



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA E TECNOLOGIE  
DELL'INFORMAZIONE

SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

PROTOTIPAZIONE VIRTUALE

MANIPOLATORE PER IL MONTAGGIO DEL VETRO  
PARABREZZA DI UNA McLAREN MP4-12C



## Obiettivi

- Progettazione concettuale di un manipolatore con funzione di annullatore di gravità, per il montaggio del vetro parabrezza di una *McLaren MP4-12C*.
- Analisi strutturale del manipolatore progettato
- Studio dell'area di assemblaggio, con focus sull'ingombro del manipolatore e sull'interazione con l'operatore umano.



## Requisiti di progetto

- Numero di g.d.l. che garantisca il corretto posizionamento del vetro parabrezza sul telaio dell'automobile
- Il manipolatore non deve arrecare danno al vetro parabrezza
- Robustezza tale da poter trasportare il vetro di massa stimata 70 kg
- Azionamento mediante pulsantiera e manubrio di movimentazione



## Robot cartesiano o braccio?

### Cartesiano:

- ✓ Preciso per la rigidità dei giunti
- ✓ Attuatori semplici e leggeri
- Ingombrante
- Impossibilità di raggiungere zone al di sotto di un oggetto

### Braccio:

- ✓ Massima flessibilità di impiego
- ✓ Grande volume di lavoro
- ✓ Possibilità di raggiungere zone al di sopra e al di sotto di un oggetto
- Difficoltà nel controllare un movimento rettilineo del polso
- Complessità cinematica



# Progetto del manipolatore

- Si sceglie un robot a braccio (massima flessibilità), con colonna fissata al pavimento (costo ridotto)
- Al polso è collegato un organo di presa a ventose
- Riferimenti:
  - Gingo della Famatec, in particolare per l'organo terminale
  - Partner Equo della Dalmec
  - ATISMIRUS della ATIS
  - Liftronic Air della Indiva



Partner Equo della Dalmec



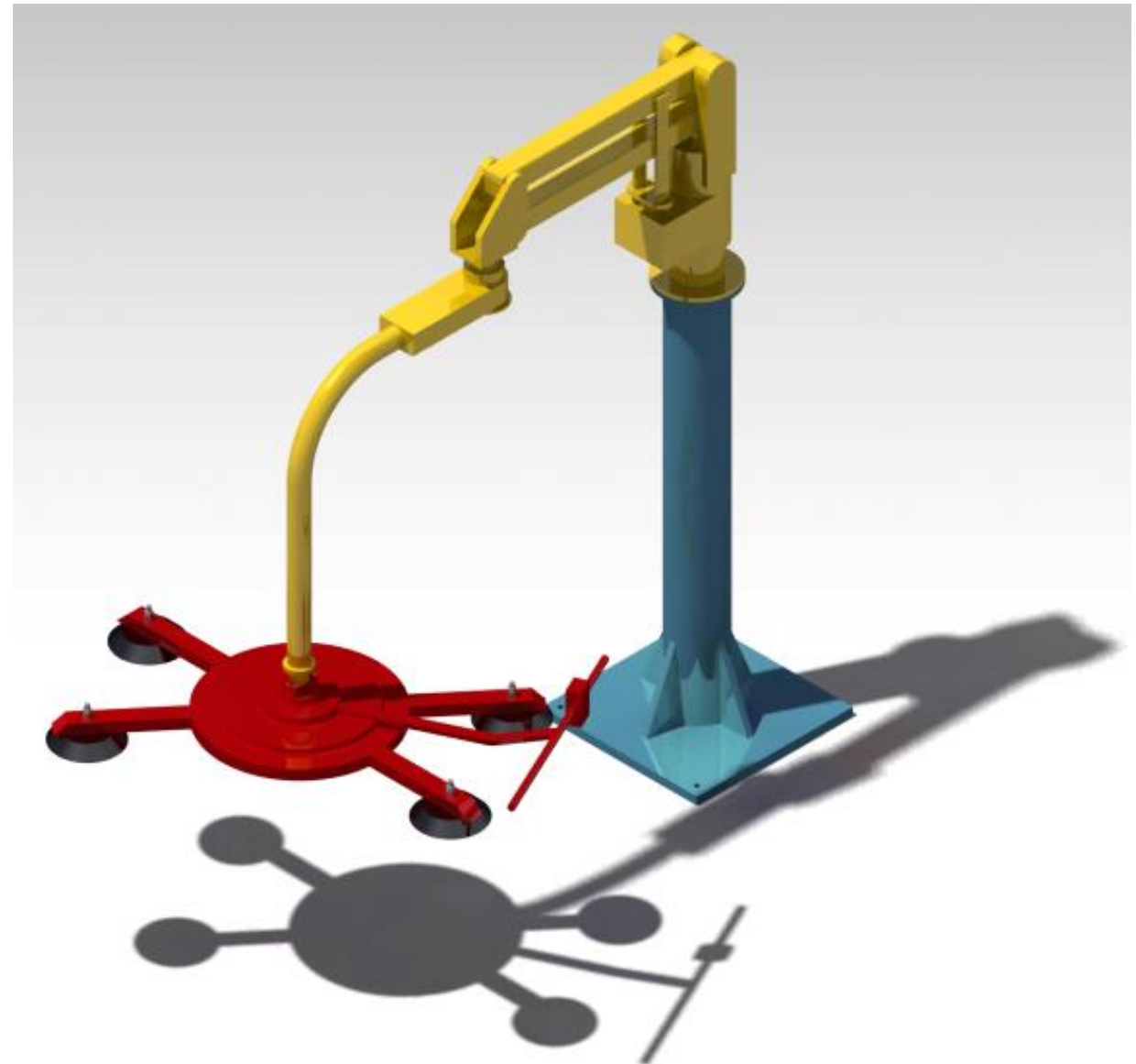
## Caratteristiche del progetto

- Colonna fissata al pavimento (costo ridotto); si può facilmente fissare su un basamento autostabile o resa scorrevole su vie di corsa.
- Struttura a parallelogramma, per aumentare la rigidità del robot
- Controllo mediante manubrio di posizionamento e pulsantiera per il comando pneumatico ad aria compressa



## Risultato

- Il manipolatore progettato si compone di 9 componenti opportunamente assemblati
- Il progetto è stato realizzato secondo un approccio *bottom-up*

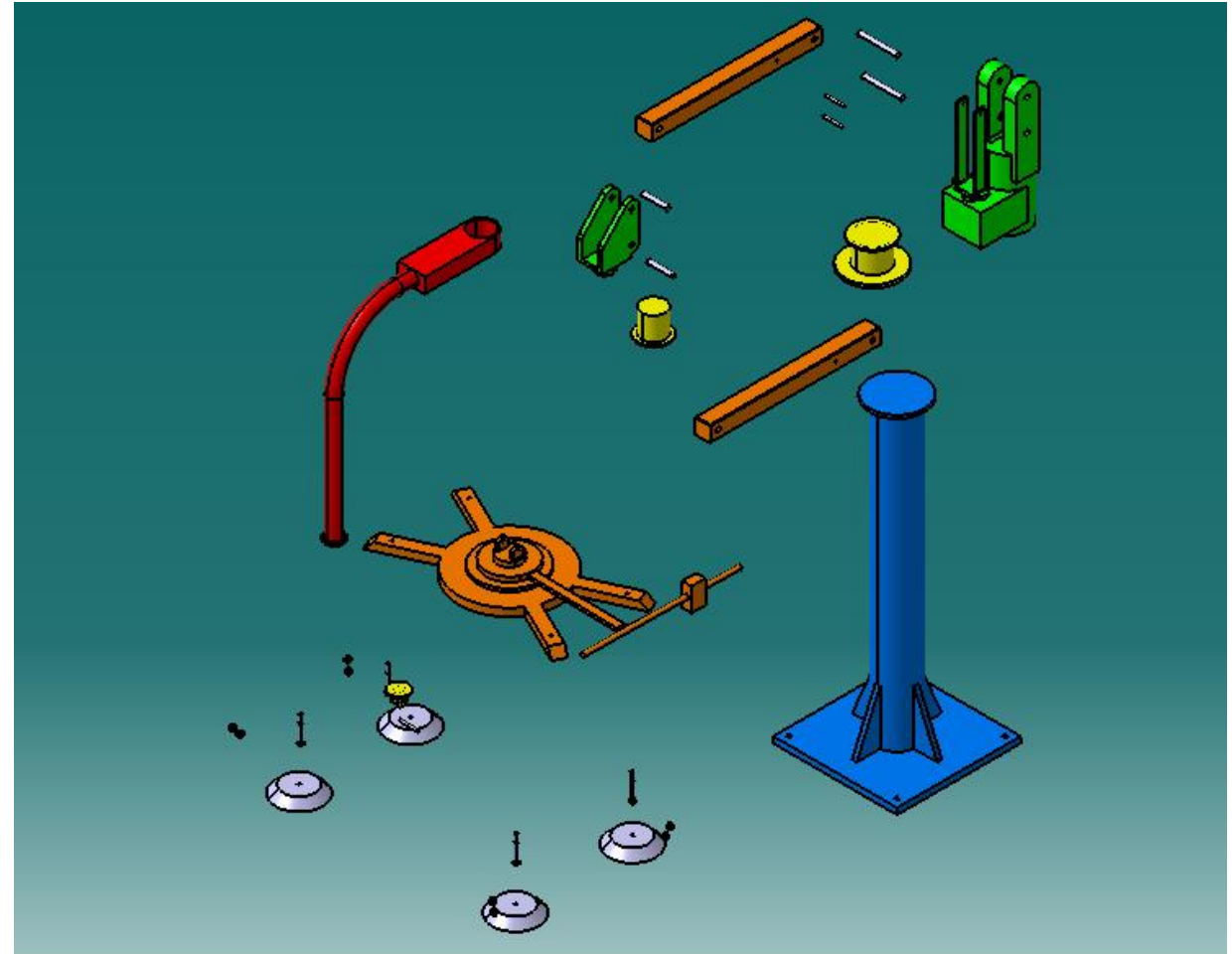






## Risultato

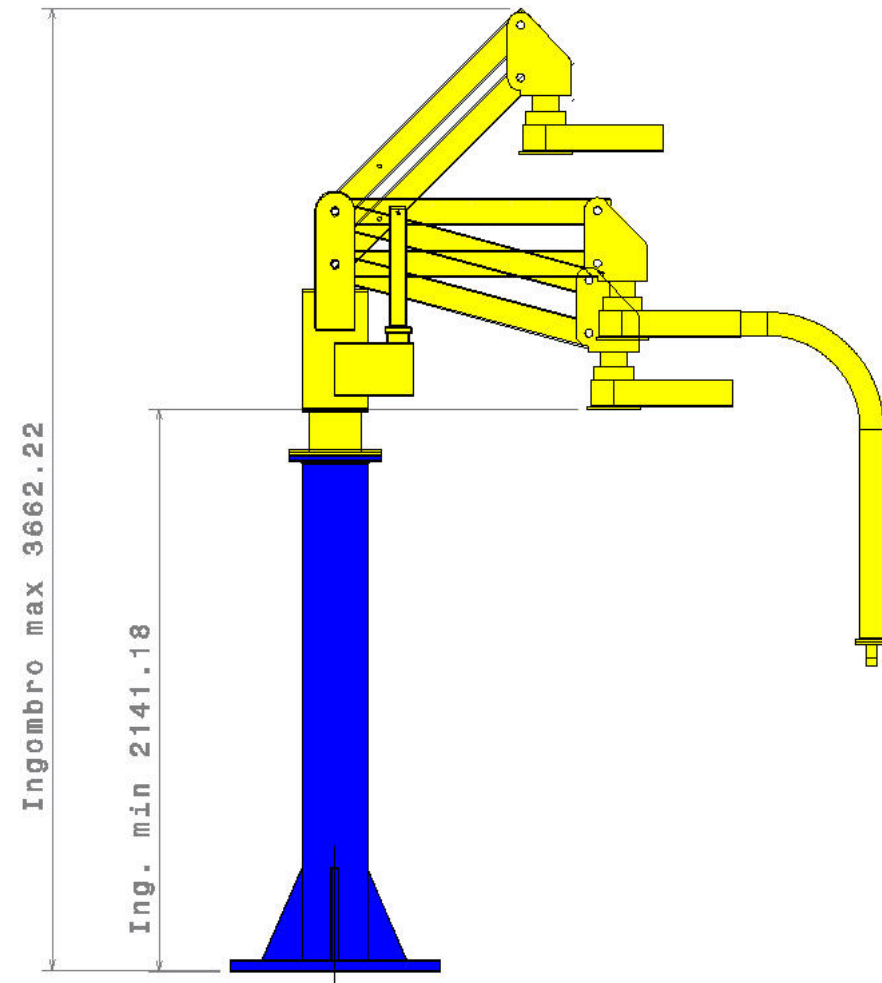
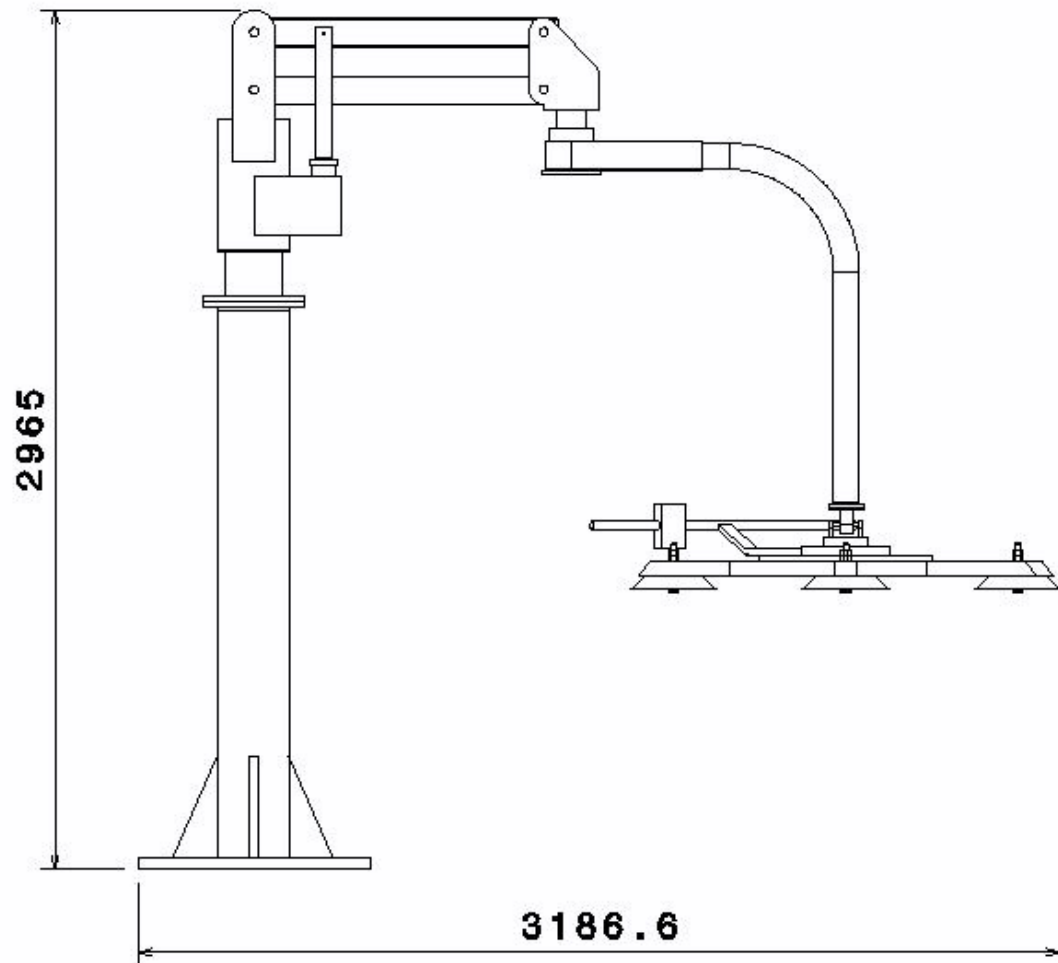
- Il manipolatore progettato si compone di 9 componenti opportunamente assemblati
- Il progetto è stato realizzato secondo un approccio *bottom-up*







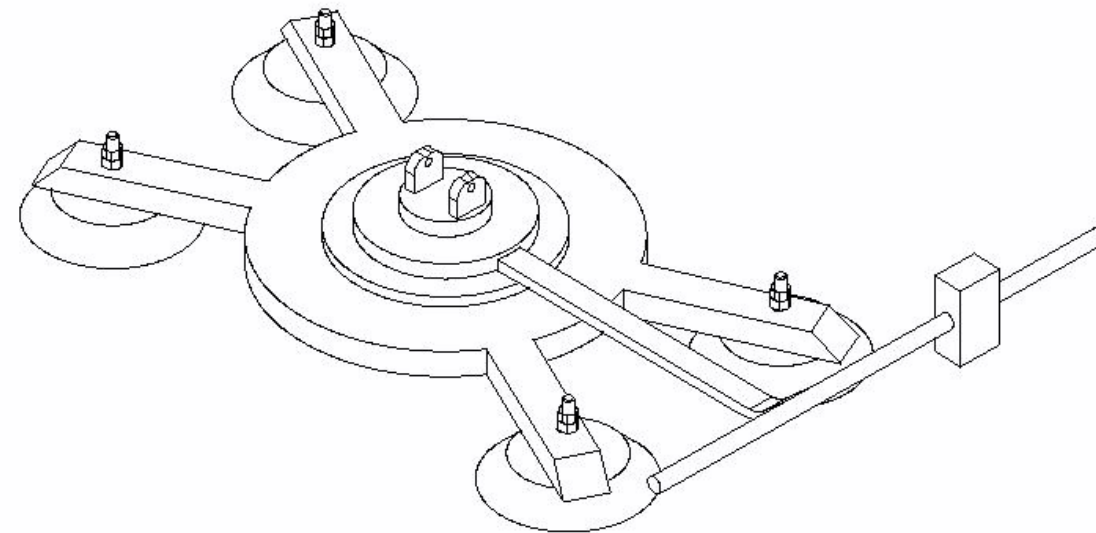
## Dati di ingombro





## End effector

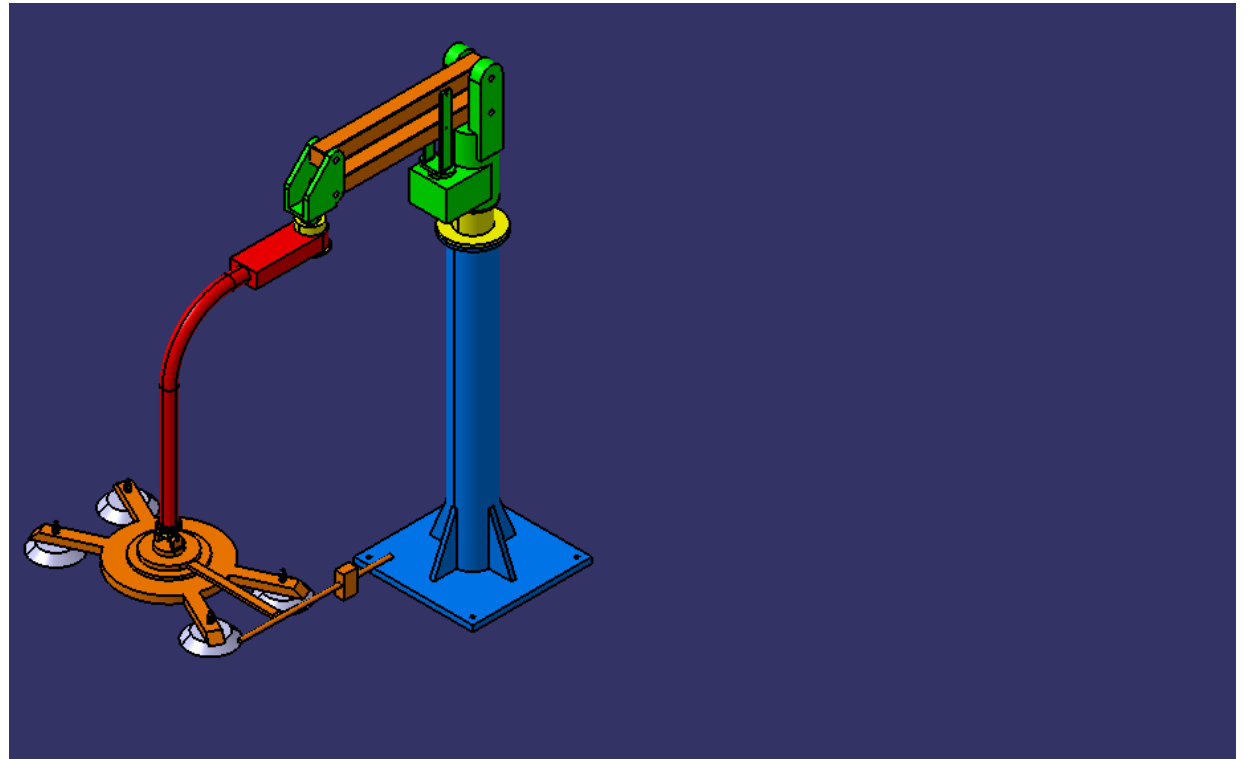
- L'end effector è costituito da un sistema di presa a ventose
- Un manubrio ne permette la movimentazione, ed una pulsantiera il controllo del sistema pneumatico
- E' previsto un meccanismo *dado-controdado* per prevenire lo svitamento spontaneo delle ventose





## Simulazione cinematica

- Il manipolatore è dotato di 5 gradi di libertà
- E' stato possibile simulare il meccanismo solo parzialmente, a causa della difficoltà di gestire il quadrilatero articolato in ambiente *Kinematics*.





## Analisi strutturale

- L'analisi strutturale è stata condotta a partire dalle specifiche sul vetro
- A causa dei limiti imposti dalla licenza di CATIA utilizzata, si è simulato l'intero robot come un'unica parte di un unico materiale
- In particolare, si è studiato il comportamento dell'acciaio e dell'alluminio



# Analisi strutturale

- Preprocessing
  - Definizione della mesh
  - Scelta del materiale (acciaio o alluminio)
  - Impostazione dei vincoli (base fissata)
  - Applicazione dei carichi (peso del carico)
    - In particolare, è stato applicato un carico di 700N (circa 70 kg) sulle superfici di contatto tra il manipolatore ed il vetro
- Compilazione dell'analisi e calcolo dei risultati
- Postprocessing
  - Visualizzazione dei risultati (sforzi e deformazioni)
  - Confronto con valori assimilabili

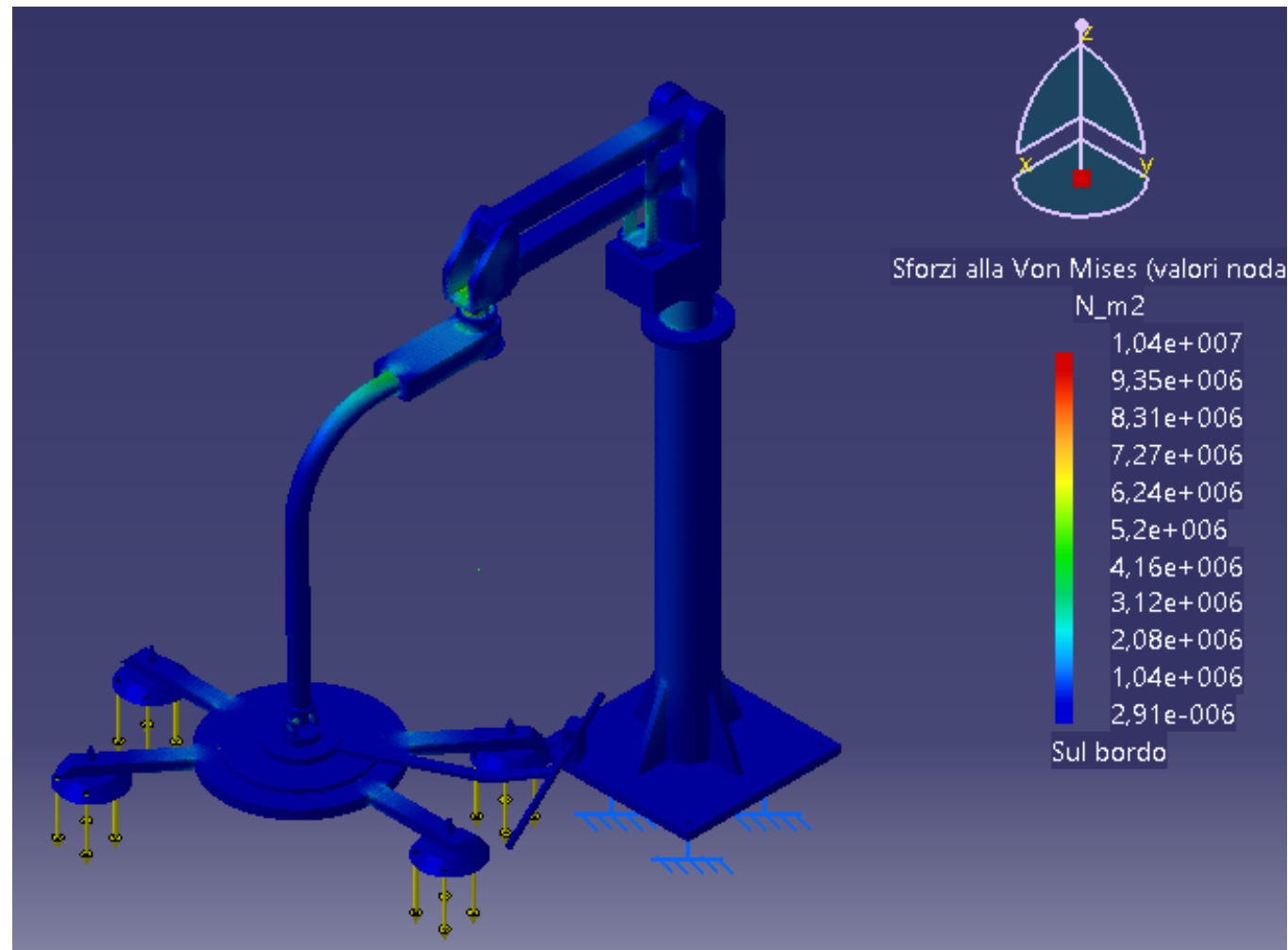


## Analisi strutturale: acciaio

- La tensione massima accettabile per l'acciaio è:

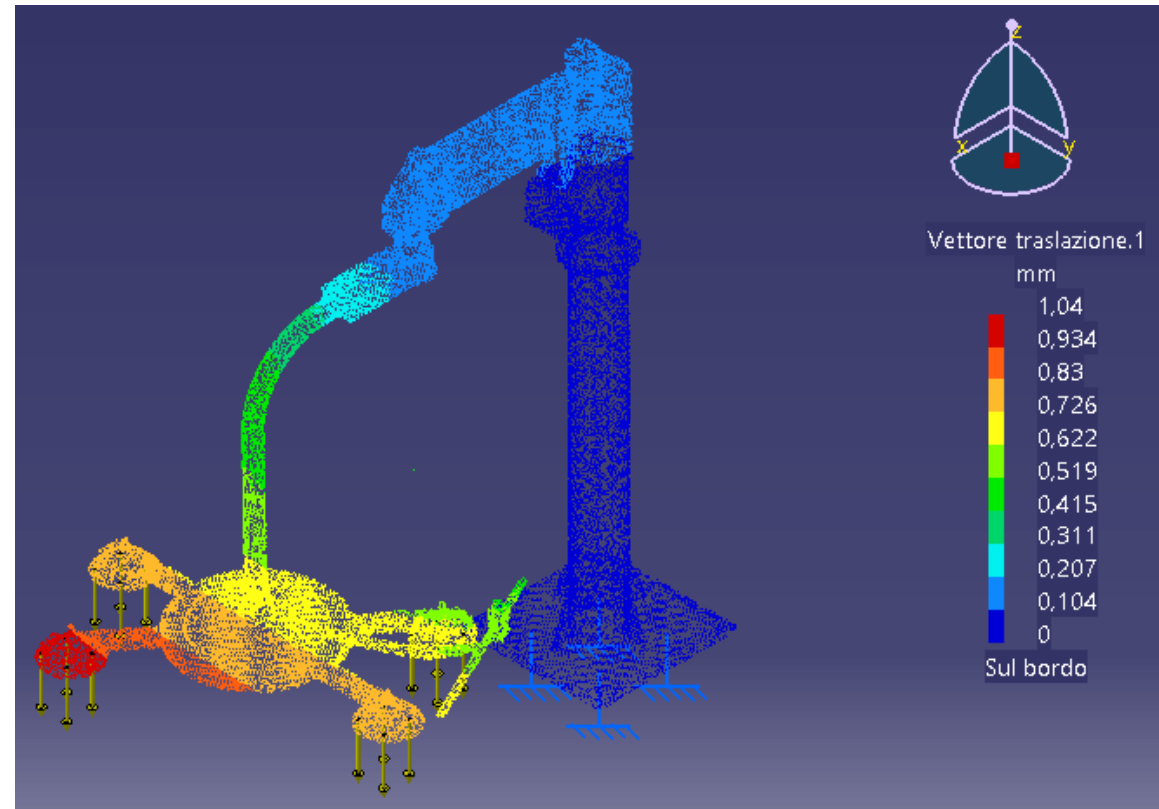
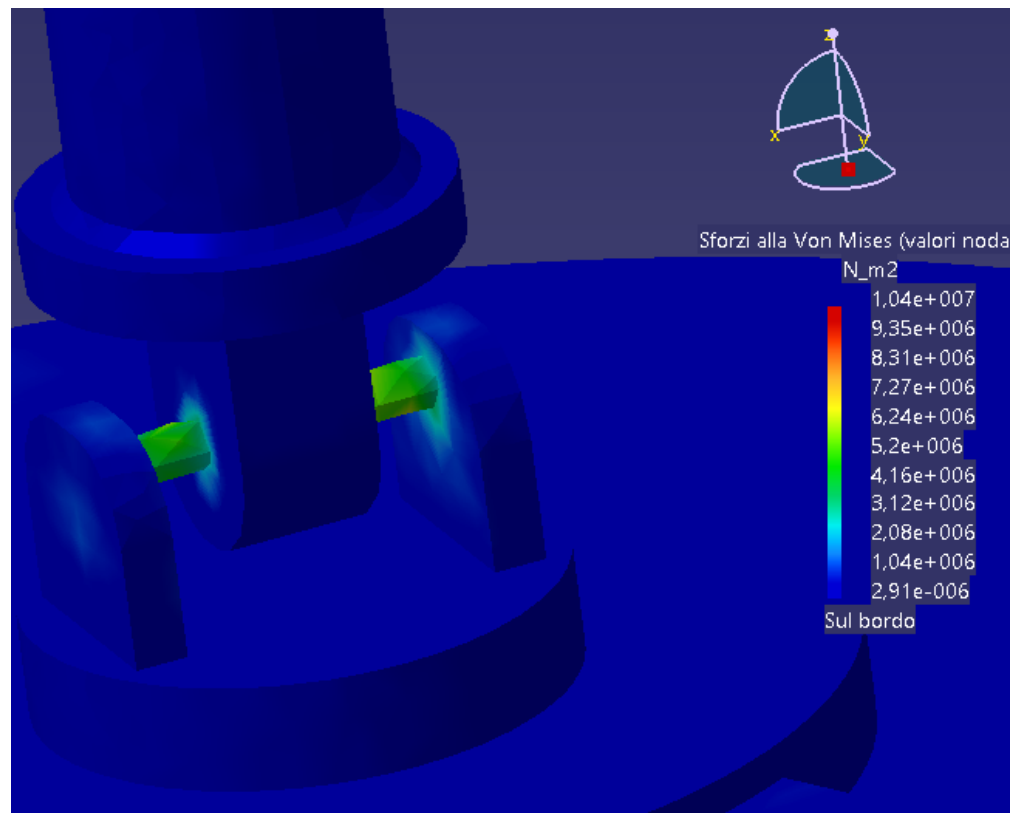
$$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{1,5} \approx 1,3 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$$

Proprietà strutturali	
Modulo di Young	2e+011N_m2
Modulo di Poisson	0,266
Densità	7860kg_m3
Coefficiente di dilatazione termica	1,17e-005_Kdeg
Limite di proporzionalità	2,5e+008N_m2





## Analisi strutturale: acciaio



Sia gli sforzi alla Von Mises sia le deformazioni (nell'ordine del millimetro) sono risultati ampiamente accettabili.



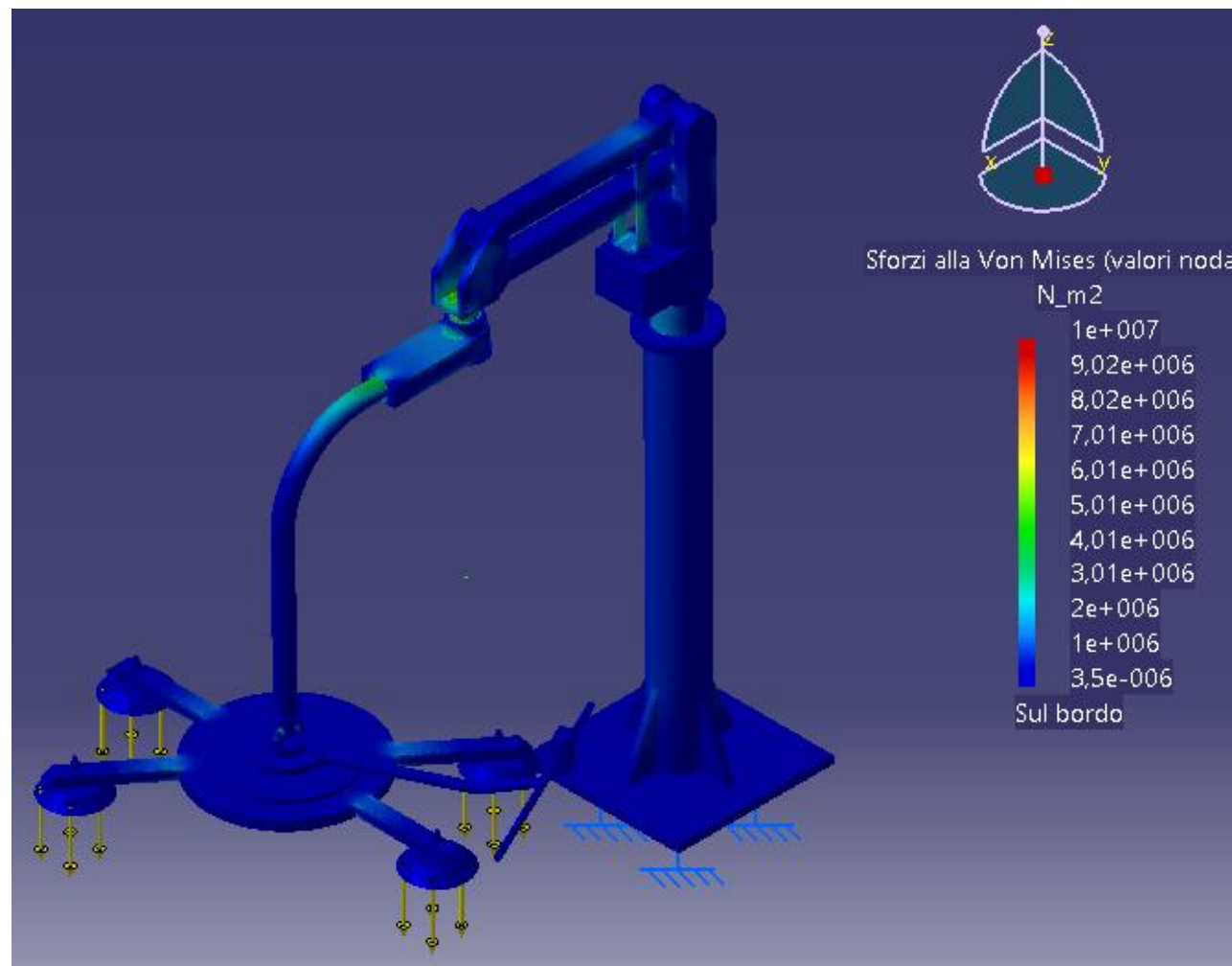


## Analisi strutturale: alluminio

- La tensione massima accettabile per l'alluminio è:

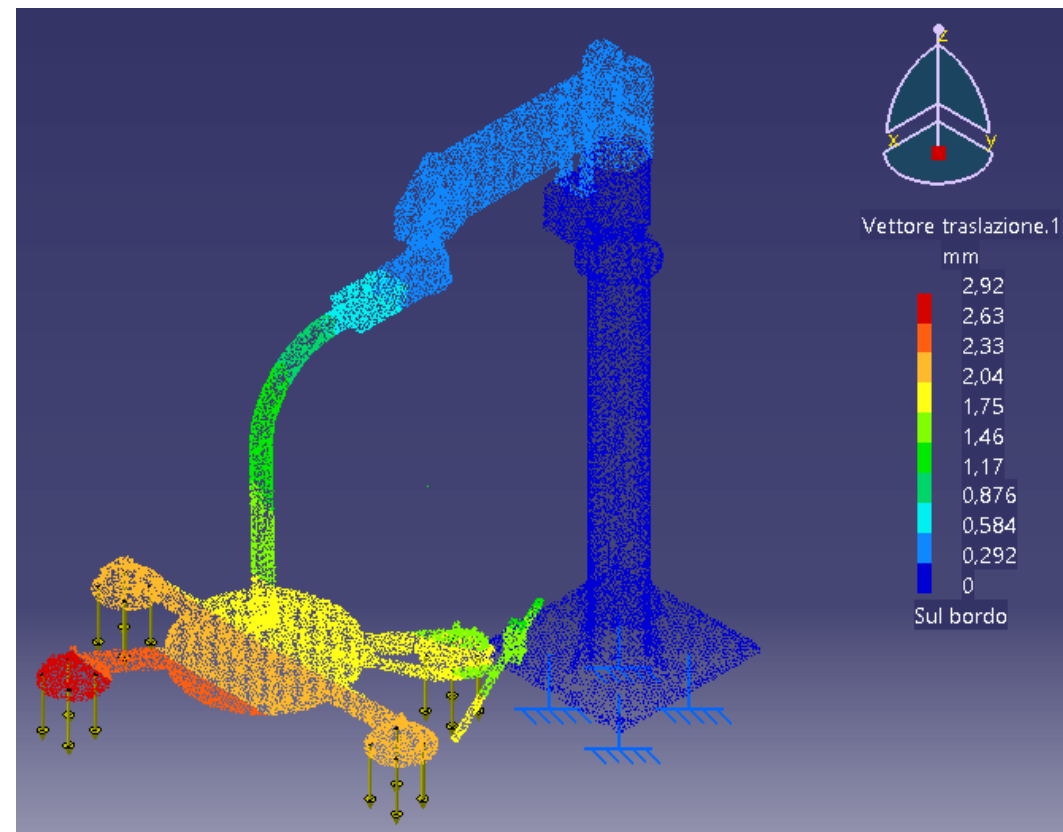
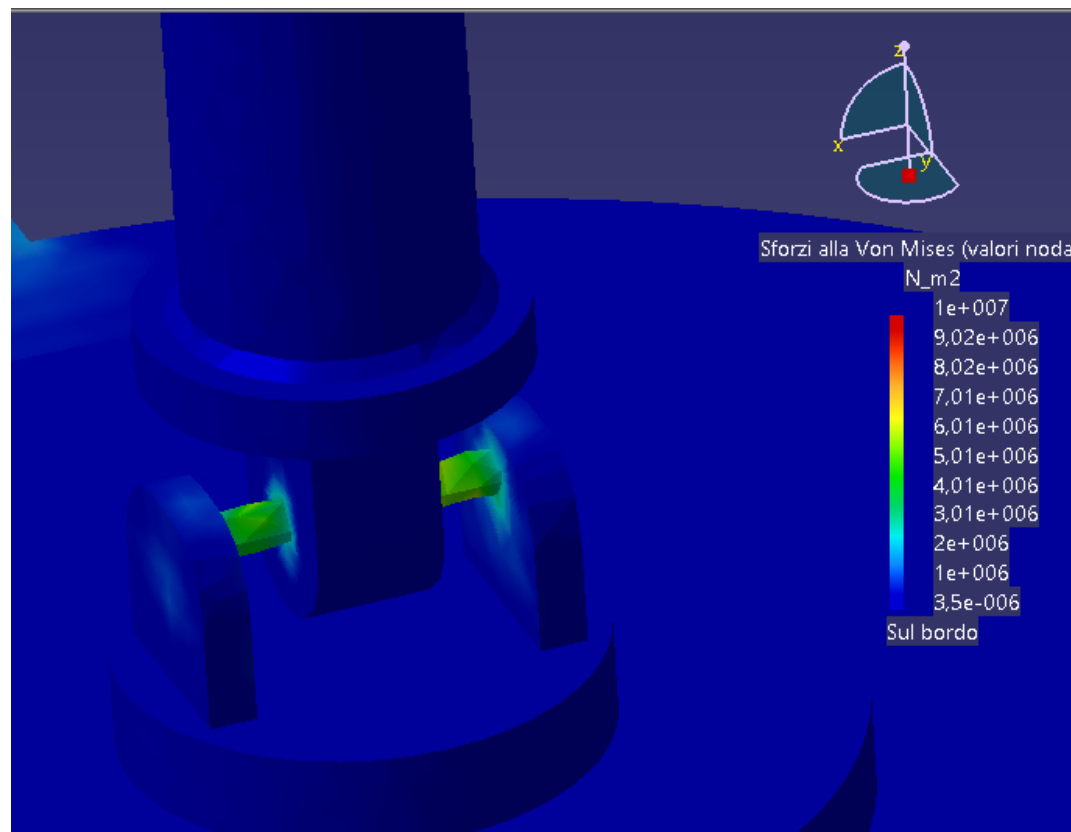
$$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{1,5} \approx 4,6 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

Proprietà strutturali	
Modulo di Young	7e+010N_m2
Modulo di Poisson	0,346
Densità	2710kg_m3
Coefficiente di dilatazione termica	2,36e-005_Kdeg
Limite di proporzionalità	9,5e+007N_m2





## Analisi strutturale: alluminio

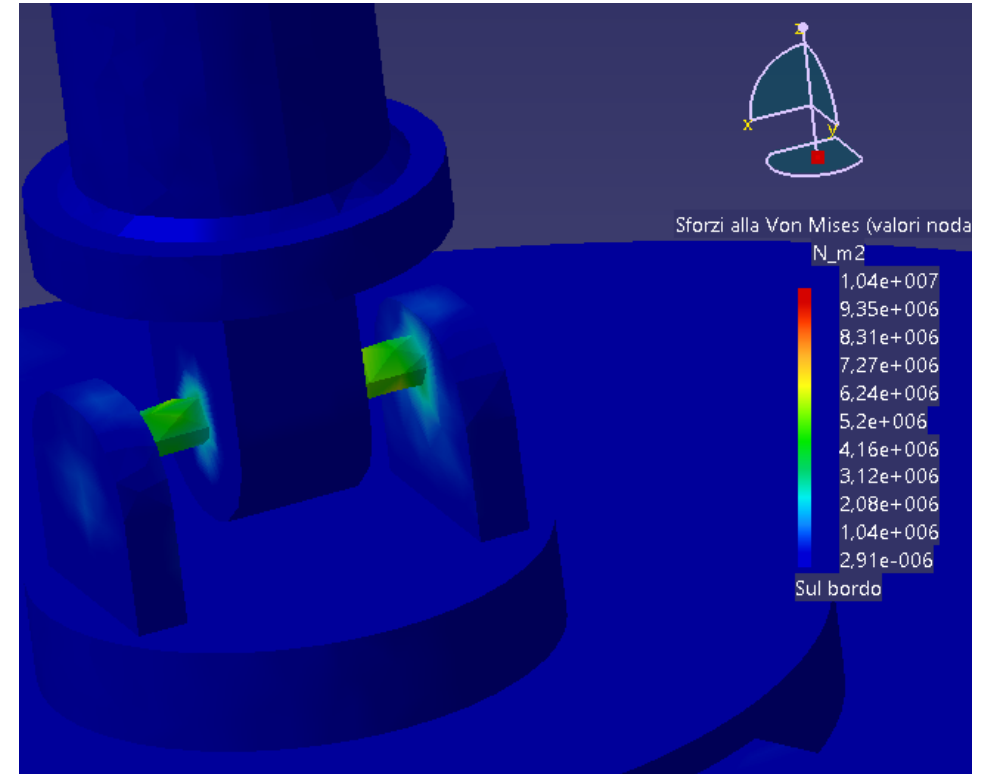


Gli sforzi alla Von Mises sono ampiamente accettabili; la massima deformazione è di circa 3mm, più ampia del caso precedente, e va quindi valutata più nel dettaglio.



## Possibili miglioramenti del prototipo

- In entrambi i casi, sul giunto rotazionale del polso è applicato un grosso sforzo
- Una simulazione più accurata può essere realizzata con una licenza più ampia, che permetta di impostare materiali diversi per i singoli componenti





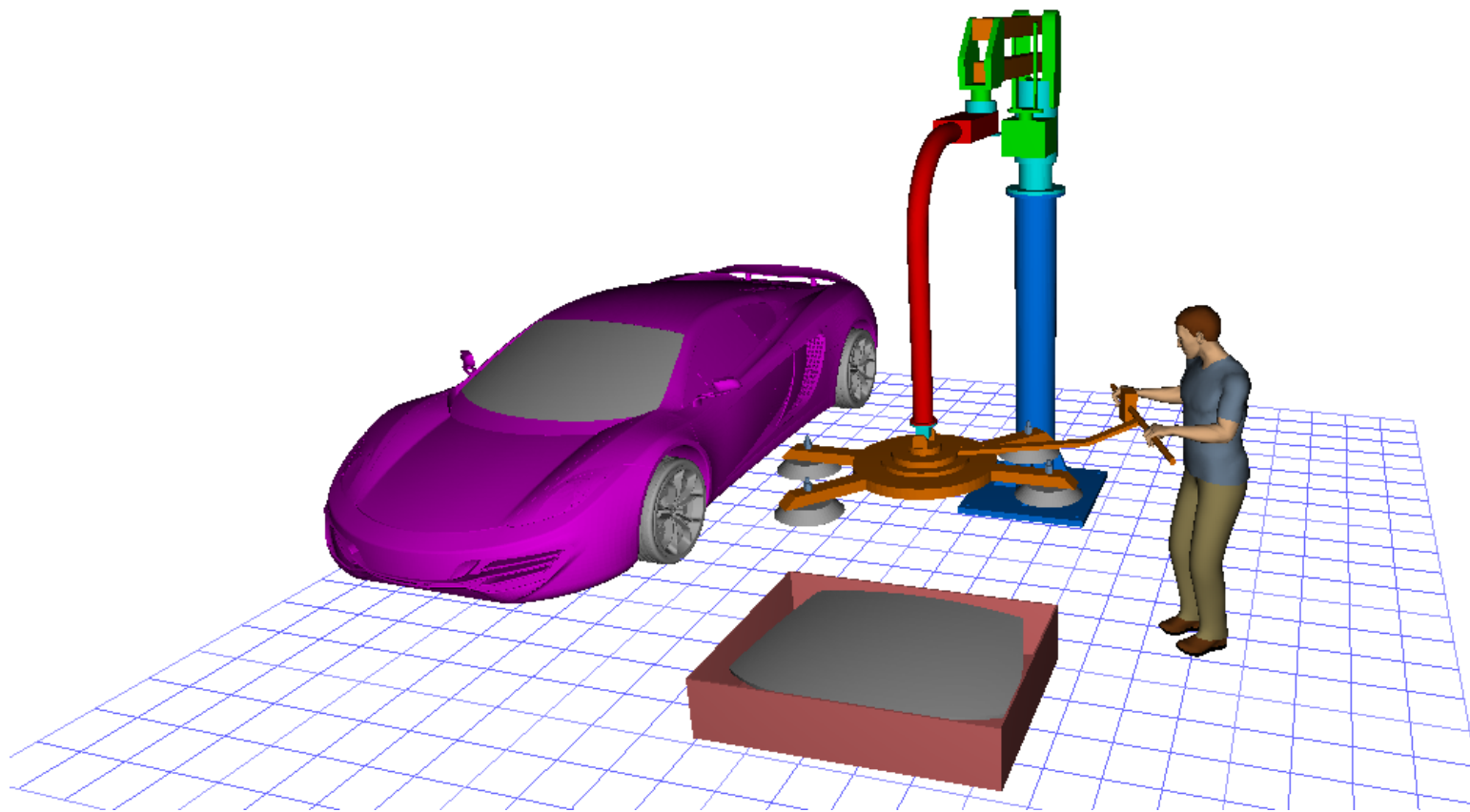
## Analisi ergonomica

- L'analisi della postura dell'operatore e dei carichi gravanti sulla sua colonna vertebrale è stata realizzata tramite il software *Jack* della *Siemens*.
- Sono state considerate tre posture, assunte in particolare:
  - durante la movimentazione
  - durante la raccolta del vetro
  - durante il montaggio del vetro



# Analisi ergonomica – postura n°1

- Questa è chiaramente la posizione più comoda per l'operatore

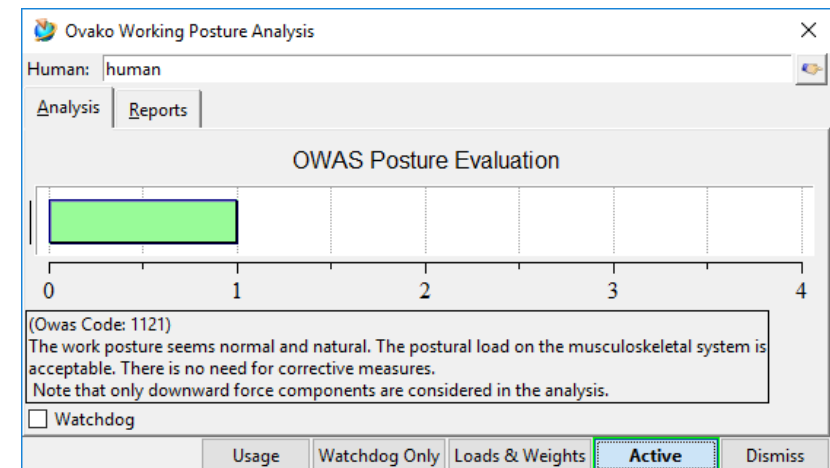
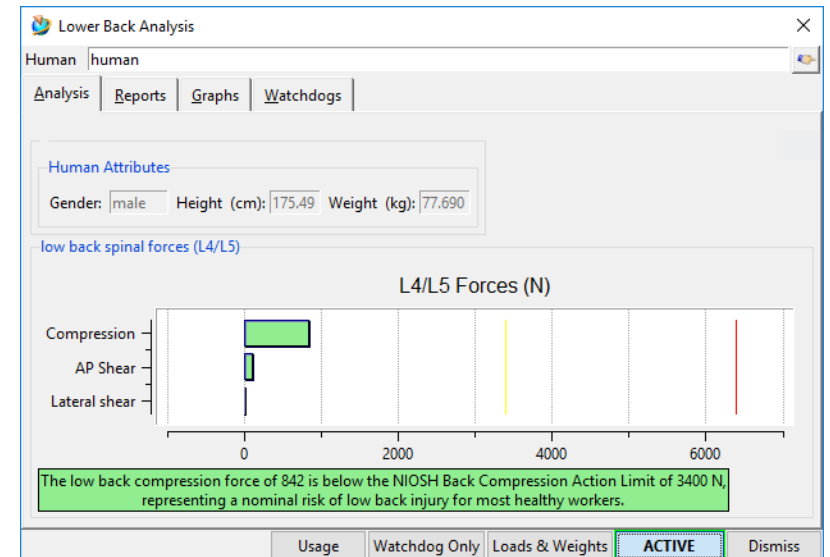


computation: 0ms  
graphics : 5ms  
ui/other : 13485ms  
13490ms, 0.11/sec



# Analisi ergonomica – postura n°1

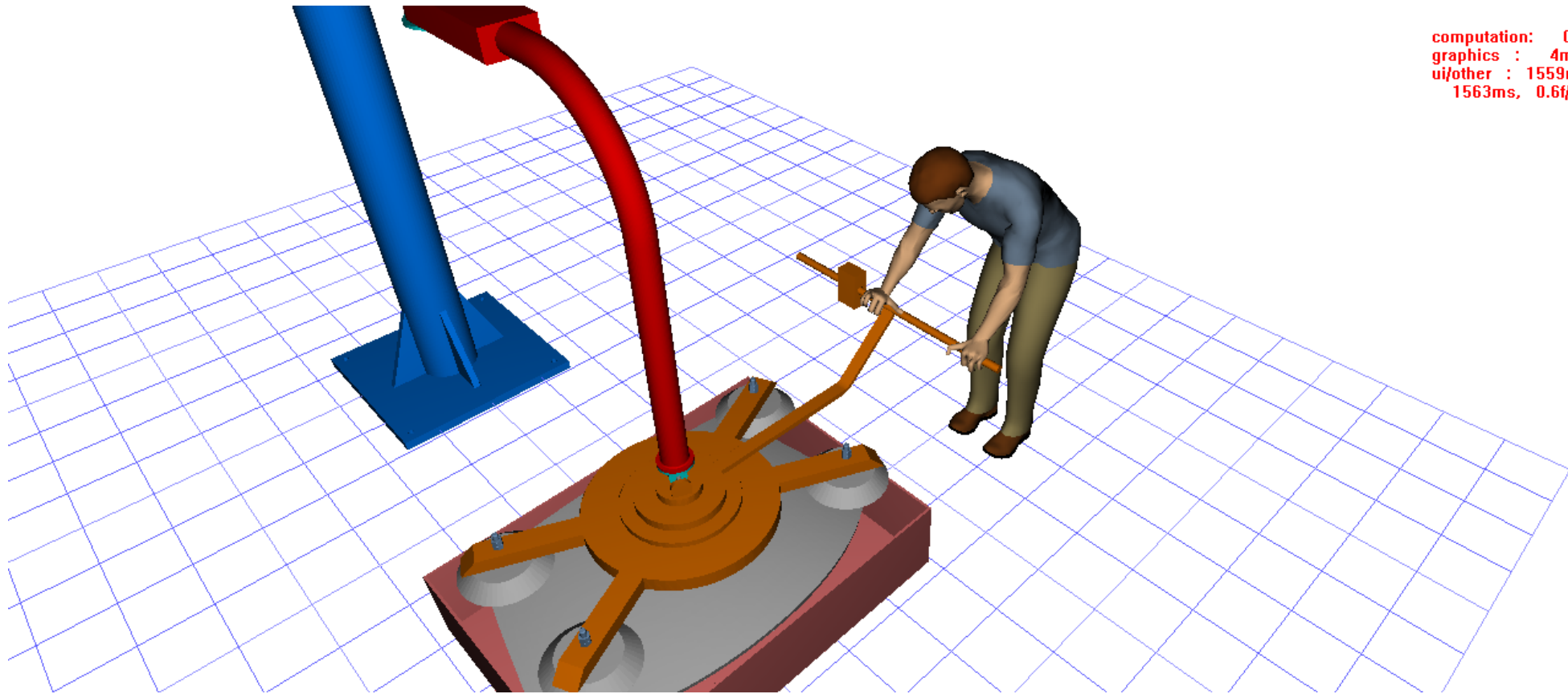
- Sono state effettuate le analisi:
  - *Lower Back Analysis*, che studia i carichi agenti sulla colonna vertebrale
  - *Ovako*, che attribuisce un punteggio alla postura in ordine crescente di pericolo
- La postura n°1 soddisfa ampiamente i vincoli imposti dalle normative in entrambe le analisi





## Analisi ergonomica – postura n°2

- Questa è la postura più gravosa per l'operatore



computation: 0ms  
graphics : 4ms  
ui/other : 1559ms  
1563ms, 0.6t/sec



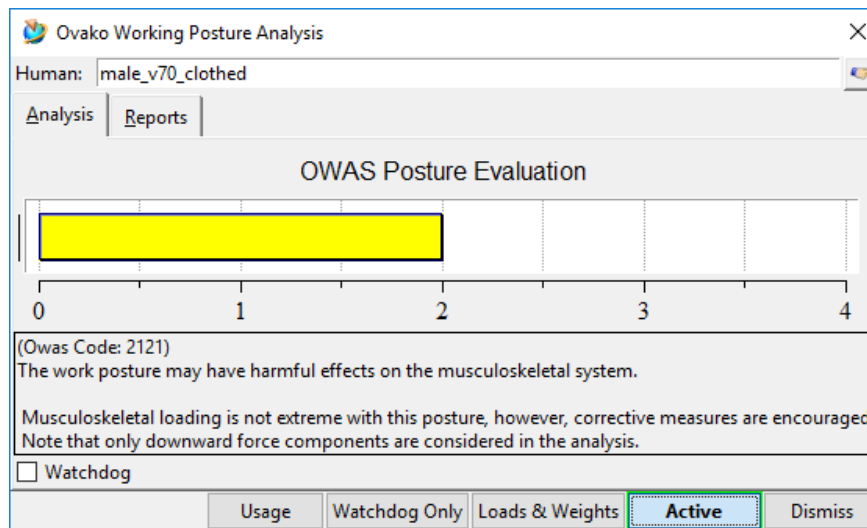
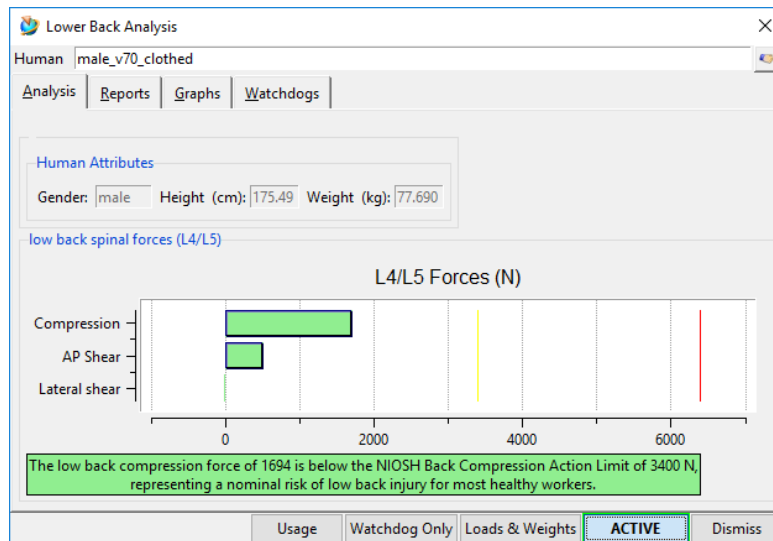


## Analisi ergonomica – postura n°2

- Alle analisi precedenti si è aggiunta la *Rapid Upper Limb Assessment*, che verifica i carichi sulle articolazioni
- La postura n°2 è più gravosa della precedente, ma ancora accettabile
- Rispetto al progetto iniziale, è stato reso più alto il manubrio dell'end effector per diminuire il carico sulla colonna vertebrale dell'operatore



## Analisi ergonomica – postura n°2



**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: 4  
Lower arm: 3  
Wrist: 2  
Wrist Twist: 2  
Total: 5

Body Group B Posture Rating

Neck: 1  
Trunk: 3  
Total: 3

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

Legs and Feet Rating

Standing, weight even. Room for weight changes.

**Grand Score: 4**

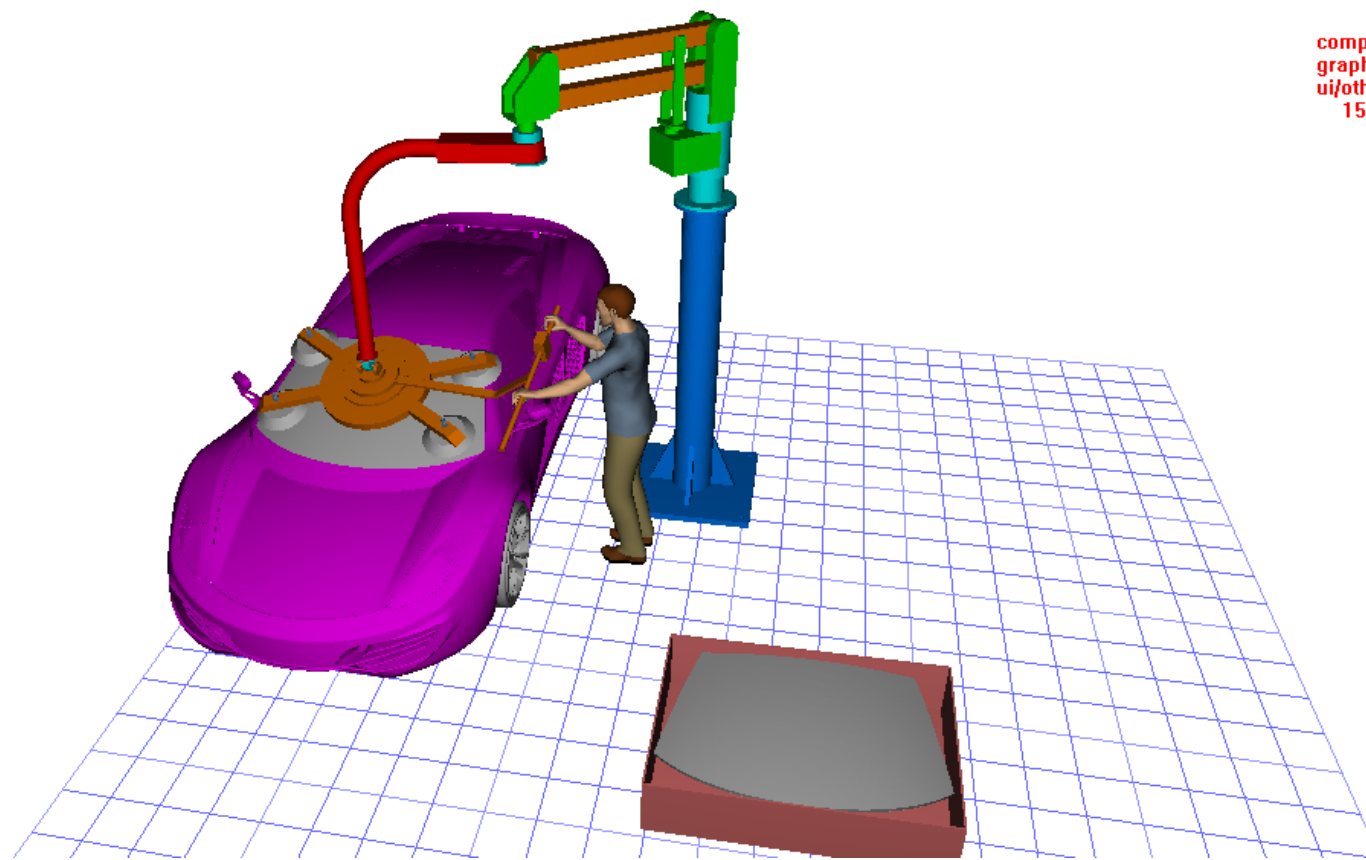
Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Update Analysis

Usage | Dismiss



## Analisi ergonomica – postura n°3

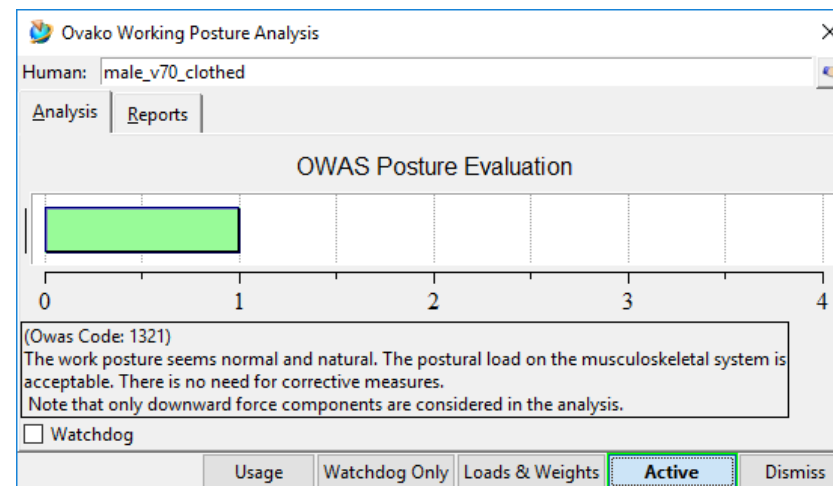
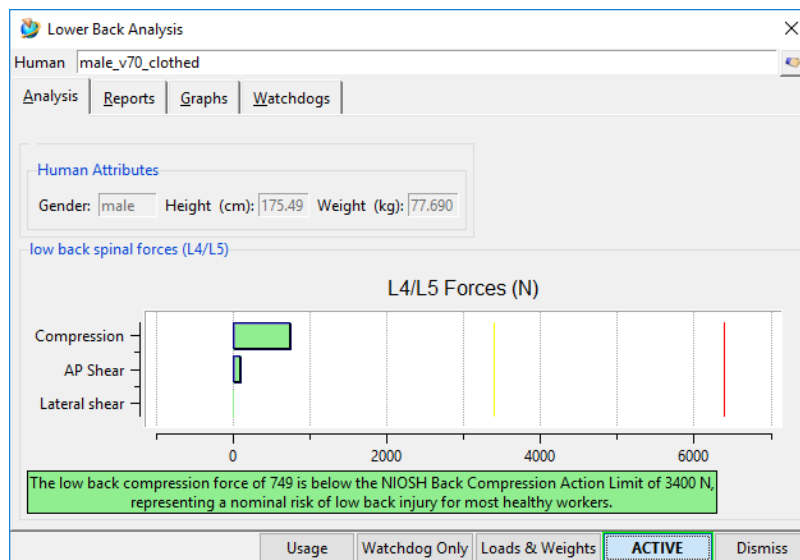


computation: 0ms  
graphics : 7ms  
ui/other : 1551ms  
1558ms, 0.6t/sec



# Analisi ergonomica – postura n°3

- La Ovako fornisce risultati migliori del caso precedente
- I risultati della *RULA* sono accettabili, ma migliorabili



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: 3 Lower arm: 3 Wrist: 3 Wrist Twist: 2 Total: 5

Body Group B Posture Rating

Neck: 1 Trunk: 1 Total: 1

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

Legs and Feet Rating

Standing, weight even. Room for weight changes.

**Grand Score: 4**  
Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Update Analysis

Usage Dismiss



# Conclusioni

- Il progetto risultante soddisfa tutte le specifiche assegnate
- Criticità e possibili miglioramenti
  - Analisi strutturale più precisa, considerando diversi materiali
  - Progetto del polso tale da distribuire meglio i carichi
  - Miglioramento dell'ergonomia