

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale  
«Progettazione del carro per il sistema di  
profilatura incrementale flessibile: sistemi di  
fissaggio e guide»***

Tutor universitario: Prof. Andrea Ghiotti

Laureando: *Luca Andreola 2000085*

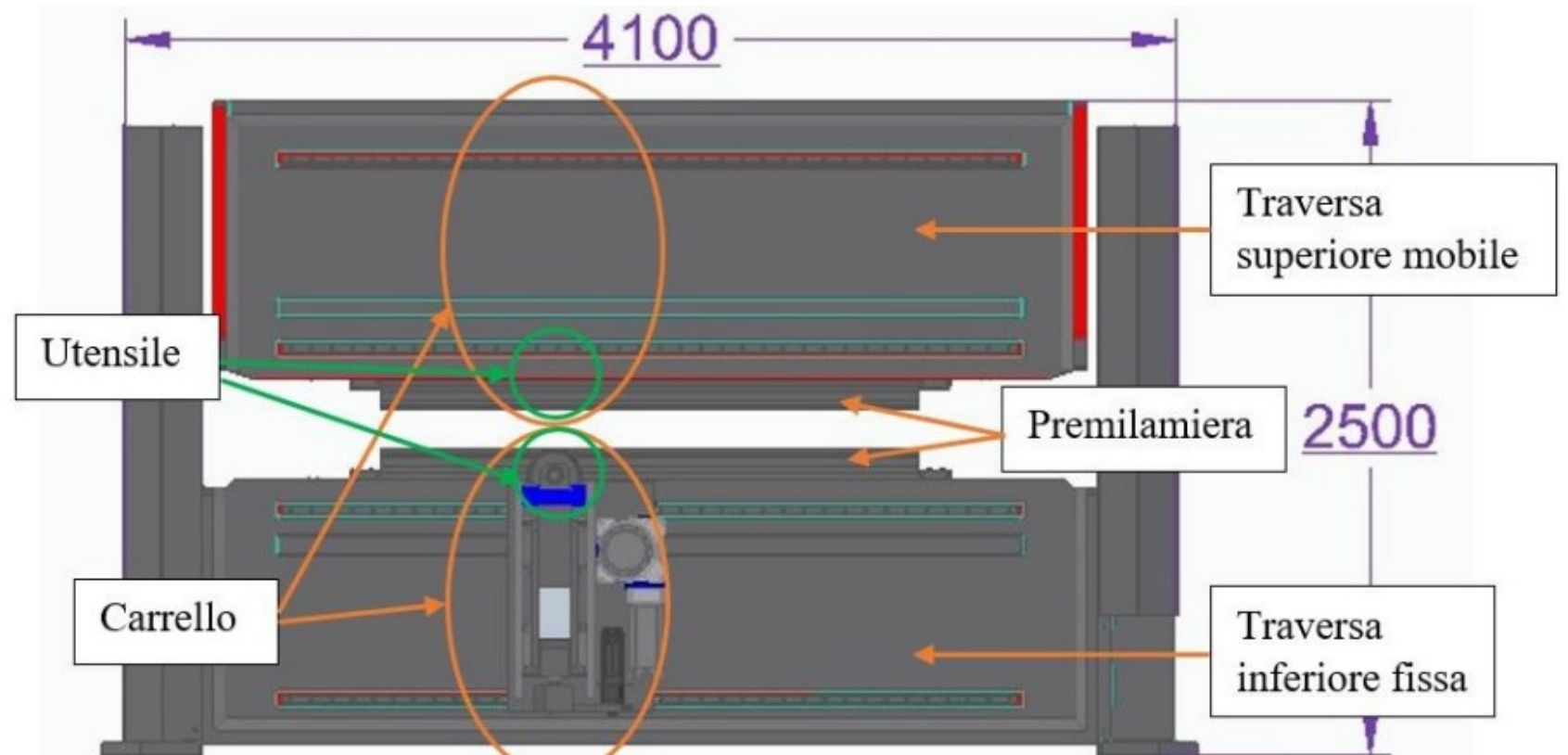
Padova, 07/03/2024

## Macchinario:

La macchina è un prototipo di piegatrice di lamiera incrementale, impiegata per la formatura di profilati metallici

## Componenti principali piegatrice:

- traversa superiore mobile.
- traversa inferiore fissa.
- premilamiera.
- carrello superiore e inferiore.
- utensili.
- console di comando.

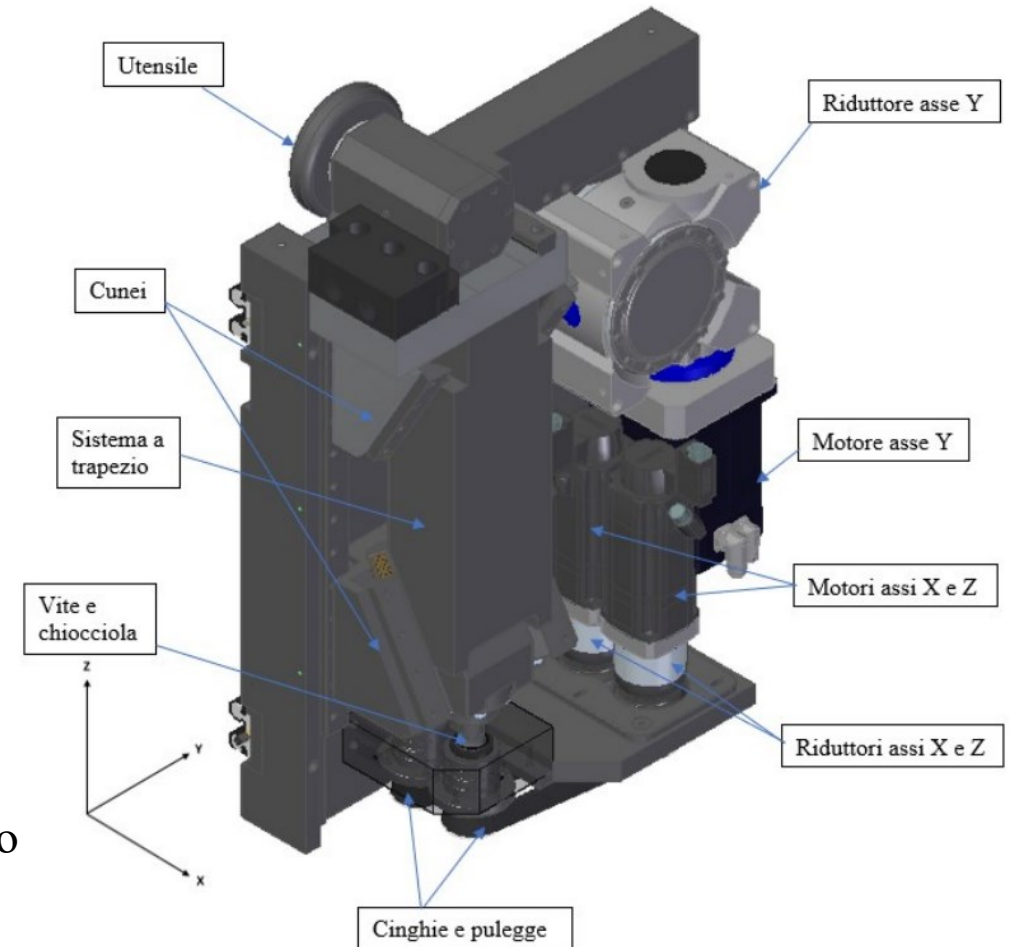


## Problematiche dovute alla configurazione del carrello:

-**problema di rigidità**: durante il processo di piegatura si presentano difetti a causa della **poca rigidità** del sistema di movimentazione dell'utensile, in particolar modo dovuto all'utilizzo di cunei per lo spostamento sia lungo X sia lungo Z.

-**piegatura di lamiere spesse**: durante il processo di piega di profilati con spessori rilevanti, i carichi in X e Z aumentano considerevolmente e a causa della configurazione del carrello i carichi non sono sostenibili.

-**difetti di piega**: durante il processo piegatura l'utensile rimane fisso ad un angolo di  $0^\circ$ , ciò comporta che, in pieghe con angoli rilevanti si creino strisce sulla lamiera; inoltre si formano anche difetti superficiali a causa dello strisciamento della lamiera sulla parete del rullo

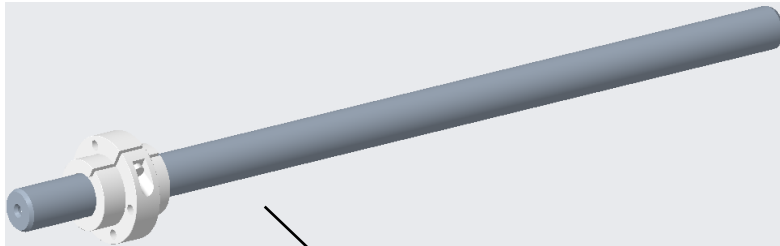


Rappresentazione carrello

### Cambio di movimentazione:

una soluzione per migliorare la rigidità del sistema è cambiare il sistema di movimentazione:

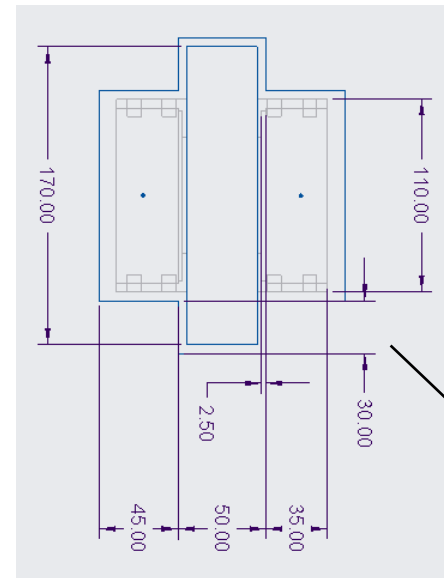
- asse X**: utilizzo di una vite a ricircolo di sfere e pattini a rulli.
- asse Y**: rimane invariata, pattini e cremagliera di supporto.
- asse Z**: utilizzo di una vite a ricircolo di sfere e di guide prismatiche.



vite a ricircolo di sfere

### Configurazione utensile:

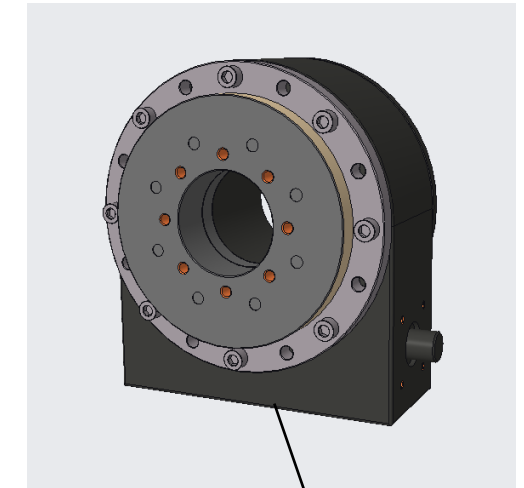
utilizzo dell'utensile a singolo **ruolo centrale**, con cuscinetti e cassa laterali : permette una diminuzione delle dimensioni, del peso e rende ancora più agevole la movimentazione del carrello.



utensile

### Sistema di rotazione utensile:

attraverso l'utilizzo di un **giunto cilindrico**, posizionato tra la base della cassa dell'utensile e la movimentazione lungo X, permette la rotazione dell'utensile comportando una maggiore flessibilità e permettendo di diminuire i difetti di piega.



Giunto cilindrico

**Sistema di fissaggio:** Durante il processo di piegatura l'utensile è soggetto ad elevati carichi lungo le tre direzioni:  $F_x=84000\text{N}$ ;  $F_y=15000\text{N}$ ;  $F_z=-80000\text{N}$ . Queste forze permettono di piegare al massimo 5 mm di acciaio INOX. Dunque è necessario un sistema di fissaggio molto resistente che colleghi la cassa dell'utensile alla base.

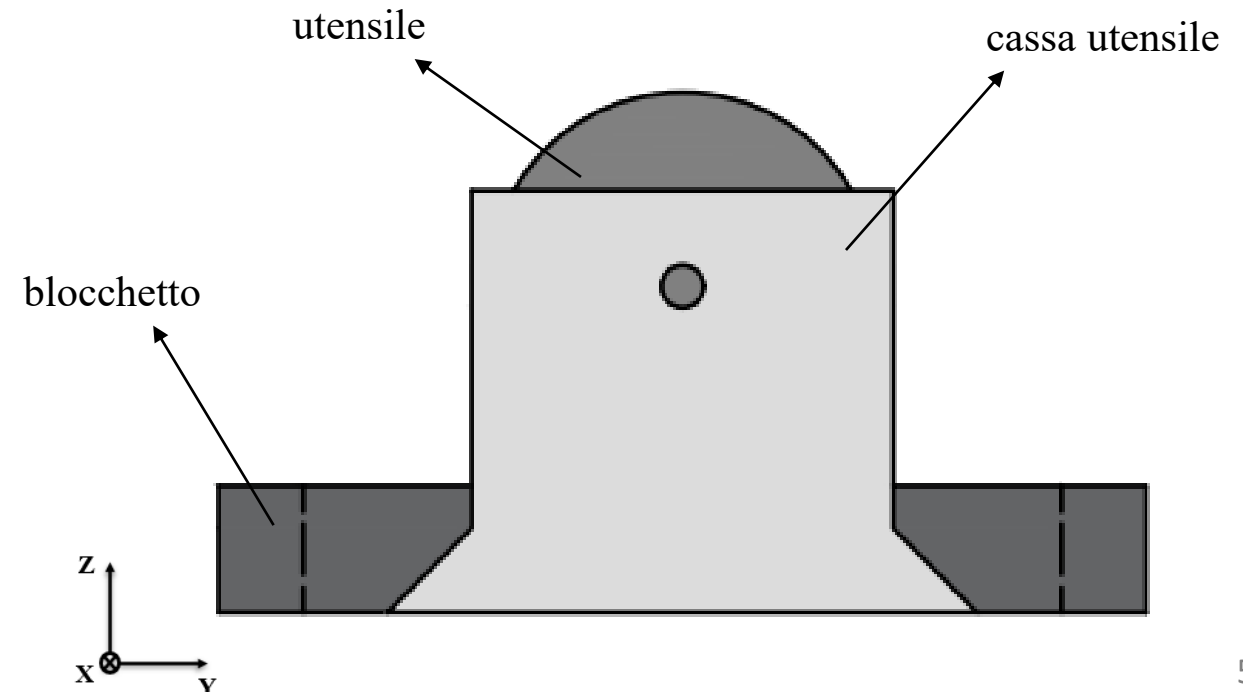
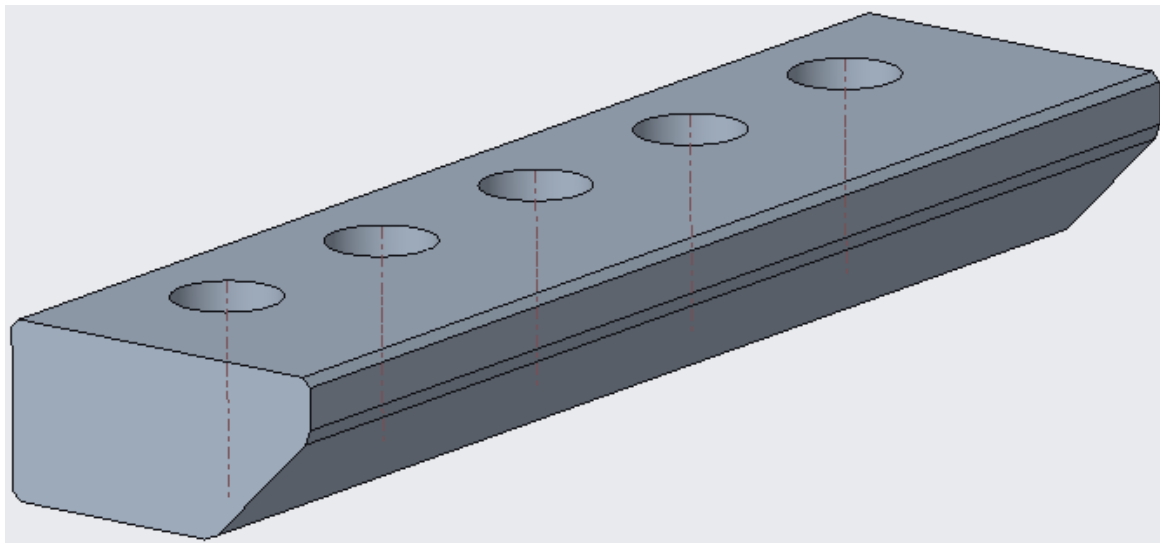
## Ipotesi:

-la prima ipotesi consisteva nel fissare direttamente la cassa alla base con viti.

-la seconda, invece, consisteva nell'appoggiare un blocchetto per lato alla parte inferiore della cassa e poi fissare i blocchetti alla base.

**Scelta:** è stato deciso di optare per la **seconda ipotesi**. La scelta è stata effettuata per evitare che la base della cassa risulti troppo allungata a causa dell'elevato momento ribaltante che si crea per le forze in gioco. In questo modo la base rimane stretta e il momento ribaltante viene contenuto adeguatamente, grazie all'allungamento dei blocchetti.

## Blocchetto e configurazione:



## Verifica unione bullonata:

-forza agente massima che provoca momento ribaltante:  $F=90000 \text{ N}$ ;  $\sigma_{b,amm}=467 \text{ MPa}$ ;  $A_{resM12}=84 \text{ mm}^2$

-distanza tra il punto di applicazione di  $F$  e la base dell'unione bullonata:  $L=320 \text{ mm}$ .

-consideriamo di realizzare l'unione bullonata con due blocchetti, che realizzano due file di viti e in ogni fila ci sono 5 viti

di classe di resistenza 10.9:  $N = \frac{90000 \cdot 320}{2 \cdot (30^2 + 70^2 + 110^2 + 150^2 + 190^2)} \cdot 190 = 35765 \text{ N}$ ;  $V = \frac{90000}{5 \cdot 2} = 9000 \text{ N}$ ;  $A_{min} = \frac{35765}{467} =$

$76.60 \text{ mm}^2$ ; dunque  $A_{resM12} > A_{min}$ . Dunque l'unione bullonata sarà composta da: **2 file da 5 viti M12 di classe di resistenza 10.9.**

- **Verifica a resistenza della vite:**  $\sigma_{b,amm}=467 \text{ MPa}$ ;  $\tau_{b,amm}=330 \text{ MPa}$ ;  $\sigma = \frac{N}{A_{resM12}} = 424.26 \text{ MPa}$ ;  $\tau = \frac{V}{A_{resM12}} =$

$106.76 \text{ MPa}$ . dunque otteniamo:  $\left(\frac{424.26}{467}\right)^2 + \left(\frac{106.76}{330}\right)^2 = \mathbf{0.93 < 1, verificato}$ .

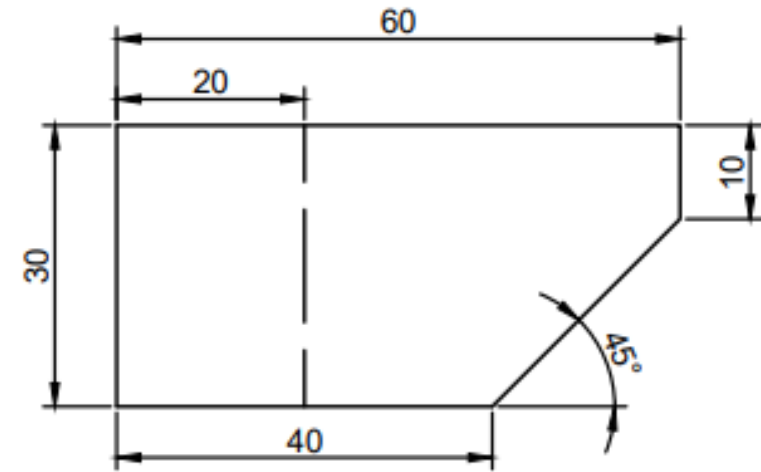
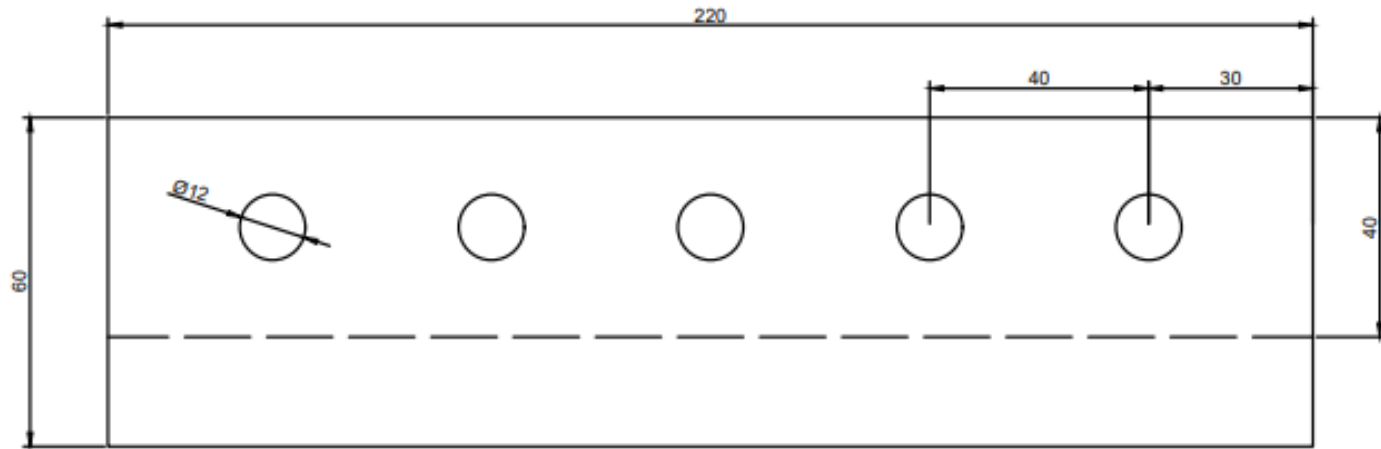
-**Verifica resistenza lamiera:** spessore  $t_p=30 \text{ mm}$ ; larghezza  $w=40 \text{ mm}$ ; numero diametri resistenti  $n=2$ ; diametro fori  $\phi=13$

$\text{mm}$ ;  $\sigma_{amm}=160 \text{ MPa}$  (materiale: Fe360). Verifica:  $\frac{F}{t_p \cdot (2 \cdot w - n \cdot \phi)} = \mathbf{55.55 \text{ MPa} < \sigma_{amm}, verificato}$ .

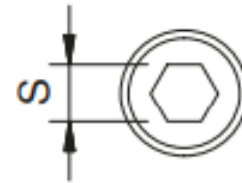
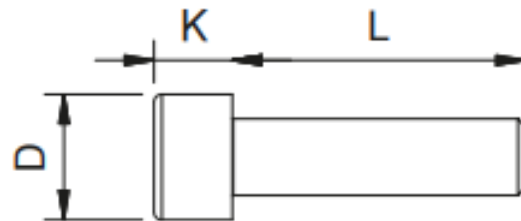
-**Verifica a rifollamento dei fori:**  $\alpha=2$ ;  $\alpha \cdot \sigma_{amm} = 320 \text{ MPa}$ ; diametro fori  $d=12 \text{ mm}$ .

Verifica:  $\sigma_{rif} = \frac{V}{d \cdot t_p} = \mathbf{25 \text{ MPa} < \alpha \sigma_{amm}, verificato}$ .

**Disegni blocchetto:**



**Disegni vite M12:**

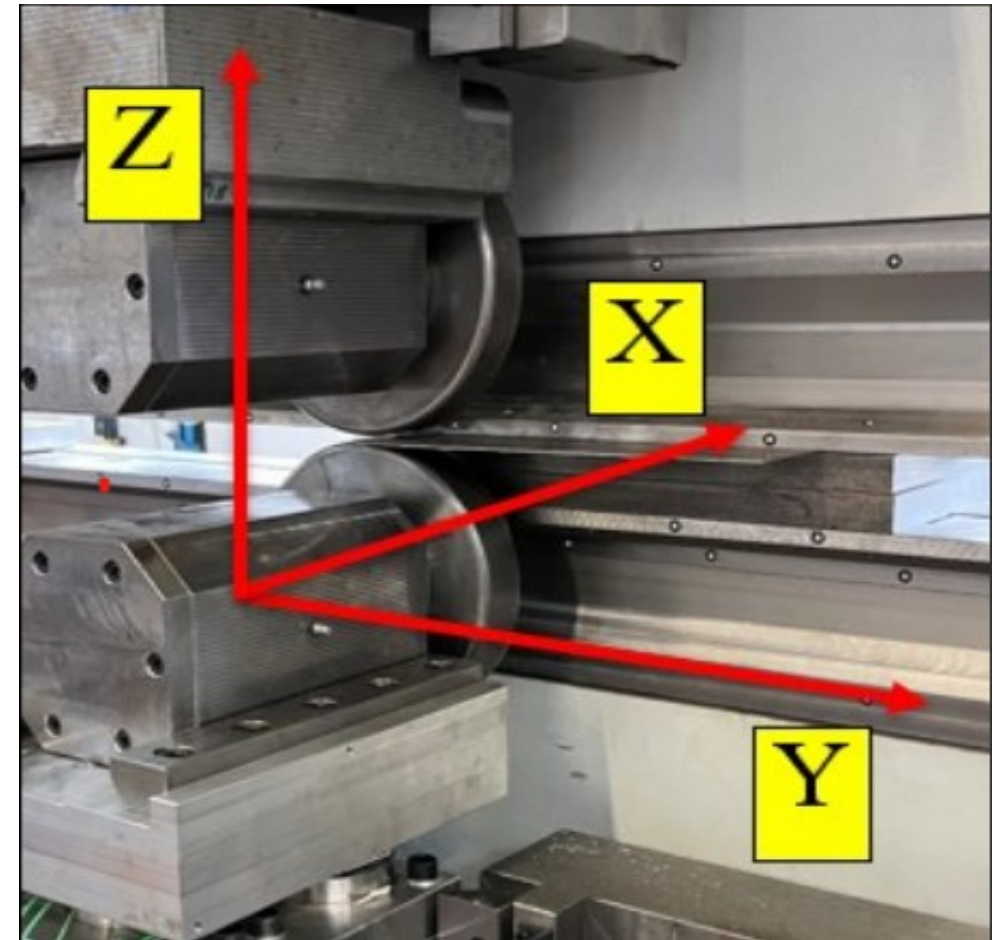


- D=18 mm.
- K=12 mm.
- S=10 mm.
- L=58 mm.

La movimentazione del carrello viene affidata a tre sistemi di guide lineari lungo le direzioni di movimentazione del carrello:

- **Asse X:** guide a pattino a rulli.
- **Asse Y:** guide a pattino a ricircolo di sfere.
- **Asse Z:** guide prismatiche.

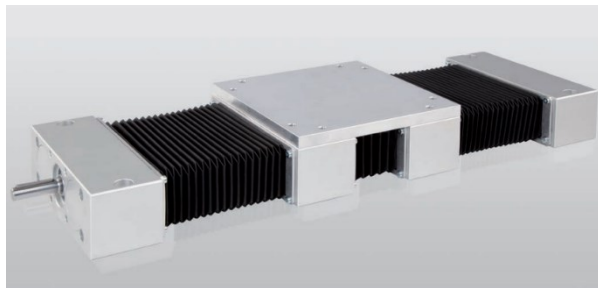
La scelta della tipologia di guide è stata fatta a partire dalle caratteristiche necessarie per ogni direzione di spostamento; le guide lungo l'asse Y rimangono uguali alla configurazione precedente, dato che il carrello si appoggia sulla stessa base.





La guida lungo la direzione X è necessaria per avvicinare e allontanare l'utensile al premilamiera. Sono state fatte diverse ipotesi per la scelta della guida lineare: guida prismatica; asse lineare con vite a ricircolo di sfere; guide a pattino a rulli. La migliore per il caso in questione risulta essere la guida a pattino a rulli.

**Guida prismatica:** l'utilizzo di questa tipologia di guida non dava appoggio ai carichi verticali, nonostante abbia una elevata capacità di carico e rigidità:



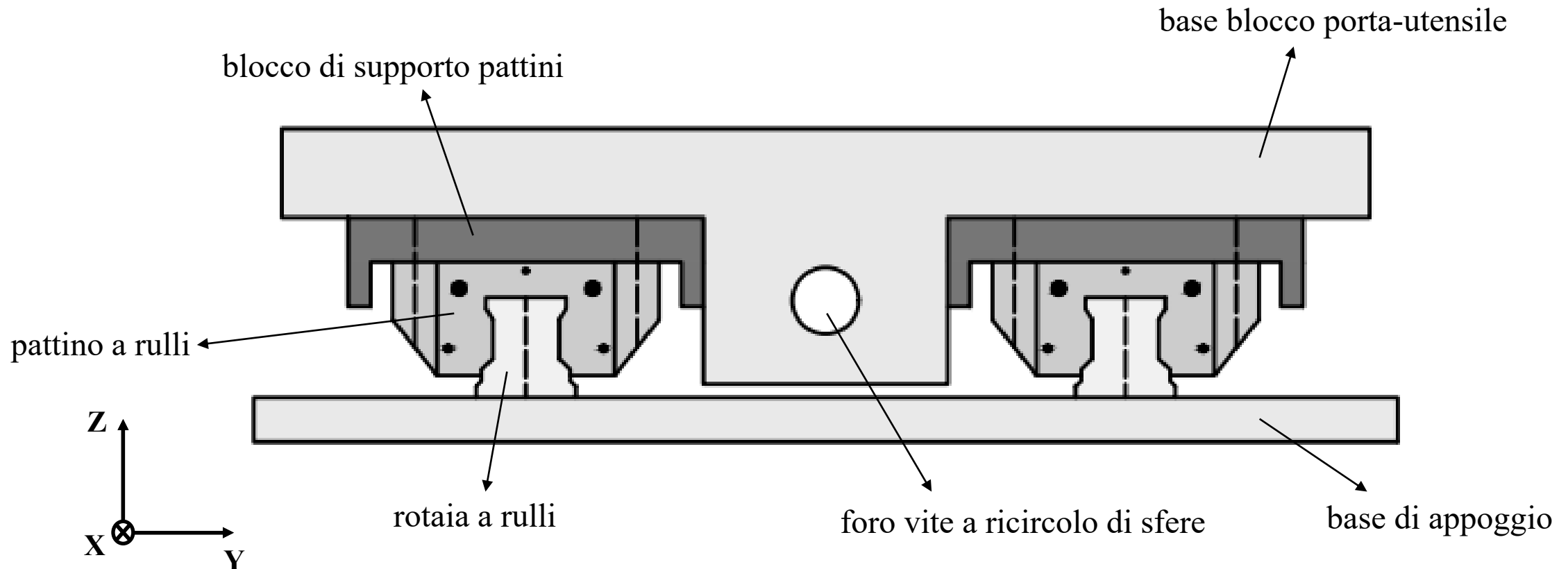
**Asse lineare:** risultava una buona soluzione per reggere gli elevati carichi verticali, però regge carichi assiali (asse X) statici molto bassi per le nostre esigenze ( $F_{max}=1700N$ ).

**Guide a pattino a rulli:** questa tipologia di guide sembra la più adatta dato che regge elevati carichi verticali, inoltre una elevata precisione di movimento e anche una elevata rigidità.

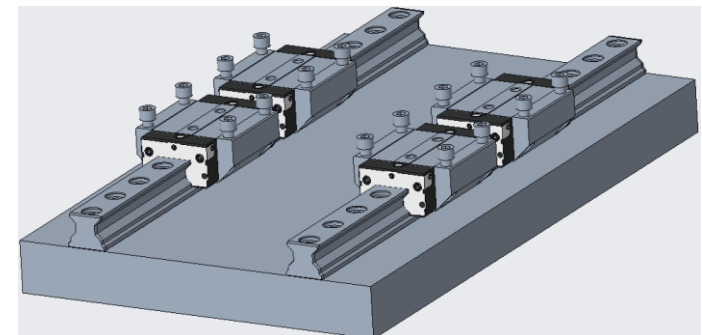
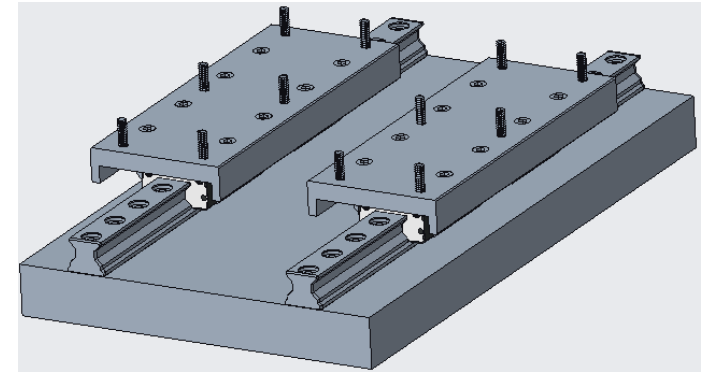
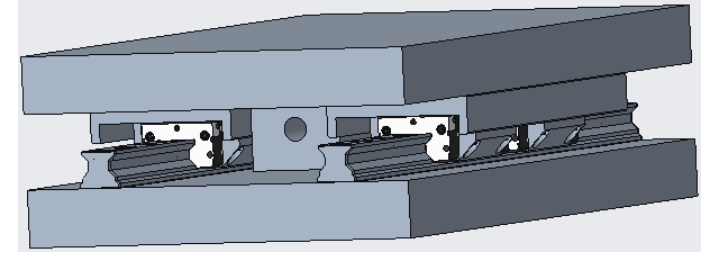
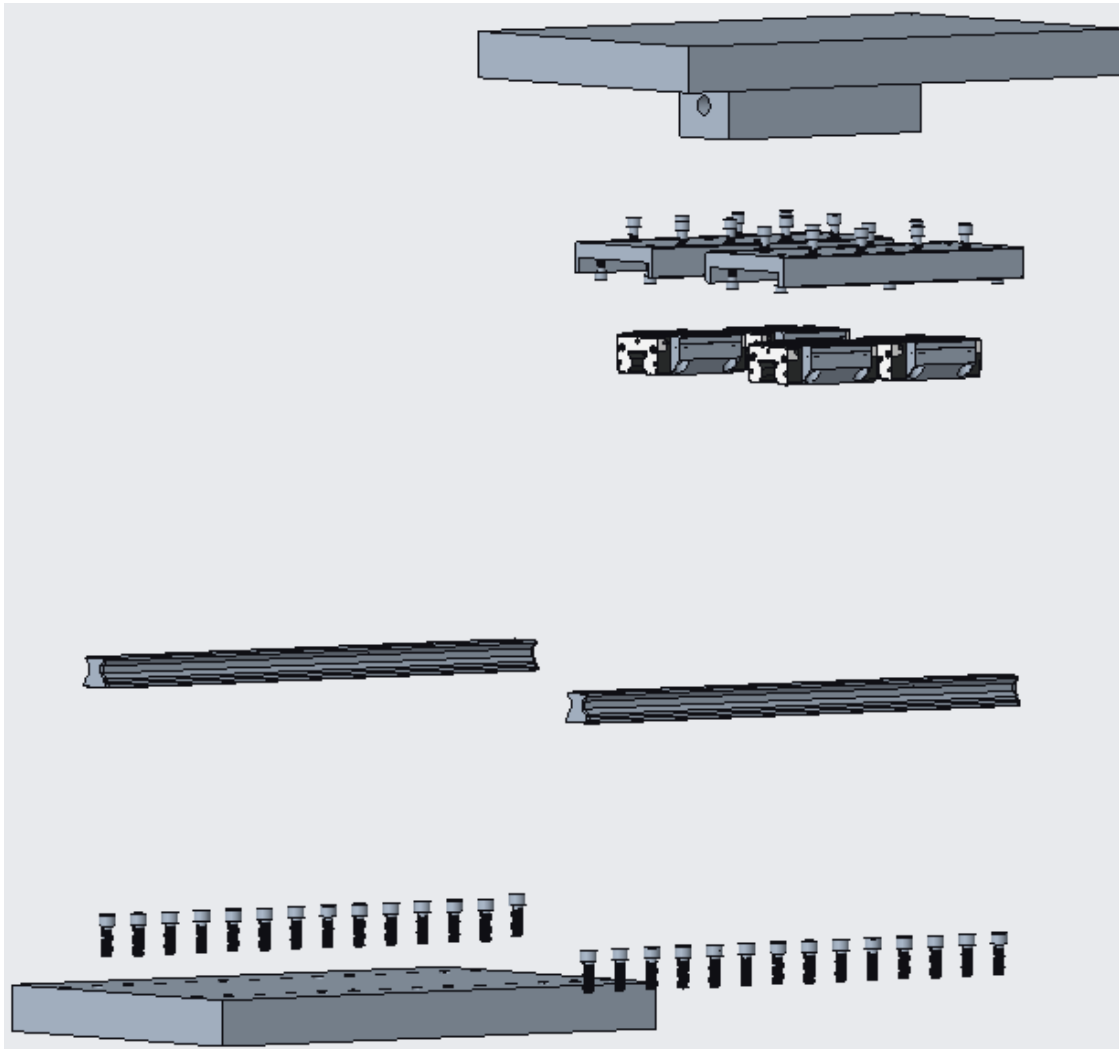


La guida è composta da: **4 pattini a rulli** che scorrono su **2 rotaie a rulli** (2 pattini per ogni rotaia) e i pattini sono uniti a **2 blocchi di supporto per i pattini**. Questa configurazione permette la migliore possibile distribuzione dei carichi e la massima rigidezza e precisione nella movimentazione.

## Sezione della movimentazione lungo l'asse X:



## Rappresentazione tridimensionale guida in X:

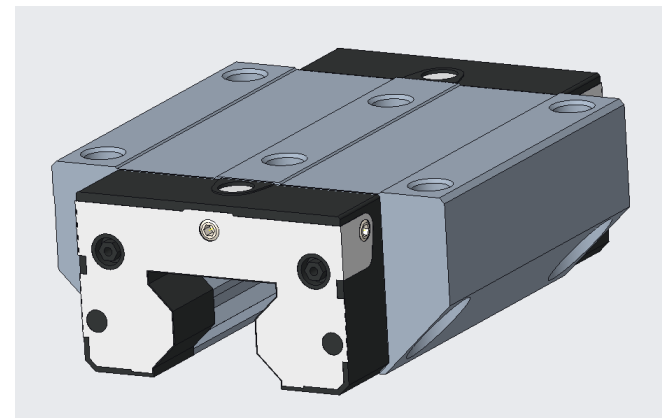
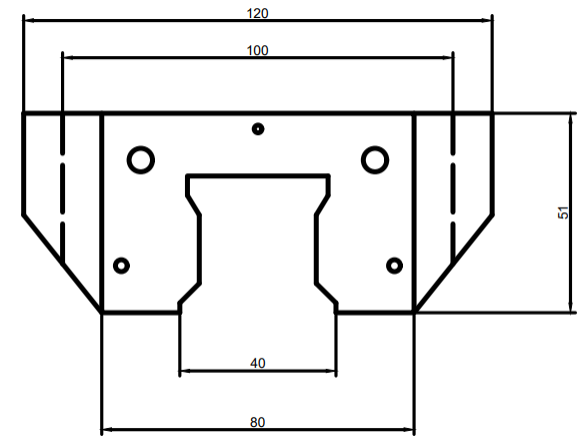
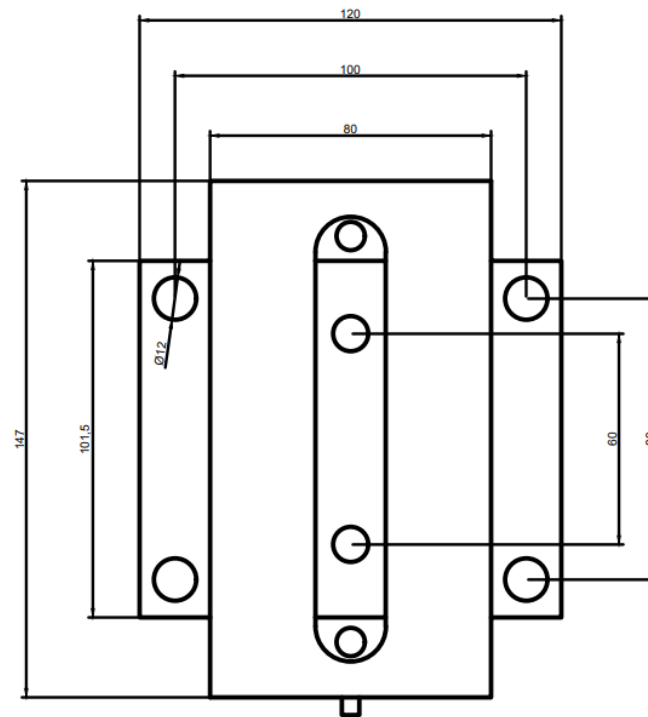


**Pattino a rulli:** il pattino è stato selezionato dal catalogo di Bosch Rexroth in base alle caratteristiche necessarie per il nostro caso e ha il seguente codice identificativo: pattino a rulli acciaio al carbonio **RWD-045-FNS-C3-S-2.**

## Dimensionamento e verifiche:

- dati pattino: carico dinamico  $C=106600$  N, carico statico  $C_0=209400$  N.
- dati di carico:  $F_y=15000$  N,  $F_z=-80000$  N.
- sollecitazione cuscinetto equivalente:  $F_r = \left| \frac{F_y}{4} \right| + \left| \frac{F_z}{4} \right| = 23750$  N.
- precarico: C3, elevata rigidezza;  $P\%=0.13$ .
- classe di accuratezza: SP, precisione molto elevata.
- forza di precarico:  $F_{pr}=C \cdot P\%=13858$  N.
- carico effettivo equivalente:  $P=F_{pr} + 0.66 \cdot F_r=29533$  N.
- probabilità di durata al 95%,  $a_1=0.62$ .
- durata di vita nominale in metri:  $L=a_1 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} \cdot 10^5=4.47 \cdot 10^6$  m.
- coefficiente di sicurezza di carico statico:  $S_0 = \frac{C_0}{F_r}=8.8$ .

## Sezioni e vista 3D:



**Blocco di supporto pattini:** unisce e rende solidale il blocco porta-utensile ai pattini; in ogni blocco si fissano due pattini che scorrono nella stessa rotaia a rulli. I blocchi sono realizzati a partire sia dalle **dimensioni** del **pattino** sia dalle **forze agenti**. Infine, i pattini a rulli si fissano al blocco di supporto attraverso 4 viti M12 per pattino, che sono le viti date da catalogo per il pattino; poi, il blocco di supporto si fissa alla parte inferiore del blocco porta-utensile attraverso l'utilizzo di 6 viti M10 di classe 8.8 disposte in due file parallele. Il blocco è realizzato con Fe360.

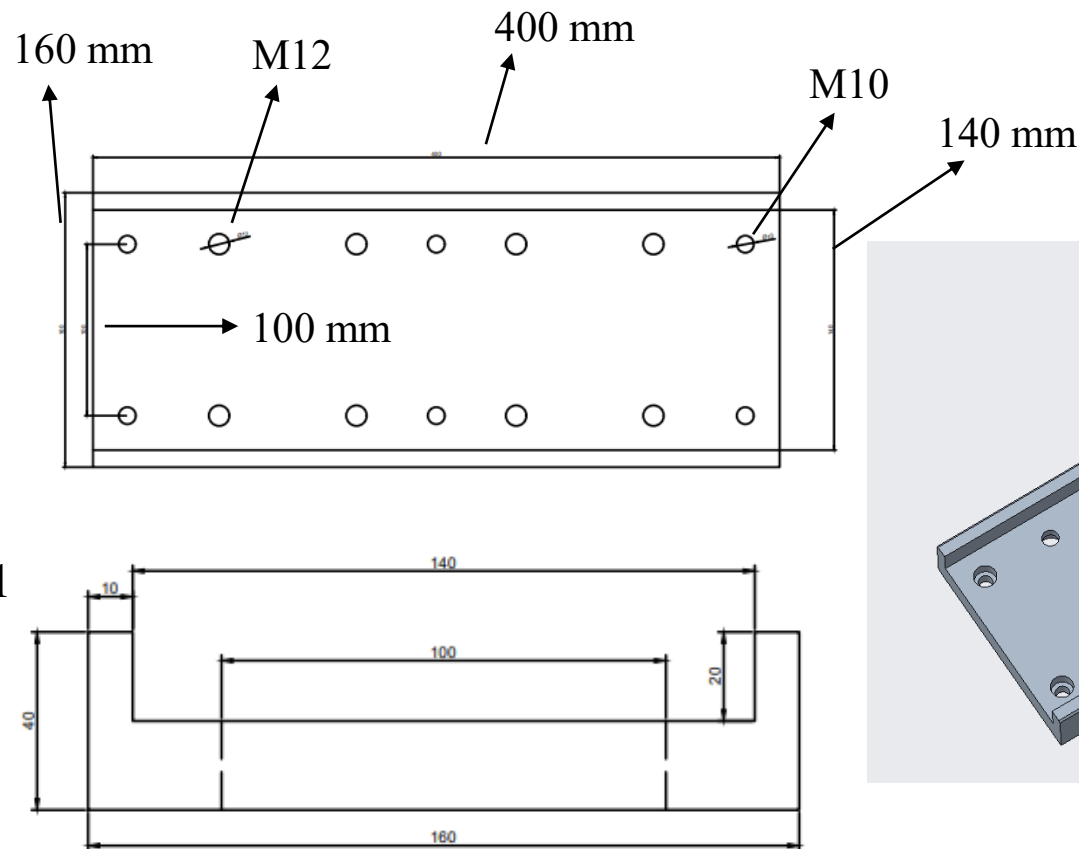
## Verifica a taglio delle viti di collegamento fra i due blocchi:

- 6 viti M10 di classe 8.8:  $A_{res}=58,0 \text{ mm}^2$ ;  
 $\sigma_{b,amm}=373 \text{ MPa}$ ;  $\tau_{b,amm}=264 \text{ Mpa}$ .

- forza  $F_x$  agente e forza di taglio  $V$ :  $F=90000 \text{ N}$ ;  
 $V = \frac{F}{n^{\circ} \text{ bulloni}} = 15000 \text{ N}$ .

- area resistente minima:  $A_{min} = \frac{V}{\sigma_{b,amm}} = 40.21 \text{ mm}^2 < A_{res} \text{ M10}$ .

- verifica al taglio:  $\tau = \frac{V}{A_{res}} = 258.6 \text{ MPa} < \tau_{b,amm} = 264 \text{ MPa}$ .

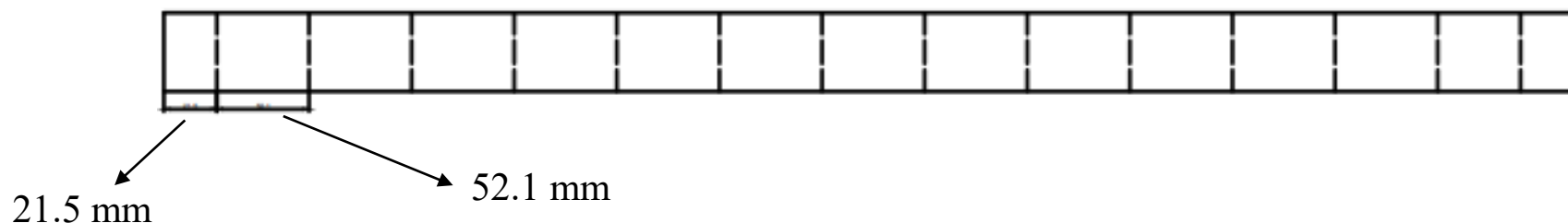
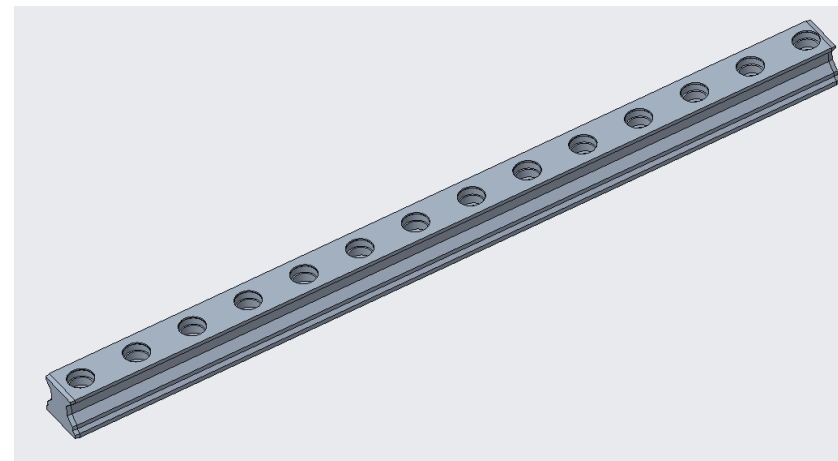
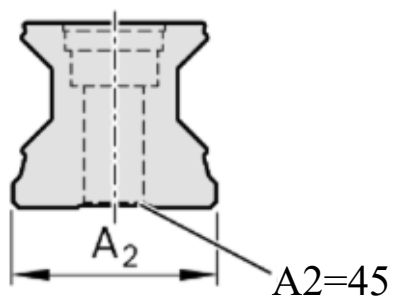


**Rotaie a rulli:** sono presenti due rotaie a rulli, nelle quali scorrono due pattini per rotaia. La scelta della tipologia di rotaia dipende strettamente dal tipo di pattino, infatti, la dimensione e le caratteristiche resistenziali della rotaia scelta dipendono dal pattino precedentemente selezionato. Dunque, anche la rotaia a rulli è stata selezionata dal catalogo di Bosch Rexroth, con codice identificativo: **RSA-045-SNS-S-MA-SK**.

### Caratteristiche rotaia a rulli:

- RSA: rotaia a rulli.
- 045: dimensione in mm.
- SNS: modello stretto normale standard.
- CS: materiale acciaio al carbonio.
- S: classe di precisione, molto precisa.
- MA: fissaggio attraverso avvvitamento dall'alto.
- SK: presenza di tappi di copertura per fori.
- viti: 14 viti M14 classe di resistenza 8.8.
- lunghezza rotaia: 720 mm.

### Sezioni e 3D:



La guida lungo l'asse Z è necessaria per sollevare e abbassare l'utensile. Sono state avanzate alcune ipotesi, cioè l'utilizzo di guide a nido di rondine o guide prismatiche a V. In entrambi i casi si posiziona una guida per lato del carrello, così da permettere lo scorrimento su di esse durante la movimentazione dell'utensile.

**Guida a nido di rondine:** questa tipologia di guide ha una elevata capacità di carico e una elevata rigidità.



**Guida prismatica:** permette di avere un'alta capacità di carico, precisione di spostamento ed elevata rigidità.

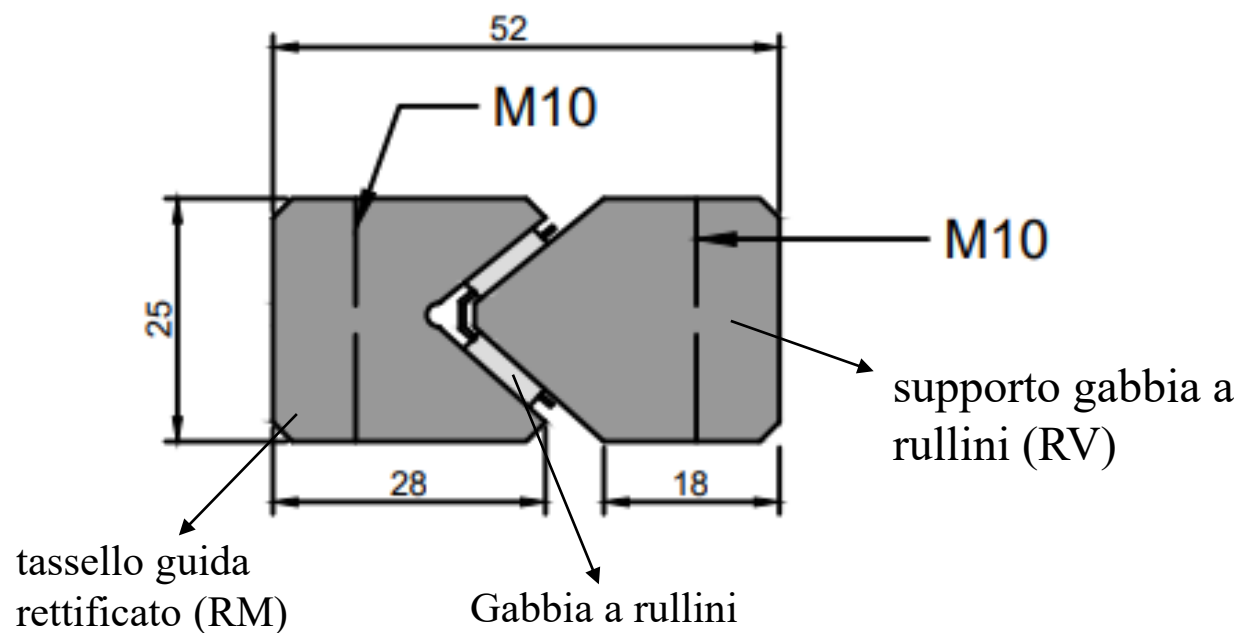


Dunque la scelta è ricaduta sulle guide prismatiche a V, dato che, oltre alle elevate caratteristiche elencate si preferisce, essendo un'ottima soluzione per spostamenti verticali e inoltre per il montaggio risulta essere più pratica.

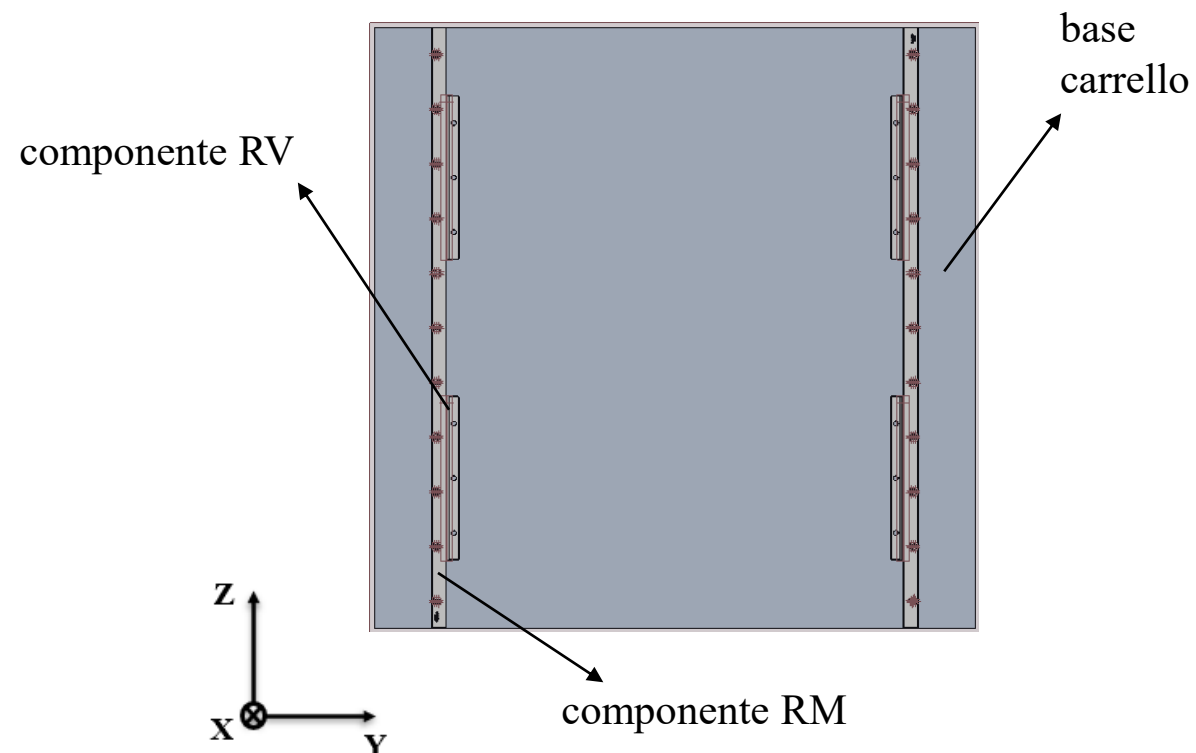
La guida prismatica è composta da tre elementi: **tassello guida rettificato** (componente RM); **supporto gabbia a rullini** (componente RV) e **gabbia a rullini**. La guida è stata dimensionata e selezionata dal catalogo di Rosa Sistemi, che fornisce guide prismatiche adatte ai carichi presenti.

Per ognuno dei due lati del carrello sono presenti un componente RM, avvitati alla base del carrello, dove scorrono due componenti RV (con le gabbie a rullini) per lato e che sorreggono il carrello e ne permettono la movimentazione.

## Rappresentazione sistema guida:



## Configurazione guide:

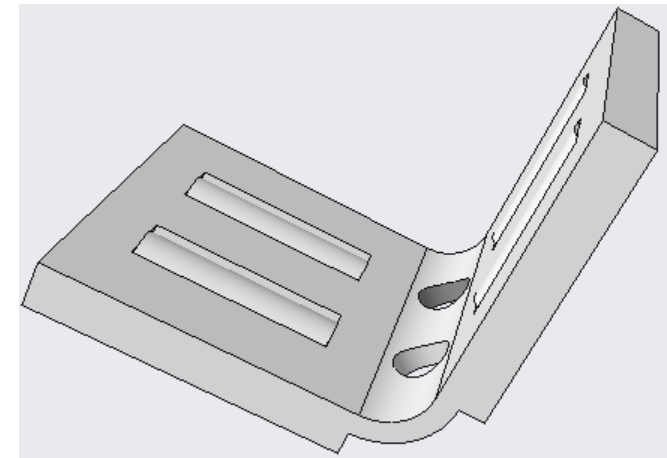
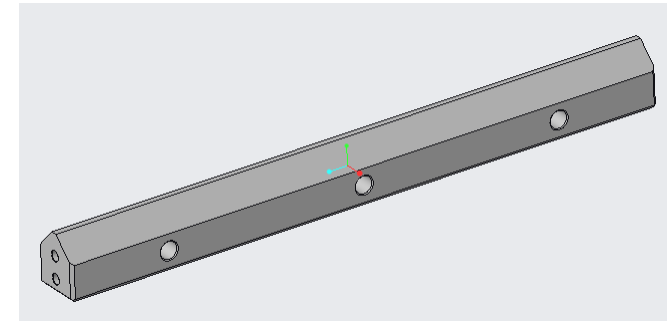
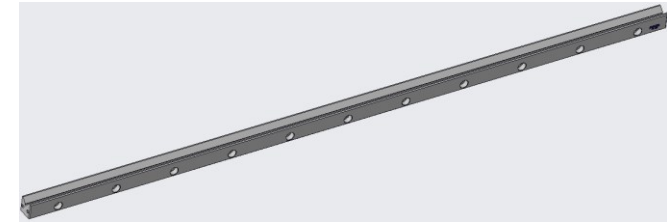




**Tassello guida rettificato (RM):** Il componente RM si fissa alla base del carrello, che scorre sulla guida Y. Si fissa **un componente RM per lato** che permetta di bilanciare le forze agenti e che permetta uno spostamento il più preciso possibile al carrello. Ogni componente RM si fissa alla base del carrello per mezzo di **11 viti M10 classe di resistenza 8.8** disposte in un'unica fila.

**Supporto gabbia a rullini (RV):** questo componente si fissa al carrello porta-utensile e sono presenti due elementi per ogni lato così da potere **distribuire al meglio i carichi** e permettere lo **scorrimento del carrello**.

**Gabbia a rullini:** la gabbia a rullini viene inserita tra la componente RM e la componente RV, è estremamente importante dato che **determina la capacità di carico della guida prismatica**. La gabbia è stata selezionata dal catalogo di Rosa Sistemi, in base alle forze agenti presenti.



## Dimensionamento gabbia a rullini:

-tipo di guida: RM/RV 2025-1100.

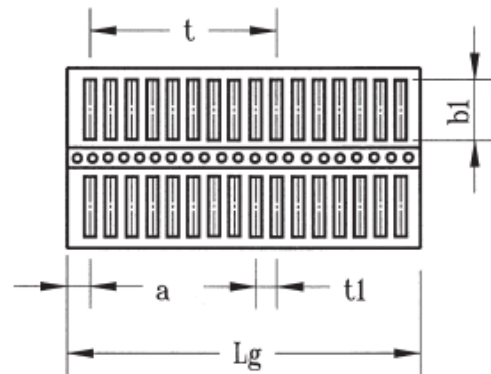
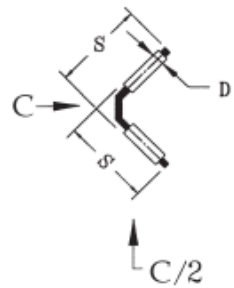
-corsa scelta:  $H=1000$  mm.

-carico applicato:  $P = \frac{Fx}{4} = \frac{84000}{4} = 21000$  N.

-lunghezza gabbia:  $L_g=L-H/2=600$  mm; 300 mm per gabbia.

-  $\frac{C}{t} = 8680$  N.  $t=12$ , dunque  $C=104160$  N.

- verifica:  $C>P$  : **104160 N > 21000 N.**



## Verifica dei carichi:

-guida: RM/RV 2025-1100.

-corsa scelta: 1000 mm.

-rullini per gabbia: 12.

-carico:  $P=21000$  N.

-lunghezza gabbia: 300 mm.

-precarico= 10%.

-carico sottoposto a ogni rullino:  $F1 = \frac{P}{t} = \frac{21000}{12} = 1750$  N.

-forza da precarico:  $F2= 0.10 \cdot F1 = 0.10 \cdot 1750 = 175$  N.

-peso RV: 4950 gr. -forza peso:  $Fm=4.950 \cdot 9.81 = 49$  N.

$F3 = \frac{49}{12} = 4.05$  N.

-verifica:  $C>F_{tot}$ ;

$F_{tot}=F1+F2+F3=1750+175+4.05=1929.05$  N;

$C=104160$ ;  $C>F_{tot}$ : **104160 > 1929.05 N.**

### Vantaggi:

**Spostamenti:** la nuova tipologia di configurazione per lo spostamento lungo la direzione X e lungo la direzione Z, danno la possibilità di avere un range di movimentazione molto più ampio, aumentando i volumi di lavoro.

**Rigidezza e piegatura:** attraverso la nuova configurazione i problemi di rigidezza sono meno rilevanti e inoltre è possibile piegare 5 mm di acciaio INOX.

**Sistema di rotazione:** grazie al sistema di rotazione dell'utensile è possibile realizzare componenti di geometria complessa con meno passaggi e permette di diminuire i difetti di piega

### Svantaggi:

**Ingombri:** sicuramente la nuova configurazione risulta molto ingombrante verticalmente, a causa delle elevate dimensioni dell'utensile (seppur ridotte di molto rispetto all'utensile a doppio rullo) e del giunto cilindrico (rotazione utensile).

**Cambio utensile:** la configurazione dell'utensile a singolo rullo centrale con i cuscinetti ai lati, crea difficoltà durante il cambio utensile, dato che, durante il processo è necessario smontare anche i cuscinetti.