

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale  
«Sistema di profilatura incrementale  
flessibile: progettazione gruppo utensili»***

Tutor universitario: Prof. Andrea Ghiotti

Laureando: *Giacomo Zaniboni 2006893.*

Padova, 7/3/2023

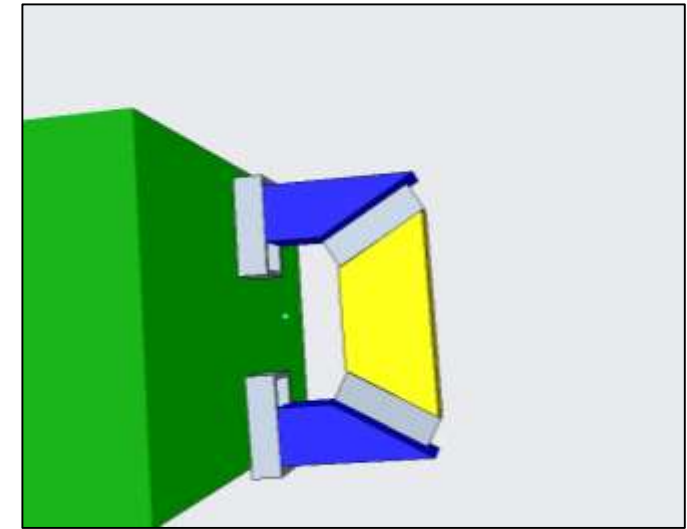
La tesi assegnata riguarda un macchinario per la piegatura incrementale delle lamiere, ovvero un macchinario che permette di piegare le lamiere in più step riducendo la forza da applicare per singola passata. Il compito è quello di migliorare il macchinario che presenta alcune criticità

Il macchinario presenta due problemi principali:

1. Rigidezza → tale problema si è visto essere intrinseco con il tipo di movimentazione scelta. Il meccanismo quadrilatero articolato infatti lascia un grado di libertà che risulta poi in una scarsa rigidezza per il tipo di lavoro che si vuole andare a svolgere

$$g. d. l = 3 * (4 - 1) - 2 * 4 = 1$$

2. Finitura superficiale → Rimanendo il rullo fisso in una sola posizione, all'avanzare del rullo sulla lamiera, al fine di raggiungere la piega voluta, diminuisce l'area di contatto tra rullo e lamiera causando un elevato aumento della pressione. Questo comporta a fine lavorazione segni particolarmente marcati sulla lamiera che ne determinano una cattiva finitura superficiale



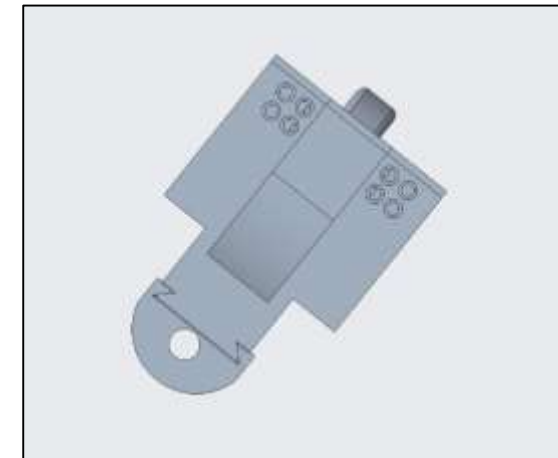
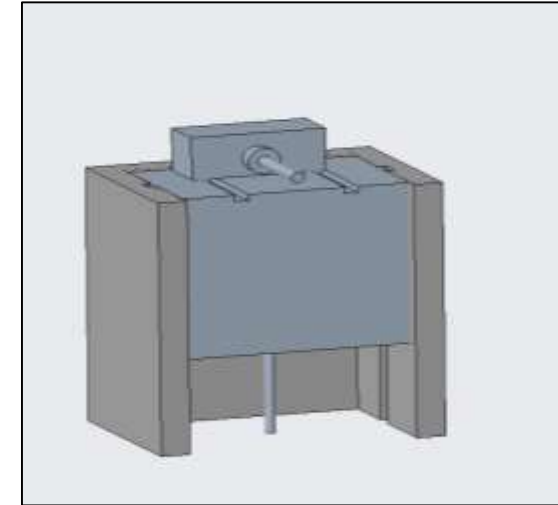
L'obiettivo del lavoro ha quindi comportato la ricerca di soluzioni per:

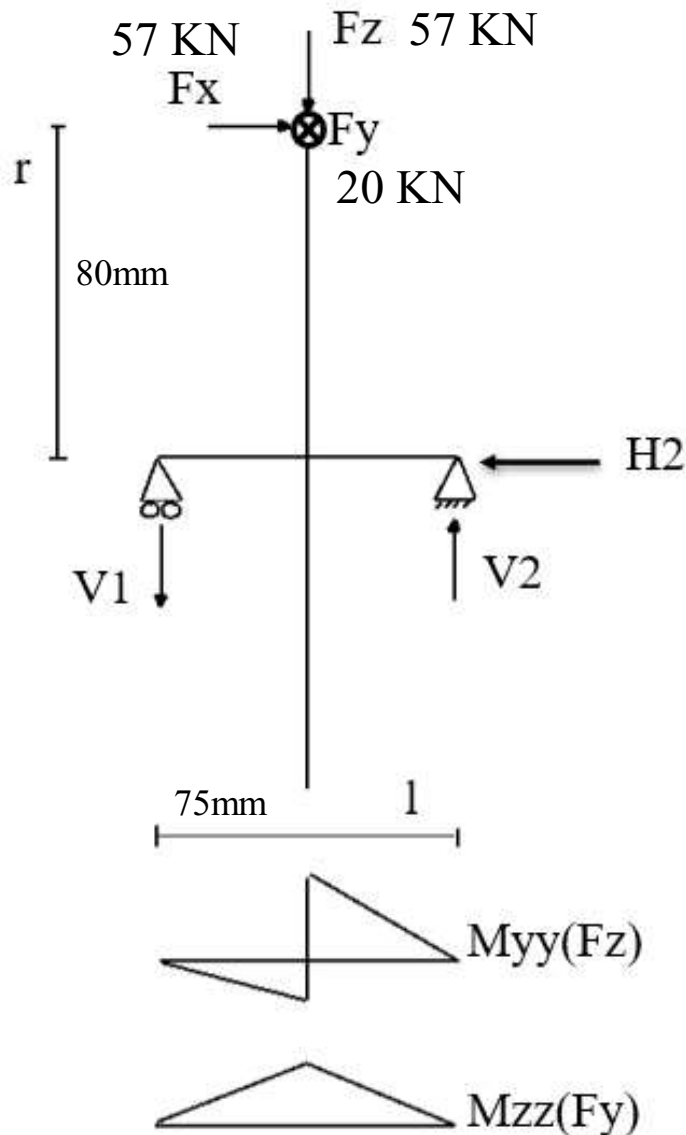
## AUMENTARE LA RIGIDEZZA

Per risolvere il problema di rigidità si è optato per modificare tutto il sistema di movimentazione sostituendo il sistema presente con un sistema che si basa sul movimentare il pezzo attraverso delle guide e dei sistemi a ricircolo di sfere

## MIGLIORARE LA FINITURA SUPERFICIALE E AUMENTARE FLESSIBILITÀ NELLE LAVORAZIONI

Per quanto riguarda la finitura superficiale si è cercato di dotare il rullo di una rotazione in modo da riuscire a orientare la parte piatta di quest'ultimo contro la lamiera piegata inizialmente evitando di diminuire l'area di contatto e aumentare la pressione, la rotazione permette poi di dare più flessibilità nelle lavorazioni





Formule utilizzate:

$$- \sigma_{amm} = \frac{\sigma_s}{V_s}$$

$$- \tau_{amm} = \frac{\sigma_{amm}}{\sqrt{3}}$$

$$- M_{yy} = V_2 * \frac{l}{2}$$

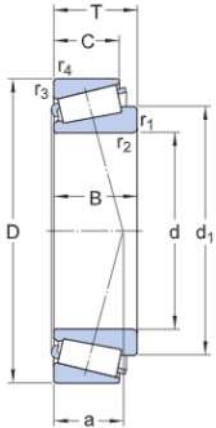
$$- M_{zz} = F_Y * \frac{l}{2}$$

$$- M_{tot} = \sqrt{M_{zz}^2 + M_{yy}^2}$$

$$- d_\sigma = \frac{32 * M}{\sqrt[3]{\pi * \sigma_{amm}}}$$

Det diametro ott. materiale albero	31CrNi4	
$\sigma_s$		700
$V_s$		2,5
$\sigma_{amm}$		280 Mpa
$\tau_{amm}$		161,6580754 Mpa
$M_{tot}$		3861241,884 Nmm
$d_\sigma$		51,99119135 mm
$d_\tau$		30,51487773 mm

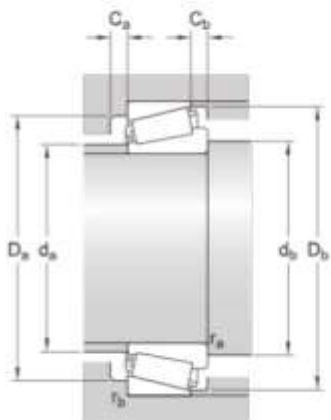
## Dimensioni



d	55 mm	Diametro foro
D	100 mm	Diametro esterno
T	35 mm	Larghezza totale
$d_1$	$\approx 78.13$ mm	Diametro spallamento anello interno
B	35 mm	Larghezza dell'anello interno
C	27 mm	Larghezza dell'anello esterno
$r_{1,2}$	min. 2 mm	Dimensioni smusso dell'anello interno
$r_{3,4}$	min. 1.5 mm	Dimensioni smusso dell'anello esterno
a	24.886 mm	Distanza tra facciata laterale e punto di pressione

## Dimensioni dello spallamento

$d_i$ max.	63 mm	Diametro spallamento albero
$d_i$ min.	65 mm	Diametro spallamento albero
$D_i$ min.	85 mm	Diametro spallamento alloggiamento
$D_i$ max.	92 mm	Diametro spallamento alloggiamento
$D_i$ min.	96	Diametro spallamento alloggiamento



## SKF 33211

Il cuscinetto scelto è il modello SKF 33211 cuscinetto a una corona di rulli conici.

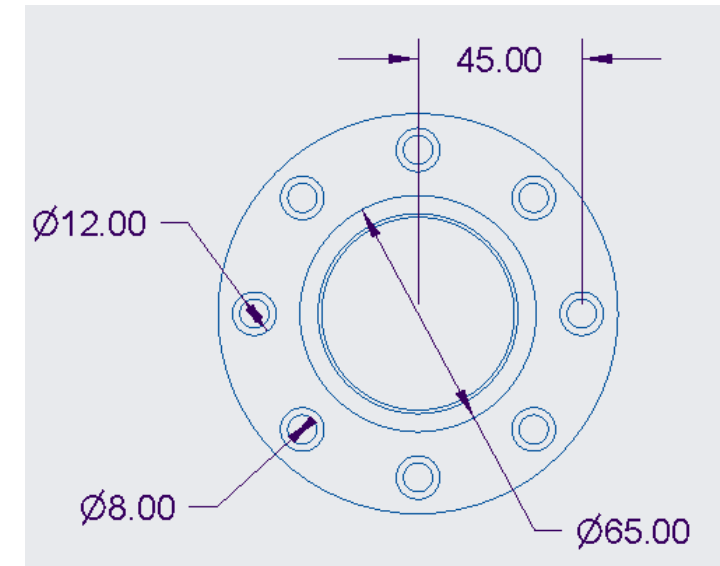
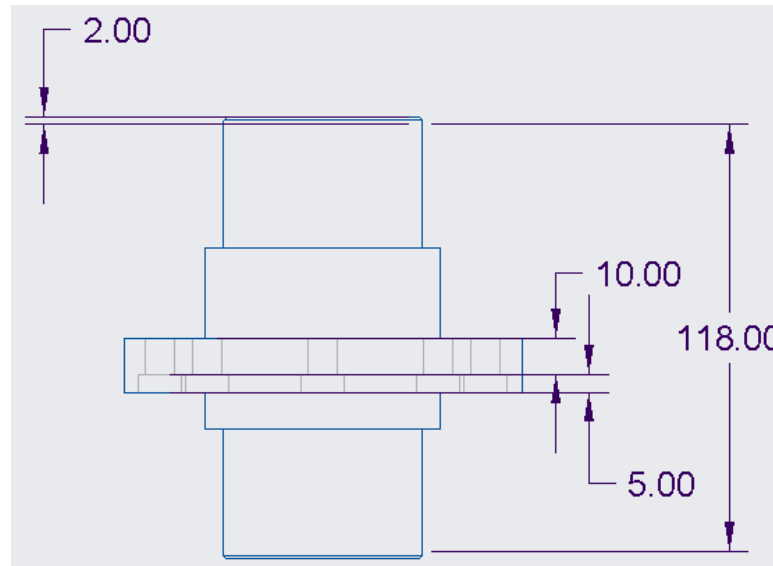
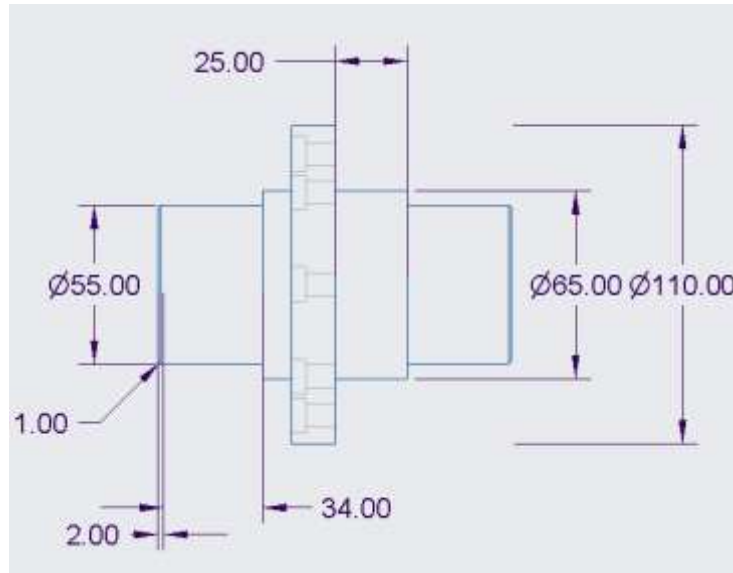
La scelta è dovuta a:

- Elevata capacità del cuscinetto di sopportare carichi assiali e radiali combinati
- Assenza di lubrificazione
- $D_{interno} > \text{Diametro albero}$
- Basso attrito e lunga durata di esercizio
- Coefficiente relativo al carico statico  $S_0$



## Dati cuscinetto

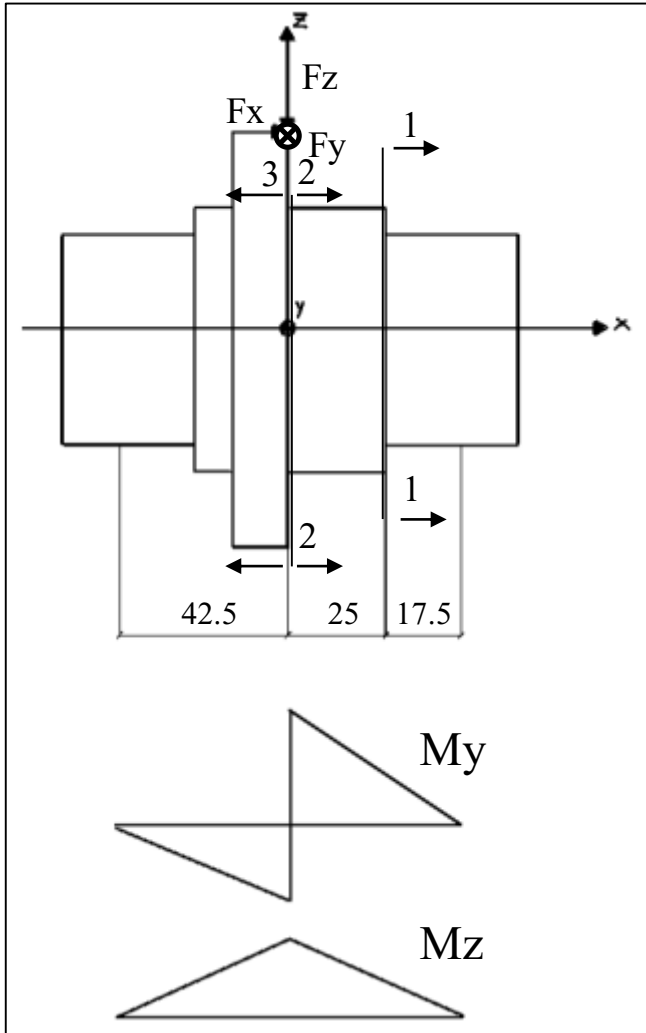
C0		190 dato	kN
Y0		0,8 dato	
X0		0,2 dato	
P0	$X0 \cdot Fr_{rad} + Y0 \cdot F_{ass}$	57,254834	
S0	$C0/P0$	<b>3,31849709</b>	BUONO



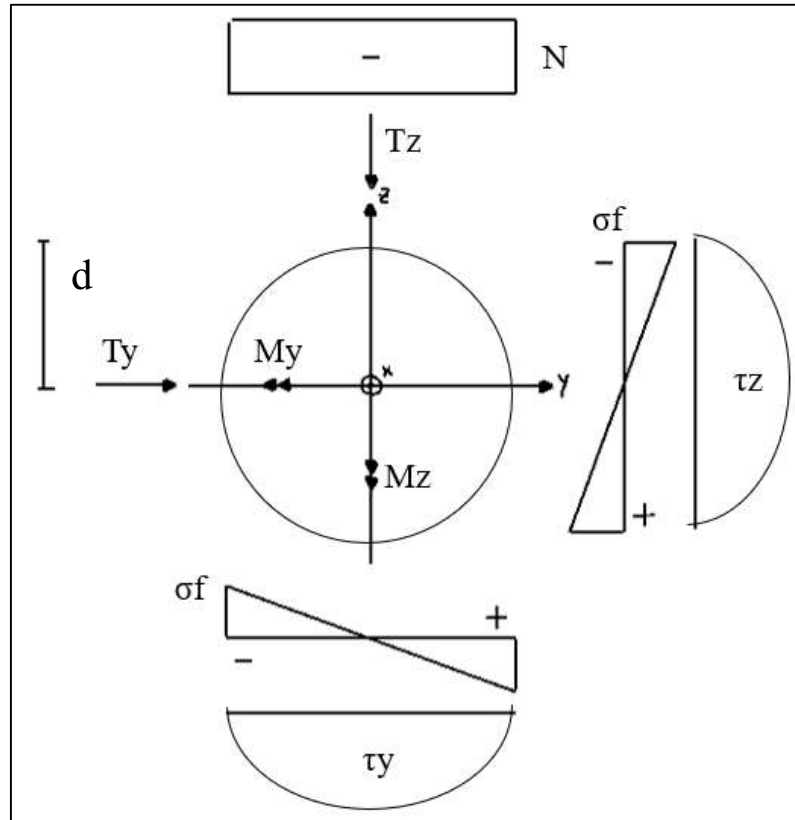
Avendo ottenuto un diametro ottimale di 51,99 [mm] si è optato per un diametro normalizzato di 55 [mm], diametro minimo al fine di resistere alle sollecitazioni dovute alle lavorazioni.

Il successivo dimensionamento è stato fatto in base alle necessità dettate dai cuscinetti e dal tentativo di ridurre al minimo l'ingombro

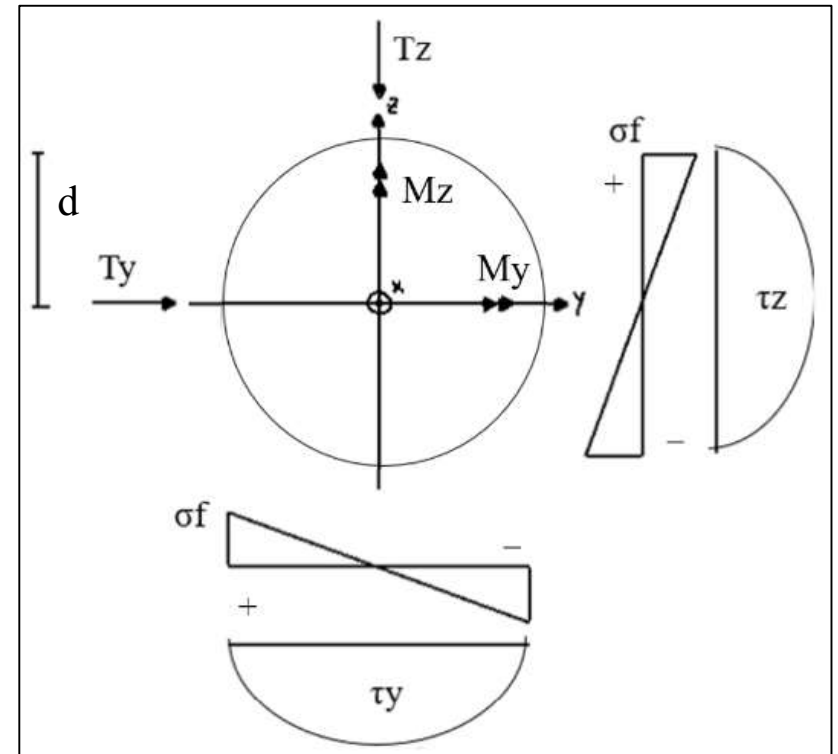
Inizialmente erano previsti una ghiera e una rosetta di sicurezza per il bloccaggio del cuscinetto che sono stati sostituiti poi da una particolare forma della cassa



Sez. 1-1 e 2-2



Sez. 3-3



## Geometria e forza agente sulle sezioni

Sezione	d [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	l [mm]	Ty [N]	N [N]	Tz [N]	Myy [Nmm]	Mzz [Nmm]
1-1	55	2374,625	17,5	20000	56568,54249	88624,04991	1550920,873	350000
2-2	65	3316,625	42,5	20000	56568,54249	88624,04991	3766522,121	850000
3-3	110	9498,5	42,5	20000		0	1362359,065	850000

## Calcolo delle tensioni massime

	$\sigma_N$ [Mpa]	$\sigma_{fy}$ [Mpa]	$\sigma_{fz}$ [Mpa]	$t_z$ [Mpa]	$t_y$ [Mpa]
1-1	23,82209507	94,99962759	21,43879177	49,76170969	11,22984331
2-2	17,05605623	139,7721941	31,54272329	35,62820635	8,040302014
3-3	0	10,43119011	6,508204645	4,499729068	2,807460827

## Formule

$$- A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$- \sigma_N = \frac{N}{A}$$

$$- \sigma_{fmax} = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3}$$

$$- \tau_{max} = \frac{4}{3} * \frac{T}{A}$$

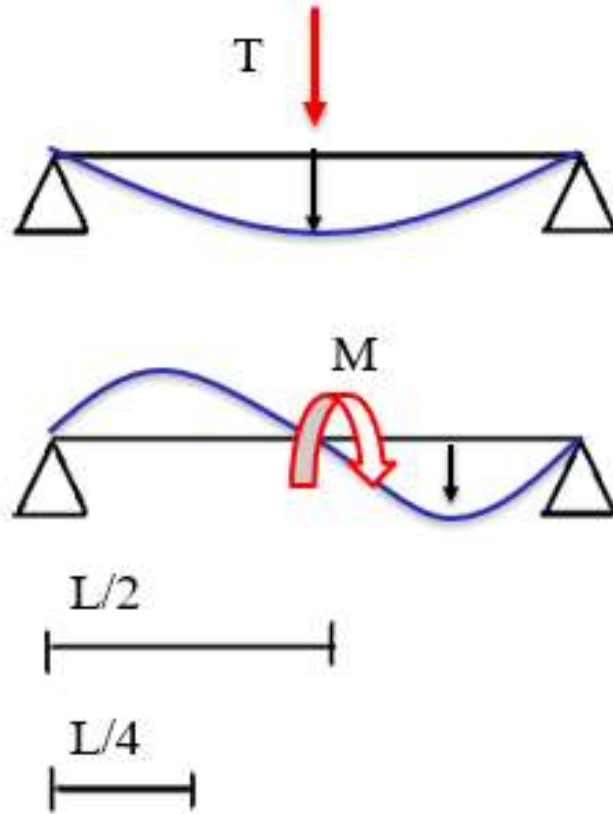
$$- \sigma_{vom} = \sqrt{(\sigma_N + \sigma_{fmax})^2 + 3\tau_{max}^2}$$

$$- V_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_{vom}}$$

## Verifiche nei punti critici

	$\sigma_{vom1}$	$V_s$	$\sigma_{vom2}$	$V_s$
1-1	97,35107155	7,190470417	120,4031973	5,8137991
2-2	78,54902057	8,911632442	168,5325113	4,153501271
3-3	8,124176056	86,16258377	13,02122929	53,75836524





## Calcoli

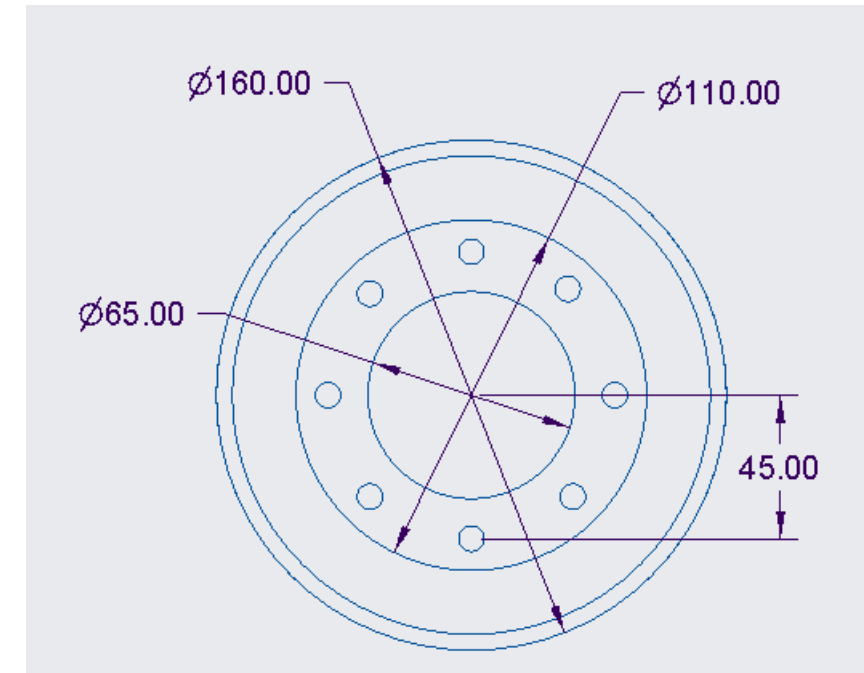
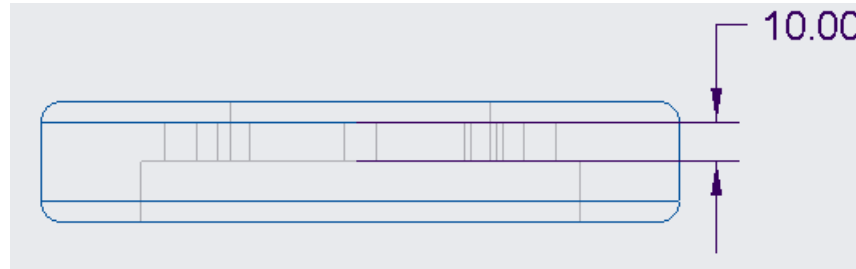
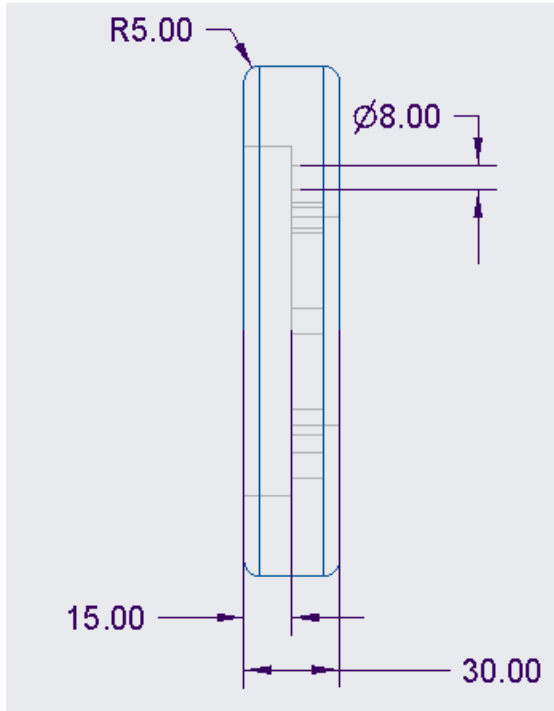
$d(T)$	65 mm
$d(M)$	55 mm
$L$	75 mm
$E$	210000 Mpa
$I(T)$	875796,2891 mm <sup>2</sup>
$I(M)$	448952,5391 mm <sup>2</sup>
$T$	60000 N
$M$	3323401,872 Nmm
$Y(T)$	0,002867289 mm
$Y(M)$	0,001549087 mm

## Formule

$$- Y_T = \frac{M * \frac{L}{4} * \left( L^2 - 4 * \left( \frac{L}{4} \right)^2 \right)}{24 * L * E * I}$$

$$- I = \frac{\pi}{64} * d^4$$

$$- Y_T = \frac{-T * L^3}{48 * E * I}$$

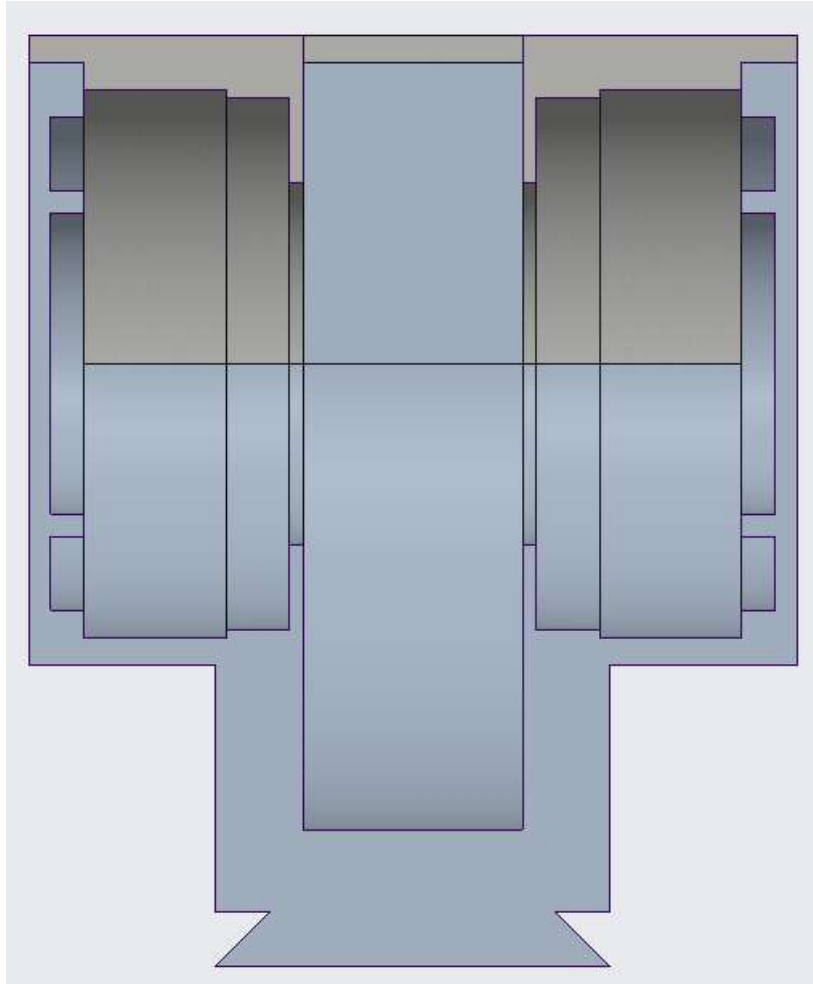


Il rullo è stato pensato per essere calettato direttamente sull'albero, le dimensioni del rullo sono state scelte mediante due principali criteri

1. Dare la giusta flessibilità nelle lavorazioni ed avere dunque un diametro abbastanza elevato da permettere le rotazioni del utensile, ma tale da non aumentare troppo il momento flettente sull'albero e cassa
2. Mantenere i raggi di raccordo di 5 [mm] ottimale per la lavorazione di piegatura

Il fissaggio avviene mediante otto viti M8 8.8;

MATERIALE: 18NiCrMo5



La cassa dove posizionare il blocco: albero + rullo + cuscinetti è costituita da due parti, una base ed un coperchio che vengono tenuti assieme da 4 viti M8 8.8

Ingombri

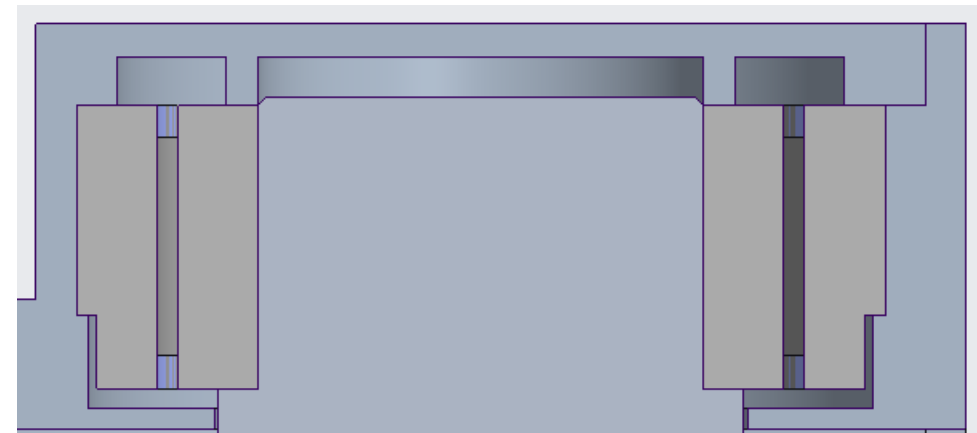
X: 140 [mm]

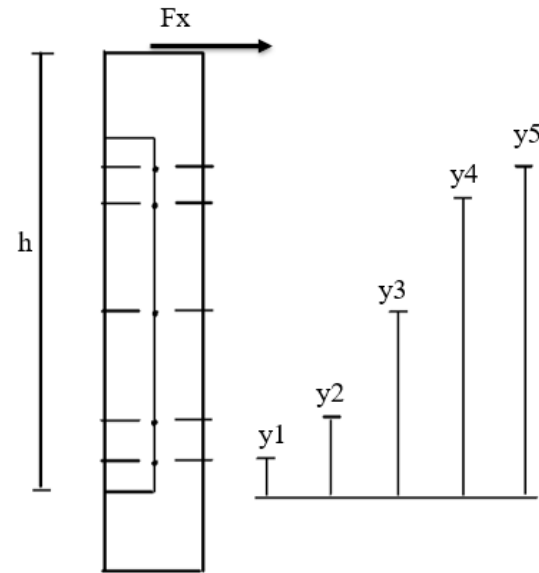
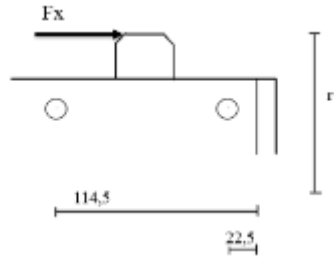
Y: 180 [mm]

Z: 200 [mm]

Tale cassa funge anche da spallamento per i cuscinetti permettendo di ridurre l'ingombro dato da rosetta e ghiera di sicurezza

Materiale: ACCIAIO UNI EN ISO 9001 C45





vite	M8.8	
ft		800 MPa
fy		640 MPa
fKn		640 MPa
σ <sub>b,amm</sub>		426,6666667 MPa
τ <sub>b,amm</sub>		301,6988933 MPa
A <sub>res</sub>		38,6 mm <sup>2</sup>
h		80 mm
F		56568,54249 N
y1		22,5 mm
y4		114,5 mm
y		114,5 mm
nfile		2
Ti		19027,2041
T		9513,60205
τ		246,4663744
verifica		0,667371903 VERIFICATO

vite	M8.8		y2		21,7 mm
ft		800 MPa	y3		66,7 mm
fy		640 MPa	y4		111,7 mm
fKn		640 MPa	Y5		123,4
σ <sub>b,amm</sub>		426,6666667 MPa	y		123,4 mm
τ <sub>b,amm</sub>		301,6988933 MPa	nfile		4
A <sub>res</sub>		38,6 mm <sup>2</sup>	N		7199,369927 N
h		135 mm	N		7199,369927
F		56568,54249 N	σ		186,5121743
y1		10 mm	verifica		0,382179102 VERIFICATO

## Formule

$$- ft = 1^a \text{cifra} * 100$$

$$- fy = 1^a \text{cifra} * 2^a \text{cifra} * 10$$

$$- fk, N = \min\{fy; 0,7ft\}$$

$$- \sigma_{b,amm} = \frac{fk, N}{1,5}$$

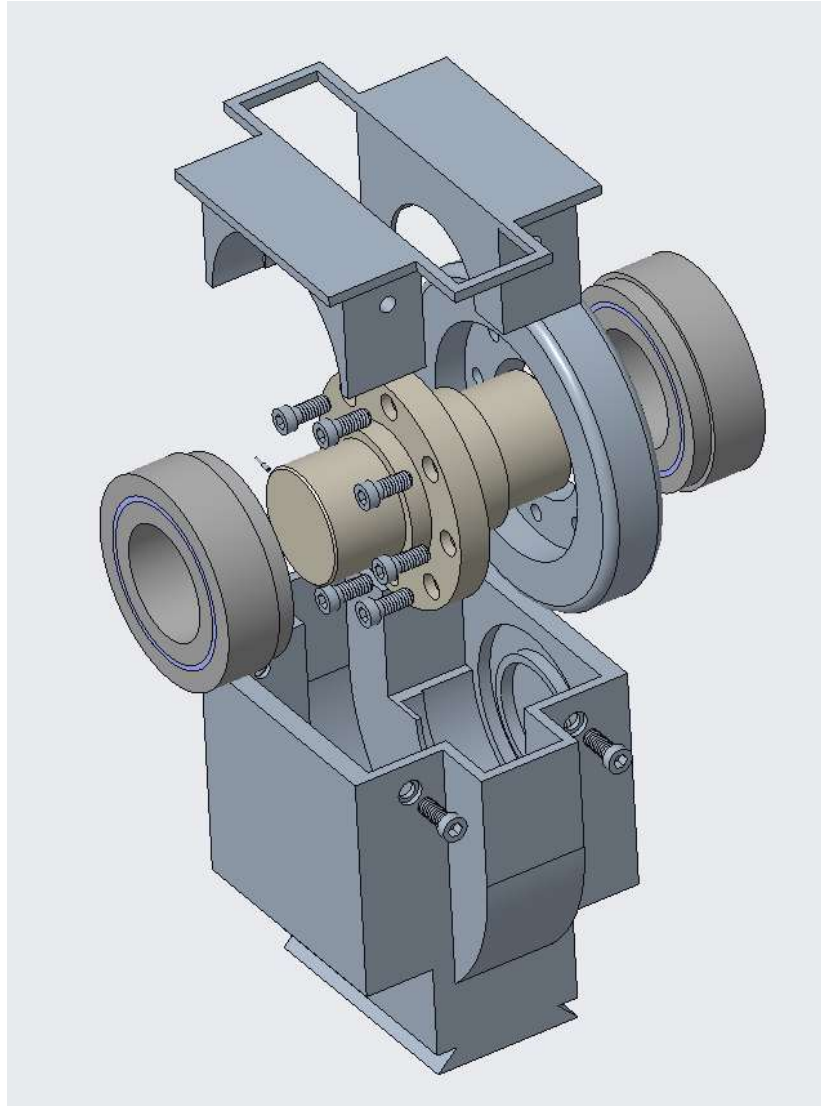
$$- \tau_{b,amm} = \frac{\sigma_{b,amm}}{\sqrt{2}}$$

$$- \sigma = \frac{N}{A_{res}}$$

$$- \tau = \frac{T}{A_{res}}$$

$$- N; T = \frac{M}{n_f * \sum y_i^2} * y$$

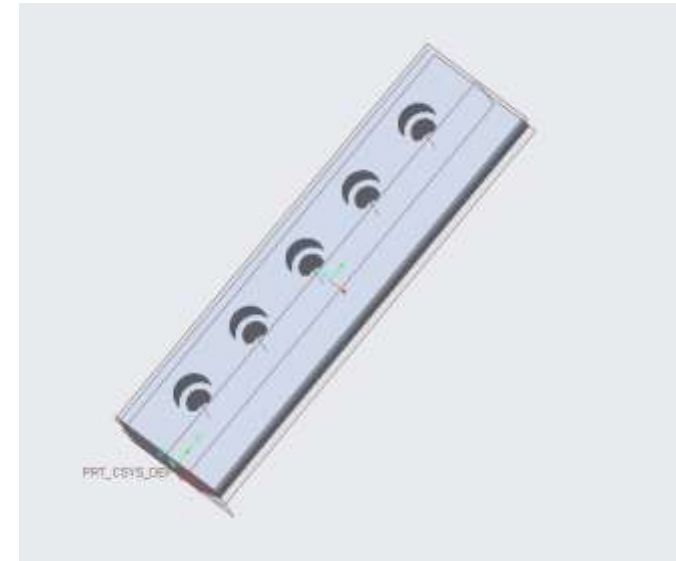
$$- \left(\frac{\sigma}{\sigma_{b,amm}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{b,amm}}\right)^2 \leq 1$$



La procedura per il montaggio è:

1. Fissare il rullo all'albero mediante 8 viti M8;
2. Inserire i due cuscinetti sull'albero;
3. Inserire il blocco albero + cuscinetti + rullo nella cassa;
4. Fissare il coperchio della cassa alla base della cassa mediante 4 viti M8 8.8;

La forma della cassa inoltre è tale da permettere la rotazione del blocco utensile, quest'ultima infatti viene fissata alla base mediante un tassello, che permette il collegamento con il giunto cilindrico. Si posiziona un tassello per lato, che blocca l'utensile e successivamente si fissa il tassello alla base attraverso 5 viti M12 di classe 10.9 per ogni lato.



## Aspetti Positivi

- Elevata sicurezza dal punto di vista strutturale
- Elevata rigidezza
- Facilità di montaggio smontaggio
- Possibilità di rotazione

## Aspetti negativi

- Ingombro ancora troppo elevato
- Isolamento del cuscinetto

## Considerazioni

- Elevato coefficiente di sicurezza anche nelle sezioni più gravose, e dunque possibilità di tenersi più stretti in fase di progetto
- Il tipo di cassa può essere modificato con l'opportunità di variare le dimensioni rullo senza dover variare dimensioni di albero e cuscinetti

## Materiale utilizzato

- [https://drive.google.com/drive/folders/1ux2Rx1cyNmqKDEVYhEVhj3z7SAbi2wl7?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1ux2Rx1cyNmqKDEVYhEVhj3z7SAbi2wl7?usp=drive_link)