



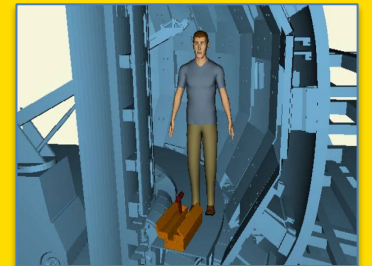
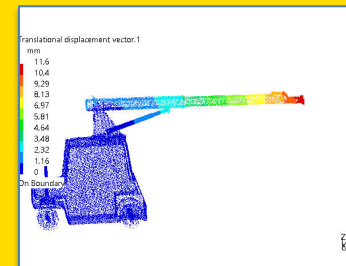
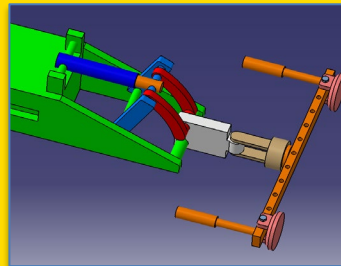
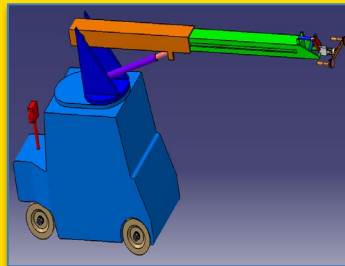
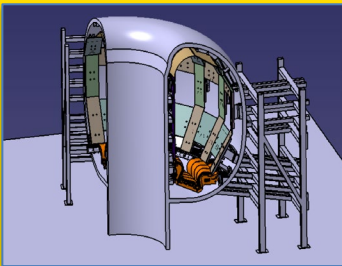
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA E TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE
SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

PROTOTIPAZIONE VIRTUALE

PROGETTO RH FACILITY INSTALLATION TOOL

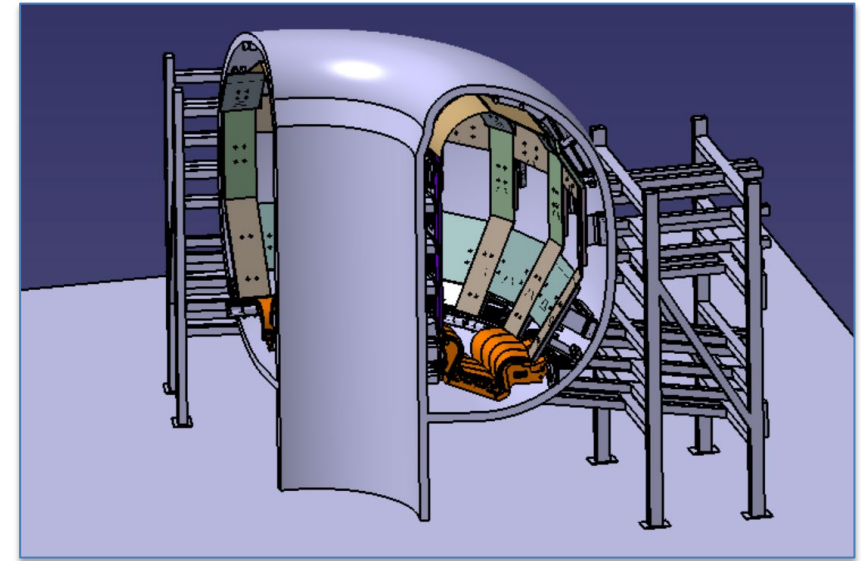
Giulia Gelsomina Romano, Vito Daniele Perfetta

Prof. Giuseppe Di Gironimo



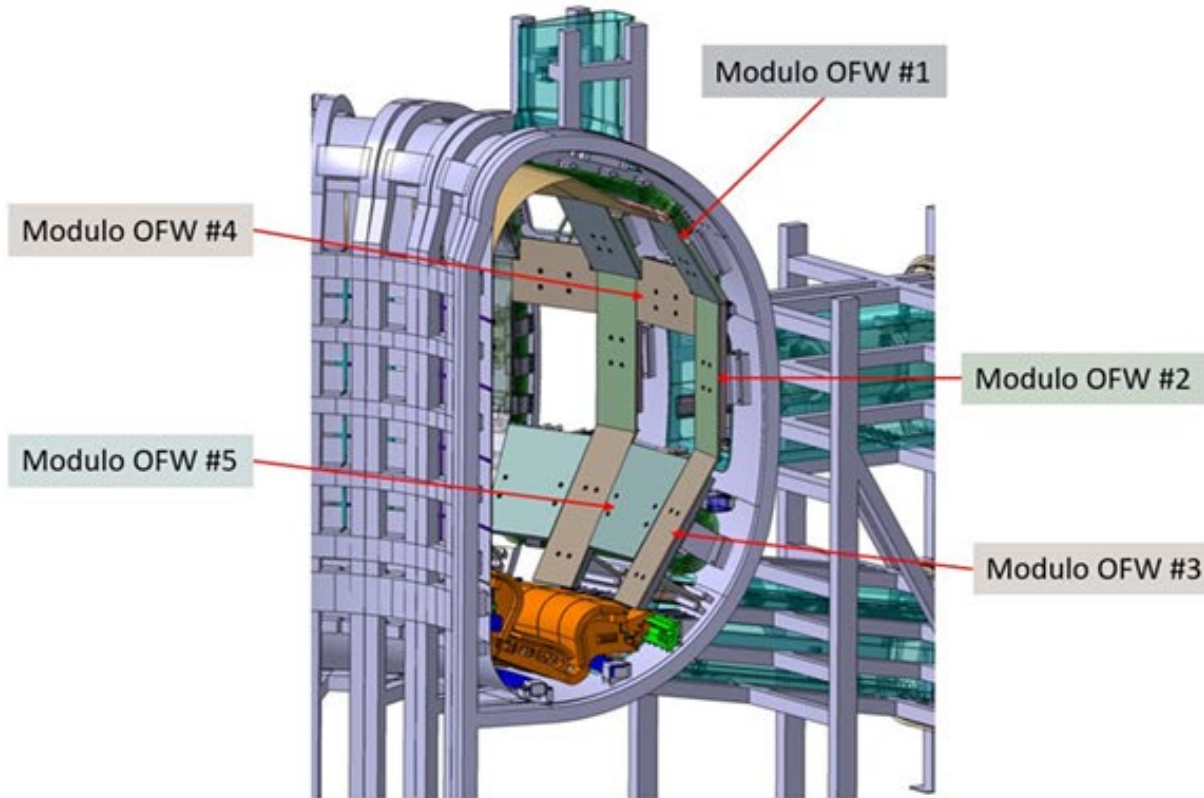
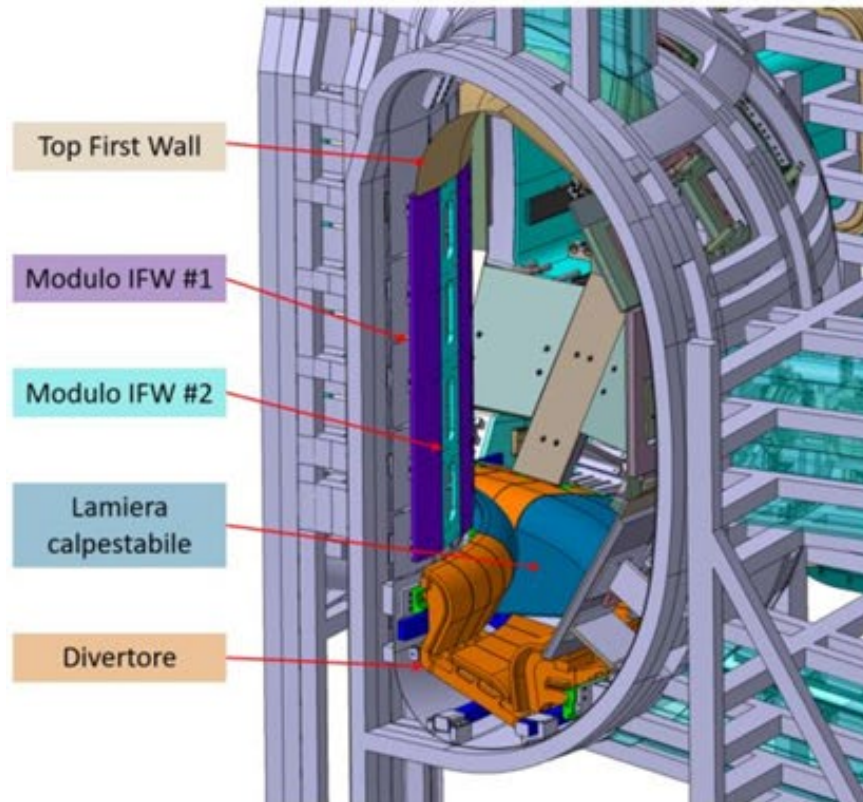
SOMMARIO

- Introduzione
- Requisiti e Problematiche chiave
- Soluzione proposta
- Analisi FEM
- Simulazione Cinematica nelle configurazioni critiche
- Analisi Ergonomica in Jack
- Osservazioni e Conclusioni



Introduzione

- Il progetto consiste nella Prototipazione Virtuale del sistema di attrezzature ausiliarie che fungano da supporto agli operatori della RH Facility nella movimentazione dei moduli Inboard First Wall ed Outboard First Wall.

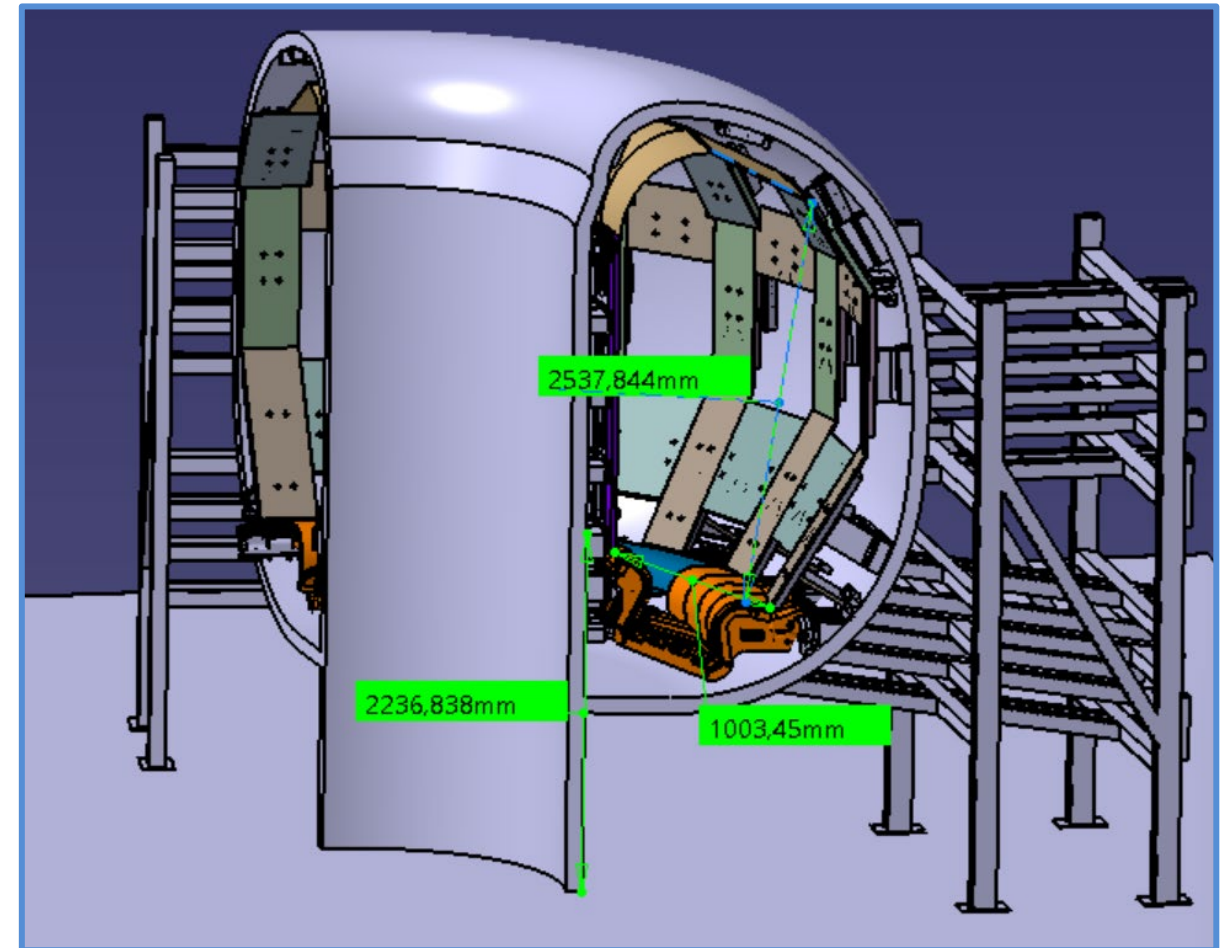


Requisiti

- 1) Consentire al lavoratore di operare all'interno dell'ambiente dei mockup
- 2) Garantire il corretto afferraggio dei moduli IFW e OFW
- 3) Garantire il corretto posizionamento dei moduli IFW e OFW in tutte le possibili posizioni di test
- 4) Trasportare i moduli IFW e OFW (assumendo una massa massima di 250 kg)
- 5) Consentire l'ispezione visiva da parte degli operatori dei mockup di First Wall e divertore
- 6) Non arrecare danno al lavoratore durante il suo utilizzo
- 7) Non arrecare danno ai moduli First Wall durante il suo utilizzo
- 8) Non arrecare danno agli altri componenti del sistema di mockup durante il suo utilizzo
- 9) Cooperare ed essere attuato dagli operatori in modo ergonomico
- 10) Consentire al lavoratore di avere sempre "a portata di mano" la cassetta degli attrezzi.

Problematiche chiave

- Lavorare in spazi ridotti
- Manipolare ingenti carichi
(anche ad elevate altezze)
- Assicurare coordinamento con
operatore umano

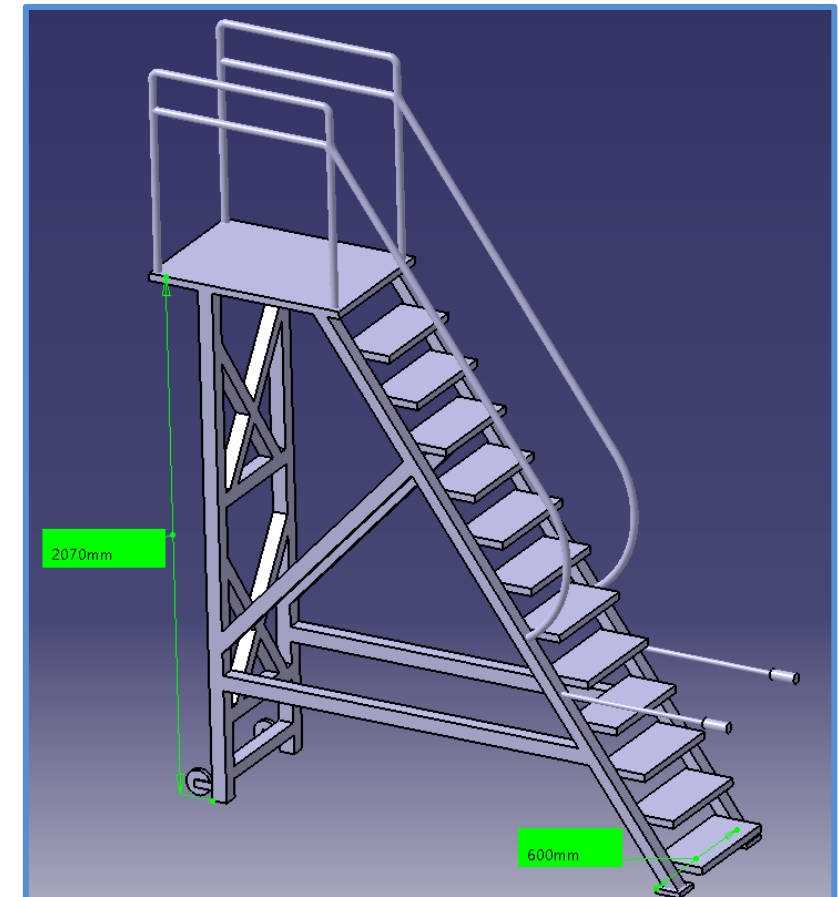
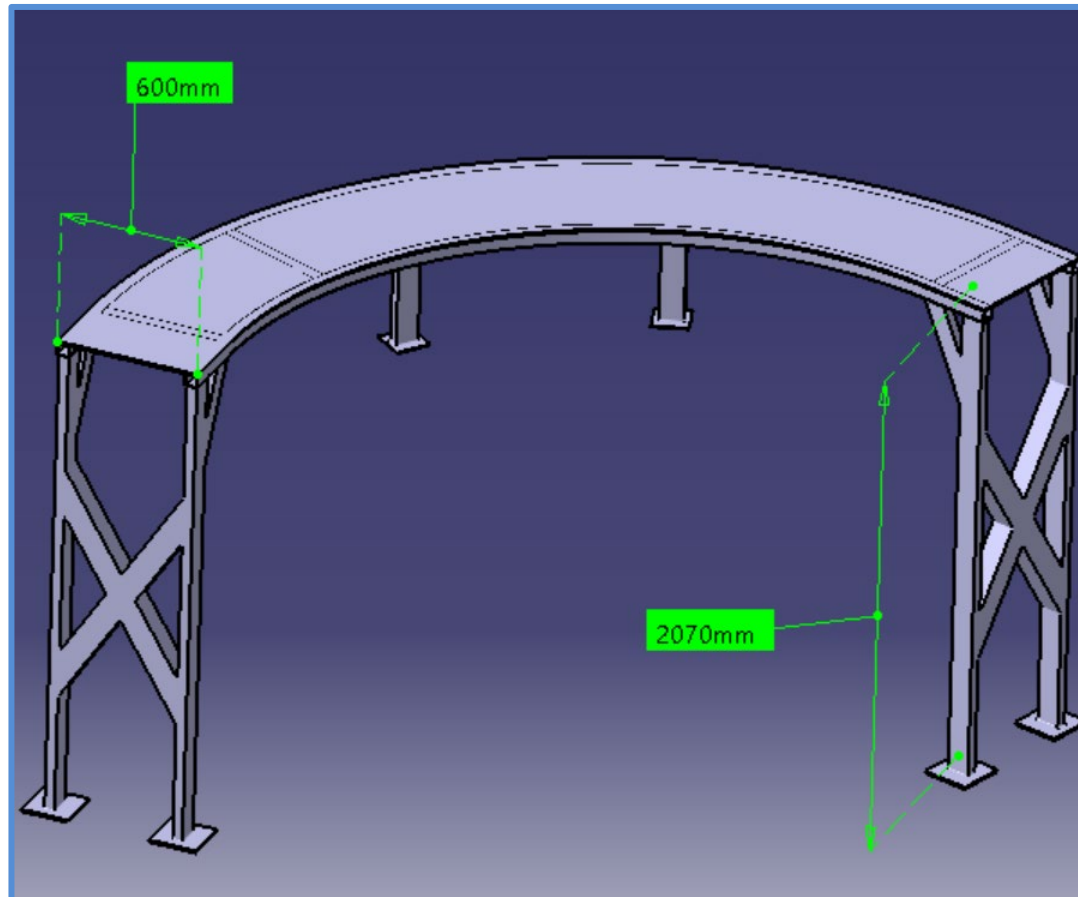


La nostra idea:

- Per consentire l'accesso all'ambiente dei mockup, l'operatore può avvalersi di una **passerella** a cui è collegata una **scala a castello**.

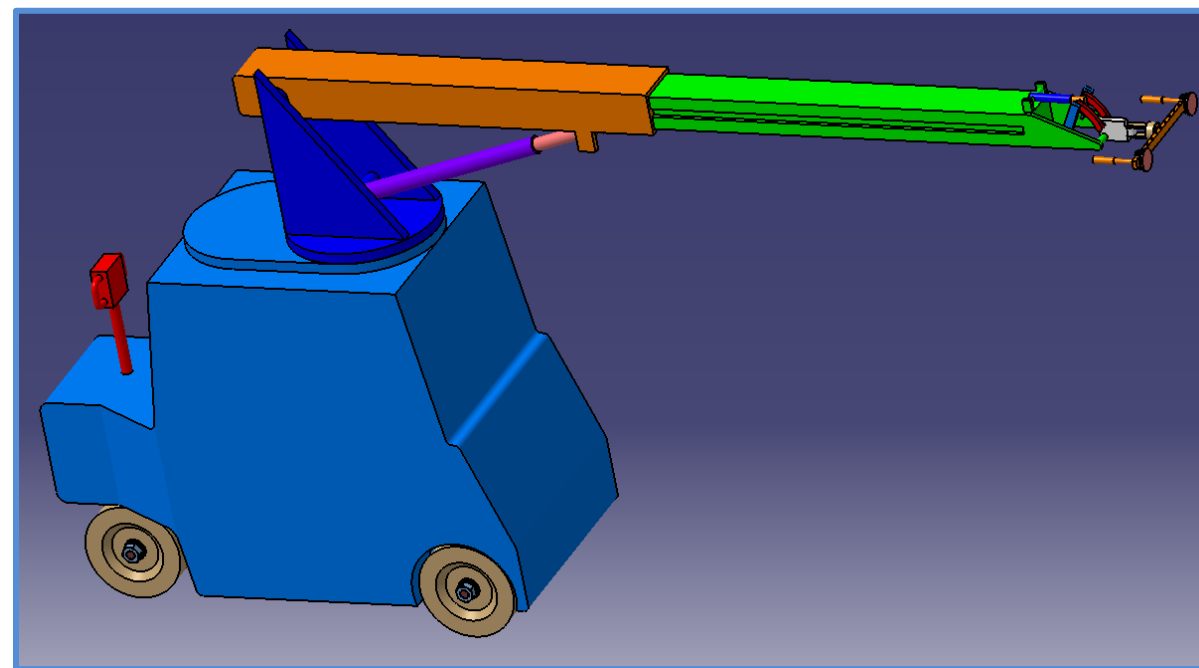


Supporto Piede
Passerella

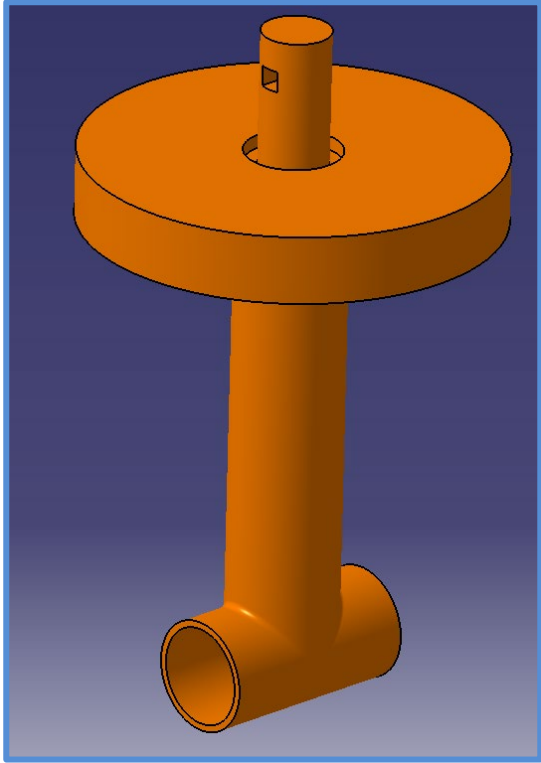


La nostra idea:

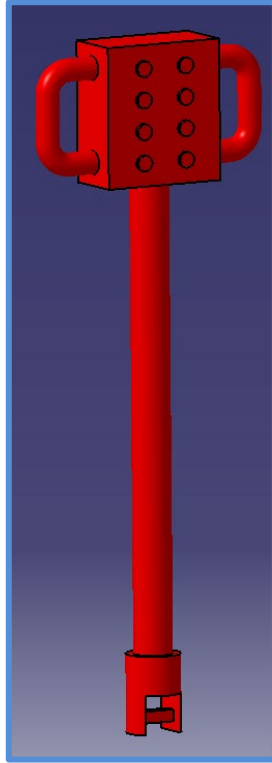
- Per manovrare in sicurezza i moduli IFW ed OFW, è stato realizzato un sistema costituito da un **manipolatore allungabile** con **supporto mobile** simile ad un **manipolatore per vetri**.



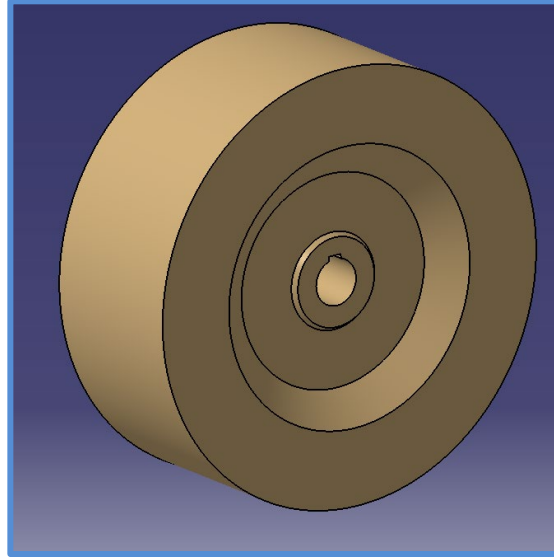
Componenti Supporto Mobile:



Giunzione
Albero posteriore -
Corpo



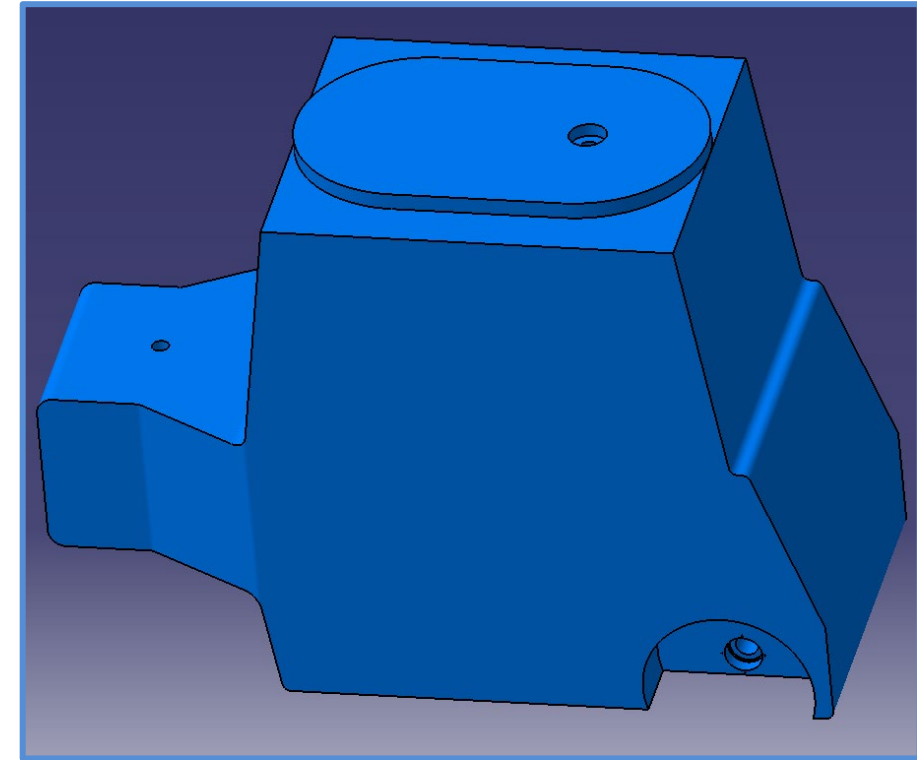
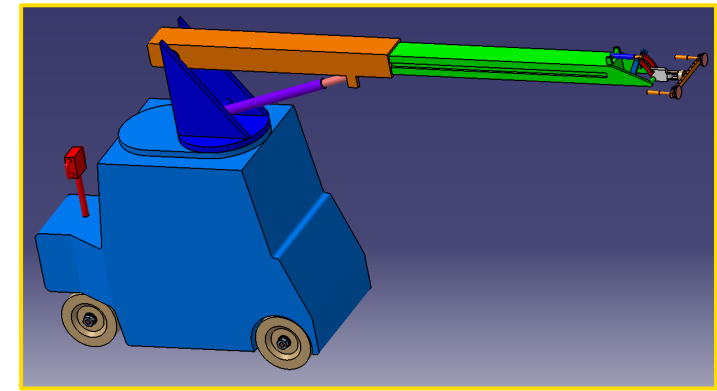
Manubrio



Ruota

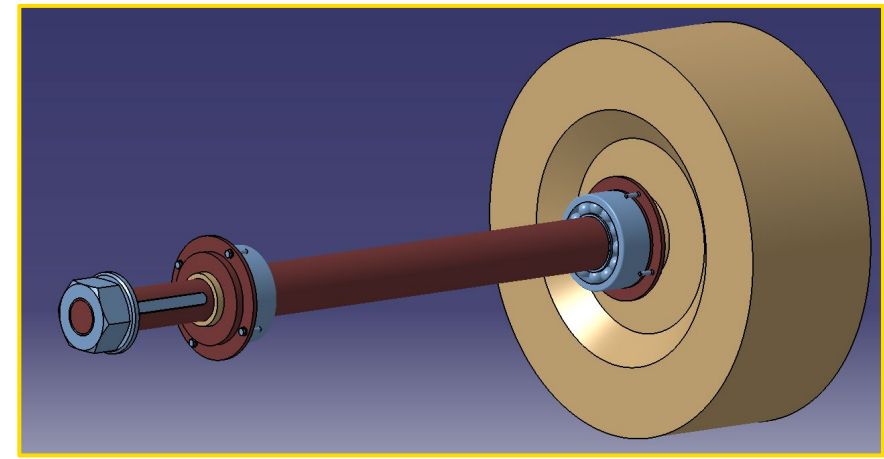
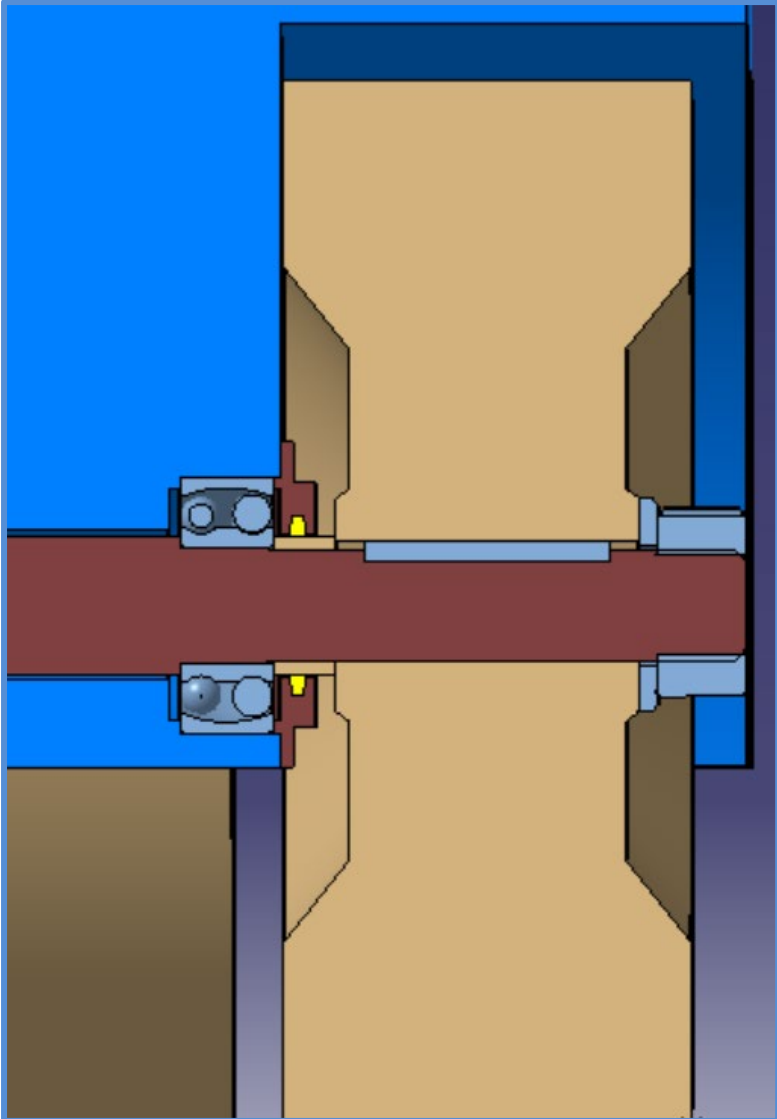


Albero



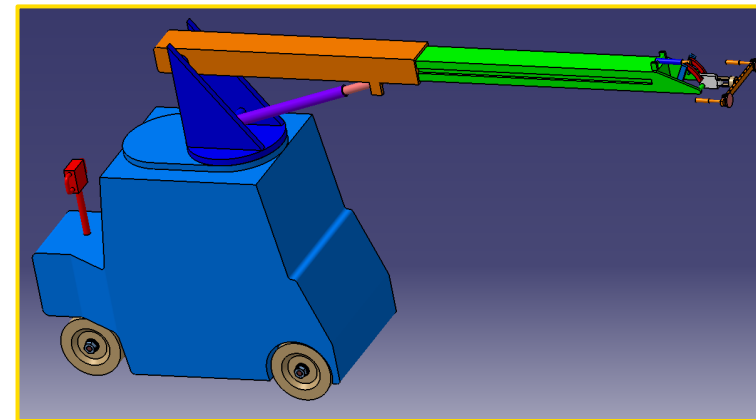
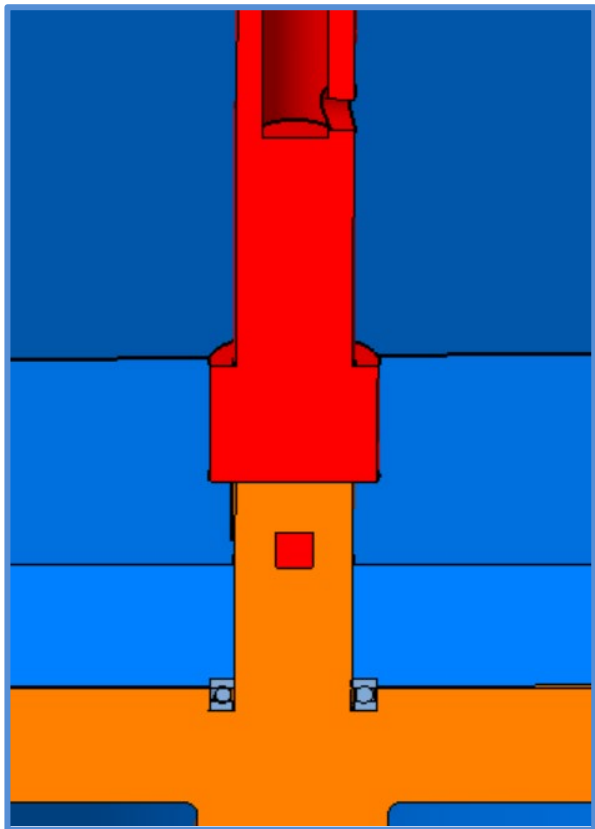
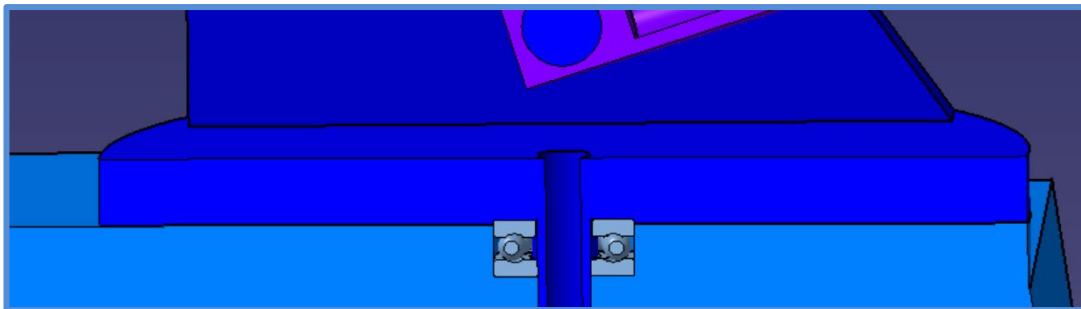
Corpo

Accoppiamenti Supporto Mobile:



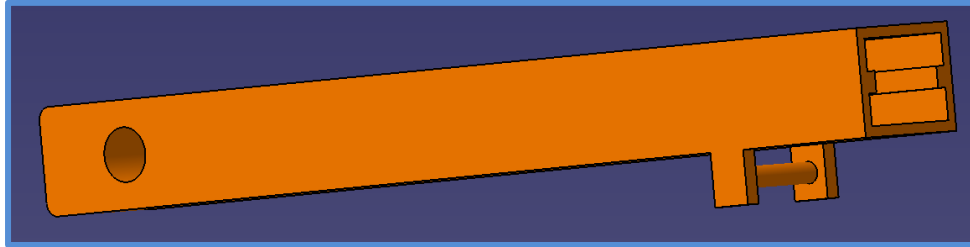
- Per l'accoppiamento albero-ruota è stata usata una **linguetta**, mentre il bloccaggio assiale è assicurato da un **dado** con **rondella**
- Per consentire la rotazione relativa albero-corpo sono stati utilizzati i **cuscinetti orientabili a sfere SKF 2310**, protetti da appositi coperchi

Accoppiamenti Supporto Mobile:

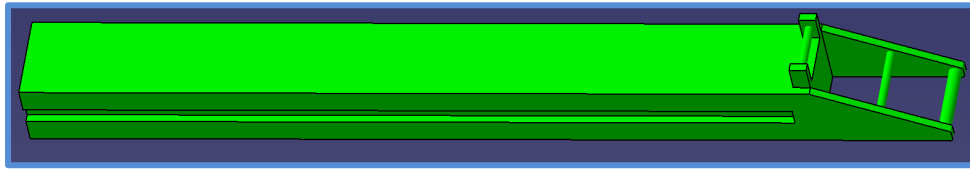


- Per consentire il controllo della rotazione delle ruote posteriori da parte dell'operatore, è stato inserito un accoppiamento con **albero a sezione quadrata** tra manubrio e giunzione albero-corpo
- Per consentire la rotazione relativa corpo-manubrio e corpo-base manipolatore sono stati rispettivamente utilizzati i **cuscinetti assiali a sfere SKF 51110** e **SKF 51410**

Componenti Manipolatore:



Braccio Base



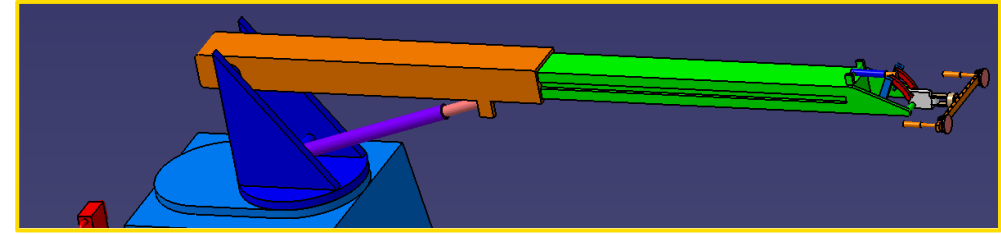
Braccio Allungabile



Pistone1 Base



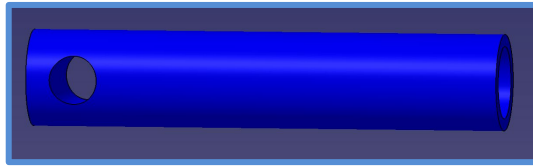
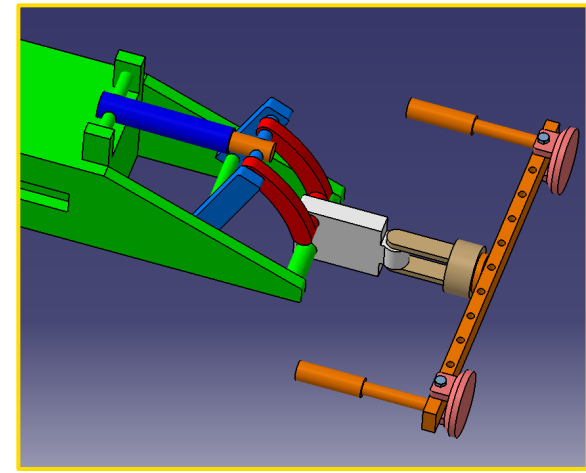
Pistone1 Stelo



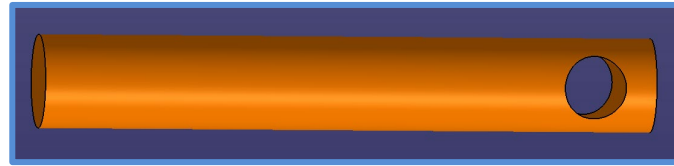
Base Manipolatore

Componenti End-Effector:

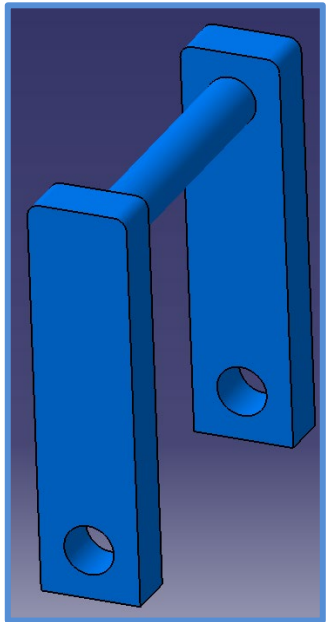
- Tramite i seguenti componenti è possibile controllare l'**End-Effector** attraverso gli angoli **Roll-Pitch-Yaw**



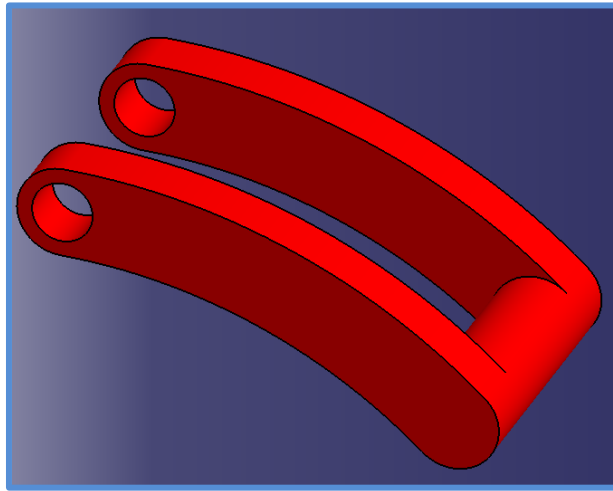
Pistone2 Base



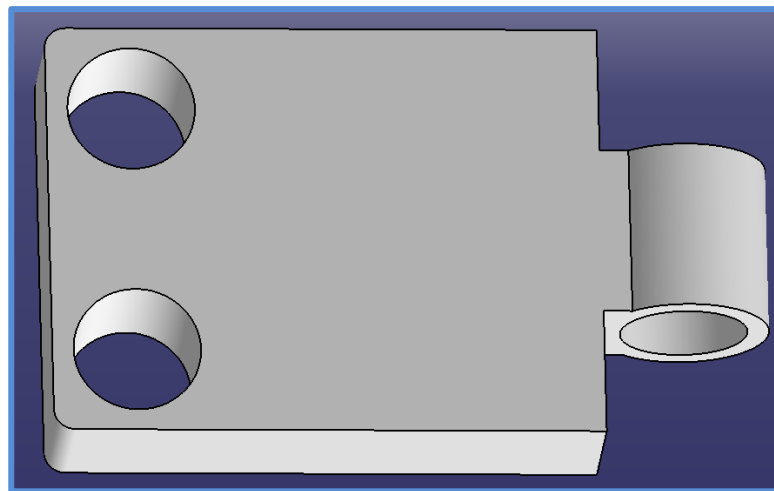
Pistone2 Stelo



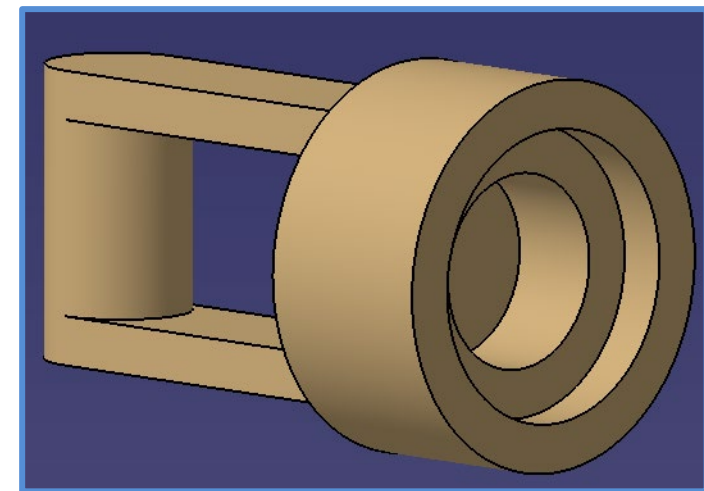
Componente
1_EE



Componente
2_EE



Componente
3_EE

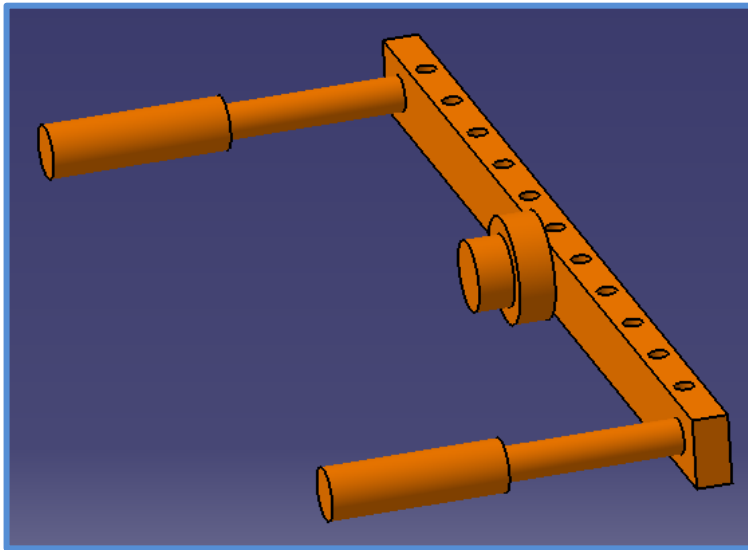


Componente
4_EE

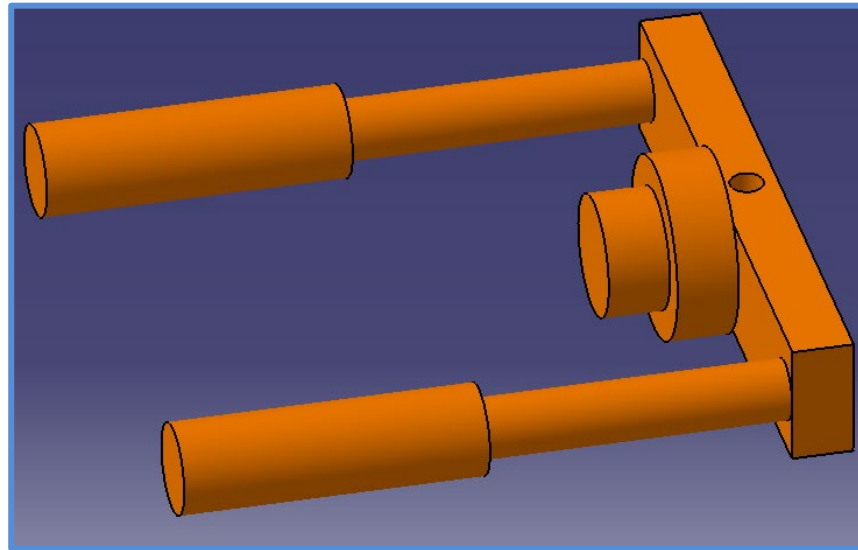
Componenti End-Effector:

Sono state ideate **due varianti del Componente 5_EE** con

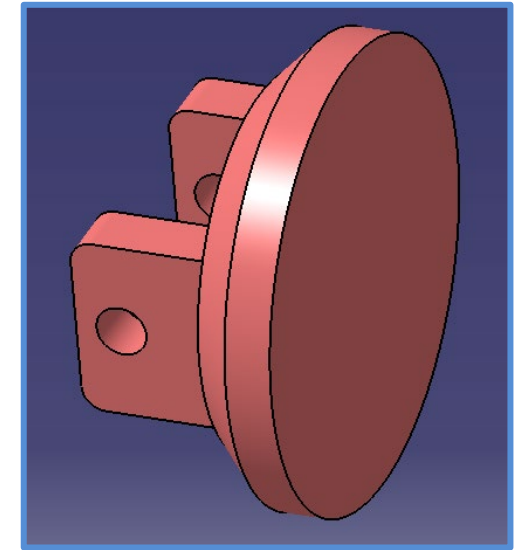
- un sistema di **ventose** terminali per realizzare l'afferraggio dei moduli IFW ed OFW (collegamento con bullone)
- un **manubrio** per consentire la diretta manovrabilità da parte dell'operatore



Componente 5_EE (versione1)



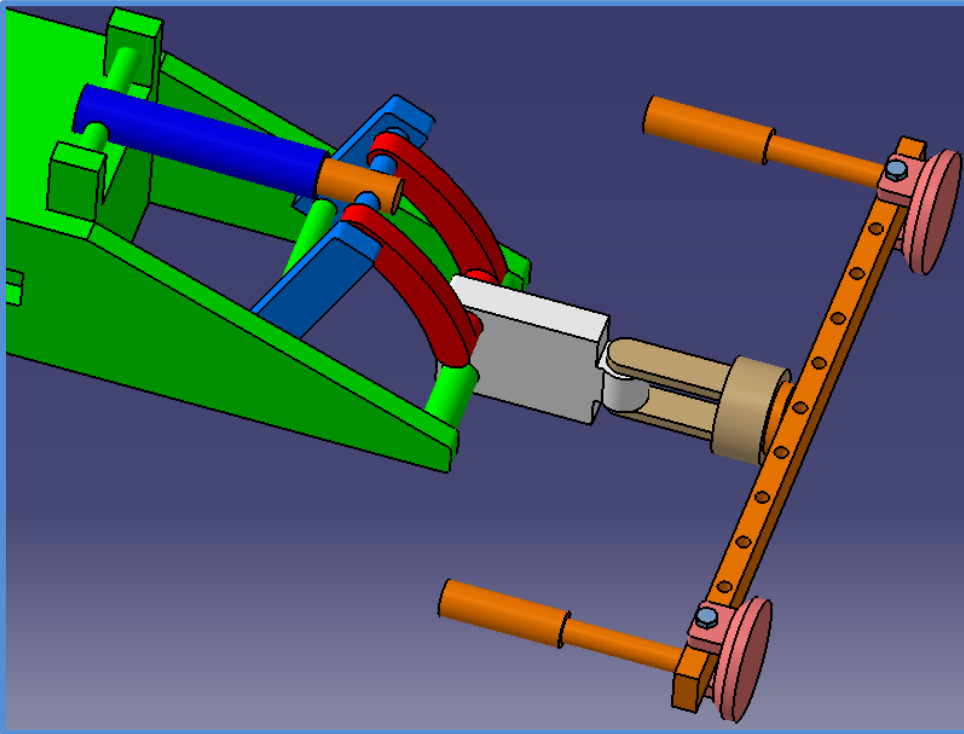
Componente 5_EE (versione2)



Ventosa

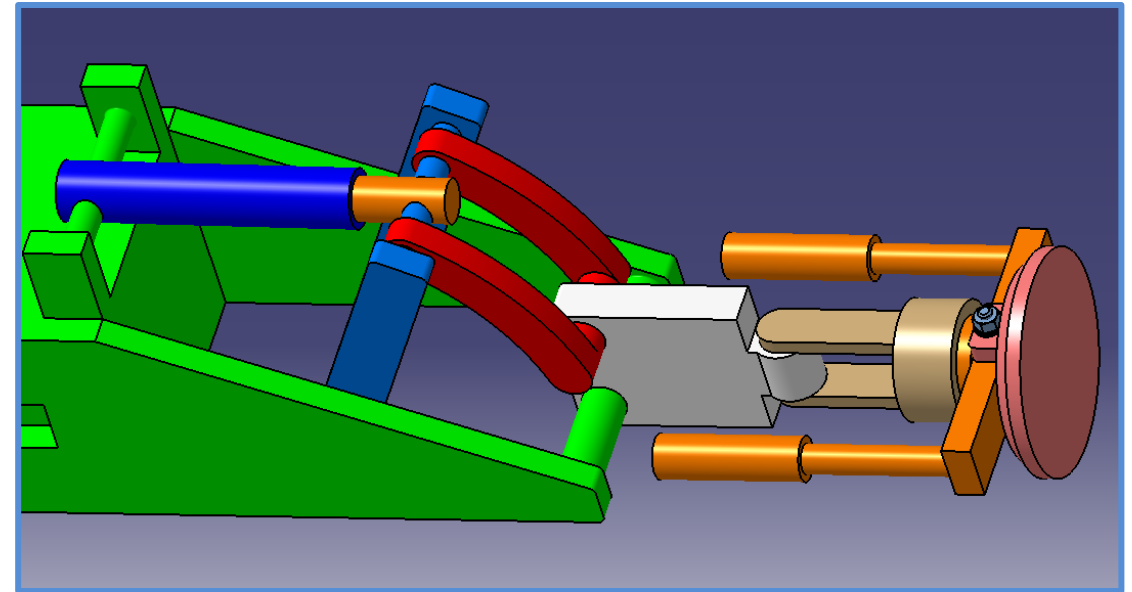
Componenti End-Effector:

End-Effector (versione1)



- Maggior controllo del modulo manovrato
- Distanza variabile tra le ventose

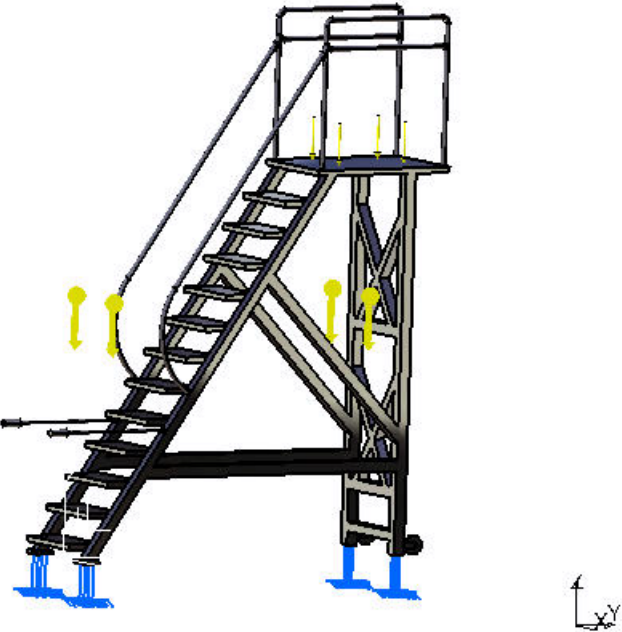
End-Effector (versione2)



- Minor ingombro

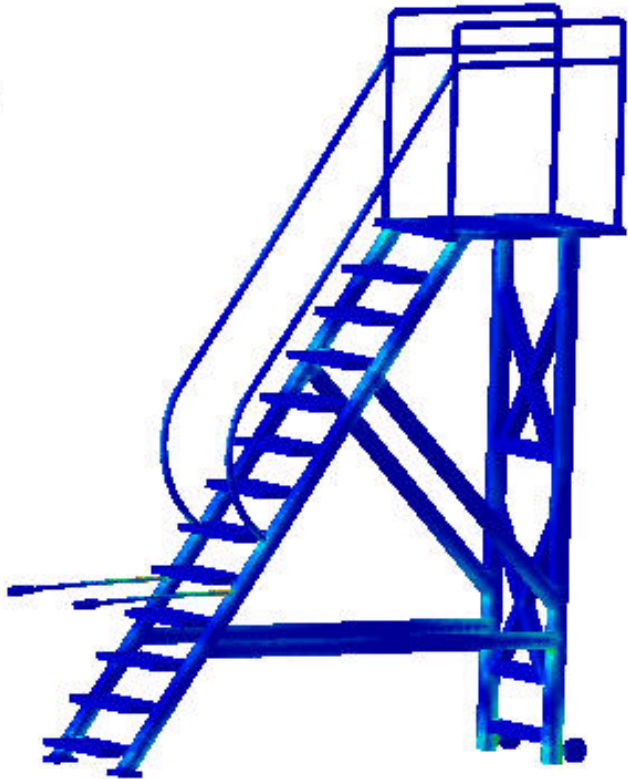
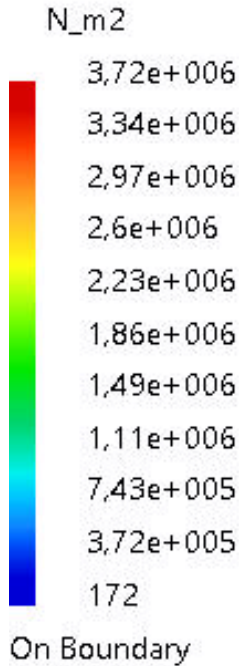
Analisi FEM – Scala

Materiale	Alluminio
σ_s	95 MPa
c	1,5
σ_{am}	63 MPa
Carico	1000 N



Mesh Globale		Mesh Locale	
Dimensione	Sagitta	Dimensione	Sagitta
20 mm	2 mm	4 mm	1 mm

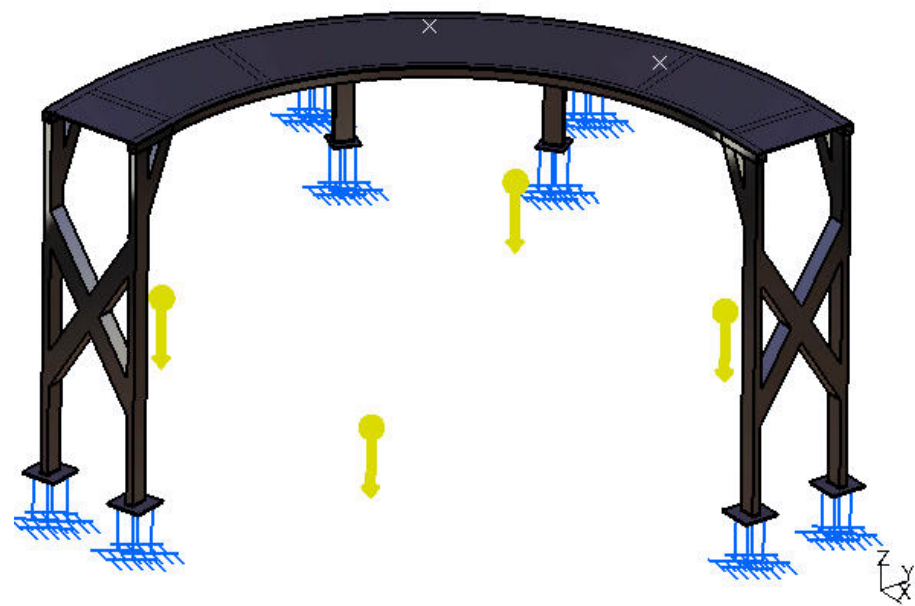
Von Mises stress (nodal values).2



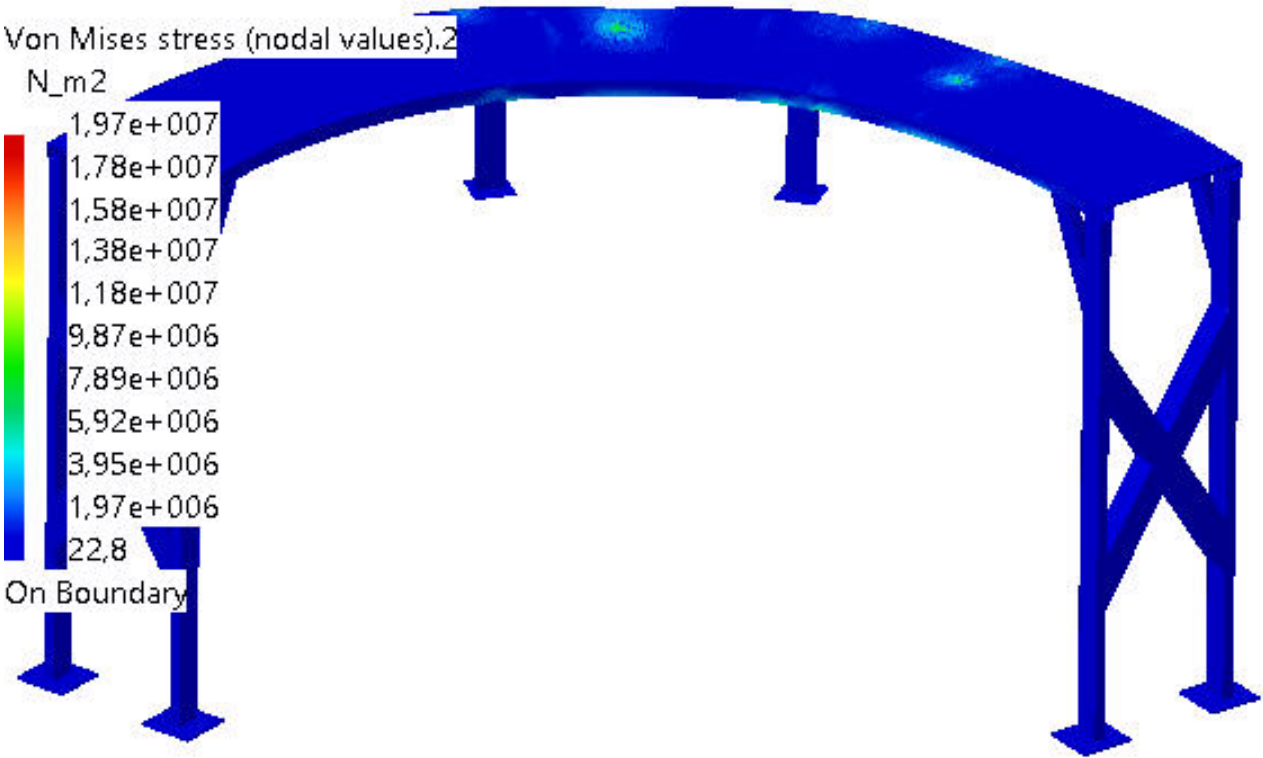
$$\sigma_{Von Mises} = 3,72 \text{ MPa} < \sigma_{am}$$

Analisi FEM – Passerella

Materiale	Alluminio
σ_s	95 MPa
c	1,5
σ_{am}	63 MPa
Carico	2000 N



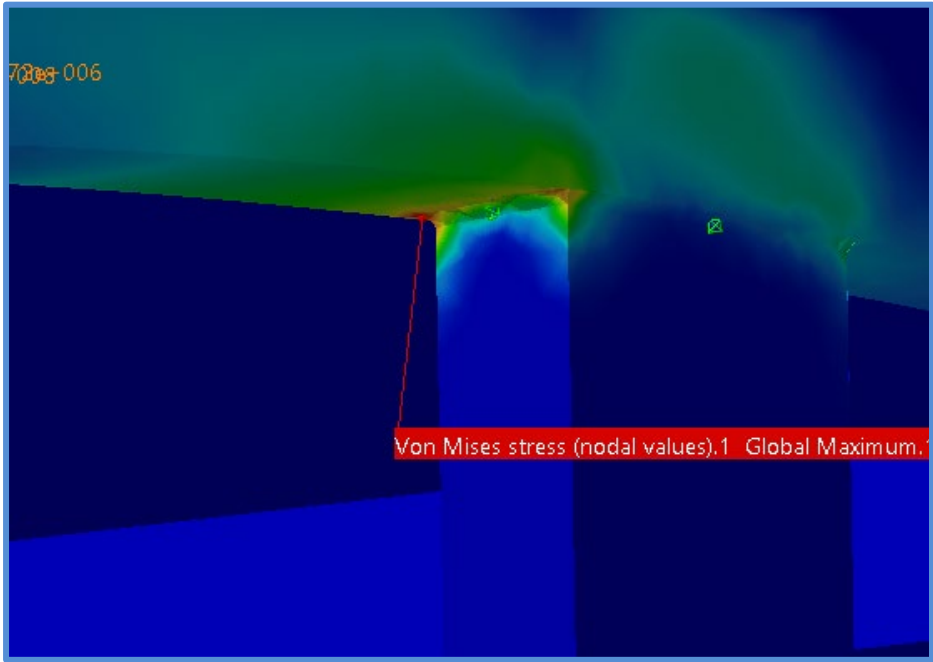
Mesh Globale		Mesh Locale	
Dimensione	Sagitta	Dimensione	Sagitta
10 mm	2 mm	4 mm	1 mm



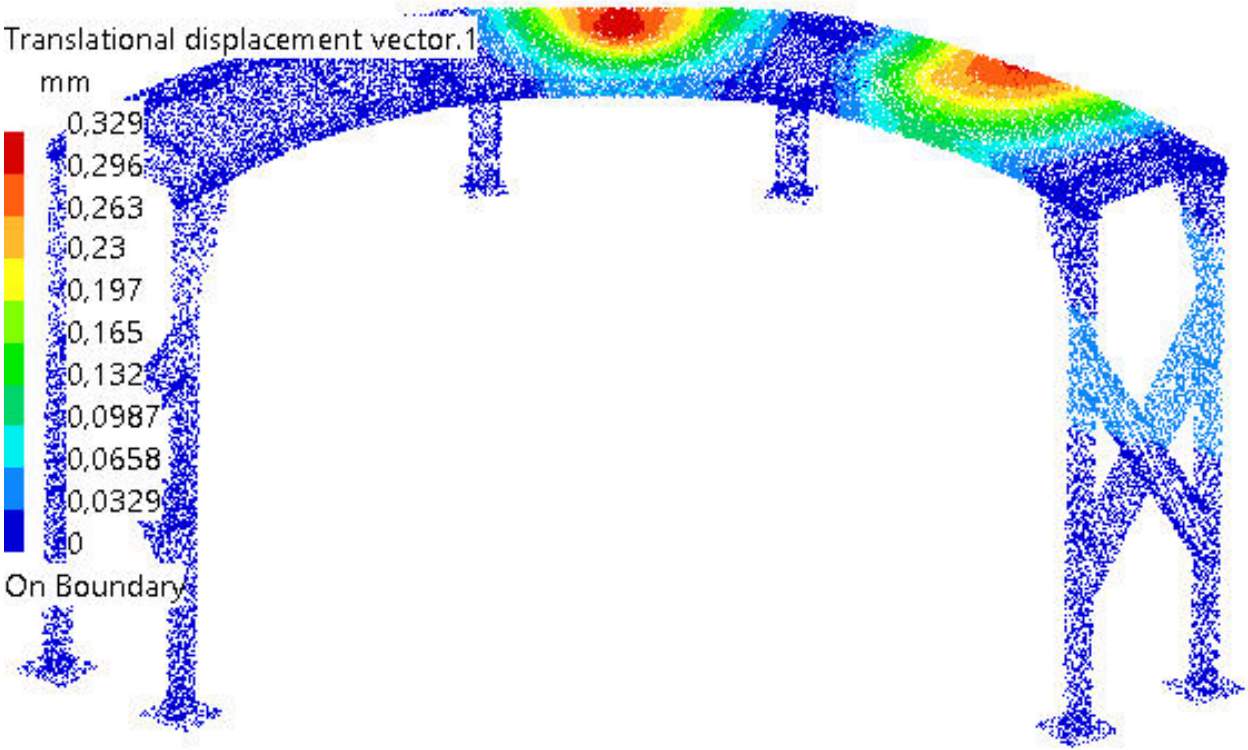
$\sigma_{Von Mises} = 19,7 \text{ MPa} < \sigma_{am}$

Analisi FEM – Passerella

Material	Alluminio
σ_s	95 MPa
c	1,5
σ_{am}	63 MPa
Carico	2000 N



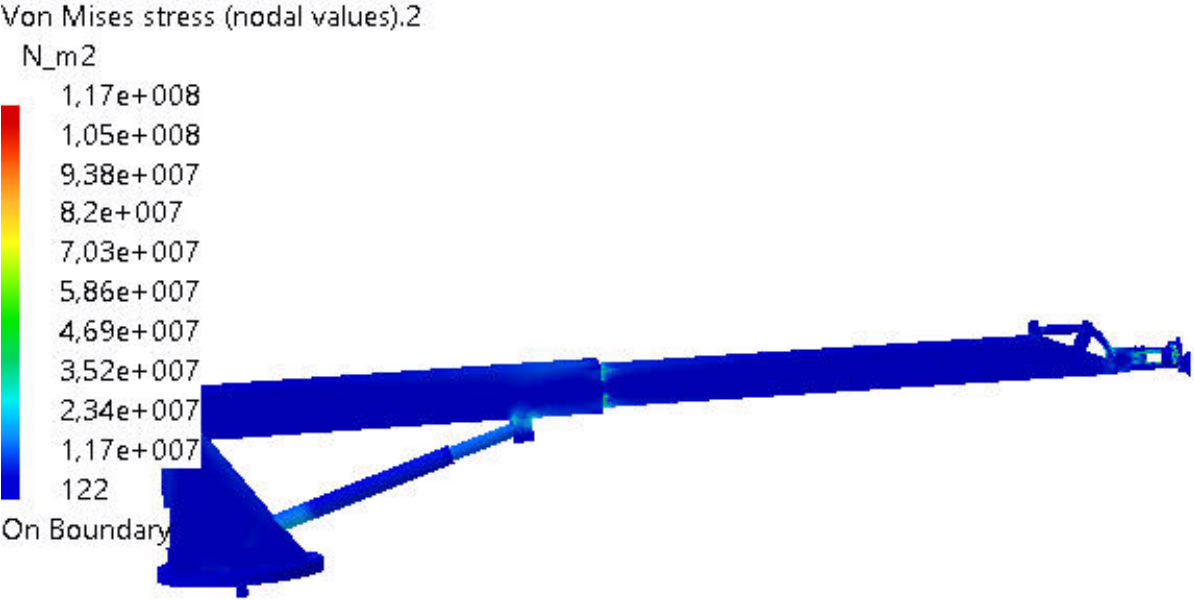
Mesh Globale		Mesh Locale	
Dimensione	Sagitta	Dimensione	Sagitta
10 mm	2 mm	4 mm	1 mm



Analisi FEM – Manipolatore

Materiali	Acciaio
σ_s	250 MPa
c	1,5
σ_{am}	167 MPa
Carico	2500 N

Mesh Globale		Mesh Locale	
Dimensione	Sagitta	Dimensione	Sagitta
20 mm	2 mm	4 mm	1 mm

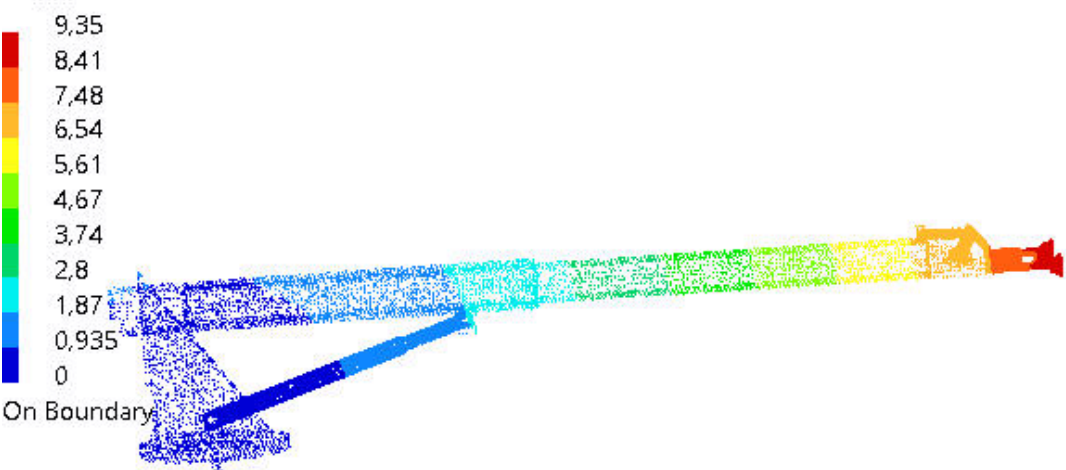


$\sigma_{Von Mises} = 117 \text{ MPa} < \sigma_{am}$

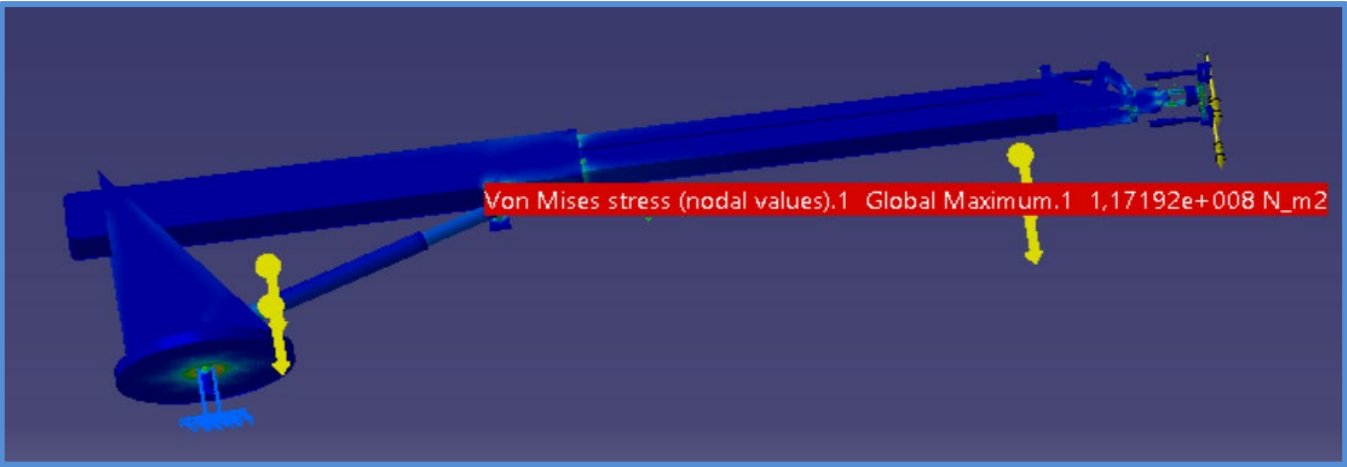
Analisi FEM – Manipolatore

Materiali	Acciaio
σ_s	250 MPa
c	1,5
σ_{am}	167 MPa
Carico	2500 N

Translational displacement vector.1
mm



Mesh Globale		Mesh Locale	
Dimensione	Sagitta	Dimensione	Sagitta
20 mm	2 mm	4 mm	1 mm



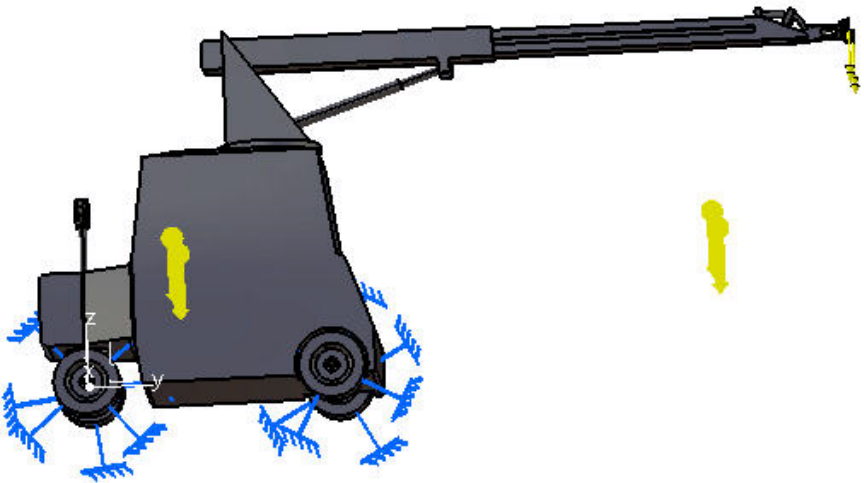
Sensor Name	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Reaction Sensor.1	-5,222e-007N	-3,909e-007N	14791,736N	-0,005Nxm	-23995,145Nxm	-1,553e-006Nxm

Dal **sensore di reazione** è possibile ricavare le informazioni necessarie al corretto dimensionamento del **cuscinetto assiale** tra Supporto Mobile e Manipolatore.

Analisi FEM – Supporto con Manipolatore v1

Materiale	Acciaio
σ_s	250 MPa
c	1,5
σ_{am}	167 MPa
Carico	2500 N

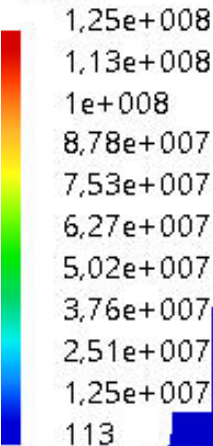
Mesh Globale		Mesh Locale	
Dimensione	Sagitta	Dimensione	Sagitta
20 mm	2 mm	4 mm	1 mm



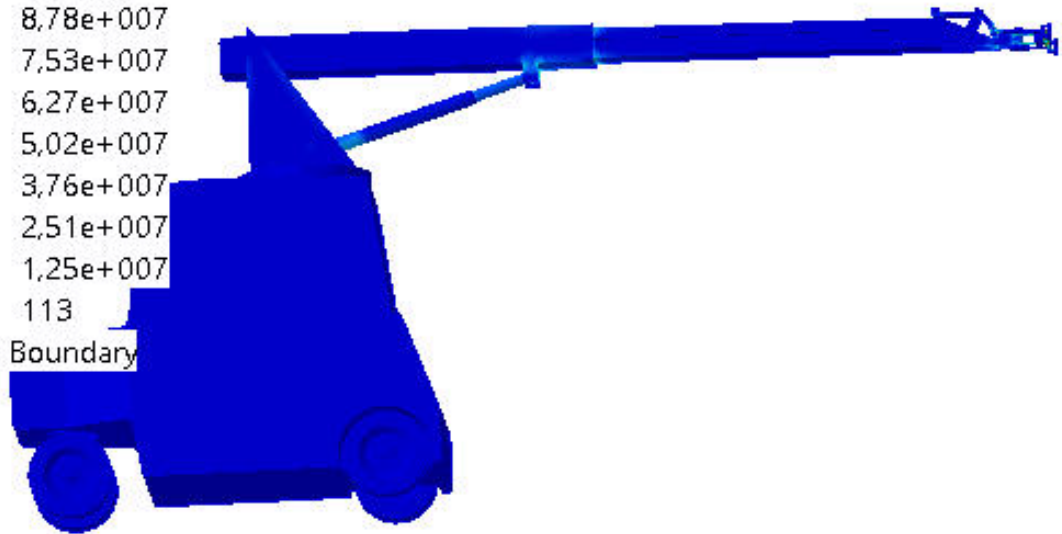
z
x
y

Von Mises stress (nodal values),2

N_m2



On Boundary

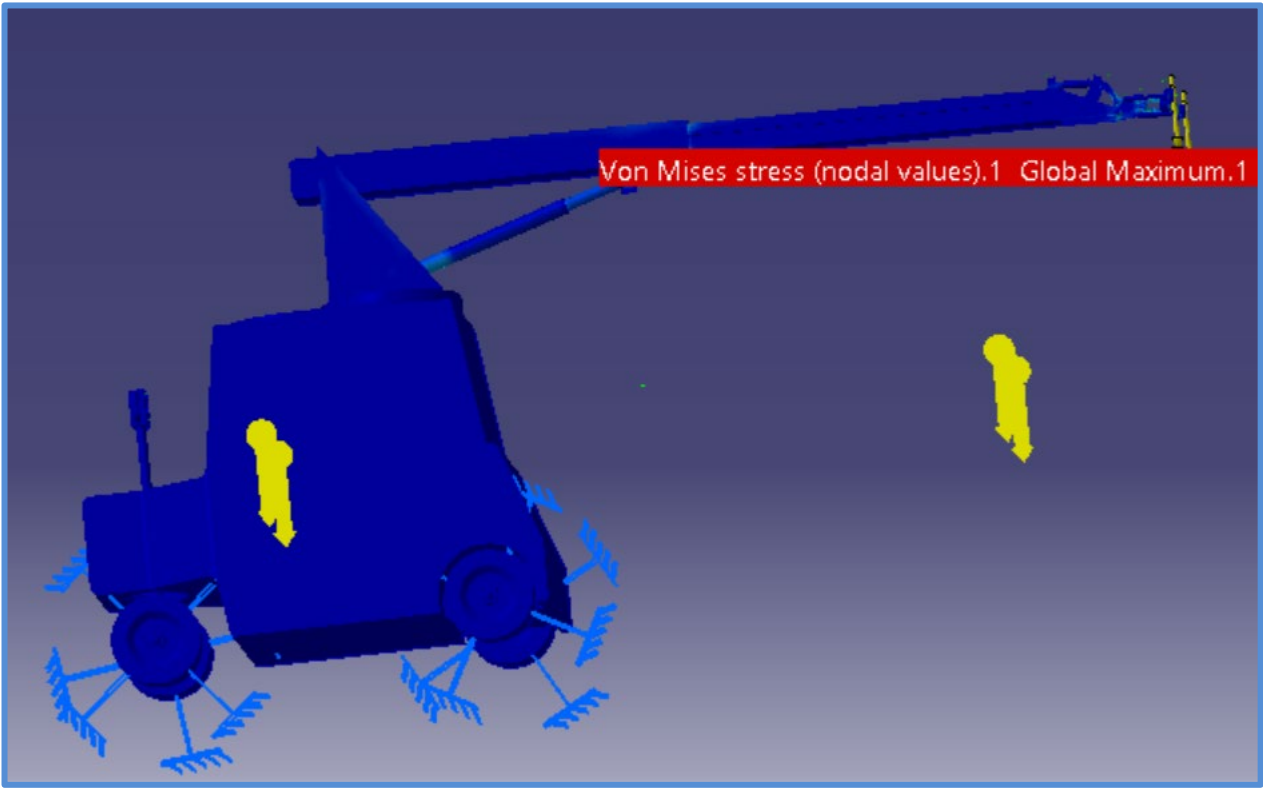
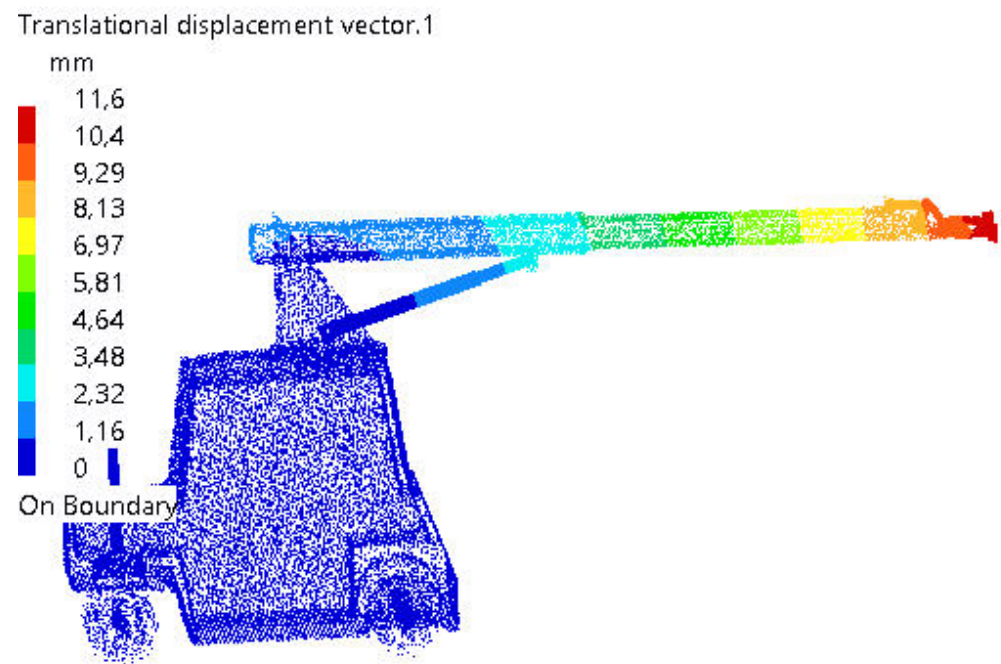


$$\sigma_{Von Mises} = 125 \text{ MPa} < \sigma_{am}$$

Analisi FEM – Supporto con Manipolatore v1

Materiale	Acciaio
σ_s	250 MPa
c	1,5
σ_{am}	167 MPa
Carico	2500 N

Mesh Globale		Mesh Locale	
Dimensione	Sagitta	Dimensione	Sagitta
20 mm	2 mm	4 mm	1 mm

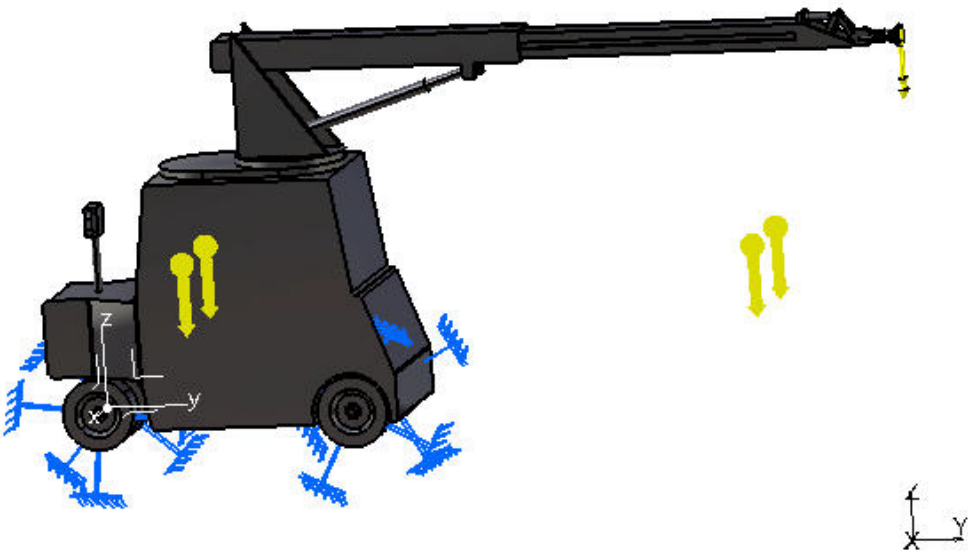


$\sigma_{Von Mises} = 125 \text{ MPa} < \sigma_{am}$

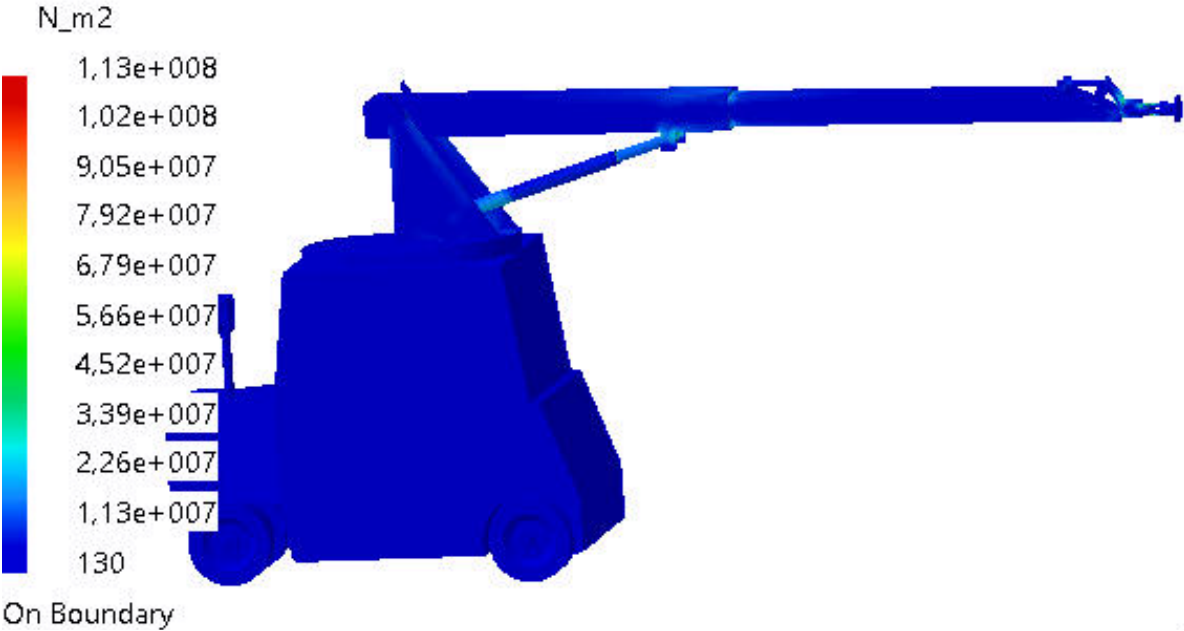
Analisi FEM – Supporto con Manipolatore v2

Materiale	Acciaio
σ_s	250 MPa
c	1,5
σ_{am}	167 MPa
Carico	2500 N

Mesh Globale		Mesh Locale	
Dimensione	Sagitta	Dimensione	Sagitta
20 mm	2 mm	4 mm	1 mm



Von Mises stress (nodal values).2



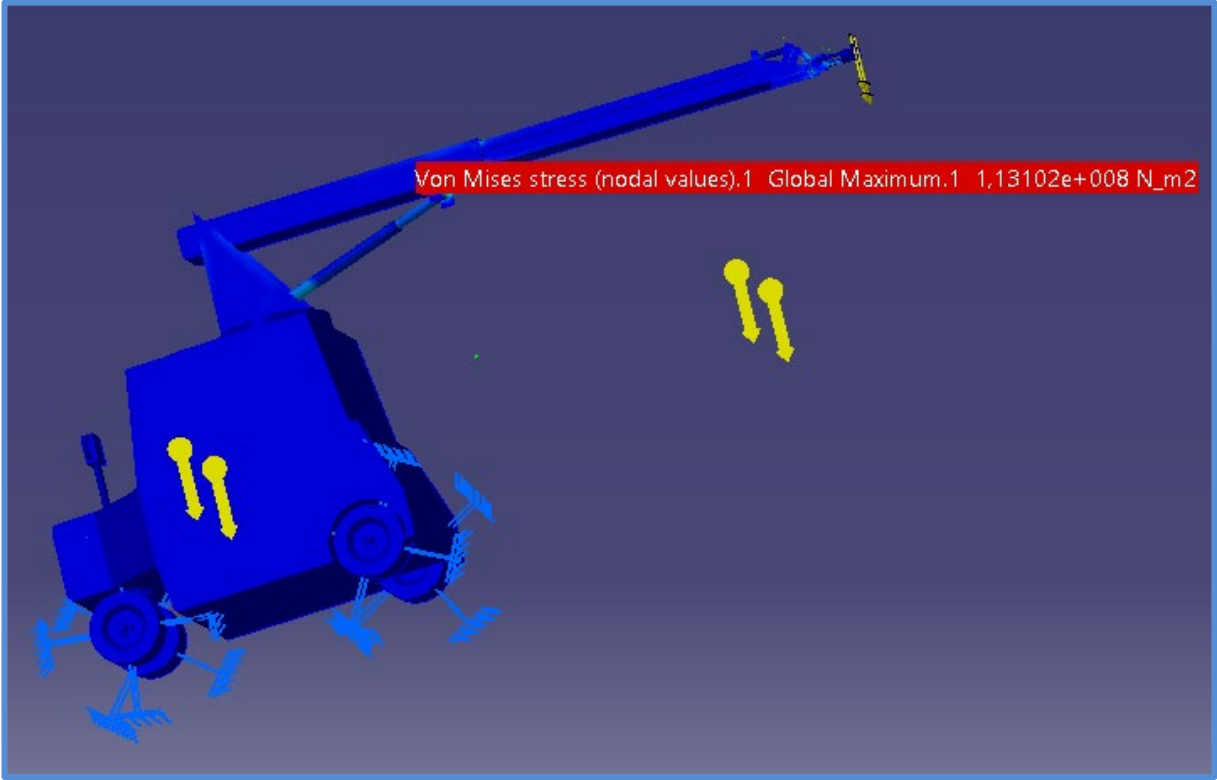
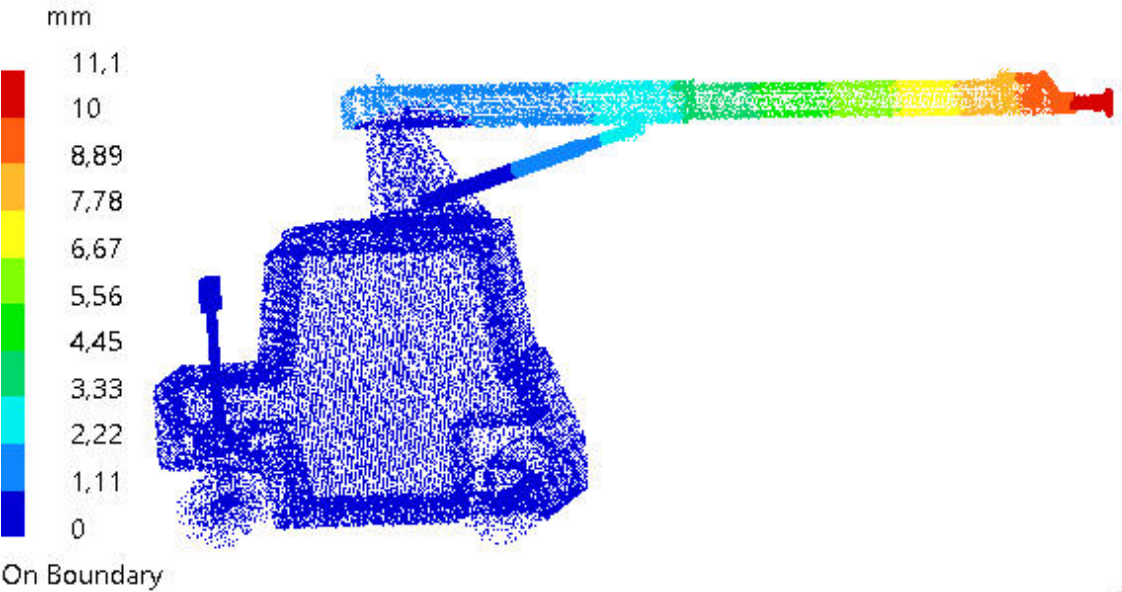
$\sigma_{Von Mises} = 113 \text{ MPa} < \sigma_{am}$

Analisi FEM – Supporto con Manipolatore v2

Materiale	Acciaio
σ_s	250 MPa
c	1,5
σ_{am}	167 MPa
Carico	2500 N

Mesh Globale		Mesh Locale	
Dimensione	Sagitta	Dimensione	Sagitta
20 mm	2 mm	4 mm	1 mm

Translational displacement vector.1




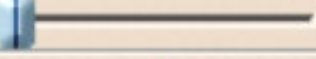



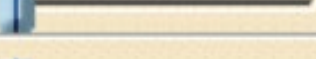
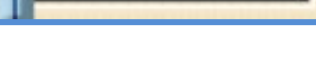


$$\sigma_{Von Mises} = 113 \text{ MPa} < \sigma_{am}$$

Simulazione Cinematica

Considerando il pavimento come **elemento fisso**, il cinematismo è stato realizzato considerando i seguenti **giunti controllati**:

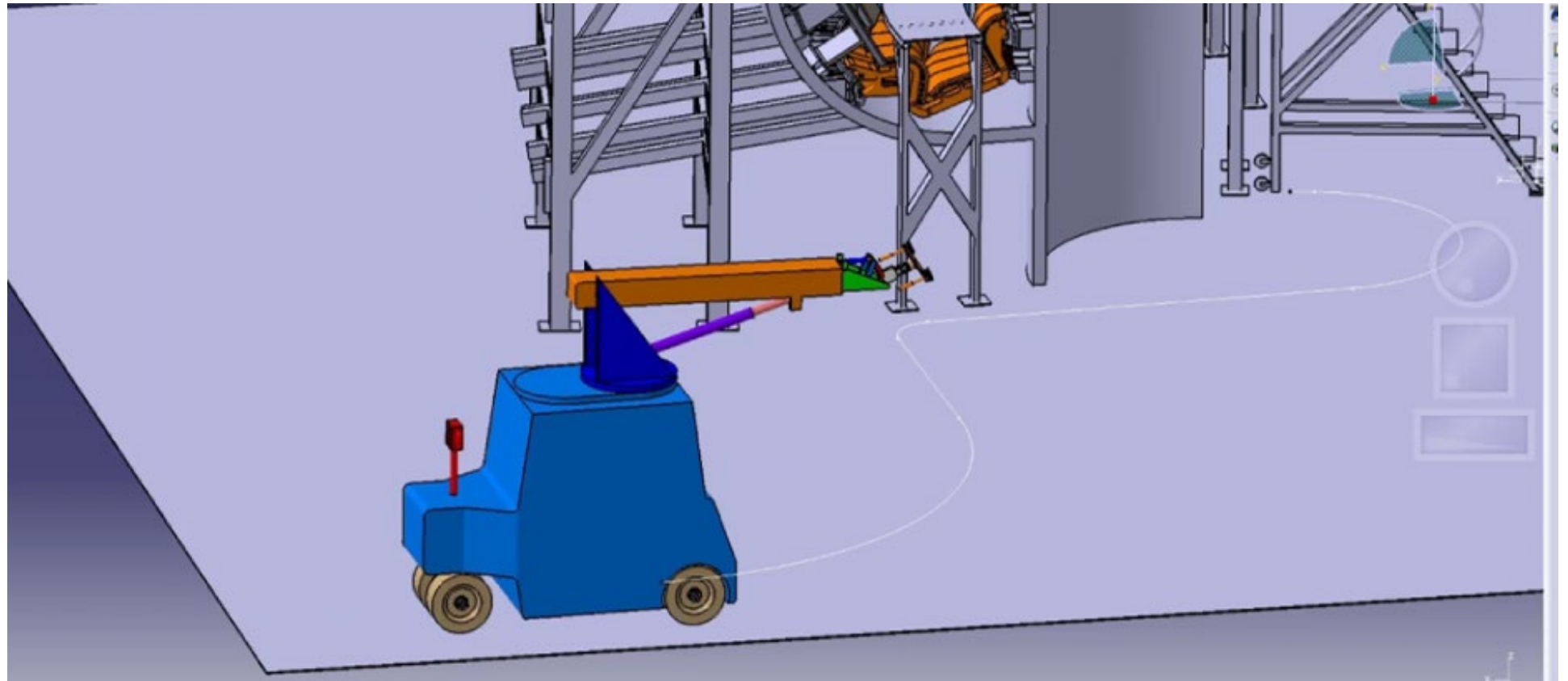
- Giunto rotoidale tra Corpo e Base manipolatore
- Giunto prismatico tra Pistone1 Base e Pistone1 Stelo
- Giunto prismatico tra Braccio Base e Braccio Allungabile
- Giunto prismatico tra Pistone2 Base e Pistone2 Stelo
- Giunto rotoidale tra Componente 3_EE e Componente 4_EE
- Giunto rotoidale tra Componente 4_EE e Componente 5_EE
- Giunto rotoidale tra Manubrio e Corpo
- Giunto rotoidale tra Albero Anteriore e Cuscinetto
- Giunto rotoidale tra Albero Posteriore e Boccia

Rotazione Base	-90		90
Pistone Base	0		860
Braccio Allungabile	0		1645
Pitch End-Effector	0		80
Yaw End-Effector	-105		105
Roll End-Effector	-360		360
Rotazione Manubrio	-45		45
Ruote Anteriori	0		3640
Ruote Posteriori	0		3640

Simulazione Cinematica

Applicando un'opportuna sequenza di **giunti controllati**, è possibile raggiungere **tutti i moduli IFW e OFW** senza arrecare danni all'ambiente circostante ed all'operatore.

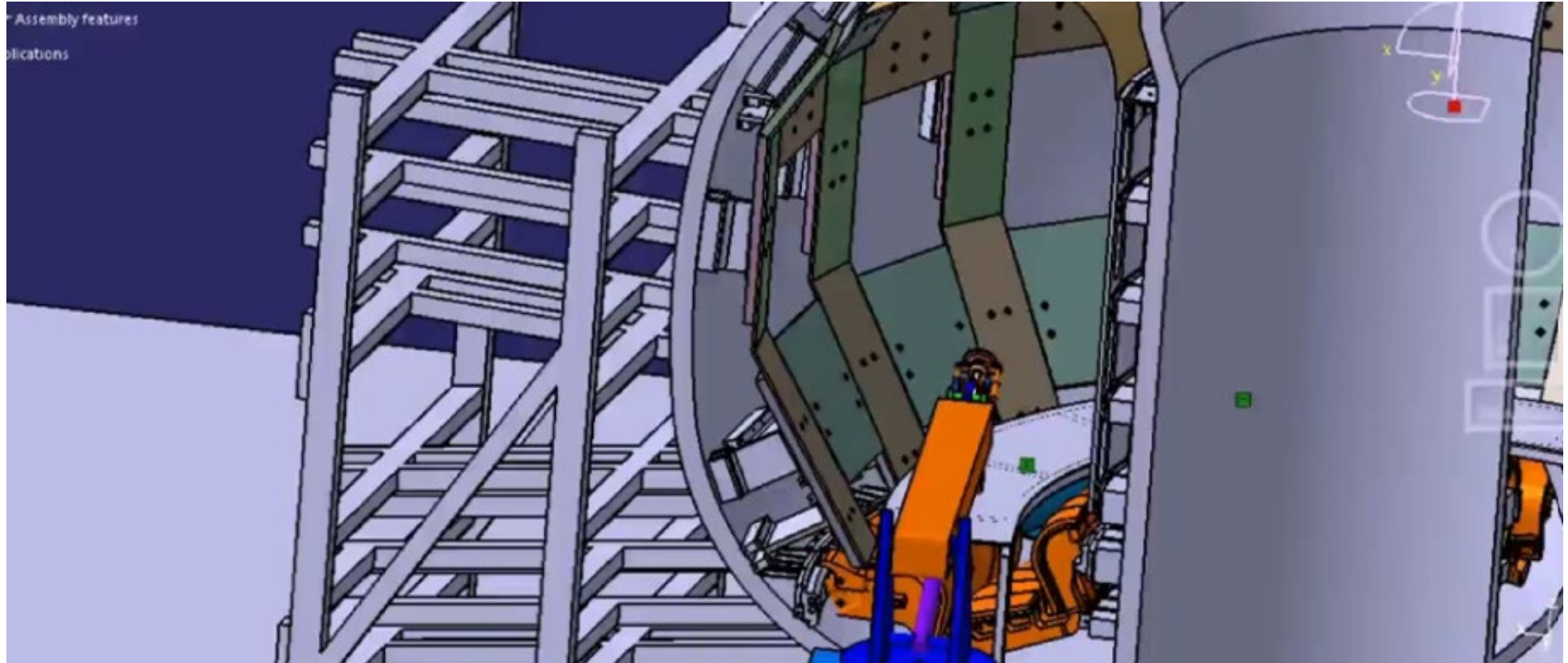
**Configurazioni
critiche OFW con
Manipolatore v1**



Simulazione Cinematica

Applicando un'opportuna sequenza di **giunti controllati**, è possibile raggiungere **tutti i moduli IFW e OFW** senza arrecare danni all'ambiente circostante ed all'operatore.

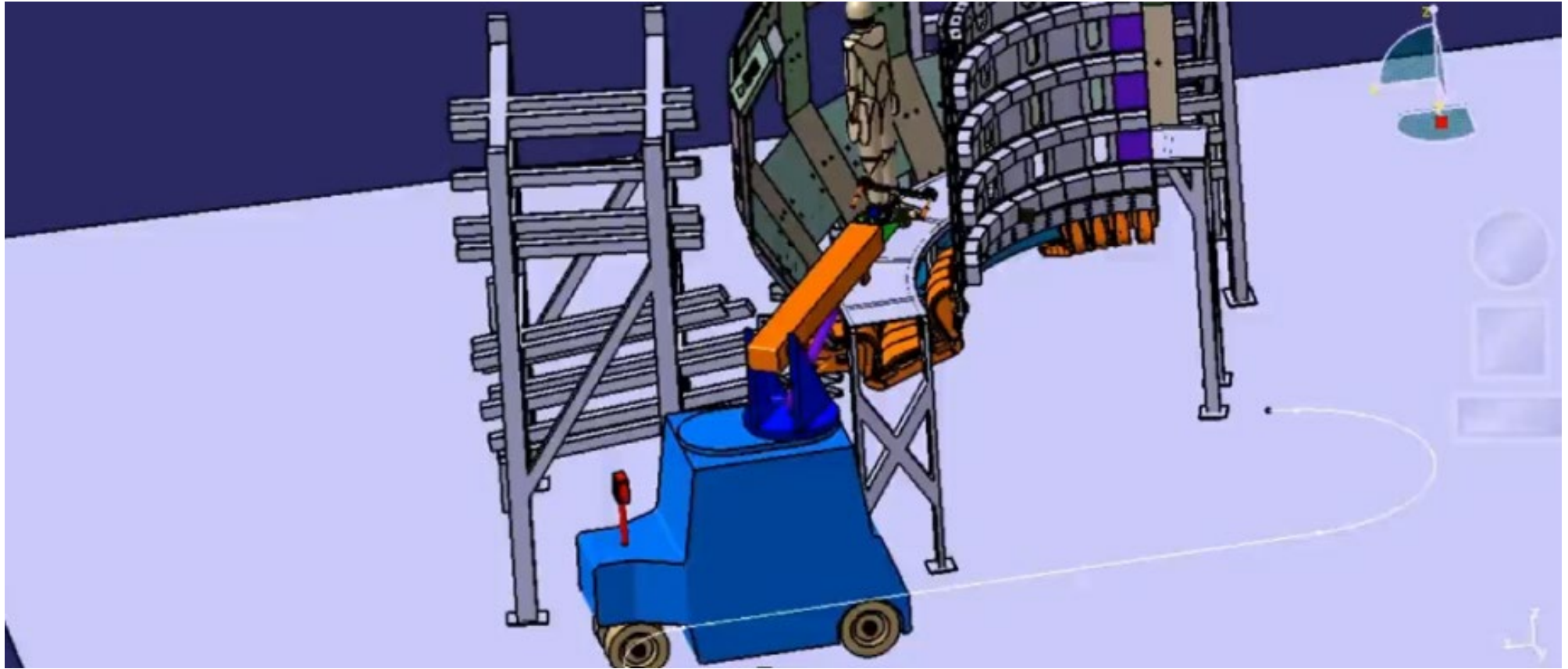
**Configurazioni
critiche OFW con
Manipolatore v2**



Simulazione Cinematica

Applicando un'opportuna sequenza di **giunti controllati**, è possibile raggiungere **tutti i moduli IFW e OFW** senza arrecare danni all'ambiente circostante ed all'operatore.

**Configurazioni
critiche IFW con
Manipolatore v1**



Analisi Ergonomica

L'analisi ergonomica è stata realizzata con il software Jack

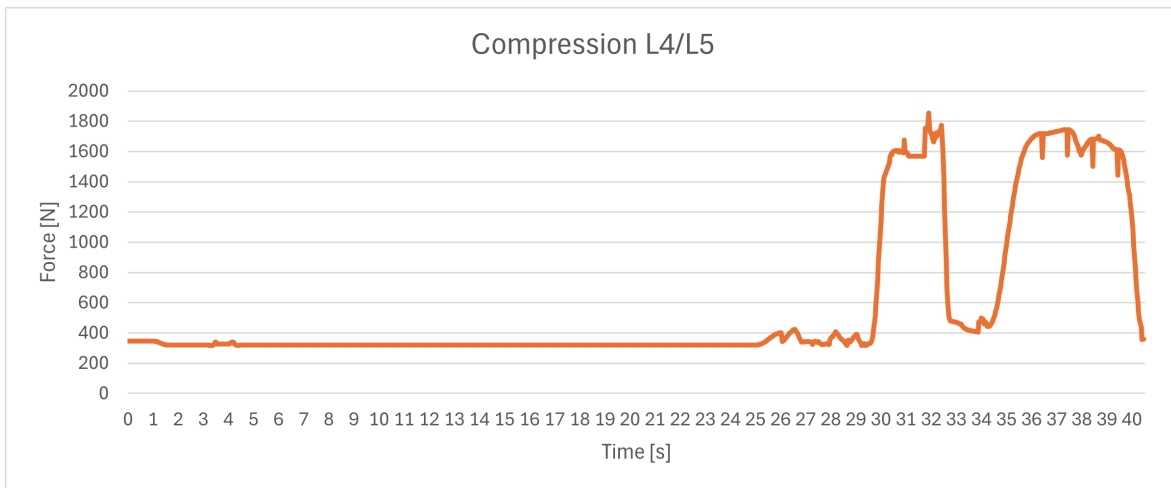
- Sono stati utilizzati i modelli umani di default, corrispondenti ad un **uomo** ed una **donna** caucasici del 50esimo percentile, rispettivamente di altezza 174.2 cm e 163.0 cm con massa 77.7 kg e 61.3 kg
- Nella simulazione è stato inserito un **avvitatore** di 1.5 kg

Sono state effettuate 3 tipologie di analisi:

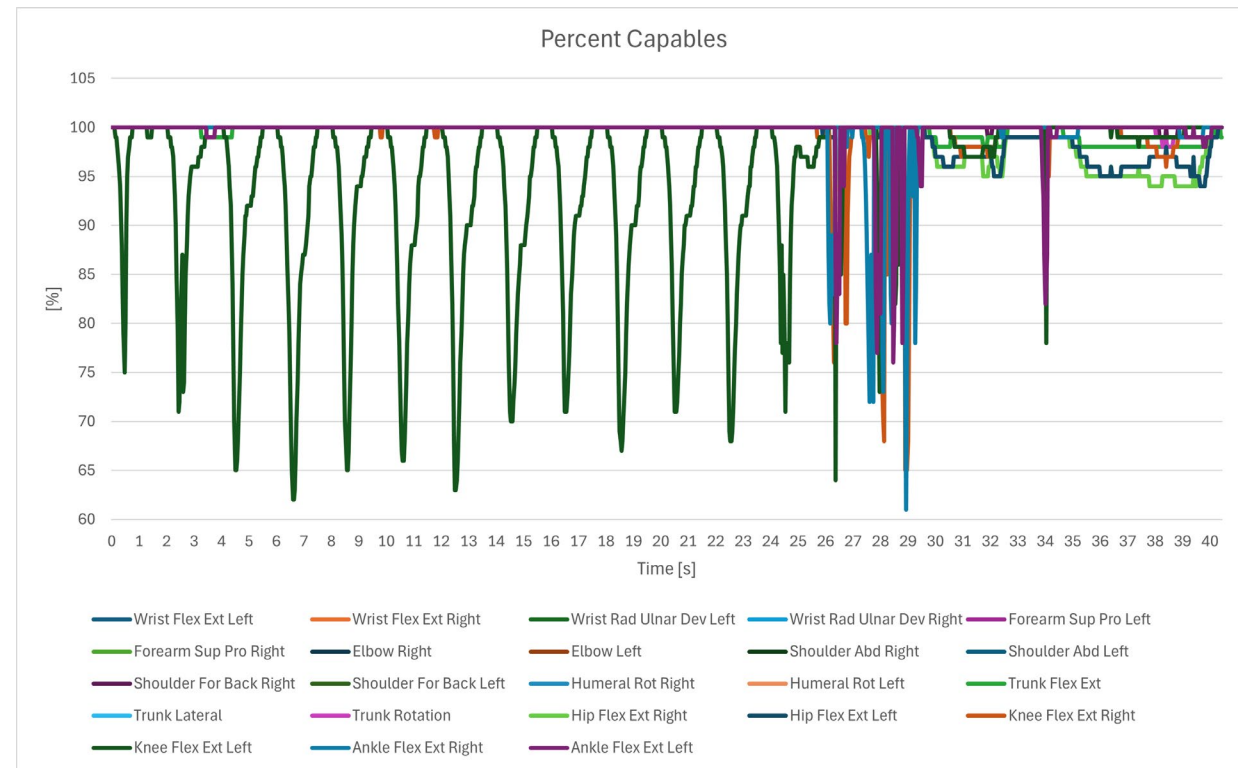
- Montaggio del modulo OFW in **basso**
- Montaggio del modulo OFW **centrale**
- Montaggio del modulo OFW in **alto**



Analisi Ergonomica - OFW in Basso

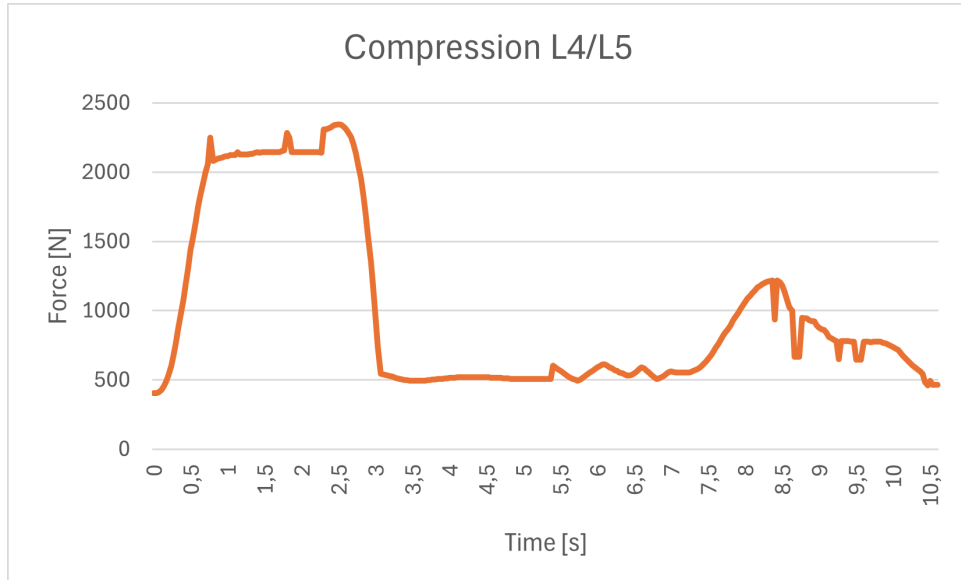


- Le coppie sulle vertebre **L4/L5** rimangono al di sotto del valore critico 3400 N

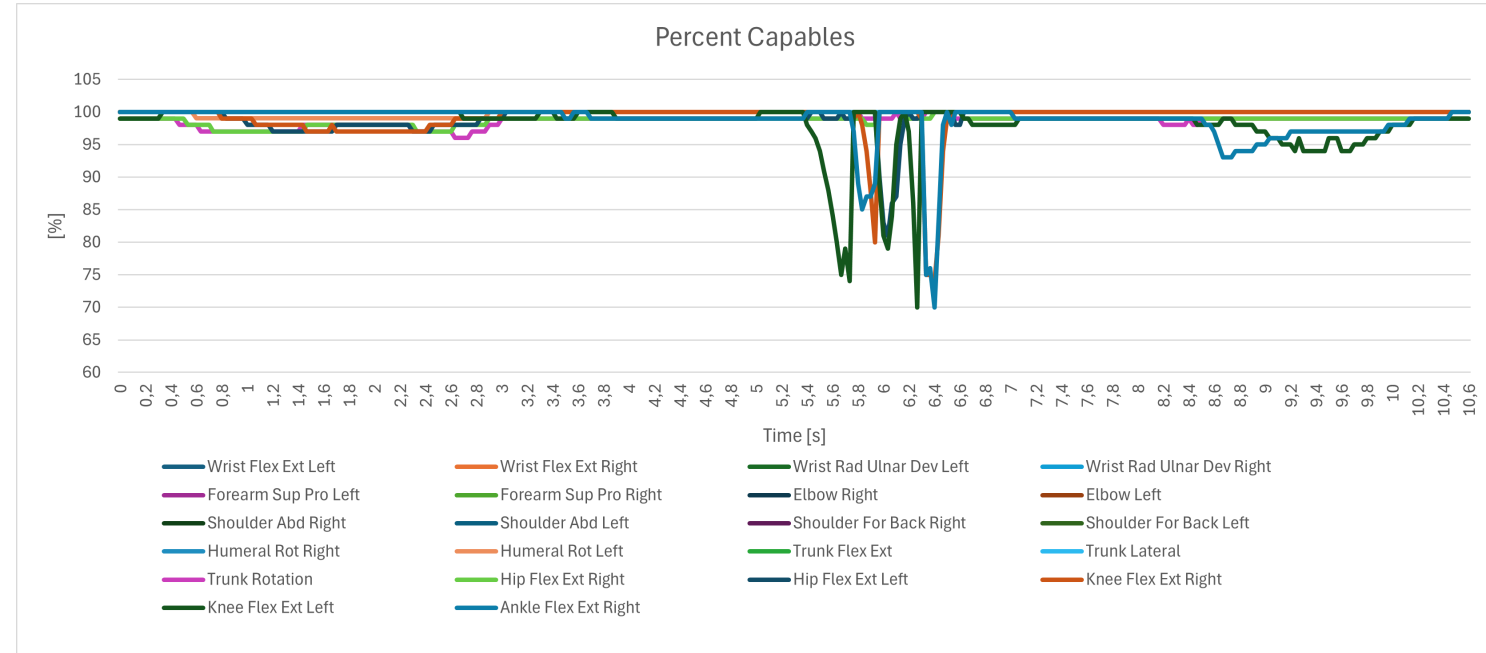


- Gli **angolo più critici** sono raggiungibili dal 60esimo percentile della popolazione

Analisi Ergonomica - OFW Centrale

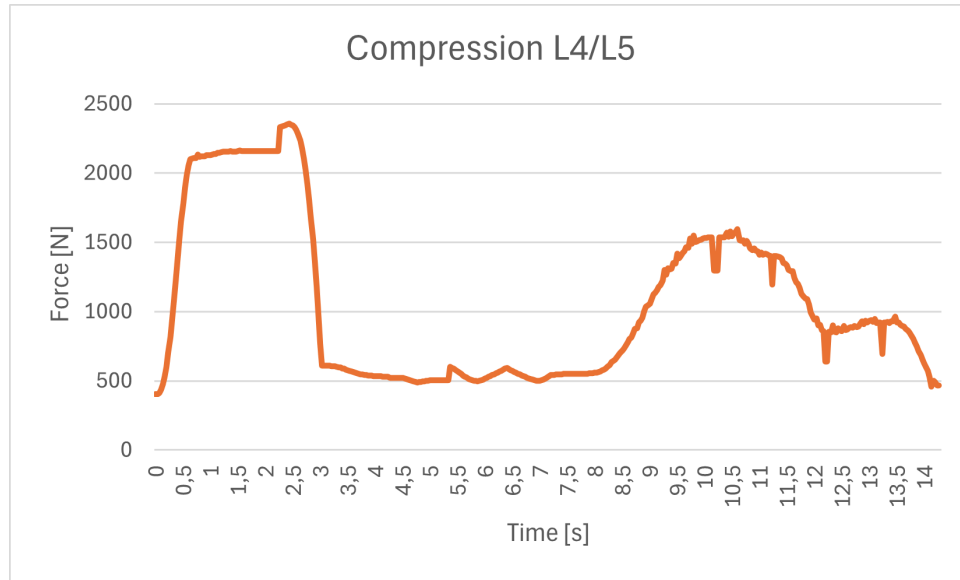


- Le coppie sulle vertebre **L4/L5** rimangono al di sotto del valore critico 3400 N

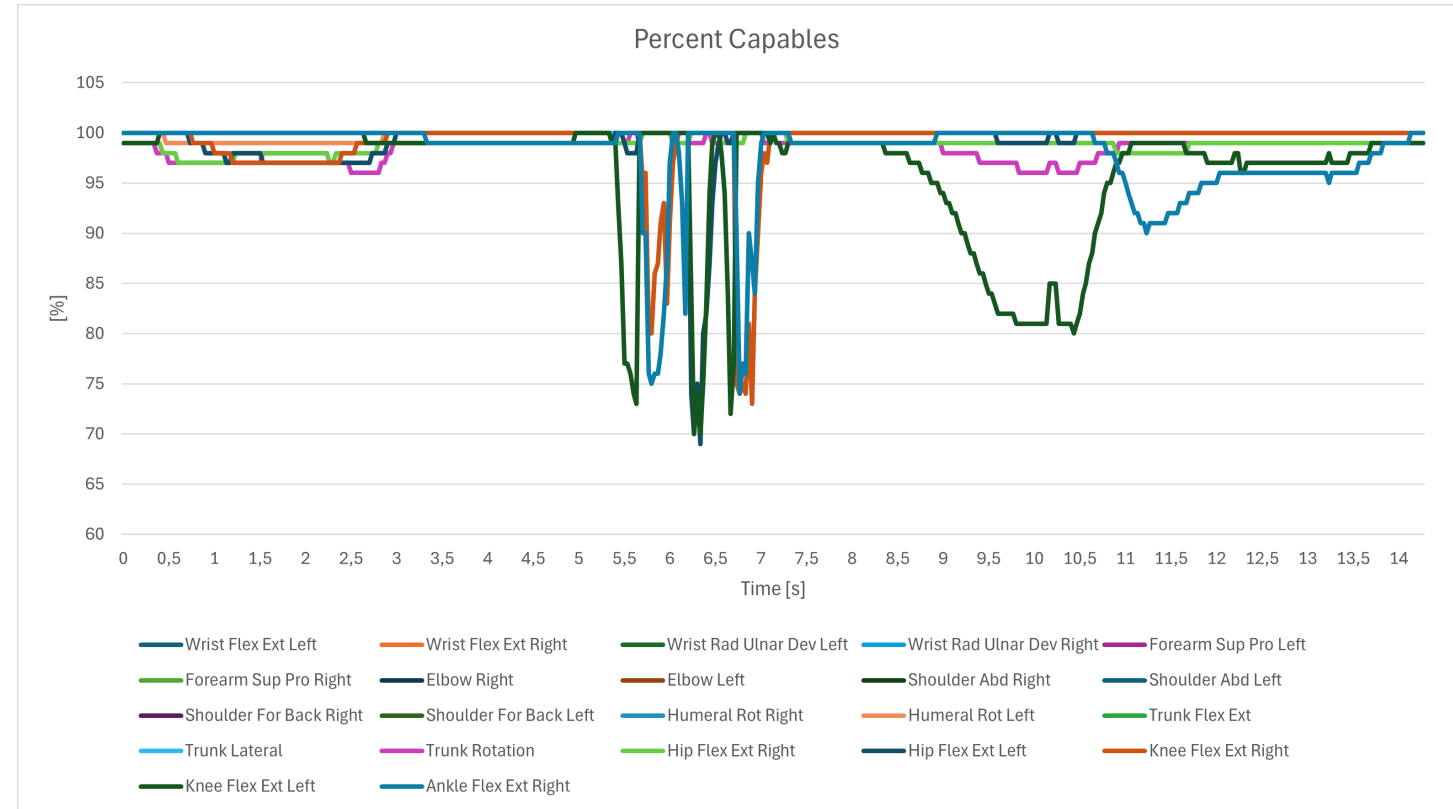


- Gli **angolo più critici** sono raggiungibili dal 70esimo percentile della popolazione

Analisi Ergonomica - OFW in Alto



- Le coppie sulle vertebre **L4/L5** rimangono al di sotto del valore critico 3400 N



- Gli **angolo più critici** sono raggiungibili dal 70esimo percentile della popolazione

Osservazioni e Conclusioni

- Dalle **simulazioni ergonomiche** effettuate è possibile osservare come l'operatore è in grado di cooperare all'interno dell'ambiente dei mockup con il manipolatore soddisfacendo così i **requisiti (1), (5), (9) e (10)**.
- Dall'**Analisi FEM** è possibile constatare come il manipolatore è in grado di sostenere e trasportare i moduli IFW e OFW soddisfacendo così il **requisito (4)**.
- L'utilizzo delle **ventose** insieme alle **due varianti dell'End-Effector** consente di soddisfare i **requisiti (2), (3) e (9)**.
- Dalle **simulazioni cinematiche** eseguite è possibile osservare come il manipolatore è in grado di soddisfare i **requisiti (3), (4), (6), (7), (8)**.

Osservazioni e Conclusioni

- La **tecnologia** impiegata, essendo basata su quella del manipolatore per vetri, è già **testata** e **diffusa**
- Il manipolatore progettato può essere impiegato anche per svolgere **altre operazioni** all'interno dell'ambiente di lavoro
- I vari **componenti** del manipolatore sono facilmente **smontabili** e **sostituibili** sia per interventi di manutenzione che per adattare la struttura ad altre situazioni
- Una possibile **ottimizzazione** è includere dei supporti laterali **antiribaltamento** per poter sollevare carichi maggiori

Grazie per l'attenzione!

