

# Testa fresatrice verticale

## Analisi e verifica

ELABORATO ELEMENTI COSTRUTTIVI DI MACCHINE

---

Alberto Regoli

Anno accademico 2020/2021

Matricola: 563246

Modello ispirato alla testa fresatrice  
verticale dell' azienda Bentivoglio.

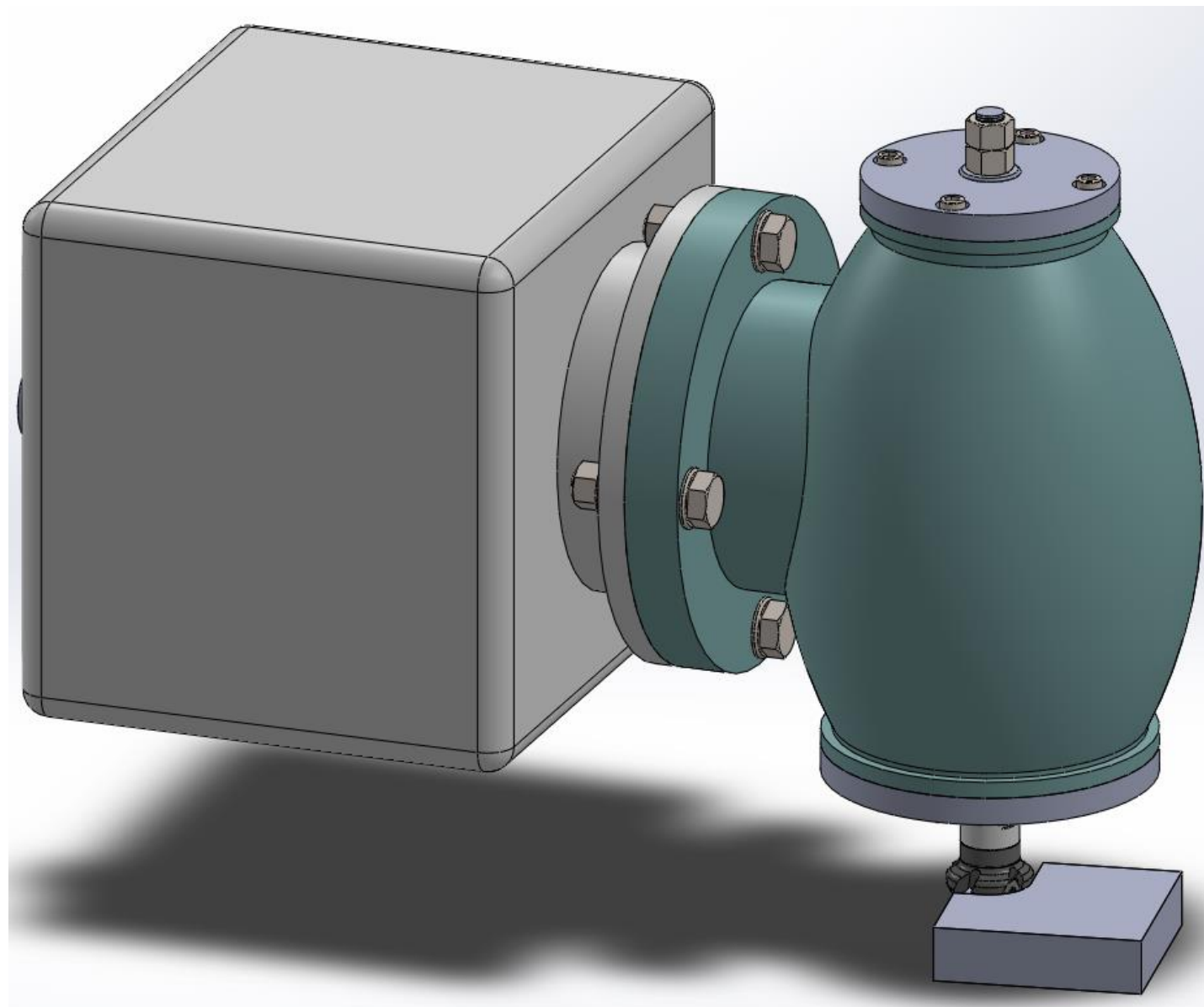
Sito di riferimento:  
[www.bentivoglio1919.it](http://www.bentivoglio1919.it)

Materiali scelti dal catalogo dell' azienda  
Metallurgica Veneta.

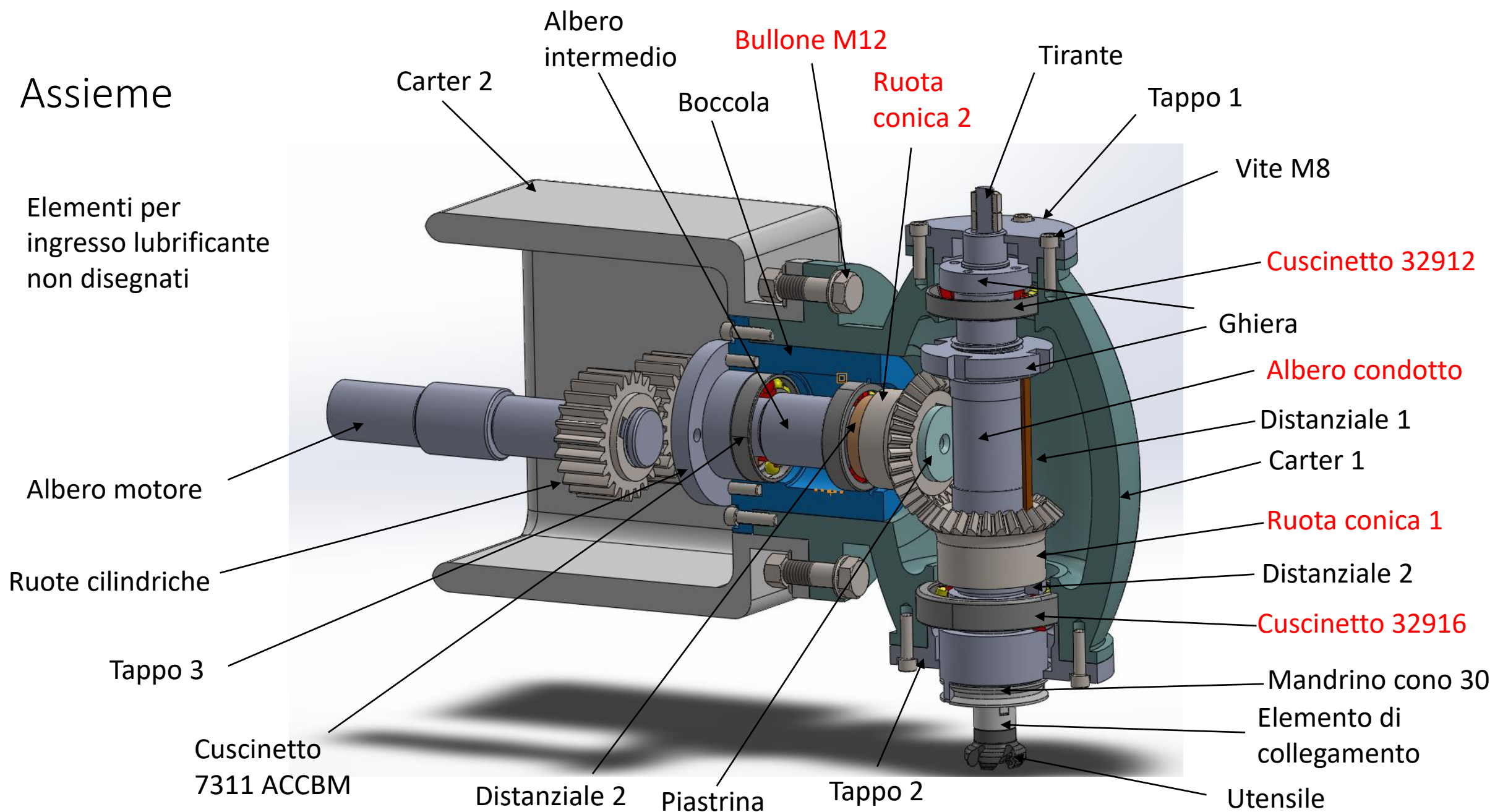
Sito di riferimento:  
[www.metallurgicaveneta.it](http://www.metallurgicaveneta.it)

Utensile e parametri di taglio scelti dal  
catalogo dell' azienda Sandvik Coromant.

Sito di riferimento:  
[www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com)

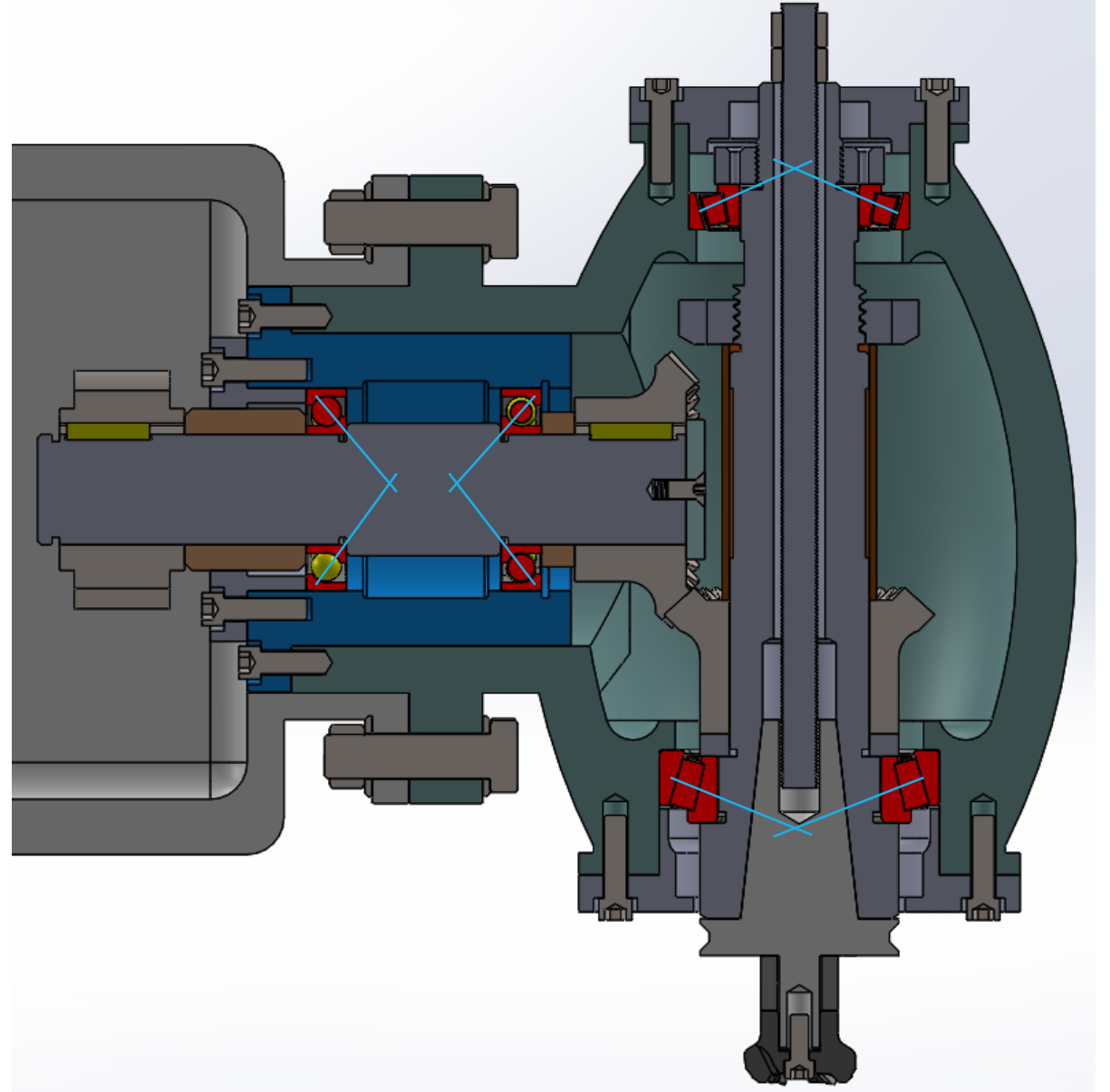


# Assieme



## Dettagli costruttivi

- Montaggio a X per cuscinetti a sfere 7311 ACCBM
- Montaggio ad O per cuscinetti a rulli 32192 e 32196
- Bloccaggio cuscinetti con distanziali per avere gioco nullo e altri sistemi di bloccaggio, come ghiera e tappi
- Collegamenti albero mozzo con linguette UNI 6604 B 16x10x45
- Flangia con 4 bulloni M12 fra carter 1 e carter 2

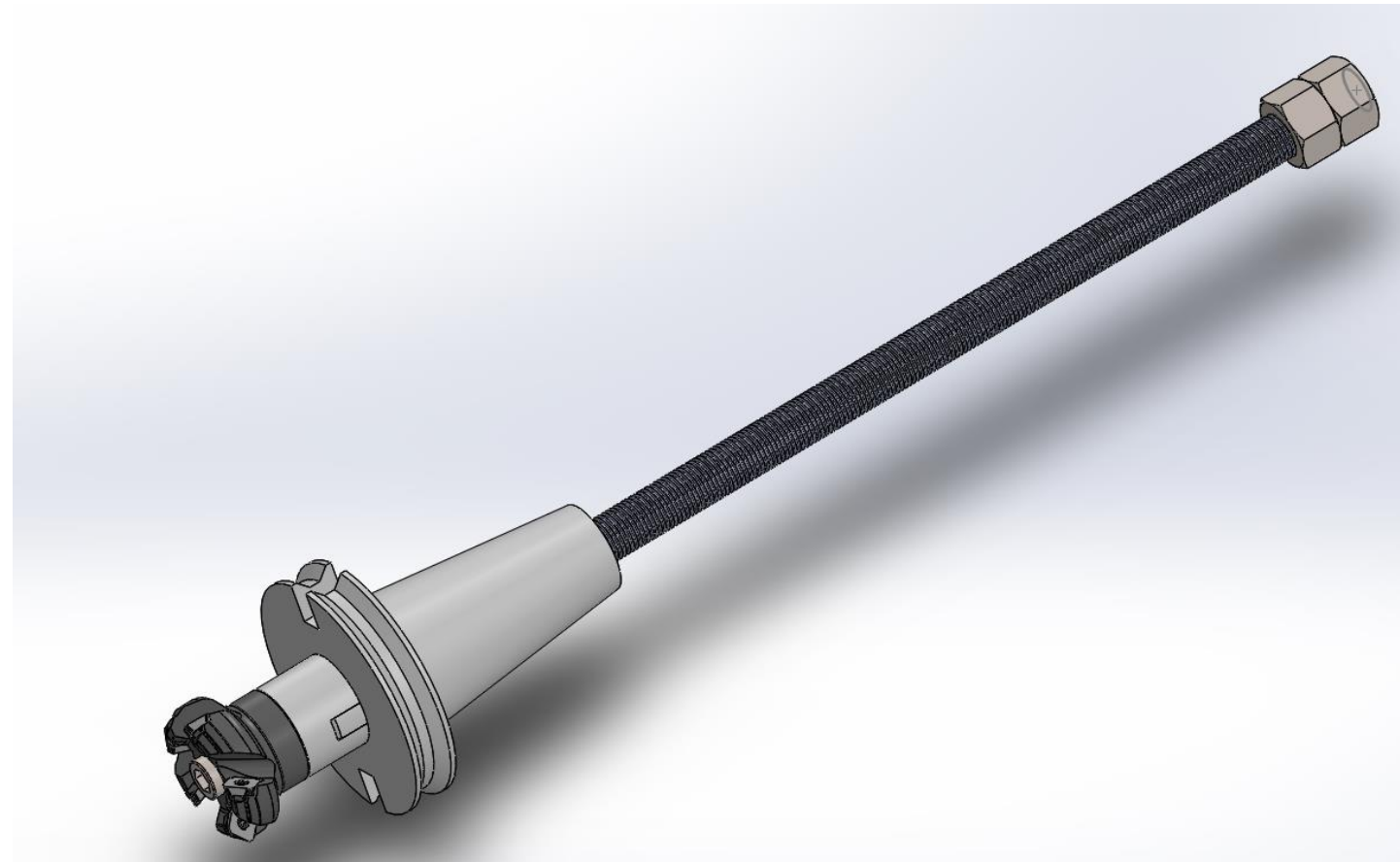


## Dettagli costruttivi

Elementi sottoassieme portautensili-tirante:

- Fresa Coromill R245-050-Q22-12H
- Vite M12
- Elemento di collegamento
- Mandrino SK 30.35.D22S
- Tirante M20
- Dado M20 (x2)

Bloccaggio assieme avviene tramite i due dadi sull' albero condotto. La trasmissione del moto è data dal contatto fra il mandrino e due denti presenti sull' albero condotto.



PORTAFRESE FISSI - SHELL END MILL HOLDERS - SK30

Cod.	TYPE	A	D	AT2	G6.3/15000	AD
				M	H	
SK.30.35.D16S	TC30 H35 D16S	32	16	17	35	
SK.30.35.D22S	TC30 H35 D22S	40	22	19	35	
SK.30.60.D27S	TC30 H60 D27S	50	27	21	60	
SK.30.60.D32S	TC30 H60 D32S	58	32	24	60	

## Materiali e dati tecnici

- Albero intermedio e albero condotto →  $\left\{ \begin{array}{l} 39\text{NiCrMo3 (acciaio bonificato)} \\ Su= 880 \text{ Mpa } Sy= 685 \text{ Mpa } Hb= 290 \\ E= 210 \text{ Gpa } A\%= 11 \% \end{array} \right.$
- Ruote dentate cilindriche e coniche →  $\left\{ \begin{array}{l} 18\text{NiCrMo5 (acciaio da cementazione)} \\ Su= 1200 \text{ Mpa } Sy= 800 \\ m=5 \text{ cilindriche e } m=6 \text{ coniche} \\ z_1= 28 \ z_2= 29 \ z_3= 22 \end{array} \right.$
- Linguetta →  $\left\{ \begin{array}{l} \text{UNI 6604 B 16x10x45} \\ \text{C45} \\ Su= 590 \text{ Mpa} \end{array} \right.$
- Bulloni e viti → M12 e M 8 Classe 8.8 unificati
- Guarnizioni e anelli seeger unificati
- Distanziali → AISI 304

## Materiali e dati tecnici

- Carter 1 e 2 →
  - G30
  - Su= 300 Mpa
  - Densità= 7.9 kg/dm<sup>3</sup>
- Mandrino → Catalogo azienda Serinex
- Tirante →
  - ASTM A320
  - Su= 860 Mpa Sy= 725 Mpa
  - HRC= 35
- Cuscinetti obliqui →
  - Sfere 7311 ACCBM d= 55 mm
  - Rulli 32912 C= 53.2 KN C0= 75 KN Pu= 7.8 KN
  - d= 60 mm e= 0.33 Y=1.8 Y0= 1 X= 0.35
  - Rulli 32916 C= 89.7 KN C0= 125 KN Pu= 14 KN
  - d= 80 mm e= 0.35 Y=1.7 Y0= 0.8
- Motore elettrico →
  - P= 22 Kw Cambio manuale 6 velocità
  - Giri mandrino : 500 – 3600 rpm
  - Alimentazione 380 volt 50 Hz

## Condizioni di lavoro e analisi dei carichi

- Spianatura di una faccia di un pezzo meccanico di materiale P1.2.Z.AN (acciaio non legato)  
L= 50 mm D= 50 mm H = 20 mm  
Tempo di lavorazione < 5 s
- Velocità di taglio = 196.3 m/min  
Numero denti = 5  
Avanzamento per dente = 0.716 mm  
Velocità mandrino = 1000 rpm  
Velocità avanzamento = 3580 mm/min  
Profondità passata = 10 mm  
Numero passate in profondità = 2  
Impegno di lavoro= 16.67 mm  
Numero passate per impegno di lavoro = 3  
Volume asportato = 597 cm<sup>3</sup>/min  
Potenza di taglio = 16.9 Kw  
Forza di taglio = Fc= 12172 N  
Forza di taglio specifica = 1700 Mpa  
Tempo lavorazione = 3.674 s

—————→ Fresa Coromill R245-050-Q22-12H

Avanzamento tavola,  $v_f$  (mm/min)

$$v_f = f_z \times n \times Z_{EFF}$$

Velocità di taglio,  $v_c$  (m/min)

$$v_c = \frac{\pi \times D_{C_{ap}} \times n}{1000}$$

Velocità del mandrino,  $n$  (giri/min)

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_{C_{ap}}}$$

Avanzamento per dente,  $f_z$  (mm)

$$f_z = \frac{v_f}{n \times Z_{EFF}}$$

Avanzamento per giro,  $f_n$  (mm/giro)

$$f_n = \frac{v_f}{n}$$

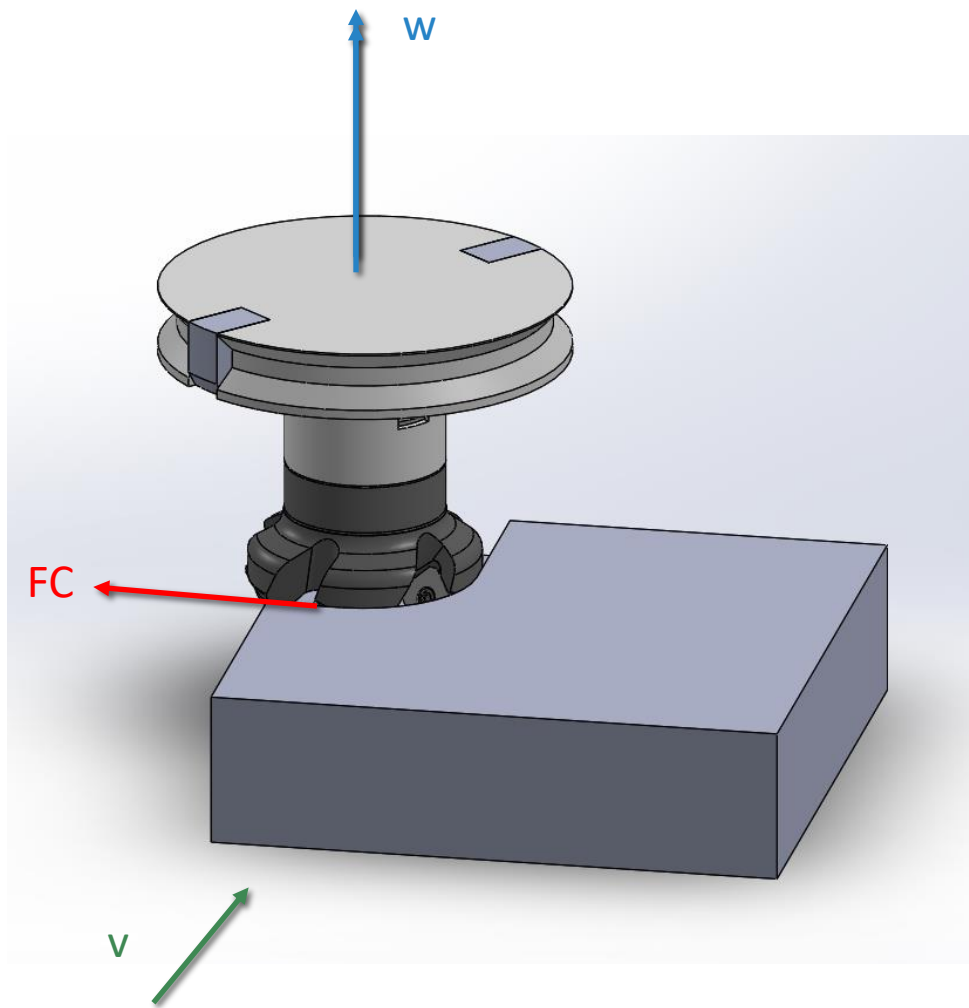
Volume di truciolo asportato,  $Q$  (cm<sup>3</sup>/min)

$$Q = \frac{AP \times a_e \times v_f}{1000}$$

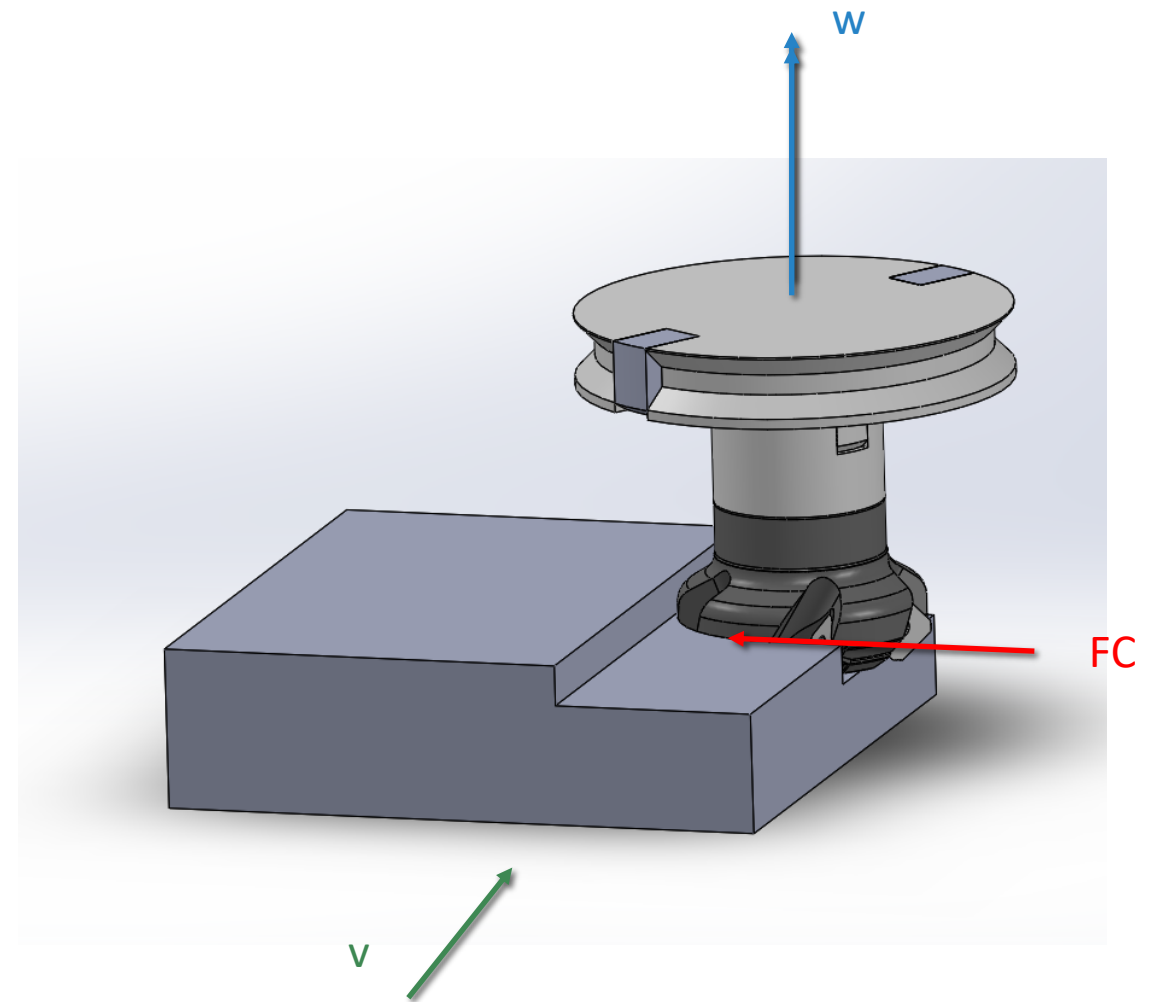
Potenza netta,  $P_c$  (kW)

$$P_c = \frac{a_e \times AP \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$



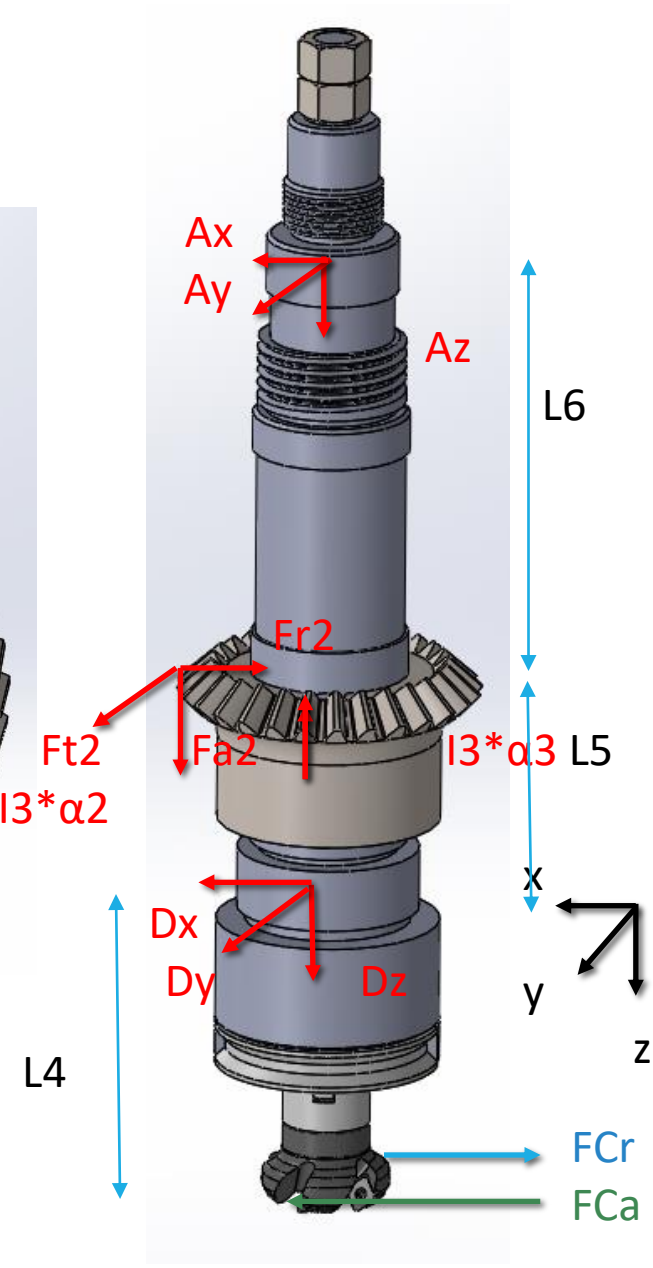
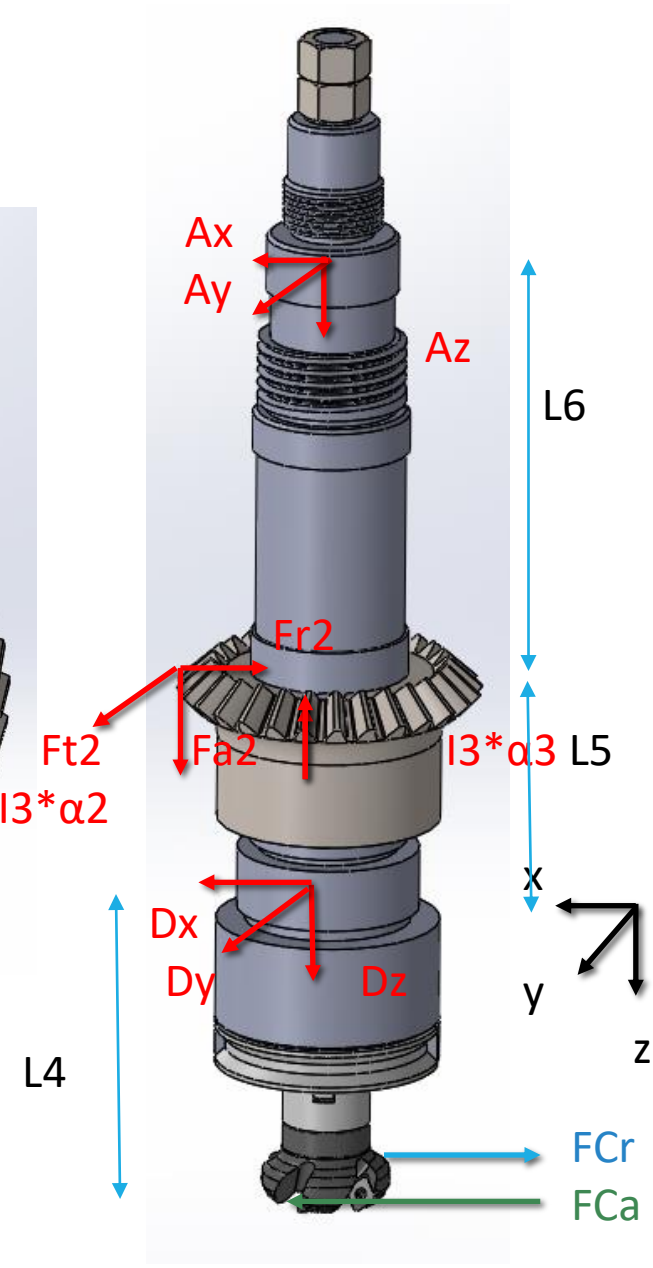
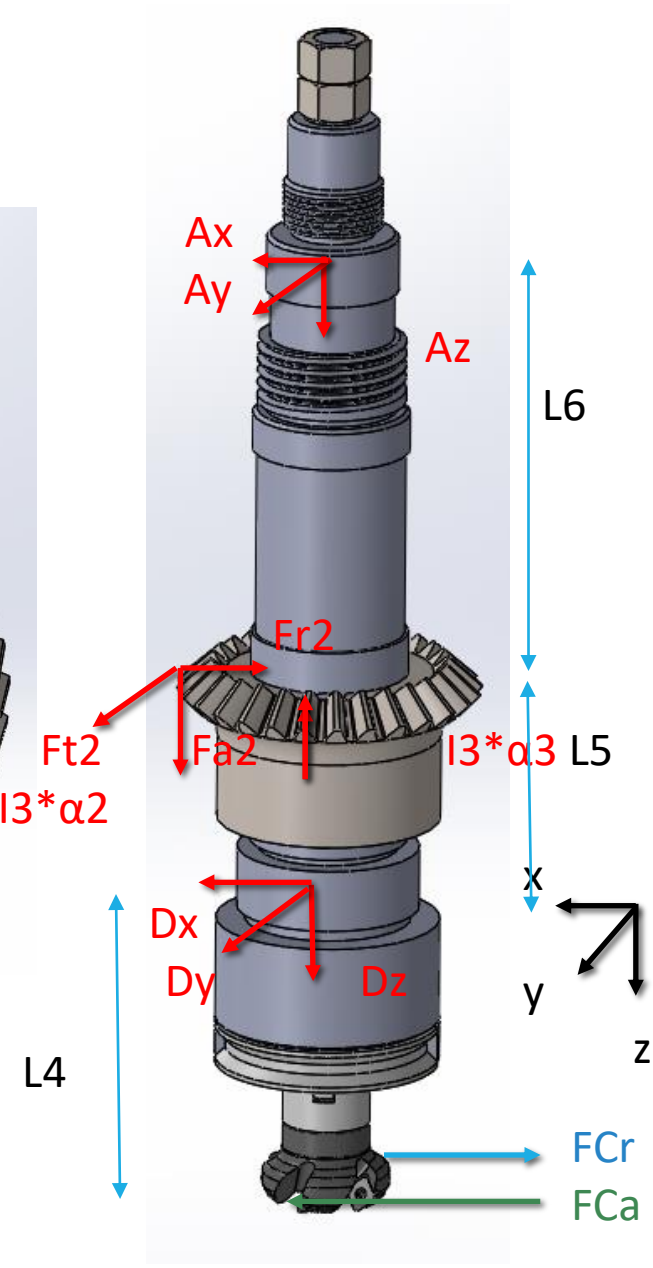
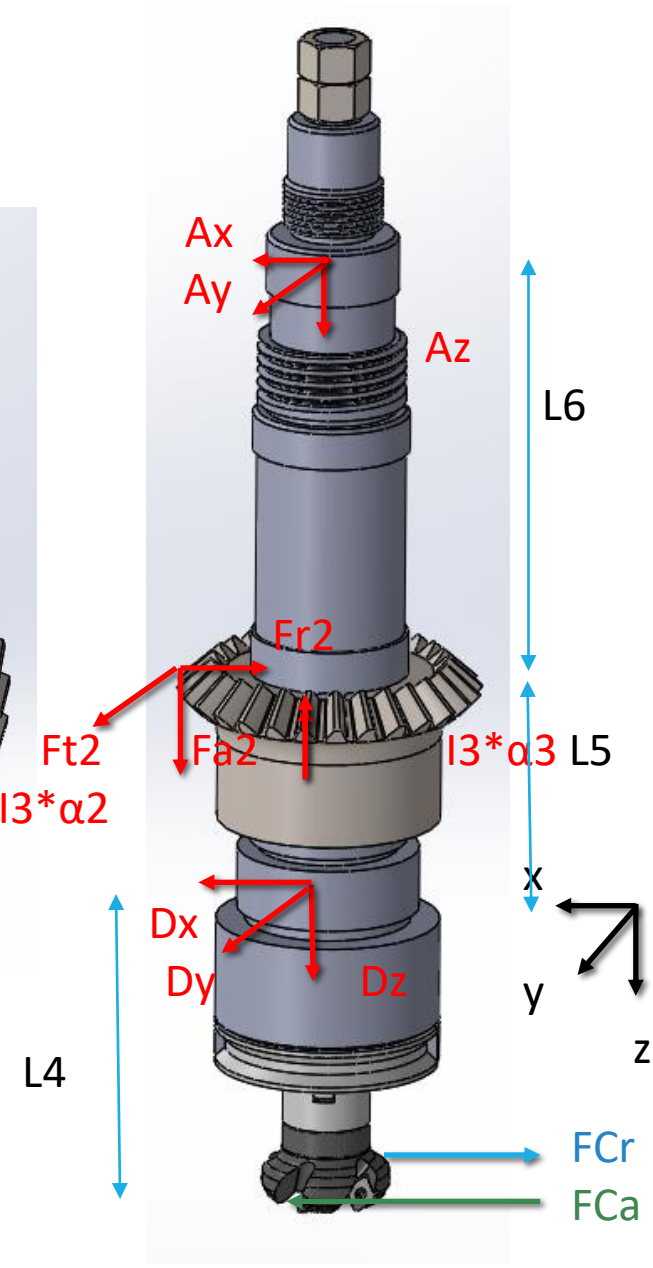
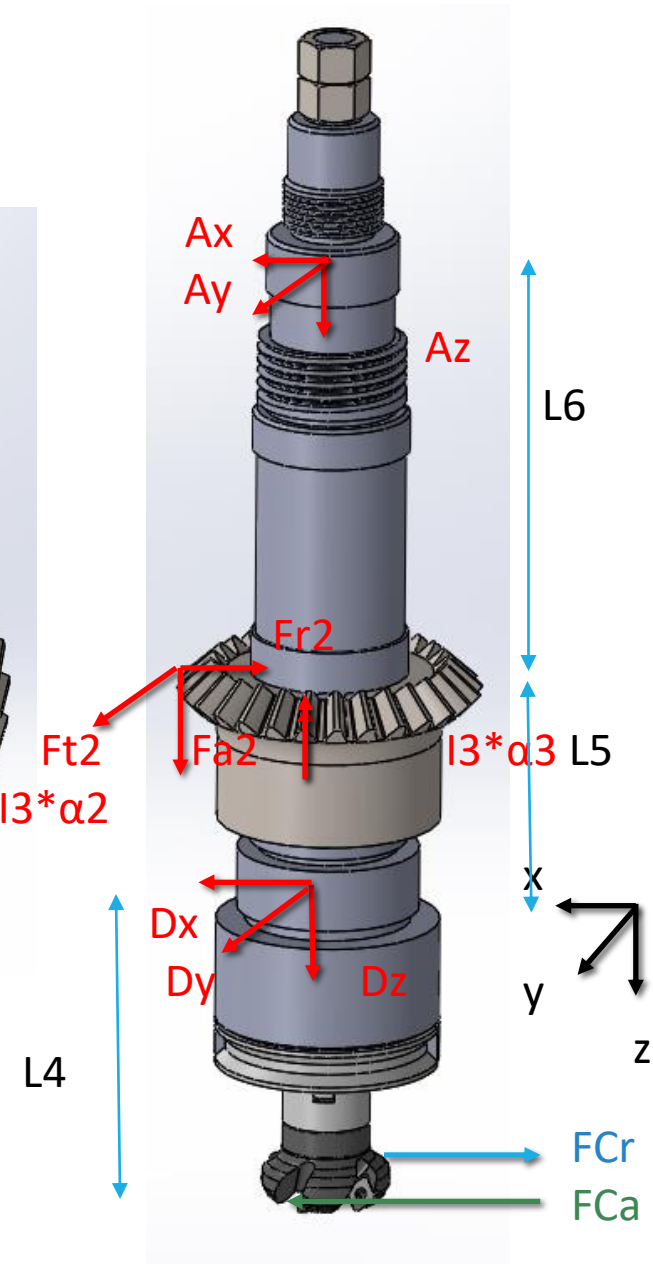
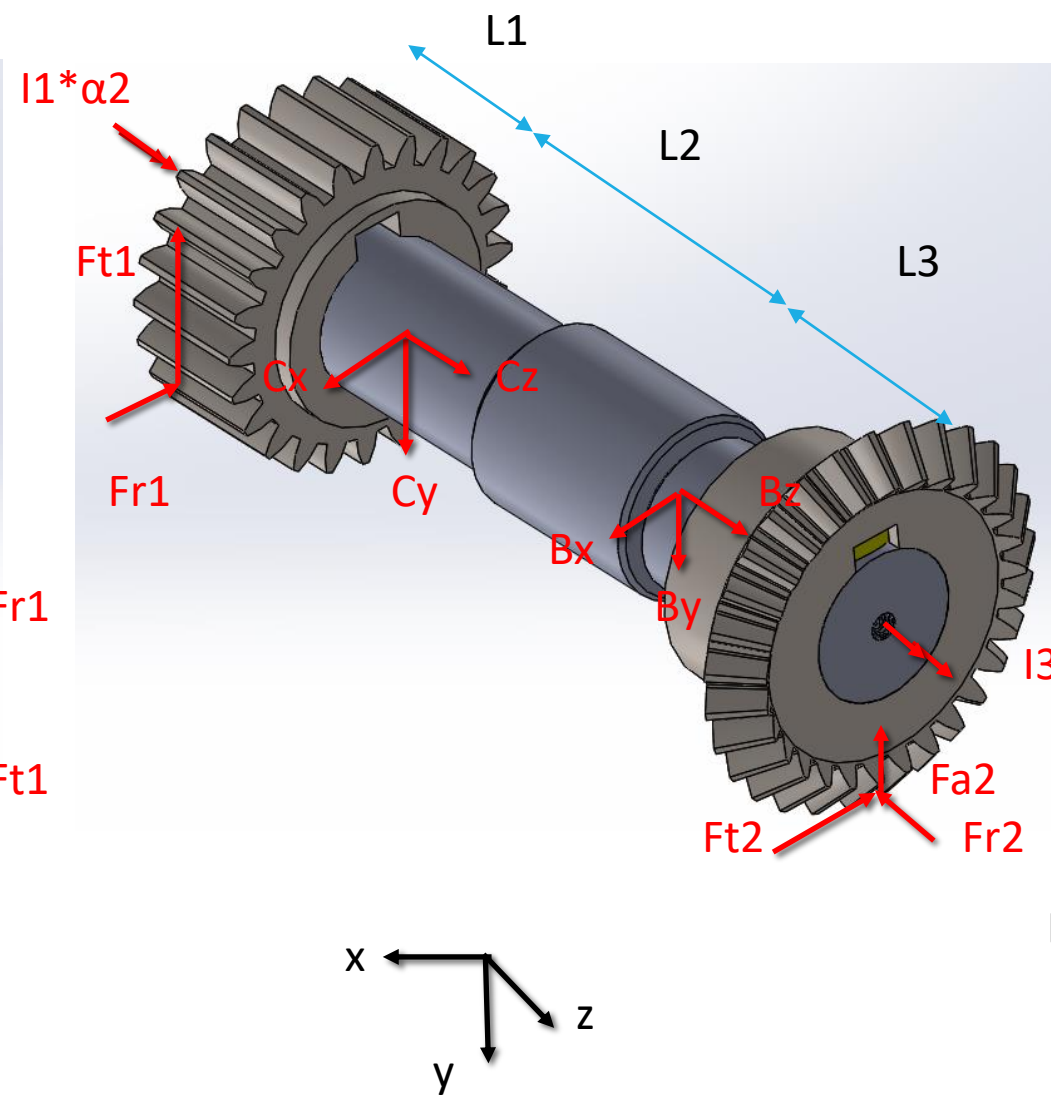
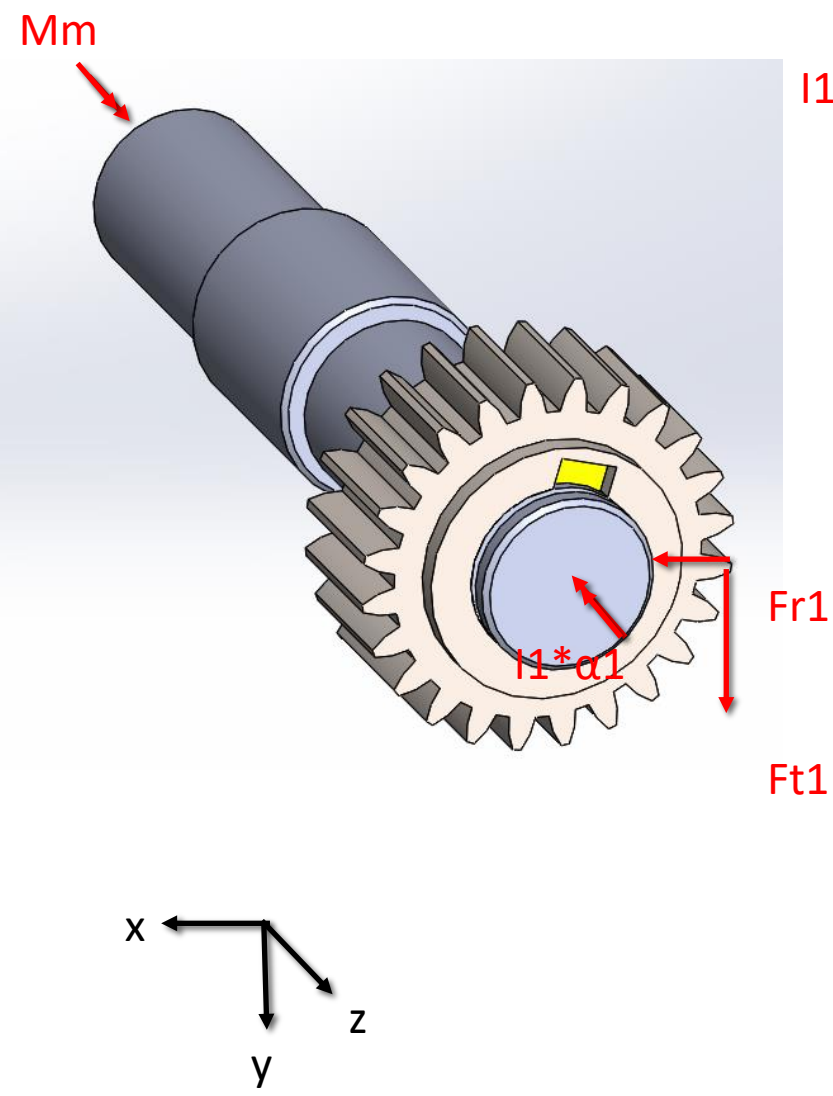


- Lavorazione andata



- Lavorazione ritorno

# Schemi di equilibrio



$L1 = 120 \text{ mm}$   $L2 = 91.4 \text{ mm}$   $L3 = 105.8 \text{ mm}$   $L4 = 131.8 \text{ mm}$   $L5 = 100.2 \text{ mm}$   $L6 = 209.4$   
 $d1 = 110 \text{ mm}$   $d2 = 148 \text{ mm}$   $d3 = 142 \text{ mm}$   $d_f = 50 \text{ mm}$   $\phi = 20^\circ$   $\gamma = 42.8^\circ$   
 $I1 = 0.01 \text{ kgm}^2$   $I2 = 0.081 \text{ kgm}^2$   $I3 = 0.085 \text{ kgm}^2$

NOTA: peso trascurato e un solo dente fresa in presa

Andata:

$$\left\{ \begin{array}{l} Mm - I1 \cdot \alpha1 - 0.5 d1 Ft1 = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Cz + Bz - Fr2 = 0 \\ -Fr1 + Cx + Bx - Ft2 = 0 \\ -Ft1 + Cy + By - Fa2 = 0 \\ -Ft1 L1 - By L2 + Fa2 (L2 + L3) - 0.5 Fr2 d2 = 0 \\ Fr1 L1 + Bx L2 - Ft2 (L2 + L3) = 0 \\ -0.5 Ft1 d1 + 0.5 Ft2 d2 - (I1 + I2) \alpha2 = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Az + Dz + Fa2 = 0 \\ Ax + Dx + FC - Fr2 = 0 \\ Ay + Dy + Ft2 = 0 \\ -Ft2 L5 - (L5 + L6) Ay = 0 \\ -L4 FC + 0.5 Fa2 - Fr2 L5 + (L5 + L6) Ax = 0 \\ 0.5 FC - 0.5 Ft2 d2 - I3 \alpha3 = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha1 = \alpha2 \\ \alpha3 = \tau \alpha2 \quad \text{con } \tau = 28/29 \end{array} \right.$$

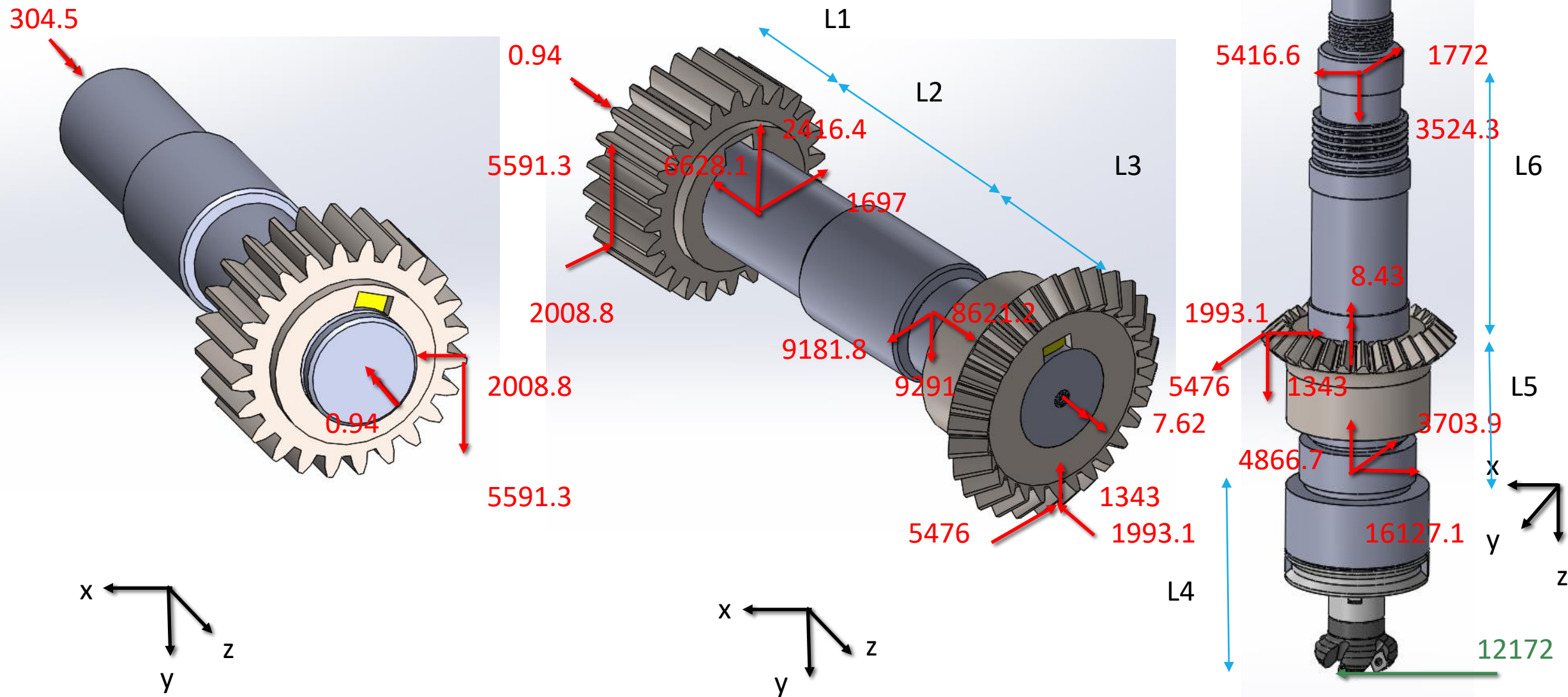
$$\left\{ \begin{array}{l} Fa2 = Ft2 \tan \phi \sin \gamma \\ Fr2 = Ft2 \tan \phi \cos \gamma \\ Fr1 = Ft1 \tan \phi \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Dz, Az \text{ procedura SKF} \\ Cz, Bz \text{ procedura SKF} \end{array} \right.$$

Ritorno:

$$\left\{ \begin{array}{l} Ax + Dx - FC - Fr2 = 0 \\ L4 FC + 0.5 Fa2 - Fr2 L5 + (L5 + L6) Ax = 0 \end{array} \right.$$

# Schemi di equilibrio - Andata [N, Nm]







## Verifica e Analisi

- Albero condotto
- Cuscinetti obliqui a rulli 32912 e 32916
- Linguetta UNI 6604 B 16X10X45
- Ruota conica 3
- Flangia fra carter 1 e carter 2

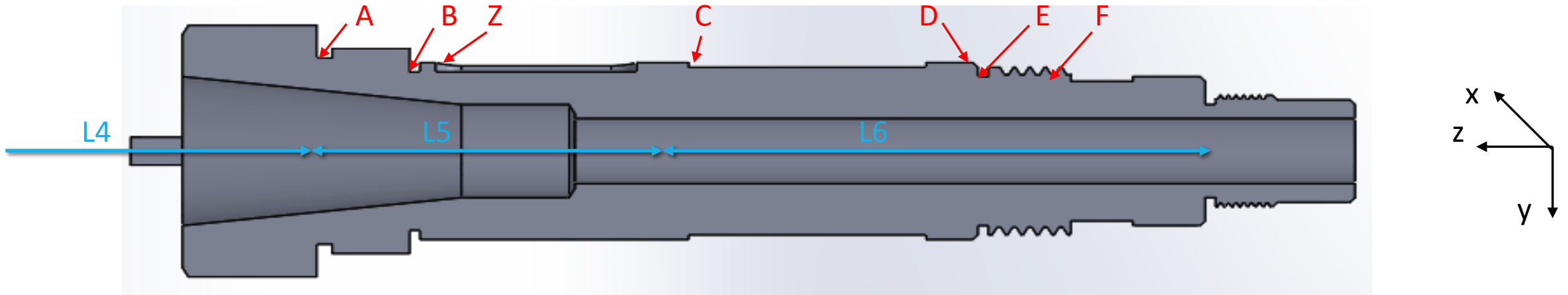
Per definizione:

coefficiente di sicurezza = fattore per cui moltiplicare TUTTI i carichi per arrivare al fallimento



Le verifiche fatte porteranno a coefficienti di sicurezza superiori all' unità o ad un elevato numero di cicli prima di raggiungere il fallimento di un componente dell' assieme e conseguente fermo della fresatrice . In realtà la macchina dovrà fermarsi per cambiare utensile in caso di altre lavorazioni o per sostituire gli inserti della fresa usurati. Nel caso studiato essi hanno una vita pari a 103 lavorazioni di spianatura.

# Verifica albero condotto

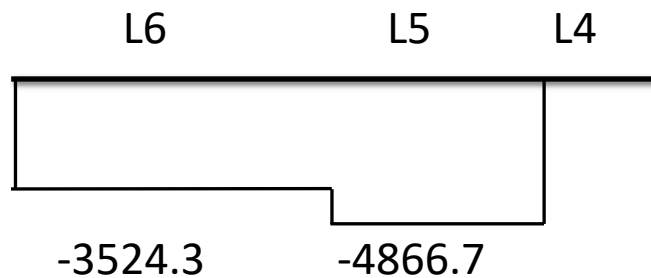


39NiCrMo3 (acciaio bonificato)     $S_u = 880 \text{ Mpa}$      $S_y = 685 \text{ Mpa}$      $H_b = 290$      $E = 210 \text{ Gpa}$      $A\% = 11 \%$

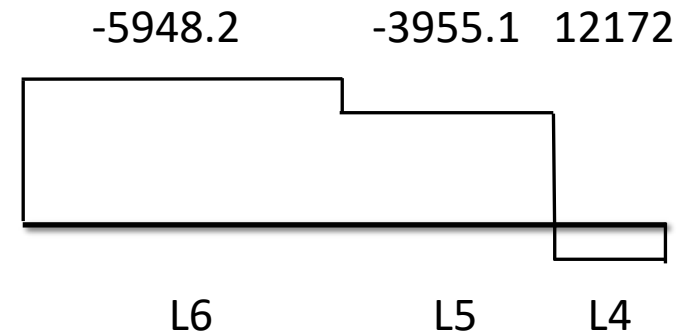
$L_4 = 131.8 \text{ mm}$      $L_5 = 100.2 \text{ mm}$      $L_6 = 209.4$

- Diagrammi delle caratteristiche - Andata

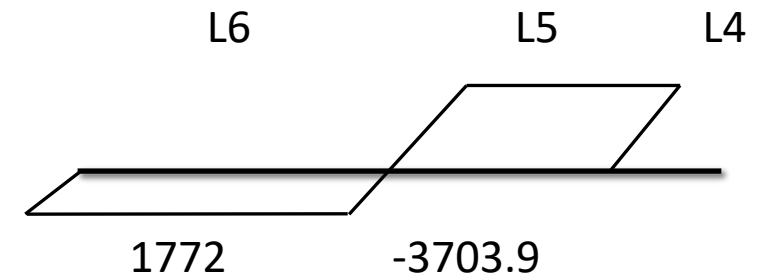
Forza Normale [N]



Forza  $T_y$  [N]

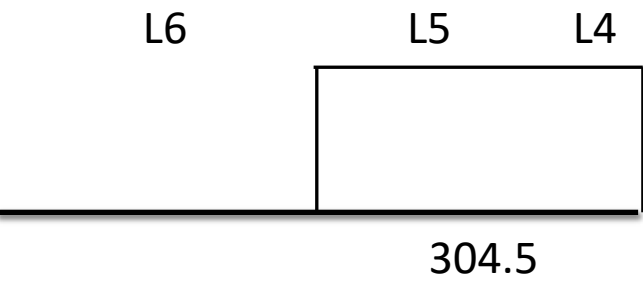


Forza  $T_x$  [N]

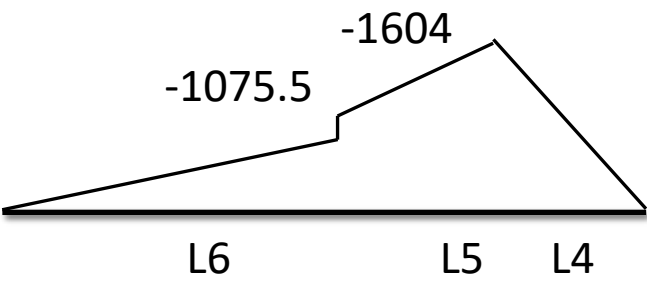


# Verifica albero condotto – Andata

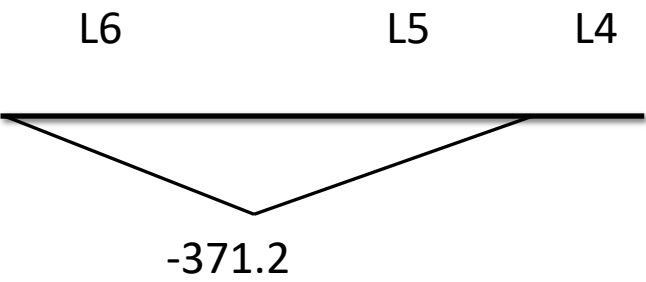
Momento torcente Mz [Nm]



Momento flettente Mx [Nm]



Momento flettente My [Nm]



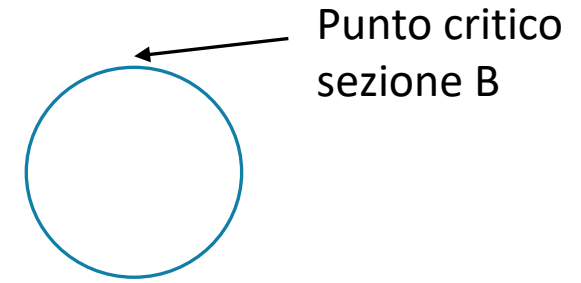
Verifica statica → materiale scelto è duttile, quindi si riduce solamente alla verifica di collasso plastico

	Fn	Ty	Tx	Mx	My	Mz	Wx [10 <sup>4</sup> ]	Area	σzz	τλz	σeq
A	-4866.7	-3951.3	-3708.8	-1604	0	304.5	4.01	2765.1	-50.4	3.8	50.8
B	-4866.7	-3951.3	-3708.8	-1398	-144.4	304.5	2.85	2464.4	-59.2	5.4	60
Z	-4866.7	-3951.3	-3708.8	-1281.1	-226.7	304.5	3.17	2936,4	-49.2	4.8	49.9
C	-3523	-5948.2	1770.2	-921.4	-329.8	0	2.39	2626.4	-53.6	0	53.6
D	-3523	-5948.2	1770.2	-416.1	-143.6	0	2.76	2930.3	-25.6	0	25.6
E	-3523	-5948.2	1770.2	-246.6	-85.1	0	2.06	2060	-20.7	0	20.7
F	-3523	-5948.2	1770.2	-169.5	-58.5	0	1.75	2336.6	-14.7	0	14.7

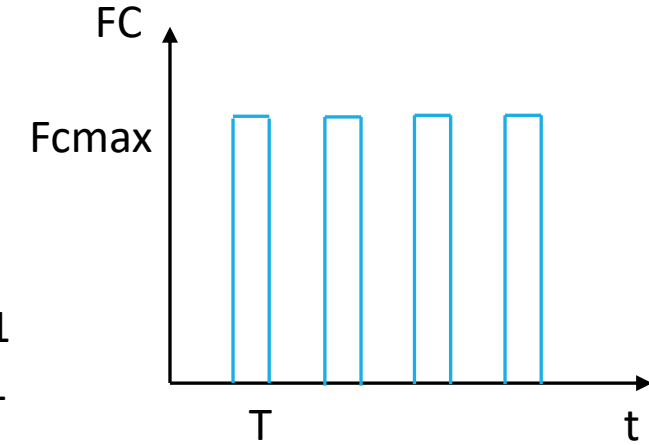


# Verifica albero condotto – Andata

La sezione più critica è la B con  $\sigma_{eqB} = 60 \text{ Mpa}$   $\longrightarrow$   $n_{cp} = S_y / \sigma_{eqB} = 11.4$



Verifica a fatica  $\longrightarrow$  La forza FC ha andamento ripetuto da 0 a  $F_{cmax}$   
 $CL = Ct = 1$   $C_g = 0.7$  ( $d > 50 \text{ mm}$ )  $C_s = 0.9$  (lavorazione macchine)  
 $Cr = 0.814$   $q = 0.9$

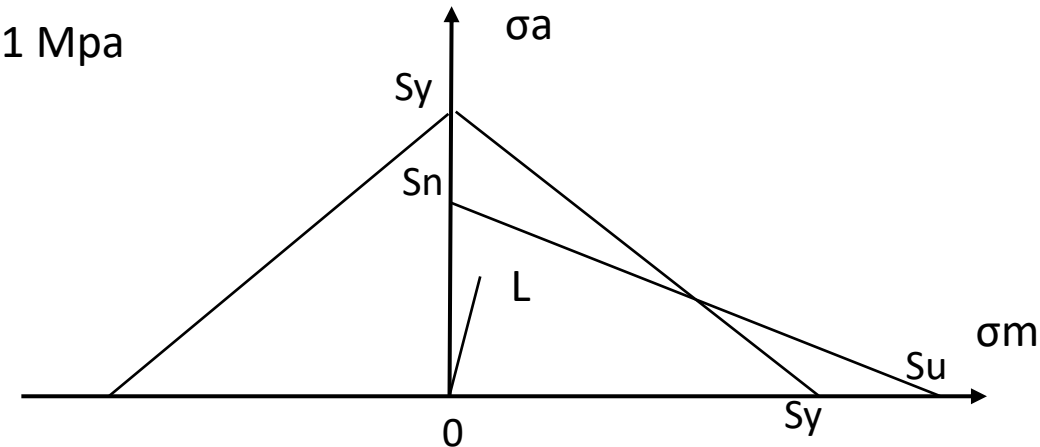


Valuto in B le  $\sigma$  medie e alternate  $\longrightarrow$

$\sigma_{Nm} = -1.04 \text{ Mpa}$	$\sigma_{Na} = 1.043 \text{ Mpa}$	$k_f N = 1.81$
$\sigma_{Mm} = 0 \text{ Mpa}$	$\sigma_{Ma} = 58.3 \text{ Mpa}$	$k_f M = 1.81$
$\sigma_{Tm} = 2.67 \text{ Mpa}$	$\sigma_{Ta} = 2.67 \text{ Mpa}$	$k_f T = 1.36$

$S_n = S_n' C_s C_g C_t C_L C_r = 225.6 \text{ Mpa}$      $\sigma_{eqa, kf} = 105.5 \text{ Mpa}$      $\sigma_{eqm, kf} = 2.81 \text{ Mpa}$

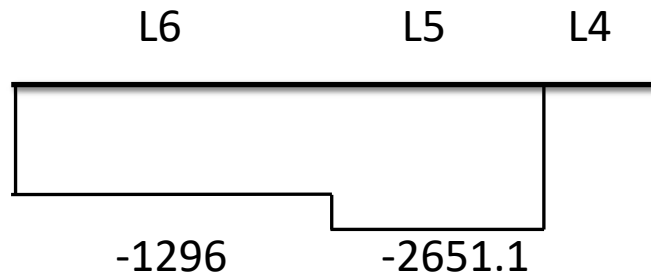
$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_{eqa, kf}}{S_n} + \frac{\sigma_{eqm, kf}}{S_u}} = 2.12$$



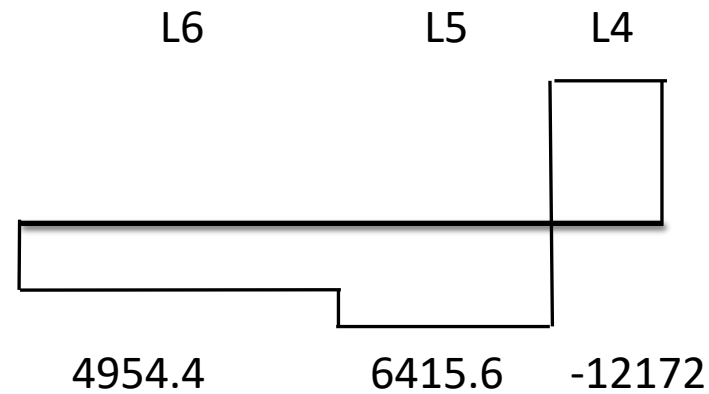
# Verifica albero condotto – Ritorno

- Diagrammi delle caratteristiche - Ritorno

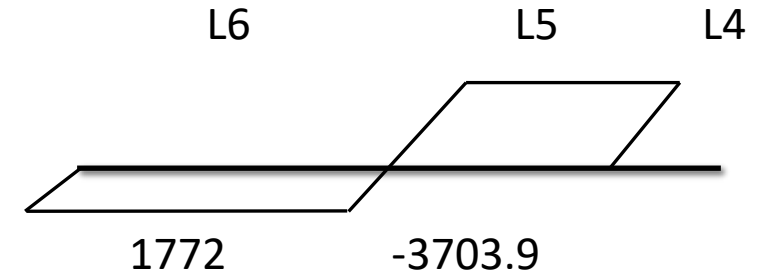
Forza Normale [N]



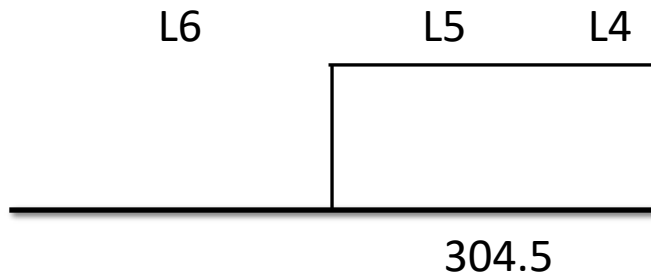
Forza Ty [N]



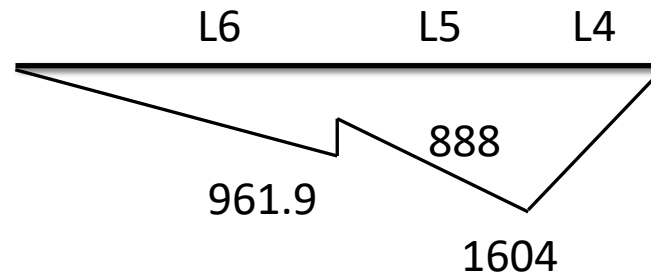
Forza Tx [N]



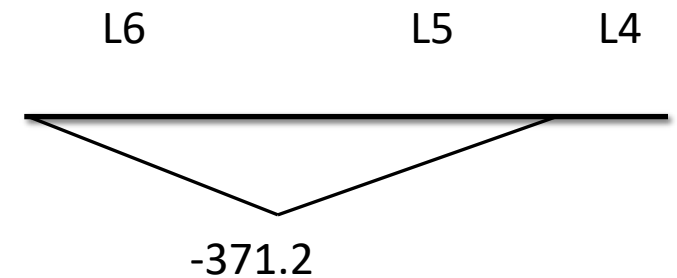
Momento torcente Mz [Nm]



Momento flettente Mx [Nm]



Momento flettente My [Nm]



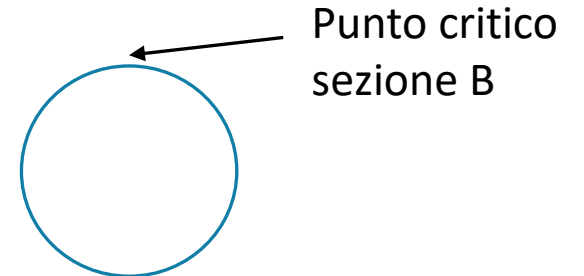
## Verifica albero condotto – Ritorno

Verifica statica  $\longrightarrow$  materiale scelto è duttile, quindi si riduce solamente alla verifica di collasso plastico

	Fn	Ty	Tx	Mx	My	Mz	Wx [10 <sup>4</sup> ]	Area	$\sigma_{zz}$	$\tau_{\lambda z}$	$\sigma_{eq}$
A	-2651.1	6415.6	-3708.8	1604	0	304.5	4.01	2765.1	41	3.8	41.5
B	-2651.1	6415.6	-3708.8	1411.5	-111.1	304.5	2.85	2464.4	53.4	5.4	54.2
Z	-2651.1	6415.6	-3708.8	1399	-115.6	304.5	3.17	2936,4	48.3	4.8	49
C	-1295.8	4954.4	1770.2	854.4	-329.8	0	2.39	2626.4	50	0	50
D	-1295.8	4954.4	1770.2	372.1	-143.6	0	2.76	2930.3	19.1	0	19.1
E	-1295.8	4954.4	1770.2	220.5	-85.1	0	2.06	2060	15.5	0	15.5
F	-1295.8	4954.4	1770.2	151.6	-58.5	0	1.75	2336.6	12.6	0	12.6

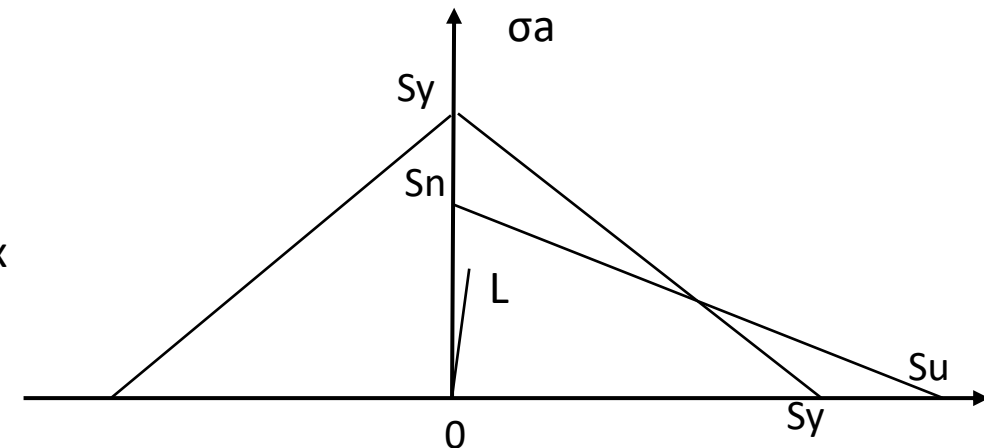
La sezione più critica è la B con  $\sigma_{eqB} = 54.2$  Mpa  $\longrightarrow$

$$n_{cp} = S_y / \sigma_{eqB} = 12.6$$



# Verifica albero condotto – Ritorno

Verifica a fatica → La forza FC ha andamento ripetuto da 0 a Fcmax  
 CL=Ct=1 Cg=0.7 (d> 50 mm)  
 Cs=0.9 (lavorazione macchine) Cr= 0.814 q=0.9



Valuto in B le  $\sigma$  medie e alternate →

$\sigma_{Nm} = -0.54 \text{ Mpa}$	$\sigma_{Na} = 0.54 \text{ Mpa}$	$k_{fN} = 1.81$
$\sigma_{Mm} = 0 \text{ Mpa}$	$\sigma_{Ma} = 52.33 \text{ Mpa}$	$k_{fM} = 1.81$
$\sigma_{Tm} = 2.67 \text{ Mpa}$	$\sigma_{Ta} = 2.67 \text{ Mpa}$	$k_{fT} = 1.36$

$S_n = S_n' C_s C_g C_t C_L C_r = 225.6 \text{ Mpa}$      $\sigma_{eqa,kf} = 95.9 \text{ Mpa}$      $\sigma_{eqm,kf} = 3.18 \text{ Mpa}$

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_{eqa,kf}}{S_n} + \frac{\sigma_{eqm,kf}}{S_u}} = 2.33$$

Verifica macrociclo → 40 000 pezzi da lavorare → 120 000 cicli andata/ritorno  
 T=3.67 s w= 1000 rpm zeff= 5    cicli singola andata= 0.5wTzeff = 153.1 cicli

$$\underline{\sigma_a} = \sigma_a \frac{1}{(1 - \sigma_m / S_u)} \quad \underline{\sigma_a}_{and} = 105.8 \quad \underline{\sigma_a}_{rit} = 96.2 \text{ Mpa} \quad \underline{\sigma_a} = a N_f^b \quad \rightarrow \quad a = 2778.6 \text{ Mpa} \quad b = -0.182$$

$$N_{f, and} = 64.6 \text{ milioni di cicli} \quad N_{f, rit} = 109 \text{ milioni di cicli} \quad D = 153.1 / (64.6 \cdot 10^6) + 153.1 / (109 \cdot 10^6) = 3.775 \cdot 10^{-6}$$

$N_f = \text{cicli macrociclo a frattura} = 1/D = 264931 \text{ cicli}$

$$n_f = 264931 / 240000 = 1.10$$

## Verifica denti albero condotto – trasmissione moto

R= 44.5 mm H= 17 mm L= 13 mm B= 9 mm

Sy= 685 Mpa Su= 880 Mpa

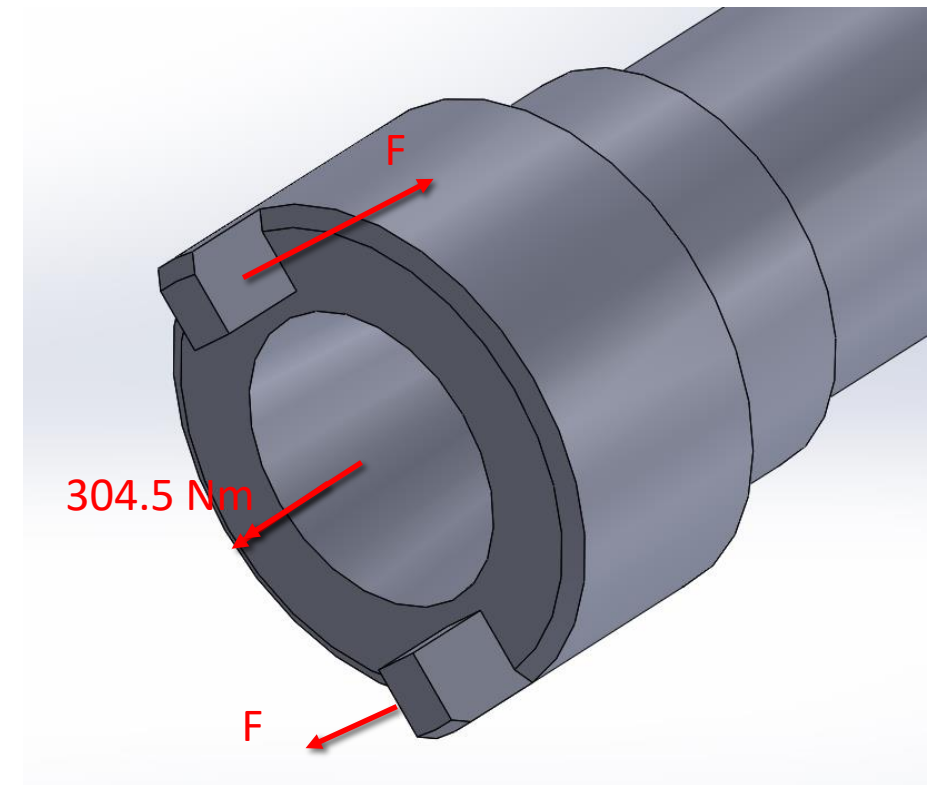
304.5-2RF=0 F= 3421.4 N

Verifica a taglio statica →  $p = F/(HL) = 15.5 \text{ Mpa} \ll S_{sy}$

Verifica a collasso plastico → considero dente come trave  
Mxmax= 29.08 Nm Jx= 789.8 mm<sup>4</sup>  
 $\sigma_{zz} = 165.7 \text{ Mpa}$   $\tau = 29.29 \text{ Mpa}$   
 $\sigma_{eq} = 165.7 \text{ Mpa}$   $n_{cp} = 4.1$

Verifica a fatica →  $\sigma_{Ma} = 82.85 \text{ Mpa}$   $\sigma_{Mm} = 82.85 \text{ Mpa}$   $k_{fM} = 1.81$   
 $\tau_a = 14.65 \text{ Mpa}$   $\tau_m = 14.65 \text{ Mpa}$   $k_{fT} = 1.36$   
 $\sigma_{aeq,kf} = 153.9 \text{ Mpa}$   $\sigma_{meq,kf} = 152.6 \text{ Mpa}$   
Cs= 0.9 Cg=CL=Ct= 1 Cr= 0.814 Sn= Sn'CsCgCtCLCr= 322.3 Mpa

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_{eqa,kf}}{S_n} + \frac{\sigma_{eqm,kf}}{S_u}} = 1.54$$

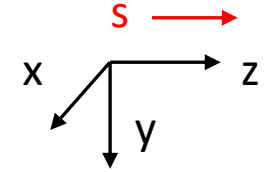
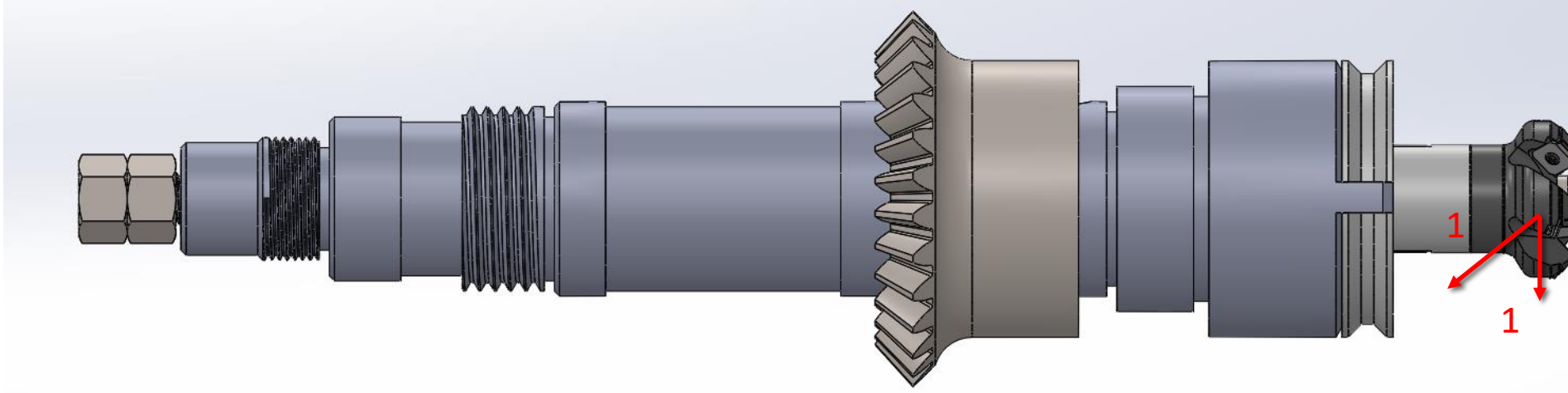


NOTA: verifica valida  
per andata e ritorno

## Verifica posizione punta utensile

$L_4 = 131.8 \text{ mm}$   $L_5 = 100.2 \text{ mm}$   $L_6 = 209.4$   $F_{cmax} = 12172 \text{ N}$

$J_{xmedioL_6} = 8.044 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$   $J_{xmedioL_5} = 1.43 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$   $J_{xmedioL_4} = 4.795 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$



Applico integrale di Mohr per valutare spostamento in direzione x e y del dente a contatto con il pezzo:

$$M_{xu} = \begin{cases} -0.426s & 0 < s < (L_6 + L_5) \\ -441.4 + s & (L_6 + L_5) < s < (L_6 + L_5 + L_4) \end{cases} \quad M_{yu} = -M_{xu} \quad M_{zu} = \begin{cases} 25 & 0 < s < (L_6 + L_5) \\ (L_6 + L_5) < s < (L_6 + L_5 + L_4) \end{cases}$$

$$u = \int \frac{M_y M_{yu}}{E J_y}$$

$$v = \int \frac{M_x M_{xu}}{E J_x} + \int \frac{M_z M_{zu}}{G (J_x + J_y)}$$

# Verifica posizione punta utensile

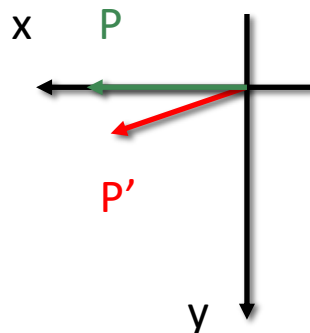
Andata:

$$M_x = \begin{cases} -5417s & 0 < s < L_6 \\ -5273s + 28539 & L_6 < s < (L_6 + L_5) \\ 12172s - 5372146 & (L_6 + L_5) < s < (L_6 + L_5 + L_4) \end{cases}$$

$$M_y = \begin{cases} -1773s & 0 < s < L_6 \\ 3703.9s - 1146638 & L_6 < s < (L_6 + L_5) \end{cases}$$

$$M_z = \begin{cases} 304500 & (L_6 + L_5) < s < (L_6 + L_5 + L_4) \end{cases}$$

$$u = -0.02 \text{ mm} \quad v = 0.455 \text{ mm} \quad |s| = 0.455 \text{ mm (accettabile)}$$



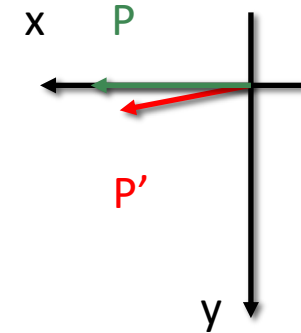
Ritorno:

$$M_x = \begin{cases} 4594s & 0 < s < L_6 \\ 7144.3s - 607727 & L_6 < s < (L_6 + L_5) \\ -12172s - 5372146 & (L_6 + L_5) < s < (L_6 + L_5 + L_4) \end{cases}$$

$$M_y = \begin{cases} -1773s & 0 < s < L_6 \\ 3703.9s - 1146638 & L_6 < s < (L_6 + L_5) \end{cases}$$

$$M_z = \begin{cases} 304500 & (L_6 + L_5) < s < (L_6 + L_5 + L_4) \end{cases}$$

$$u = -0.02 \text{ mm} \quad v = 0.111 \text{ mm} \quad |s| = 0.112 \text{ mm (accettabile)}$$

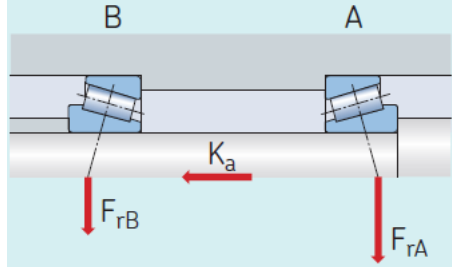


# Verifica cuscinetti obliqui a rulli – Andata

Cuscinetto sup 32912 C= 53.2 KN C0= 75 KN Pu= 7.8 KN d= 60 mm e= 0.33 Y=1.8 Y0= 1 X= 0.35

Cuscinetto inf 32916 C= 89.7 KN C0= 125 KN Pu= 14 KN d= 80 mm e= 0.35 Y=1.7 Y0= 0.8

Back-to-back



Case 2a

$$\frac{F_{rA}}{Y_A} \leq \frac{F_{rB}}{Y_B}$$

$$K_a \geq 0$$

$$F_{aA} = F_{aB} + K_a$$

$$F_{aB} = \frac{0,5 F_{rB}}{Y_B}$$

Verifica statica

$$P_{0sup} = 0.5 F_r + Y_0 F_a = 6373.8 \text{ N } (> F_r) \quad n_{0sup} = C_0 / P_0 = 11.7 (> 1.5 \text{ silenzioso})$$

$$P_{0inf} = 0.5 F_r + Y_0 F_a = 12653.4 \text{ N } (< F_r = 16547 \text{ N}) \quad n_{0inf} = 7.55$$

Verifica dinamica

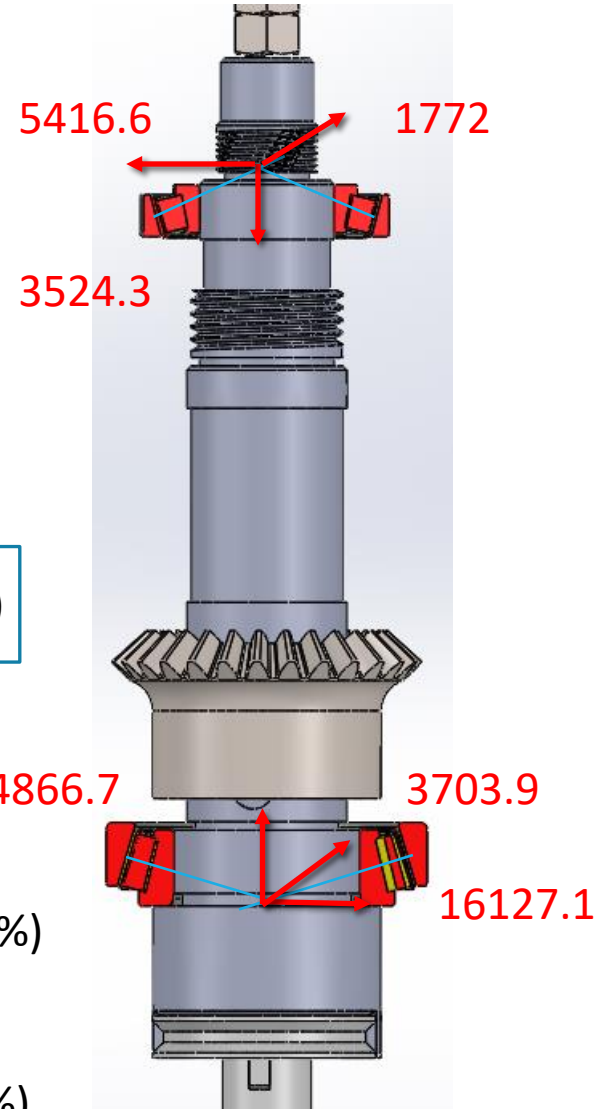
$$F_{asup} / F_{rsup} = 0.618 > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a = 8338.4 \text{ N } (> P_u)$$

$$\eta_c = 0.8 \text{ (buona pulizia)} \quad k = 1 \text{ (lubrificazione corretta)} \quad a_{SKF} = 2 \quad a_1 = 0.64 \text{ (99\%)}$$

$$p = 10/3 \quad L_{5m} = a_1 a_{SKF} (C/P)^p = 616.6 \text{ milioni di cicli}$$

$$F_{ainf} / F_{rinf} = 0.294 > e \rightarrow P = 16546.7 \text{ N } (> P_u) \quad a_{SKF} = 1.75 \quad a_1 = 0.64 \text{ (99\%)}$$

$$L_{5m} = a_1 a_{SKF} (C/P)^p = 313.4 \text{ milioni di cicli}$$

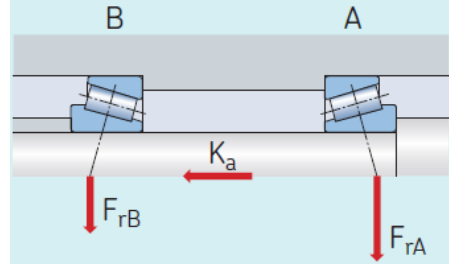




# Verifica cuscinetti obliqui a rulli – Ritorno

Back-to-back

Case 2a



$$\frac{F_{rA}}{Y_A} \leq \frac{F_{rB}}{Y_B}$$

$$K_a \geq 0$$

$$F_{aA} = F_{aB} + K_a$$

$$F_{aB} = \frac{0,5 F_{rB}}{Y_B}$$

Verifica statica

$$P_{0sup} = 0.5F_r + Y_0F_a = 3758 \text{ N} (< F_r = 4924.3 \text{ N}) \quad n_{0sup} = C_0/P_0 = 15.23$$

$$P_{0inf} = 0.5F_r + Y_0F_a = 11862 \text{ N} (< F_r = 18953 \text{ N}) \quad n_{0inf} = 6.6$$

Verifica dinamica

$$F_{asup}/F_{rsup} = 0.263 < e \rightarrow P = 4924.3 \text{ N} (< P_u) \quad \text{Vita infinita}$$

$$F_{ainf}/F_{rinf} = 0.139 < e \quad P = 18953 \text{ N} (> P_u) \quad a_{SKF} = 1.5 \quad a_1 = 0.64 (99\%)$$

$$L_{5m} = a_1 a_{SKF} (C/P)^p = 170.9 \text{ milioni di cicli}$$

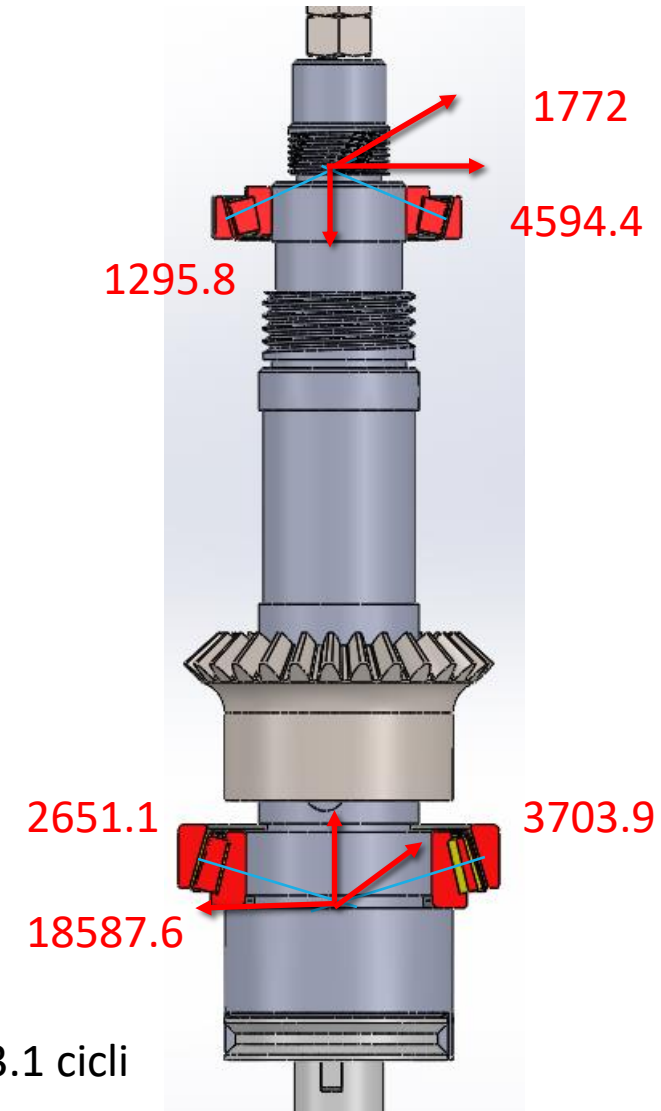
Verifica macrociclo

→ 40 000 pezzi da lavorare → 120 000 cicli andata/ritorno

$T = 3.67 \text{ s}$   $w = 1000 \text{ rpm}$   $z_{eff} = 5 \rightarrow \text{cicli singola andata} = 0.5wTz_{eff} = 153.1 \text{ cicli}$

$$D = 153.1 / (313.4 \cdot 10^6) + 153.1 / (170.9 \cdot 10^6) = 1.384 \cdot 10^{-6} \quad N_f = \text{cicli frattura} = 1/D = 722\,334$$

$$n_f = 722334 / 240000 = 3$$



# Verifica linguetta dell'albero condotto

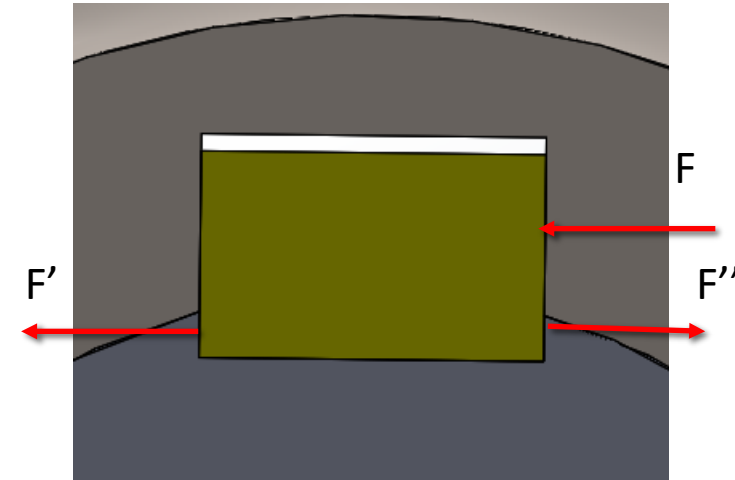
UNI 6604 B 16x10x45

C45

Su= 590 Mpa Sy= 472 Mpa Kf=2

CL=Ct=1 Cg=0.9 Cr=0.814 Cs=0.8

$$\begin{cases} F = FCdf/dL & F = 7909.1 \text{ N} & p = 43.9 \text{ Mpa} \\ -F + F'' - F' = 0 & F' = 14500 \text{ N} & p' = 107.4 \text{ Mpa} \\ -3F'' + 8.5F = 0 & F'' = 22409 \text{ N} & p'' = 166 \text{ Mpa} \end{cases}$$



- Andata e ritorno

Verifica pressione di contatto →  $n_{pc} = S_y / p'' = 2.84$

Verifica taglio statico →  $\tau = F / (16 \times 45) = 11 \text{ Mpa}$   $n_{ts} = 0.58 S_u / \tau = 30.48$

Verifica a fatica →  $F_a = F_m = F / 2 = 3954.6 \text{ N}$   $\sigma_m = \sigma_a = \sqrt{3} / 2 p K_f = 19.02 \text{ Mpa}$   $S_n = S_n' C_s C_g C_t C_r C_L = 216.2 \text{ Mpa}$   $n_f = 8.3$

Verifica statica sede → già considerata nella verifica dell'albero condotto ( $\sigma_{eq} = 49.5 \text{ Mpa}$   $n_{cp} = 13.6$ )

Verifica fatica sede →  $S_n = 225.6 \text{ Mpa}$   $K_f = 2$ , usando le caratteristiche di sollecitazione nel punto Z

Andata  $n_f = 2.324$

Ritorno  $n_f = 2.551$

Macro ciclo  $n_f = 1.5$

## Verifica ruote coniche

Ruota conica 2  $\longrightarrow$   $z=28$   $m=6$   $d_b=168$  mm  $\phi=20^\circ$   $\gamma=42.8^\circ$

Ruota conica 3  $\longrightarrow$   $z=29$   $m=6$   $d_b=174$  mm  $\phi=20^\circ$   $\gamma=47.2^\circ$

$L=114.5$  mm  $b=\min [L/3; 10m]=38.2$  mm  $\tau=28/29=0.966$

- Verifica andata e ritorno ruota conica 2

$F_{t2}=5476$  N  $J=0.23$   $K_v=1.5$  (curva A)  $K_m=1.25$   $K_o=1.75$

$S_u=1200$  Mpa  $K_{ms}=1.4$   $C_L=C_t=1$   $C_g=0.85$   $C_r=0.814$   $C_s=0.9$

$C_p=234.93$  (Mpa)<sup>0.5</sup>  $d_p=140$  mm  $I=0.075$  (grafico)

$HB=600$   $CR=1$  (99%)  $C_{li}=1$  ( $10^7$  cicli)

Verifica bending  $\longrightarrow$   $\sigma_b = \frac{F_{t2}}{bmJ} K_v K_o K_m = 340.9$  Mpa  $S_n = S_n' C_L C_s C_g C_t C_r K_{ms} = 523.1$  Mpa

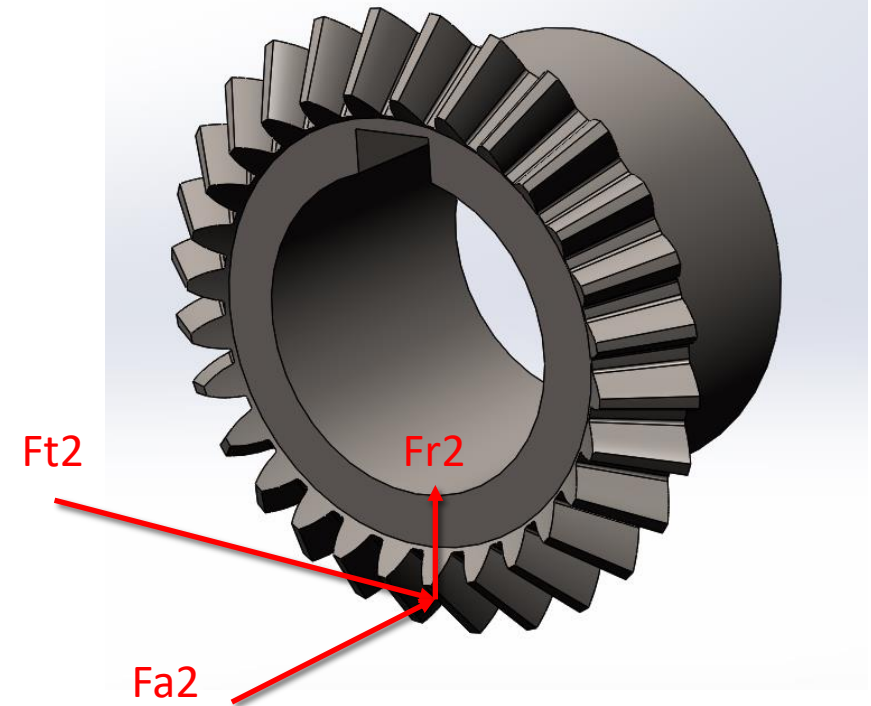
$$n_b = S_n / \sigma_b = 1.53$$

Verifica pitting  $\longrightarrow$   $\sigma_h = C_p \sqrt{\frac{F_{t2} K_v K_o K_m}{b d_p I}} = 1435.4$  Mpa  $S_h = S_{fe} C_{li} C_R = 1611$  Mpa

$$n_p = (S_h / \sigma_h)^2 = 1.26$$

Nota:  $m > 3-4$ , implica  $n_p < n_b$

Verifica rigidezza: spostamenti ruote inferiori a 0.125 mm e rotazioni inferiori a 0.0005 rad



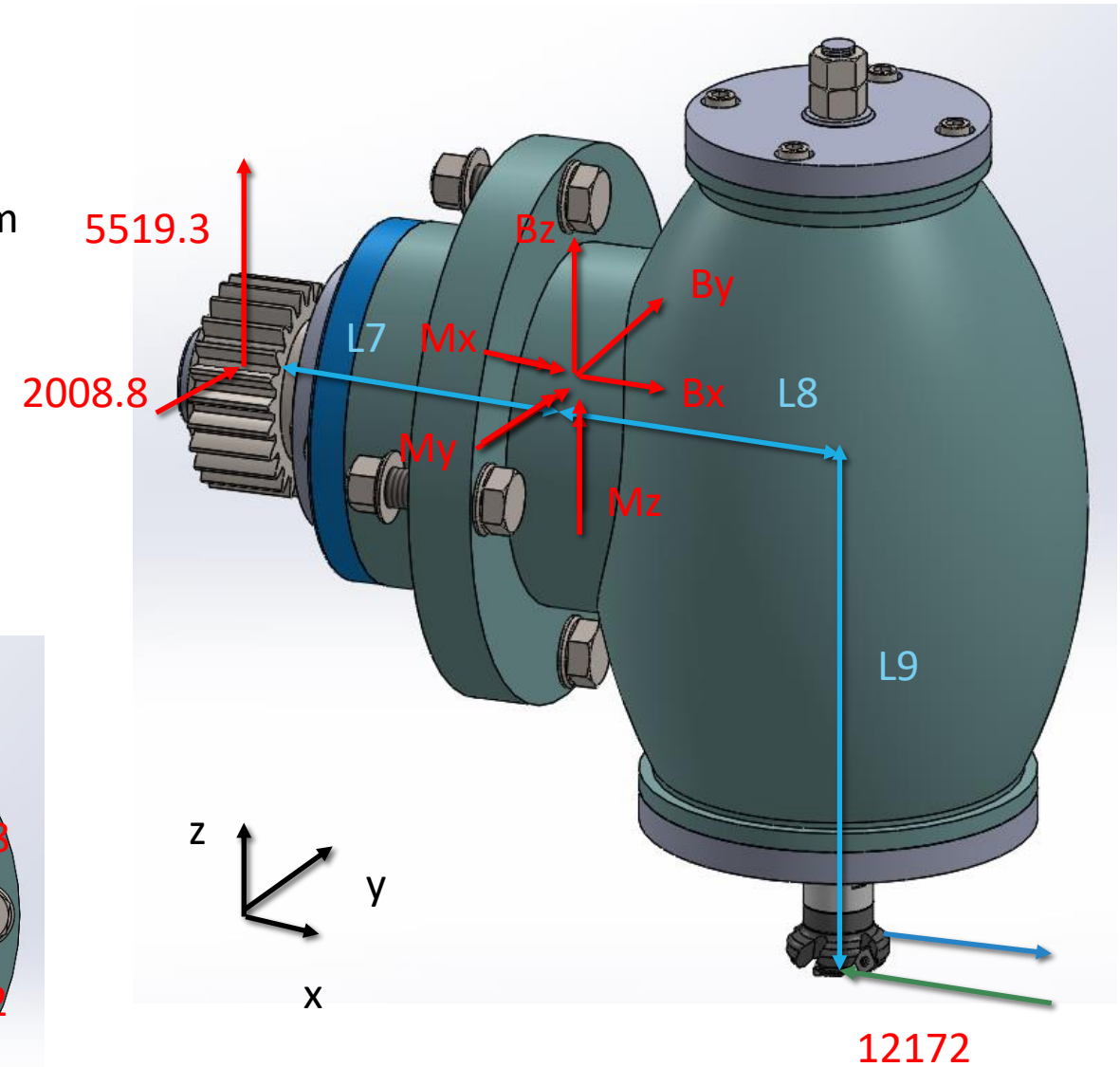
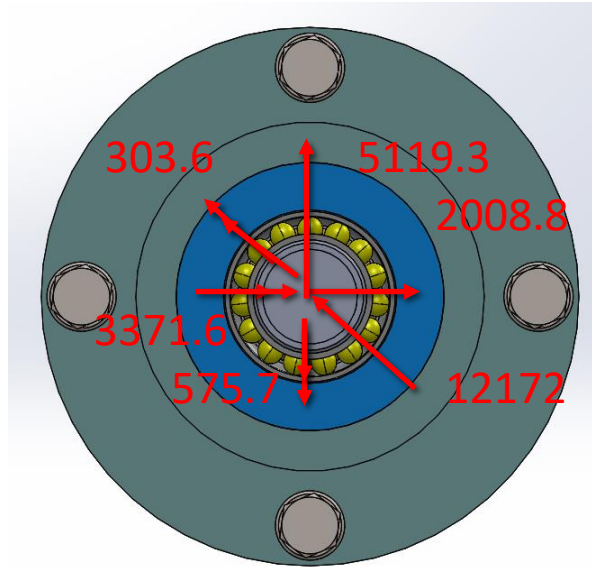
## Verifica flangia - Andata

L7= 135 mm L8= 201 mm L8= 277 mm df= 50 mm d1= 110 mm

Andata: [N, Nm]

$$\begin{cases} -FC+Bx=0 \\ 2008.8+By=0 \\ 5119.3+Bz=0 \\ Mx-5119.3*0.5d1=0 \\ 0.5FCL8+My=0 \\ -2008.8L7+Mz-0.5FCdf=0 \end{cases}$$

Cambio segno risultati  
sistema per avere azioni che  
assieme fa sulla flangia.



## Verifica flangia – Andata

M12 8.8  $S_u = 800$  Mpa  $S_y = 640$   $S_p = 0.9S_y = 576$  Mpa  $k_i = 0.9$  (smontaggi radi)  $A_t = 84.3$  mm<sup>2</sup>  $F_i = k_i A_t S_p = 43701$  N  
 $R = 132$  mm  $g = 45$  mm  $E_b = 210$  Gpa  $E_c = 170$  Gpa  $A_c = d^2 + 0.68dg + 0.065g^2 = 642.8$  mm<sup>2</sup>  $f = 0.5$

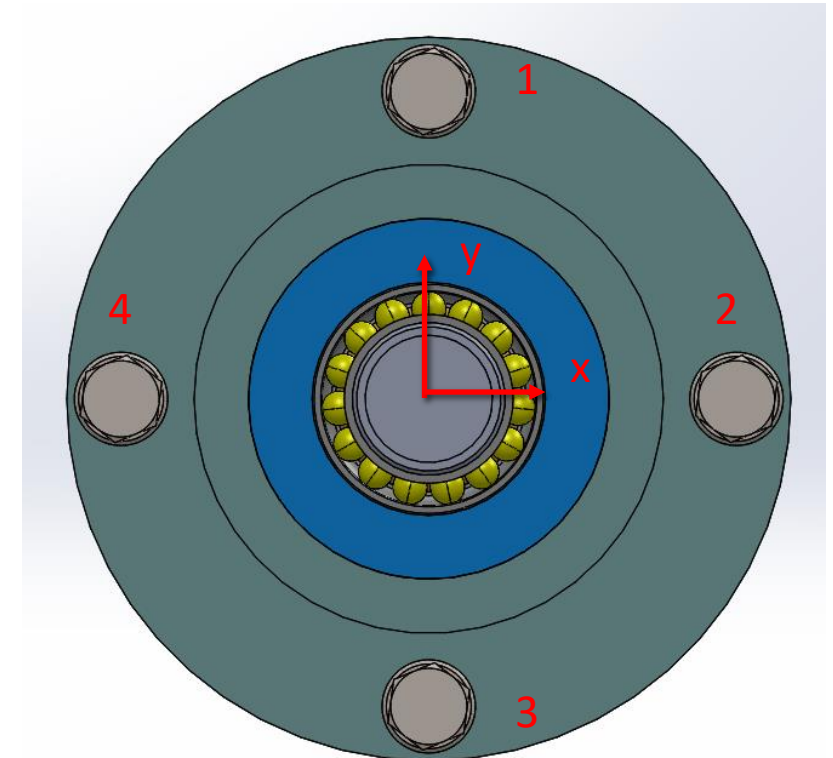
$I_x = I_y = 34884$  mm<sup>4</sup>  $I_{xy} = 0$

$K_b = E_b A_t / g = 3.934 \cdot 10^5$  N/mm  $K_c = E_c A_c / g = 2.428 \cdot 10^6$  N/mm

	$F_n$ [N]	$F_{tx}$ [N]	$F_{ty}$ [N]
Bullone 1	9580	1651	1280
Bullone 2	-5356.4	502.2	131.1
Bullone 3	-15936	-646.5	1279.8
Bullone 4	-1000	502.2	2428.5

$F_{ni} = F_z / n$   $F_{ni} = M_x \cdot y_i / I_x$   $F_{ni} = M_y \cdot x_i / I_y$   $F_{ti} = F_t / n$   $F_{ti} = M_t \cdot R / 2I_x$

Il bullone più critico è il numero 1.



## Verifica flangia – Andata

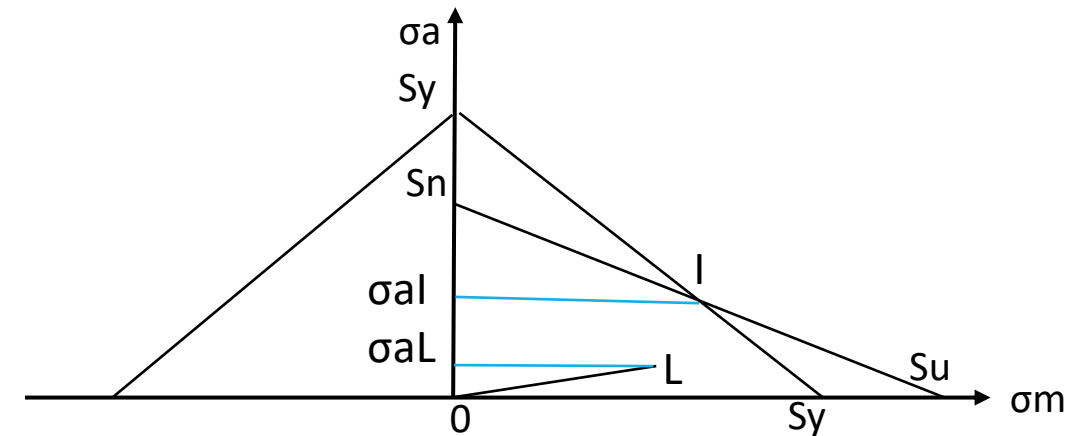
Verifica distacco  $\longrightarrow Fe^* = (K_b + K_c)F_i / K_c = 50790 \text{ N}$   $F_{max} = 9580 \text{ N}$   $nd = Fe^* / F_{max} = 5.3$

Verifica scorrimento  $\longrightarrow F_t = \sqrt{1650.9^2 + 1279.8^2} = 2089 \text{ N}$   $ns = F_c * f / F_t = \frac{f(F_i - \frac{K_c}{K_c + K_b} F_{max})}{F_t} = 8.5$

Verifica collasso plastico  $\longrightarrow S_y = 640 \text{ Mpa}$   $F_{bmax} = F_i + K_b * F_{max} / (K_b + K_c) = 45036 \text{ N}$   $\sigma = F_{bmax} / A_t = 534 \text{ Mpa}$   
 $ncp = S_y / \sigma = 1.2$

Verifica a fatica  $\longrightarrow \Delta Fe / 2 = 4790 \text{ N}$   $k_f = 3.0$   $S_y = 640 \text{ Mpa}$   $S_u = 800 \text{ Mpa}$   $CL = Ct = 1$   $C_s = 0.75$   $C_g = 0.9$   $Cr = 0.814$

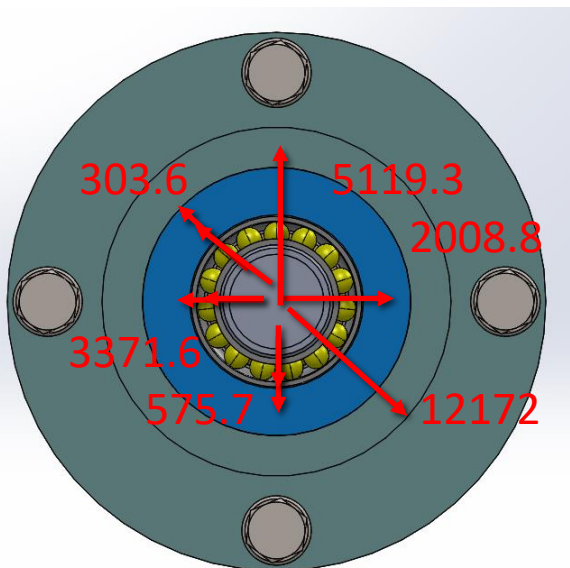
$$nf = \sigma_a / \sigma_{aL} = \frac{\frac{S_n(1 - \frac{S_y}{S_u})}{1 - S_n/S_u}}{\frac{\Delta Fe}{2} * \frac{K_b}{K_b + K_c} * k_f / A_t} = 2.55$$



## Verifica flangia – Ritorno

Ritorno: [N, Nm]

$$\left\{ \begin{array}{l} FC+Bx=0 \\ 2008.8+By=0 \\ 5119.3+Bz=0 \\ Mx-5119.3*0.5d_1=0 \\ -0.5FCL_8+My=0 \\ -2008.8L_7+Mz-0.5FCdf=0 \end{array} \right.$$



	$F_n$ [N]	$F_{tx}$ [N]	$F_{ty}$ [N]
Bullone 1	-9580	1651	1280
Bullone 2	-5356.4	502.2	131.1
Bullone 3	15936	646.5	1279.8
Bullone 4	-1000	502.2	2428.5

M12 8.8  $S_u = 800$  Mpa  $S_y = 640$   $S_p = 0.9S_y = 576$  Mpa  $k_i = 0.9$  (smontaggi radi)

$A_t = 84.3$  mm<sup>2</sup>  $F_i = k_i A_t S_p = 43701$  N

$R = 132$  mm  $g = 45$  mm  $E_b = 210$  Gpa  $E_c = 170$  Gpa

$A_c = d^2 + 0.68dg + 0.065g^2 = 642.8$  mm<sup>2</sup>  $f = 0.5$

$I_x = I_y = 34884$  mm<sup>4</sup>  $I_{xy} = 0$

$K_b = E_b A_t / g = 3.934 \cdot 10^5$  N/mm  $K_c = E_c A_c / g = 2.428 \cdot 10^6$  N/mm

Il bullone critico è il numero 3.

## Verifica flangia – Ritorno

Verifica distacco  $\longrightarrow$   $F_e^* = (K_b + K_c)F_i / K_c = 50790 \text{ N}$   $F_{e\max} = 15936 \text{ N}$   $n_d = F_e^* / F_{e\max} = 3.2$

Verifica scorrimento  $\longrightarrow$   $F_t = \sqrt{646,5^2 + 1279,8^2} = 1493,8 \text{ N}$   $n_s = F_c * f / F_t = \frac{f(F_i - \frac{K_c}{K_c + K_b} F_{e\max})}{F_t} = 10.3$

Verifica collasso plastico  $\longrightarrow$   $S_y = 640 \text{ Mpa}$   $F_{b\max} = F_i + K_b * F_{e\max} / (K_b + K_c) = 45923 \text{ N}$   $\sigma = F_{b\max} / A_t = 545 \text{ Mpa}$   
 $n_{cp} = S_y / \sigma = 1.2$

Verifica a fatica  $\longrightarrow$   $\Delta F_e / 2 = 7968 \text{ N}$   $k_f = 3.0$   $S_y = 640 \text{ Mpa}$   $S_u = 800 \text{ Mpa}$   $C_L = C_t = 1$   $C_s = 0.75$   $C_g = 0.9$   $C_r = 0.814$

$$n_f = \sigma_a / \sigma_{aL} = \frac{\frac{S_n(1 - \frac{S_y}{S_u})}{1 - S_n / S_u}}{\frac{\Delta F_e}{2} * \frac{K_b}{K_b + K_c} * k_f / A_t} = 1.53$$

Verifica macrociclo  $\longrightarrow$   $n_f = 1.23$



Qualità materiale	39NiCrMo3
Norma di riferimento	EN 10083-3: 2006
Numero	1.6510

## Composizione chimica

C%	Si% max	Mn%	P% max	S% max	Cr%	Mo%	Ni%	Scostamenti ammessi per analisi di prodotto
0,35-0,43	0,40	0,50-0,80	0,025	0,035	0,60-1,00	0,15-0,25	0,70-1,00	
± 0,02	+ 0,03	± 0,04	+ 0,005	+ 0,005	± 0,05	± 0,03	± 0,05	

Viene commercializzato anche con **trattamento al calcio**

Può essere fornito con aggiunta di piombo o zolfo controllato per lavorazione meccanica migliorata

## Temperature in °C

Deformazione a caldo	Normalizzazione	Tempra	Tempra	Rinvenimento	Distensione
1100-900	860 aria	850 olio polimero	840 acqua	550-650 aria	50 sotto la temperatura di rinvenimento
Ricottura di lavorabilità	Ricottura isoterica	Ricottura completa	Tempra provetta Jominy	Preriscaldamento per saldatura	Distensione dopo saldatura
700 aria (HB max 240)	820 raff. forno fino a 650 poi aria (HB 195-240)	820 aria (HB max 235)	850 acqua	300 <b>AC1</b> <b>AC3</b>	550 raffr. forno <b>MS</b> <b>Mf</b>
				740      790	330      110

### Proprietà meccaniche e fisiche

**Laminati a caldo caratteristiche meccaniche allo stato bonificato EN 10083-3: 2006**

diametro /spess.		Prova di trazione e resilienza in longitudinale a 20 °C					
mm		R	Rp 0.2	A%	C%	Kv	HB
oltre	fino a	N/mm²	N/mm² min.	min.	min.	J min.	<i>per informazione</i>
	16/8	980-1180	785	11	40	--	295-354
16/8	40/20	930-1130	735	11	40	35	278-339
40/20	100/60	880-1080	685	12	45	40	263-327
100/60	160/100	830-980	635	12	50	40	249-295
160/100	250/160	740-880	540	13	50	40	224-263

**Tabella di rinvenimento** valori a temperatura ambiente su tondo Ø 10 mm dopo tempra a 850 °C in olio

<b>HB</b>		577	560	525	496	468	442	426	409	390	362	336	286	240
<b>HRC</b>		56	55	53	51	49	47	45.5	44	42	39	36	30	22.5
<b>R</b>	N/mm <sup>2</sup>	2160	2070	1950	1820	1700	1580	1500	1430	1340	1220	1100	950	800
<b>Rp 0.2</b>	N/mm <sup>2</sup>	1440	1520	1540	1520	1490	1440	1370	1290	1220	1110	980	830	670
<b>A</b>	%	8.0	9.8	10.4	10.6	10.7	10.8	11.0	11.5	12.5	13.8	16.0	19.0	22.0
<b>C</b>	%	30	42	48	52	53	53	54	55	56	57	60	63	68
<b>Kv</b>	J	28	31	32	28	28	27	27	28	36	46	86	114	128
<b>R<sub>inv</sub></b>	°C	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>	<b>450</b>	<b>500</b>	<b>550</b>	<b>600</b>	<b>650</b>	<b>700</b>

## 18NiCrMo5

Qualità materiale	18NiCrMo5
Norma di riferimento	UNI 7846: 1978
Numero	--

### Composizione chimica

C%	Si%	Mn%	P% max	S% max	Cr%	Mo%	Ni%	Scostamenti ammessi per analisi di prodotto
0,15-0,21 ± 0,02	0,15-0,40 ± 0,03	0,60-0,90 ± 0,04	0,035 + 0,005	0,035 + 0,005	0,70-1,00 ± 0,05	0,15-0,25 ± 0,03	1,20-1,50 ± 0,05	

A richiesta può essere fornito con aggiunta di Pb% 0.15-0.35 o zolfo controllato 0.020-0.035% per lavorazione meccanica migliorata. Viene commercializzato anche con trattamento al calcio

## Temperature in °C

Deformazione a caldo	Normalizzazione	Tempra nucleo	Carbonitrurazione	Cementazione	Tempra superf. cementata	Rinvenimento
1100-900	880 aria	840-870 olio, polimero o bagno sale	--	880-930	800-830 olio, polimero o bagno sale	150-180
Ricottura di lavorabilità	Ricottura isoterica	Ricottura +FP	Tempra provetta Jominy	Preriscaldamento per saldatura	Distensione dopo saldatura	
700 raffredd. 15 °C/h fino a 600 poi aria	850 raff. forno fino a 650 poi aria	950-1000 raffreddamento rapido	850 acqua	La saldatura deve essere fatta sullo stato ricotto e prima della cementazione		
				150-350	600 raffr. forno	
(HB max 240)	(HB 150-220)			Ac <sub>1</sub> Ac <sub>3</sub> Mf	Ms * nucleo ** strato cementato	
				730    815    140	360* 180**	

### Proprietà meccaniche e fisiche

Laminati a caldo caratteristiche di riferimento su barrotto con tempratura a nucleo UNI 7846: 1978 Solo come riferimento.

sezione mm barroto	Prova di trazione e resilienza in longitudinale a 20 °C					
	R	Rp 0.2	A%	C%	Kcu	HB
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup> min.	min.	min.	J min.	
11	1230-1520	980	8	—	30	363-432
30	980-1270	735	9	—	32.5	295-373 a titolo informativo
63	830-1130	635	10	—	35	249-339 a titolo informativo

Tabella di rinvenimento valori a temperatura ambiente su tondo Ø 10 mm dopo tempra a 850 °C in olio

HB		415	415	415	409	404	395	381	362	344	327	301	271	237	218
HRC		44.5	44.5	44.5	44	43.5	42.5	41	39	37	35	32	28	22	–
R	N/mm <sup>2</sup>	1460	1460	1450	1430	1400	1360	1300	1230	1150	1080	1000	900	790	710
Rp 0.2	N/mm <sup>2</sup>	1070	1120	1170	1210	1210	1190	1150	1100	1040	960	860	790	700	610
A	%	13.5	13.6	13.5	13.2	13.0	12.8	12.8	12.9	13.8	15.0	17.0	19.5	22.0	24.0
C	%	57.0	58.0	59.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	61.0	63.0	65.0	68.0	72.0	74.0
Kv	J	64	64	62	62	64	46	46	46	75	94	125	148	166	180
HRC strato cementato		64	63.5	62	60	59	56	–	–	–	–	–	–	–	–
Rinvenimento °C		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700

# C45

Normativa di riferimento UNI 7845  
Reference Standard UNI 7845



IMS S.p.A.  
acciai speciali

## Corrispondenze Comparable standards

SIAU	DIN	W.N.	AFNOR	BS	AISI/SAE
-	CK45	1.1191	(XC48)	(080M46)	-

## Composizione Chemical analysis

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Altri
.42÷.50	.50÷.80	.15÷.35	-	-	-	P e S ≤ .035

## Temperature per la lavorazione a caldo ed il trattamento termico Hot work and heat treatment temperatures

Punti critici Critical points	Fucinatura Forging	Normalizzazione Normalization	Ricottura subcritica Subcritical annealing	Ricottura isoterma Isothermal annealing	Tempra Hardening	Rinvenimento Tempering
Ac1 730 Ac3 770 Ms 340	1100÷850	840÷870	650÷700	820÷860 ↓ 600x1h	820÷840 acqua/water	550÷650

## Caratteristiche meccaniche / Mechanical properties

Stato Condition	Saggio Ø mm. Specimen Ø mm.	Re min. N/mm2	Rm N/mm2	A min. %	KCU min. J	Durezze HB allo stato HB hardness in the following conditions
Bonificato Hardened	16	510	730÷870	14	20	Ricotto lavorabile / Soft-annealed ≤ 235
Hardened and tempered	16÷40	460	690÷830	15	17,5	Ricotto isoterma/Isothermal annealed 163÷217
	40÷100	410	640÷780	16	15	Ricotto sferoidale/Spheroidal annealed ≤ 188
Normalizzato/Normalized	16÷100	335	590÷740	17		

## Temprabilità Hardenability

HRC / %	Martensite	Diametro temprabile mm. / Hardenable diameter mm.
90%	50%	olio/oil acqua/water
55	45	- 30

$$L_{nm} = a_1 a_{SKF} L_{10} = a_1 a_{SKF} \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

