionale per soddisfare i requisiti. (utilizzo geometria multisezione)

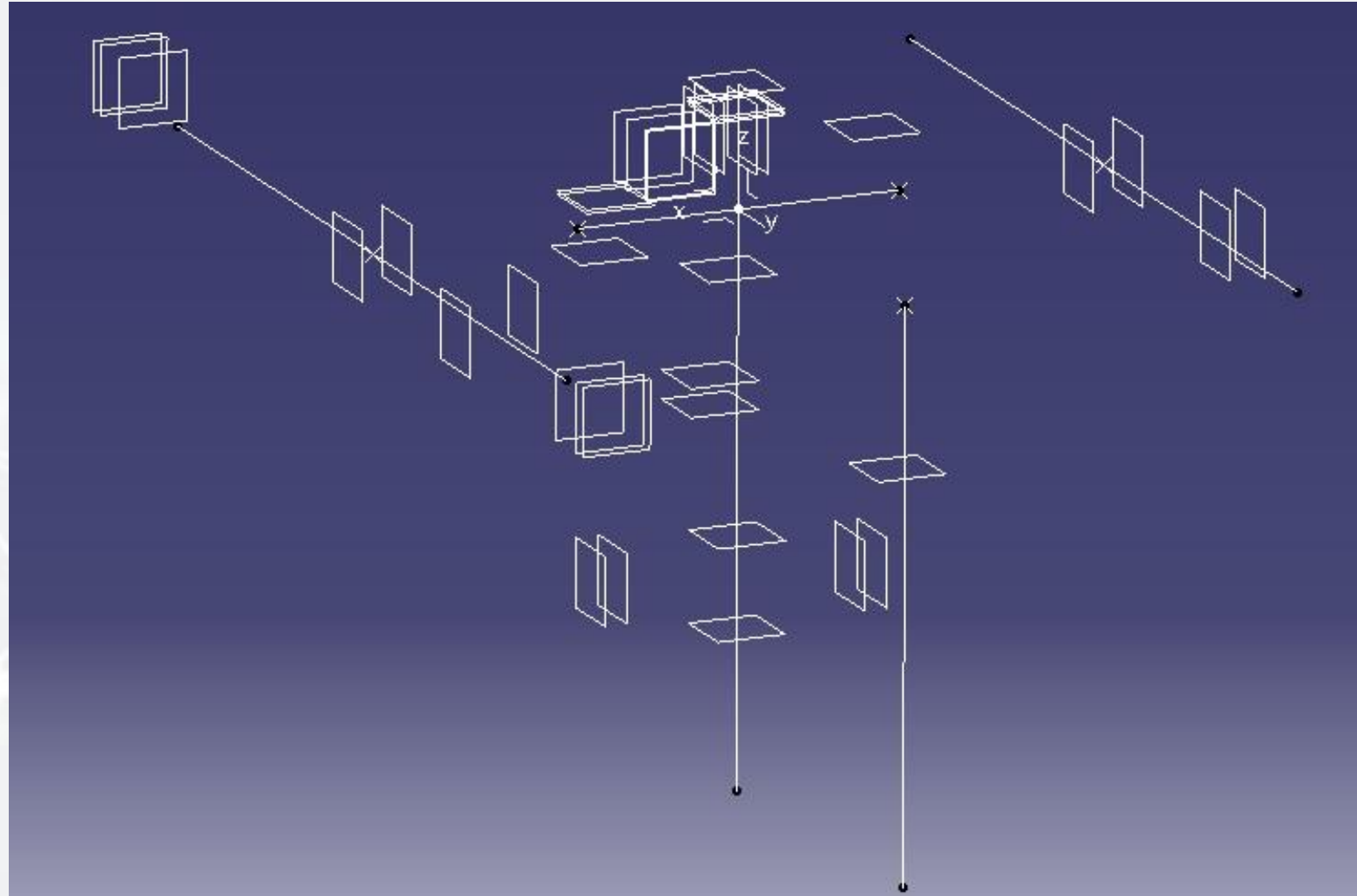


Modellazione

Physical Design

Per la progettazione è stato utilizzato un approccio Top-Down, al fine di semplificare il posizionamento assoluto e relativo delle parti e agevolarne la modellazione in parallelo (**Concurrent Engineering**).

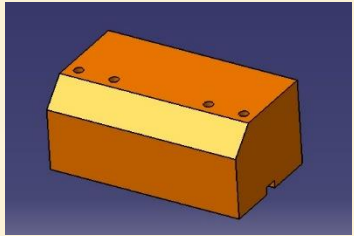
Di seguito è mostrato lo skeleton realizzato per la struttura:



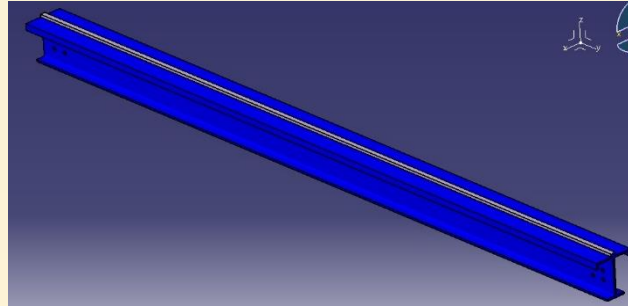
Modellazione

Physical Design

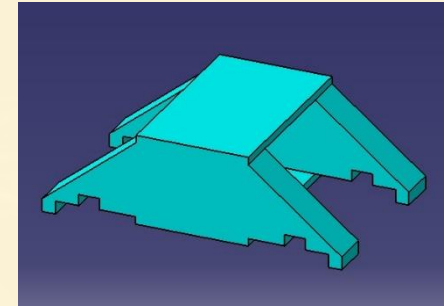
Di seguito sono state riportate le singole parti utilizzate per realizzare il supporto:



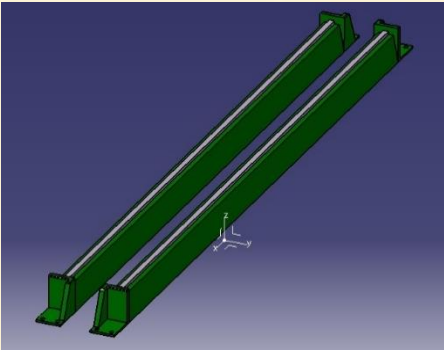
Giunto prismatico



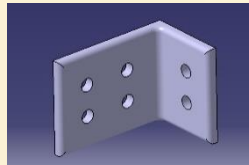
Guida avanzamento



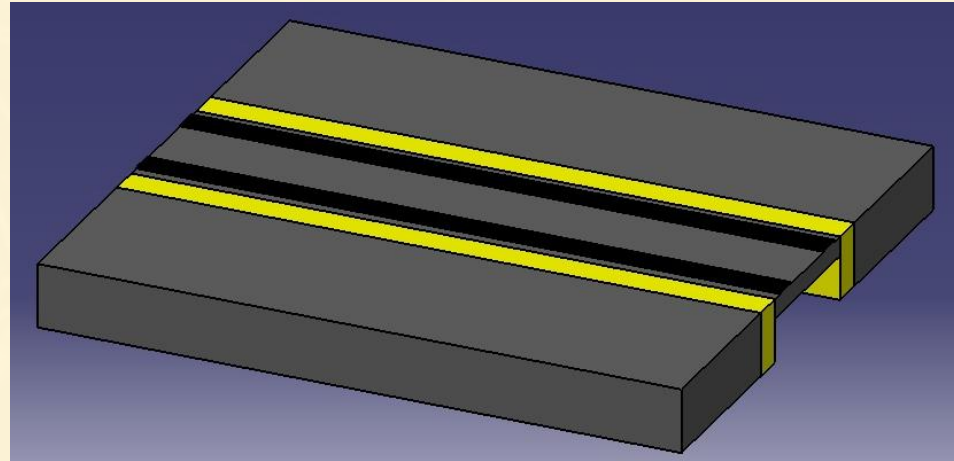
Carroponte



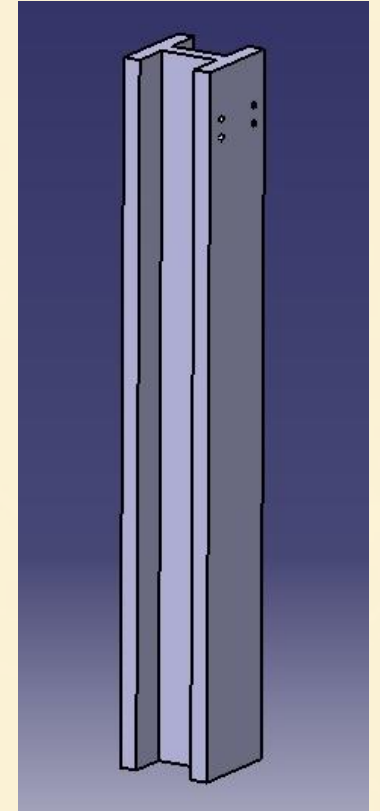
Guida profondità



Collegamento
travi



Pavimentazione

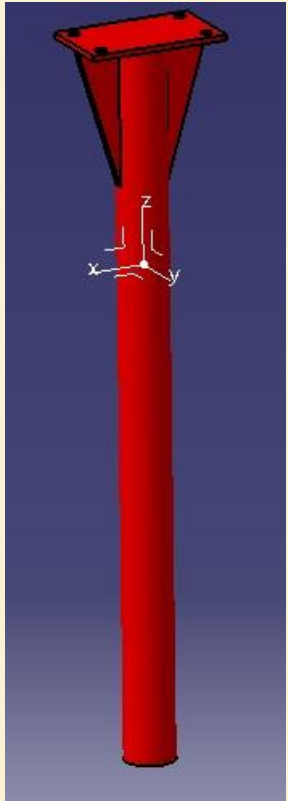


Colonne

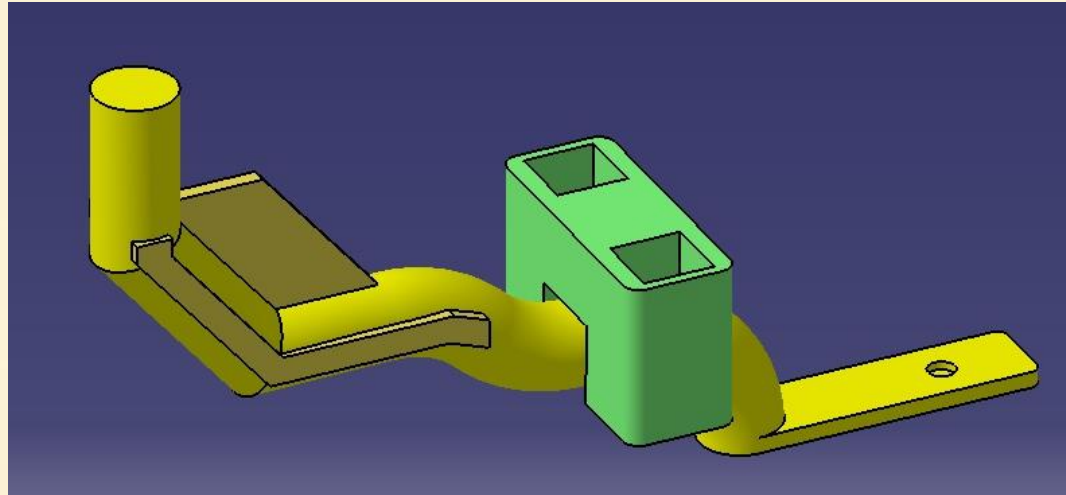
Modellazione

Physical Design

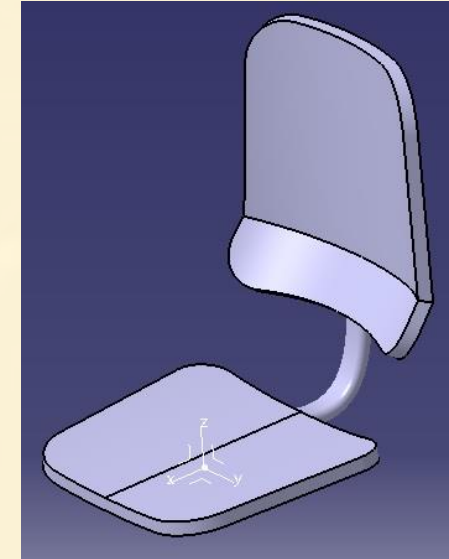
Di seguito sono state riportate le parti che compongono l'arto nella sua interezza:



Braccio superiore



Braccio inferiore con cassetta
(solido multisezione)

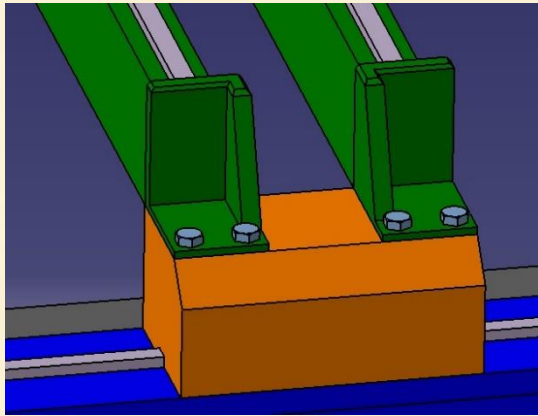


Seduta
(modellazione con superfici)

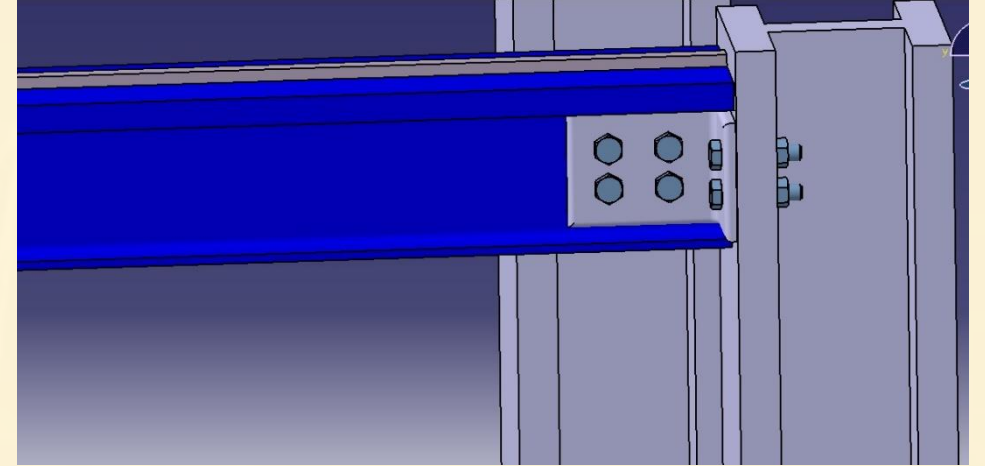
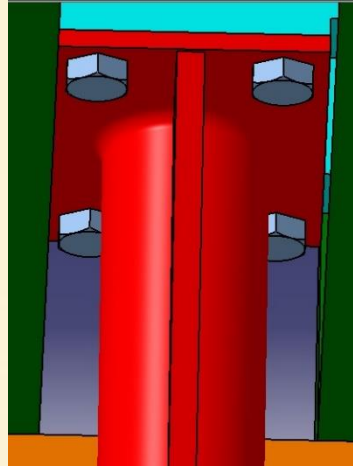
Modellazione dei dettagli

Physical Design

Per rispondere ai requisiti riguardanti la rigidità della struttura e la facilità di manovra, sono state ipotizzate le seguenti soluzioni:



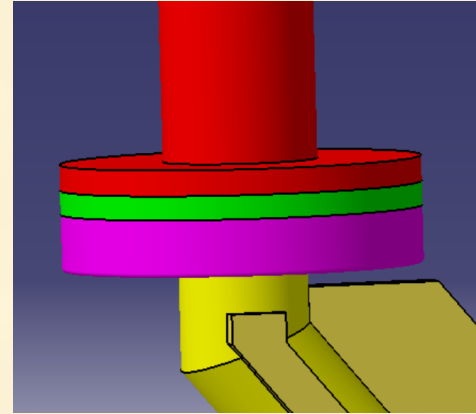
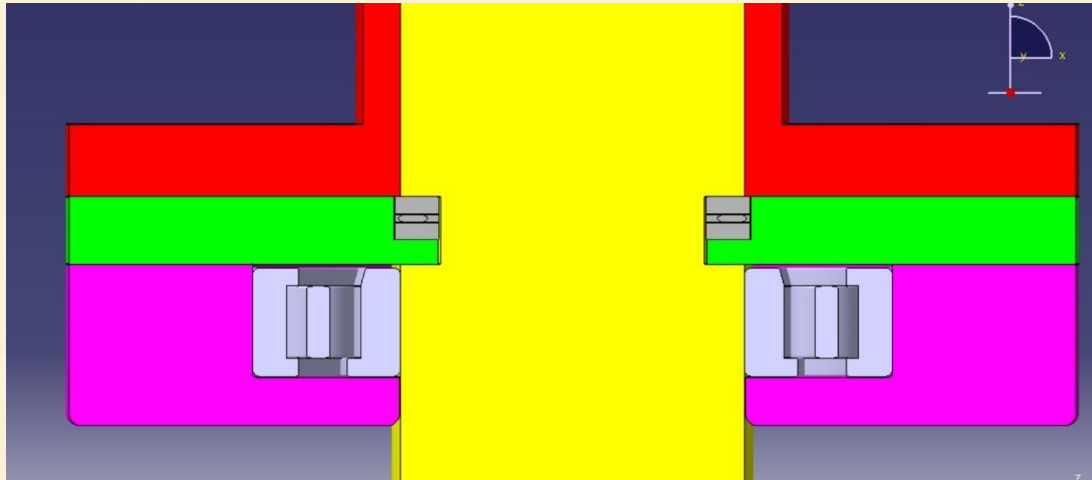
Collegamenti Vite Mordente



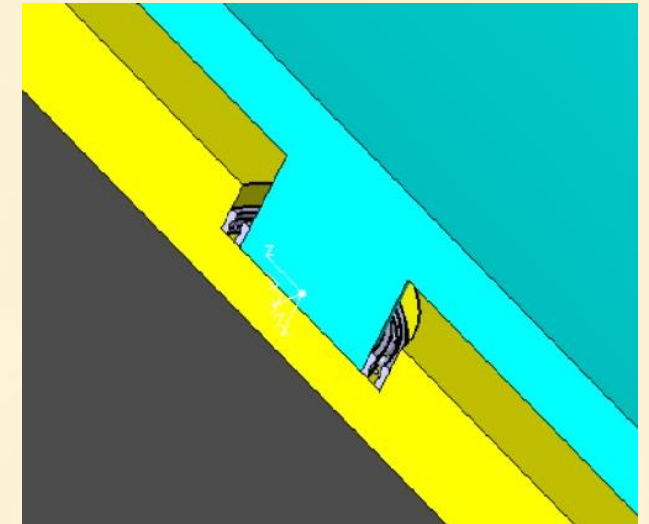
Collegamento Vite-Dado

Modellazione dei dettagli

Physical Design



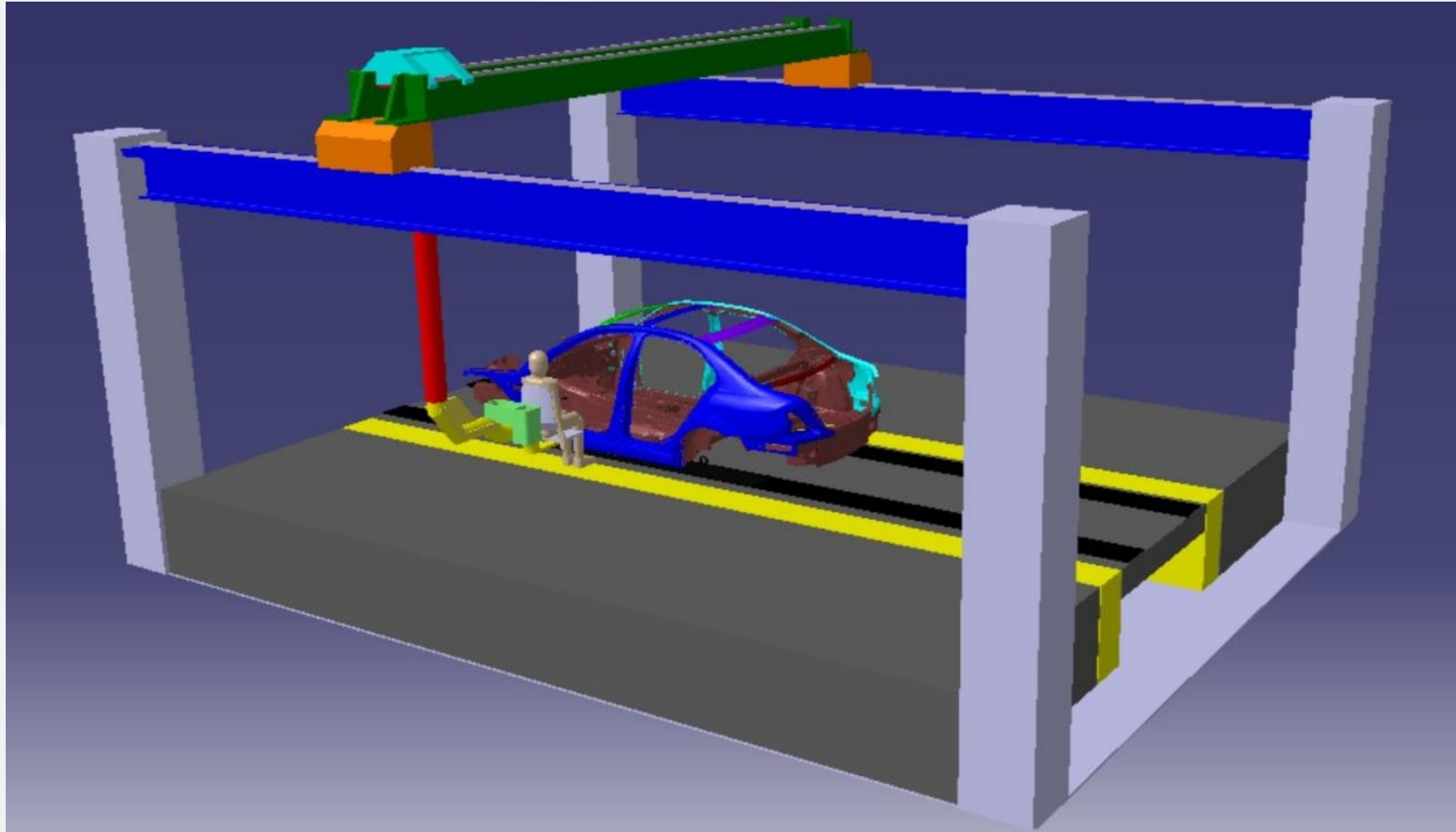
Per garantire un minore attrito tra parte superiore e inferiore dell'arto del cinematismo trattato è stato realizzato un accoppiamento di due cuscinetti, un **cuscinetto assiale a rulli** che consente di resistere a forti carichi assiali (coefficiente di carico dinamico 85.6 kN) ed un cuscinetto radiale per facilitare la rotazione e assorbire le sollecitazioni radiali. Per bloccare assialmente l'arto inferiore è stato realizzato uno spallamento, tutto il sistema è bloccato assialmente tramite un sistema di coperchi tenuti insieme tramite collegamenti con bullone (non rappresentati in figura).



Cuscinetto a sfere per il sistema sedia braccio inferiore

Modellazione

Physical Design



Modellazione

Validazione

Una volta completata la fase di physical design e integrazione, si è passati alla fase di validazione durante la quale sono stati effettuate diverse procedure al fine di verificare il rispetto di tutti i requisiti:

- Analisi delle interferenze
- Analisi FEM.
- Analisi di ergonomia



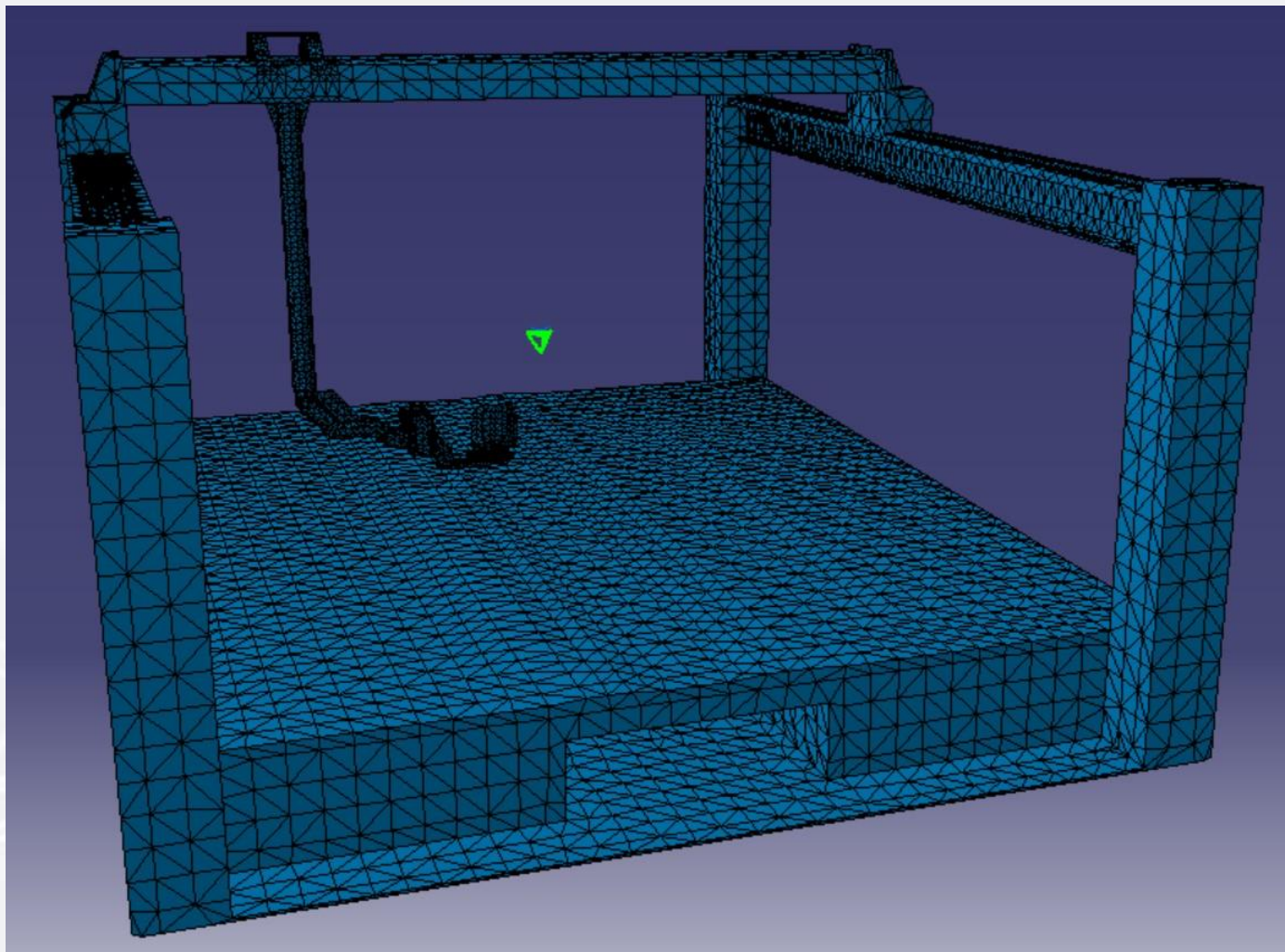
DIE
TI

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
NAPOLI FEDERICO II

Analisi Fem

Per effettuare un'analisi strutturale dell'assieme, necessaria per la valutazione alle sollecitazioni statiche a cui può essere sottoposto il prodotto, è stata eseguita la procedura dell'analisi degli **elementi finiti** (FEM), che permette di discretizzare un elemento solido (continuo) in tanti elementi di dimensione fissa (mesh) che condividono carichi e vincoli tramite i nodi. Tale analisi, permette di calcolare lo sforzo equivalente (**Sforzi alla Von Mises**) che si instaura nei singoli elementi della struttura, tenendo conto di sforzi fuori piano (σ) e nel piano (τ). Il materiale utilizzato per la realizzazione del sistema è **l'acciaio**.

Per l'analisi FEM si è scelto di creare una mesh tetraedrica di base con dimensione 200 mm e sagitta di 20mm.



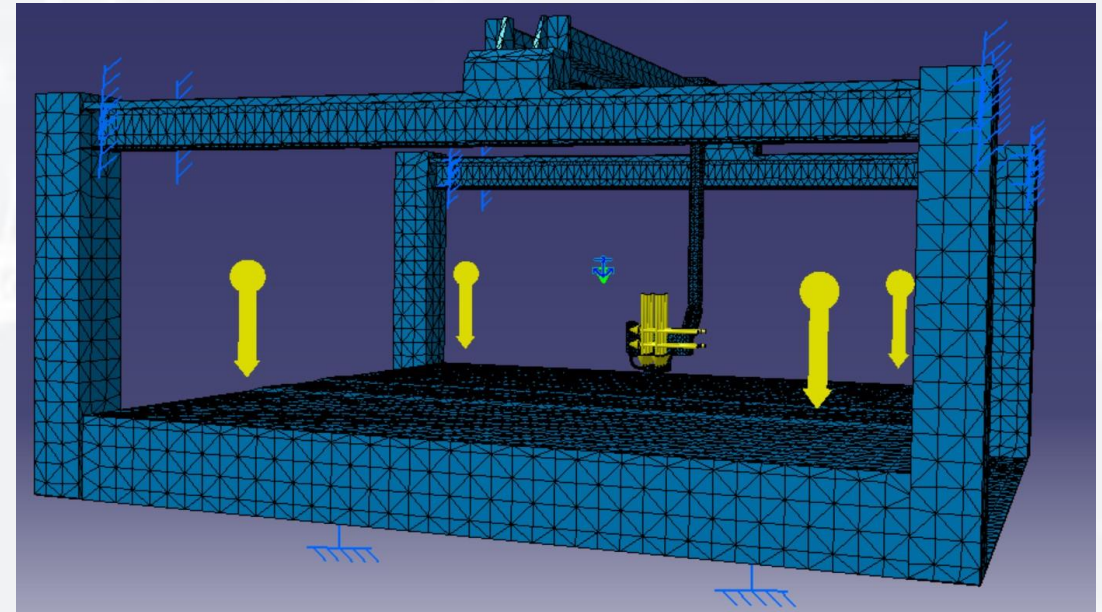
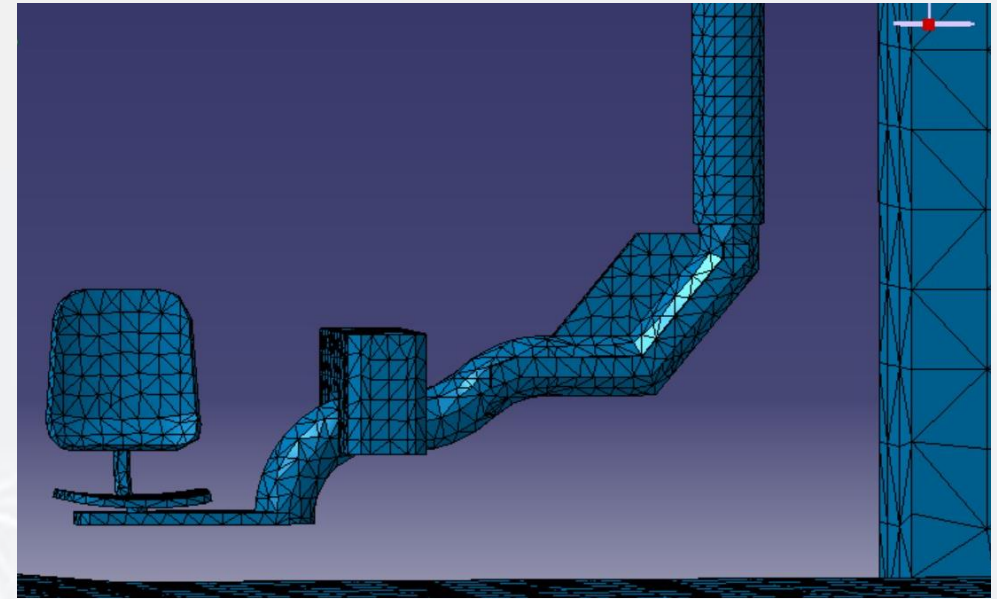
Analisi Fem

La mesh è stata migliorata nelle parti che presentano dettagli di dimensioni più piccole, quali la seduta. Il braccio inferiore, il braccio superiore e il carroponte. I parametri di tale mesh sono:

- Dimensione 50mm;
- Saggitta 15mm;

Per effettuare l'analisi degli sforzi di Von Mises si è ipotizzato:

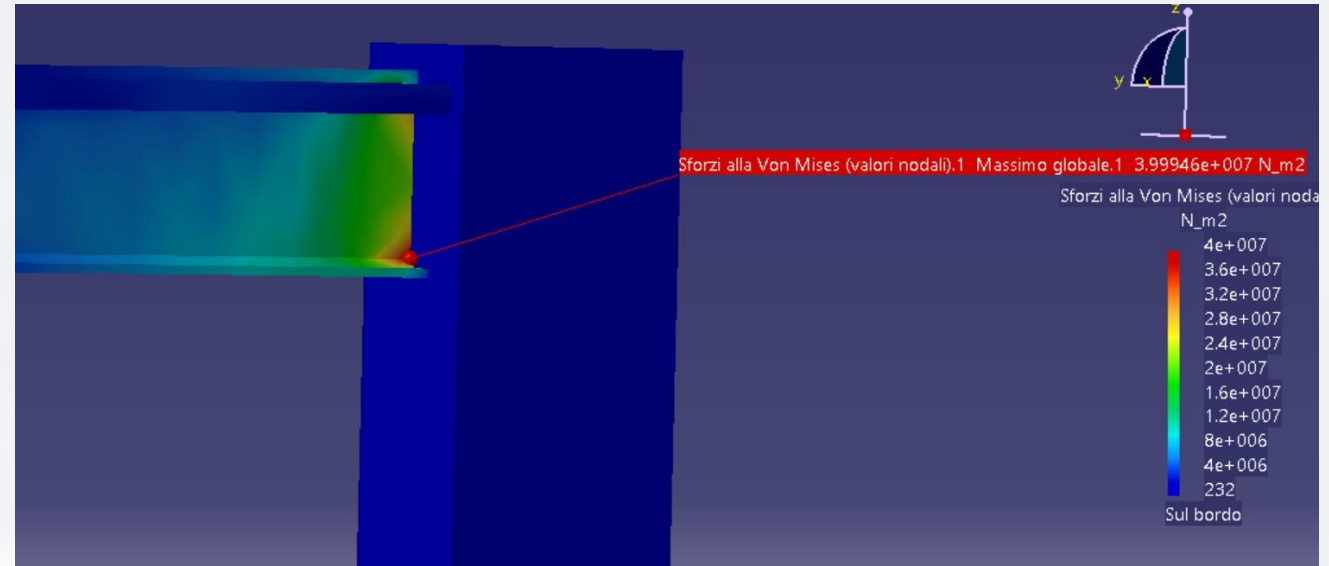
- Incastro alla base della struttura
- Incastro sulle estremità delle guide blu
- Carico di 1060 N sulla seduta per sostenere un operatore di circa 100 kg e una pedaliera di 6 kg.
- Forza distribuita sullo schienale della seduta (per modellare il caso in cui l'operatore spinge sullo schienale per movimentare la struttura).
- Accelerazione gravitazionale su tutta la struttura



Analisi Fem

Dai risultati dell'analisi è stato rilevato uno sforzo massimo pari a circa 40 Mpa ad una delle estremità delle guide blu.

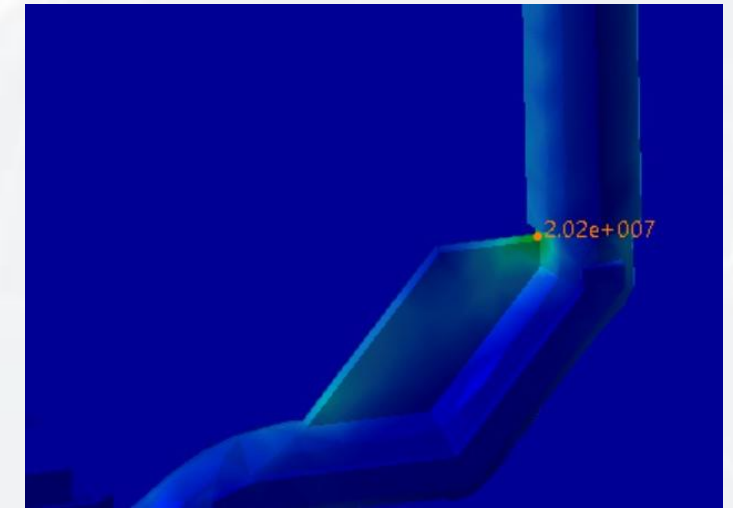
Mentre sulla nervatura del braccio multisezione è stato calcolato uno sforzo massimo di circa 2 Mp .



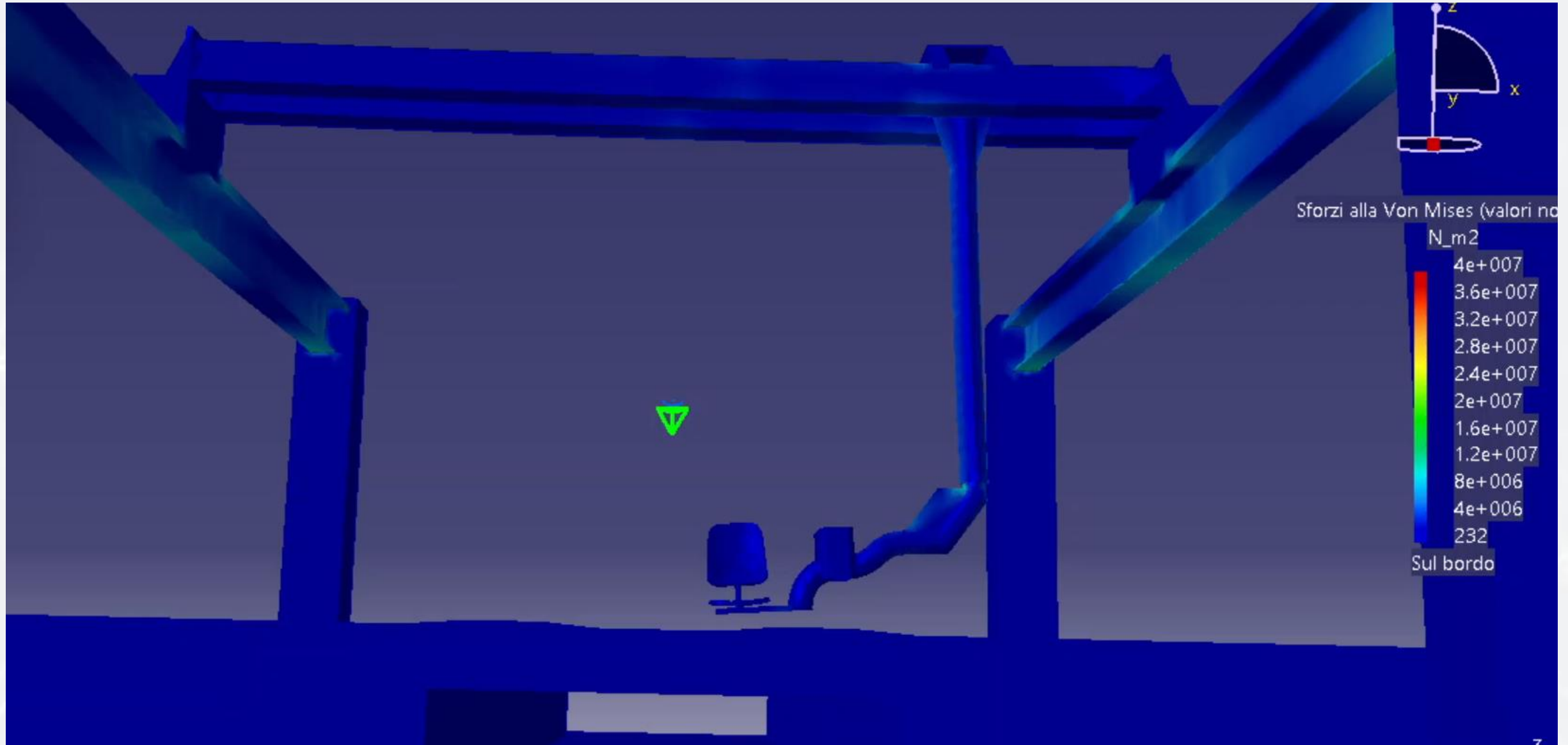
La tensione di snervamento per l'acciaio è 250 Mpa , mentre la tensione ammissibile è pari a 167 MPa ($\frac{250}{1,5}$).

Rientriamo pienamente nel range delle sollecitazioni sopportabili dal materiale (deformazioni elastiche) dato che:

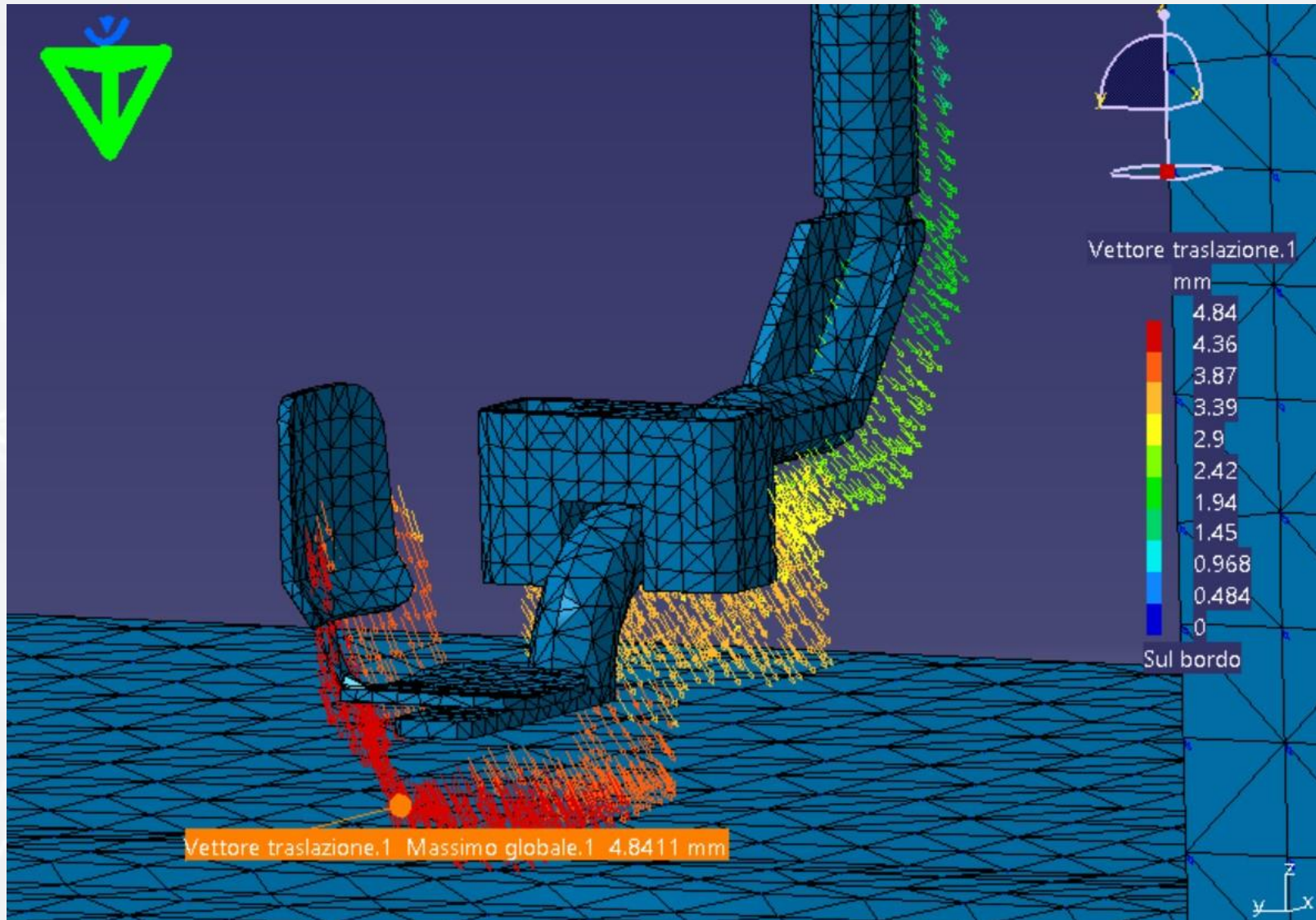
$$167 \text{ Mpa} > 40 \text{ Mpa}$$



Analisi Fem



Analisi Fem



Dallo studio delle deformazioni risulta evidente che gli spostamenti maggiori si hanno proprio sulla seduta, questi risultano comunque estremamente contenuti.

(è stato usato un coefficiente di amplificazione per facilitare la visualizzazione pari a 50)

Simulazione Cinematica

Per realizzare la cinematica del sistema è stato considerato come elemento fisso i pilastri della struttura, i giunti che sono stati realizzati per la simulazione sono i seguenti:

- Giunto prismatico tra le due guide
- Giunto prismatico tra guida e carroponete
- Giunto rotazionale tra braccio superiore e braccio inferiore
- Giunto rotazionale tra braccio inferiore e seduta

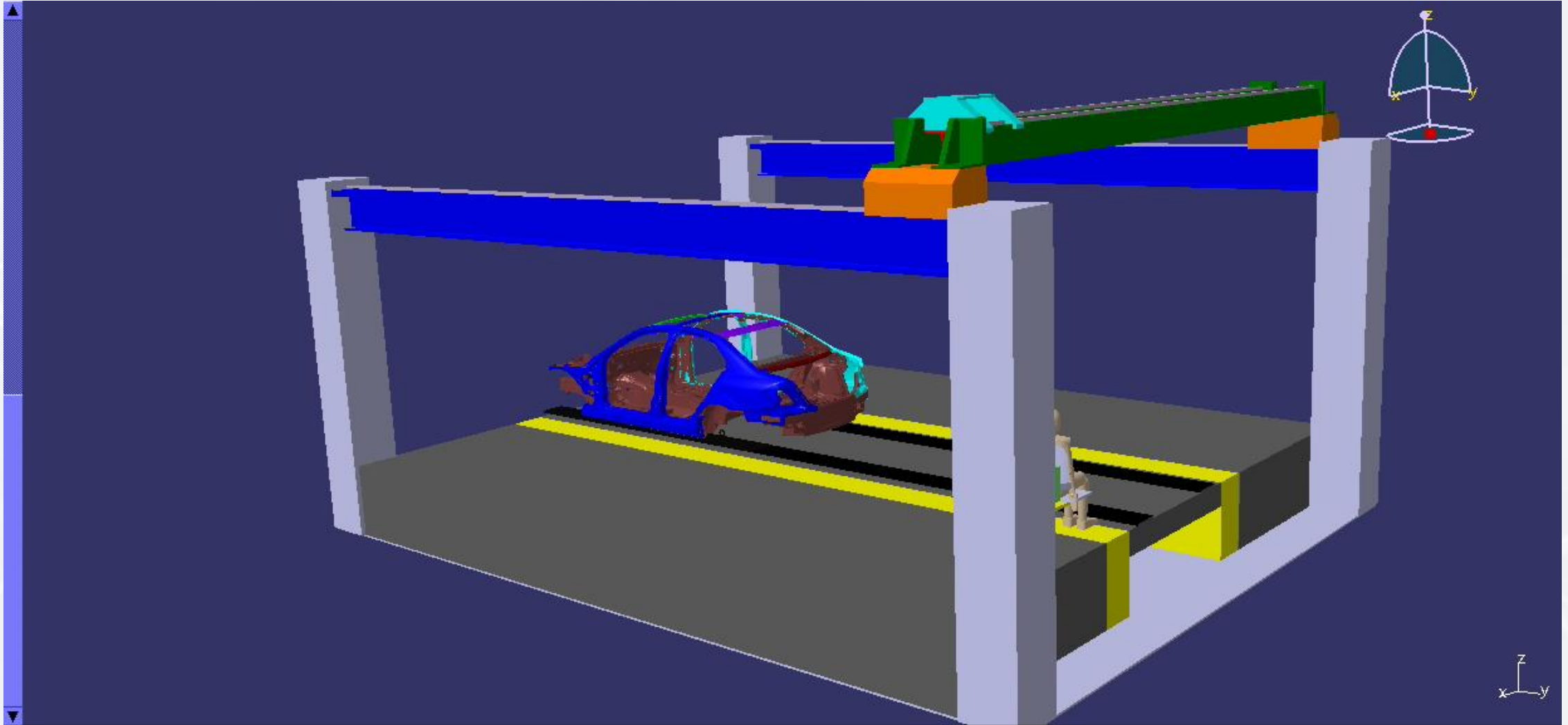


DIE
TI

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
NAPOLI FEDERICO II

Simulazione

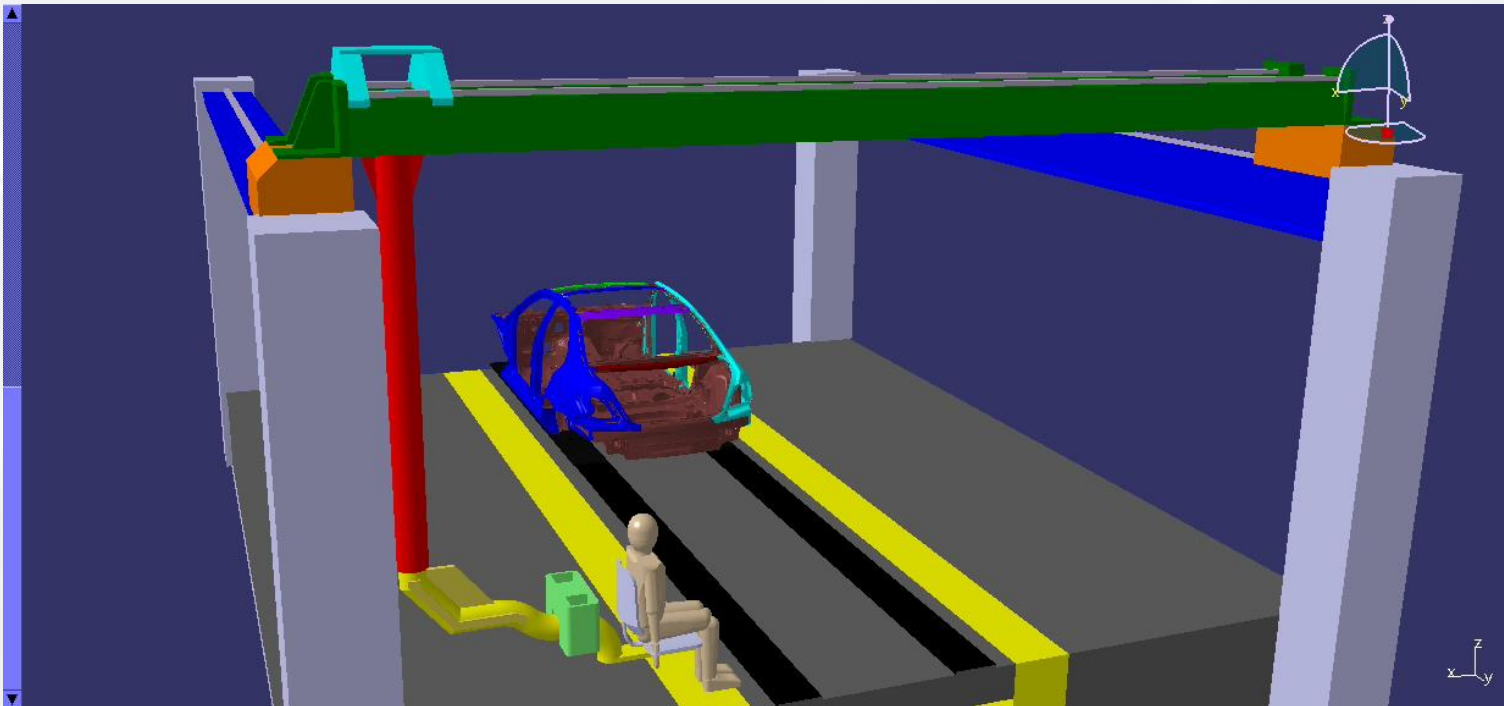
Di seguito è mostrata l'animazione del funzionamento del sistema "Happy Seat".



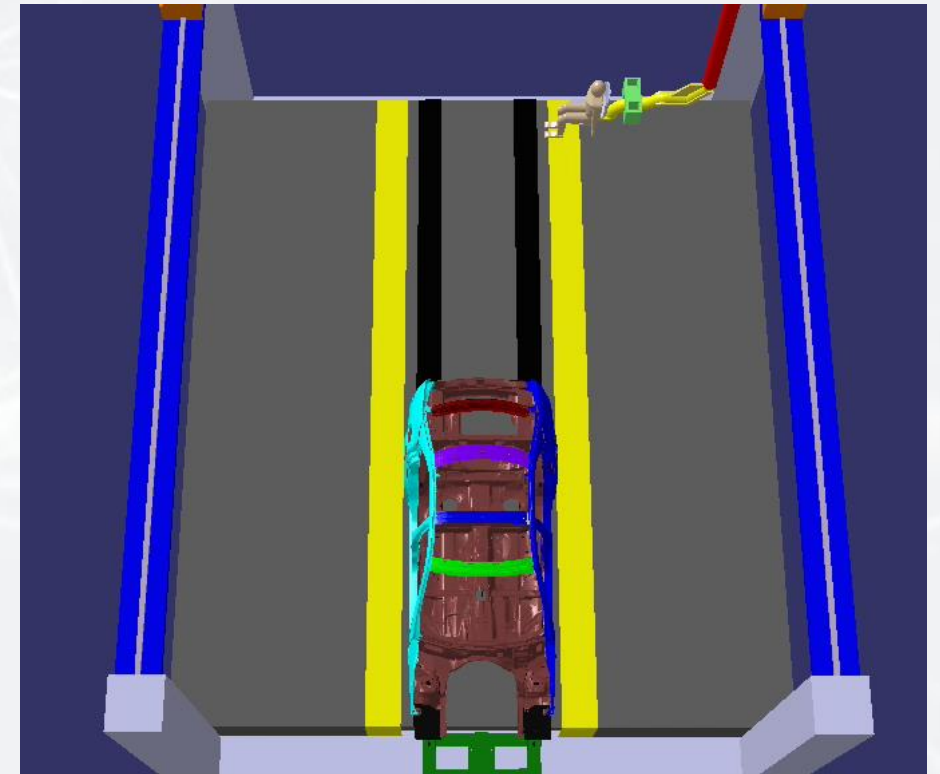
Simulazione

Di seguito è mostrata l'animazione del funzionamento del sistema "Happy Seat".

Punto di vista non animato



Vista di scorcio dall'alto



Si è impostata una legge del moto per il veicolo di tipo rettilineo uniforme, con velocità pari a 6.8 mm/s in modo da percorrere una distanza di 4000 mm in 10 min

Ergonomia e analisi Posturale

L'analisi posturale è stata realizzata con il software **Jack**.

Il modello umano utilizzato è quello di default, corrispondente ad un maschio caucasico del 50esimo percentile, alto 175cm e dal peso di 78kg.

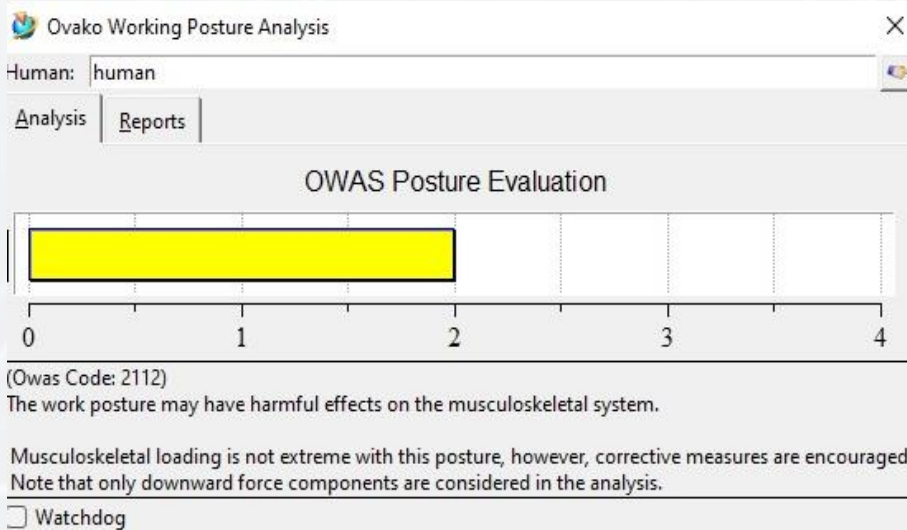
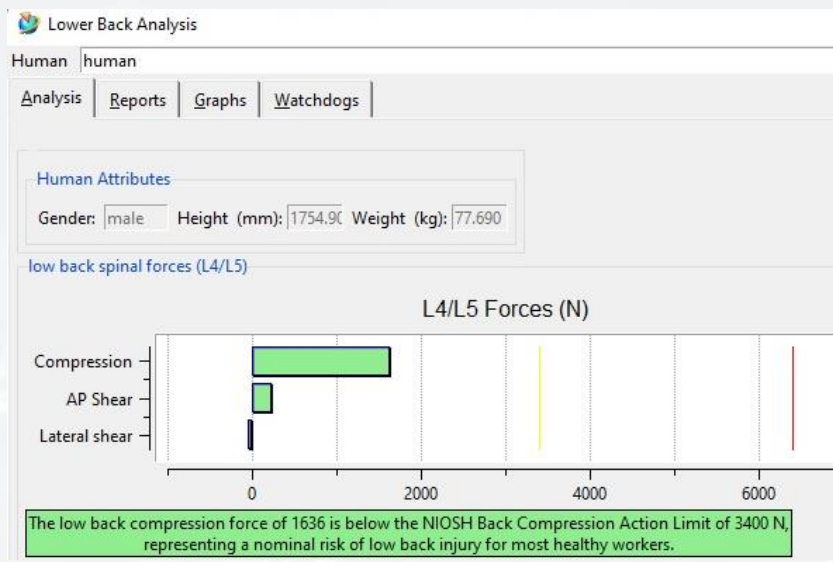
Per effettuare l'analisi si è ipotizzata la presenza di una forza di 60N (schematizzante una pedaliera di 6kg) da applicare ai palmi delle mani dell'operatore.

La postura è quella assunta durante l'atto di montaggio della pedaliera.



Ergonomia e analisi Posturale

Di seguito sono riportati gli esiti dell'analisi posturale durante la fase di montaggio della pedaliera (di peso pari a 6kg).



Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry Reports Analysis Summary

Job Title: Location: Comments: Job Number: Analyst: Date:

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 2
Lower arm: 2
Wrist: 1
Wrist Twist: 2
Total: 3

Body Group B Posture Rating

Neck: 2
Trunk: 2
Total: 2

Muscle Use: Normal, no extreme use
Force/Load: < 2 kg intermittent load
Arms: Not supported

Legs and Feet Rating

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 3

Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Update Analysis

La qualità della postura è indicata dall'indice PEI la cui formula risulta essere:

$$PEI = \frac{LBA}{3400} + \frac{OWAS}{3} + \frac{RULA}{5} < 3$$

quindi:

$$PEI = \frac{1636}{3400} + \frac{2}{3} + \frac{3}{5} = 1,74 < 3$$



Verifica Delle Specifiche

1. Effettuando delle misure dell'ambiente di lavoro e delle dimensioni degli autoveicoli normalmente realizzate nella fabbrica, la struttura del carro ponte e dei bracci sono state realizzate in modo tale da permettere all'operatore di raggiungere i diversi punti della postazione operativa, oltre a valutare delle dimensioni del braccio tali da consentire un'efficace movimentazione all'interno del veicolo. Da ciò l'idea di utilizzare un solido multisezione, che ricorda vagamente un tentacolo, capace di insinuarsi in ogni punto dell'autoveicolo, e in più migliorare la resa stilistica della struttura.
2. Il requisito è soddisfatto grazie all'impiego di una struttura cartesiana in grado di far muovere liberamente il lavoratore sul piano XY ed è possibile regolare l'orientamento utilizzando i due giunti rotazionali, uno tra braccio superiore e inferiore ed uno al di sotto della sedia.
3. Utilizzando giunti prismatici e rotazionali a basso attrito (come cuscinetti a rulli per il braccio e cuscinetti a sfere per la sedia) e posizionando la sedia ad un'altezza adeguata rispetto alla pavimentazione, l'operatore è in grado con molta facilità di muoversi intorno all'autoveicolo.



Verifica Delle Specifiche

4. Dai risultati ottenuti dall'analisi ergonomica è stato possibile evidenziare, posizionando il manichino in modo tale da simulare il montaggio di una pedaliera, come la struttura è stata realizzata tenendo conto degli sforzi a cui può essere sottoposto l'operatore durante le operazioni complesse, garantendo un indice PEI ben al di sotto del valore critico, in pieno rispetto delle normative sulla sicurezza del lavoro.
5. Osservando i risultati dell'analisi FEM, la scelta di utilizzare l'acciaio come materiale di costruzione, la modellazione di nervature per rinforzare la struttura del braccio multisezione e l'impiego di opportuni collegamenti vite mordente e vite dado, è stato possibile garantire un'adeguata robustezza della struttura tale da contenere le deformazioni dell'acciaio nella sua regione elastica, evitando un danneggiamento permanente dei componenti.
6. Per permettere all'operatore da seduto di poter usufruire di tutti gli strumenti necessari nelle sue operazioni, è stata predisposta una cassetta degli attrezzi montata direttamente sulla parte finale del braccio, modellata con dimensioni tali da non creare ingombri durante le lavorazioni interne all'autoveicolo e posizionata ad una distanza tale da non risultare faticoso il raggiungimento degli attrezzi.



Grazie per l'attenzione.



**DIE
TI.**

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
NAPOLI FEDERICO II**