

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale***  
***DIMENSIONAMENTO DI UN RIDUTTORE BISTADIO***

Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Leonardo Masenadore*

Padova, 16/09/2022

L'obiettivo primario di questo lavoro è stato di dimensionare un riduttore bistadio con il seguente criterio:

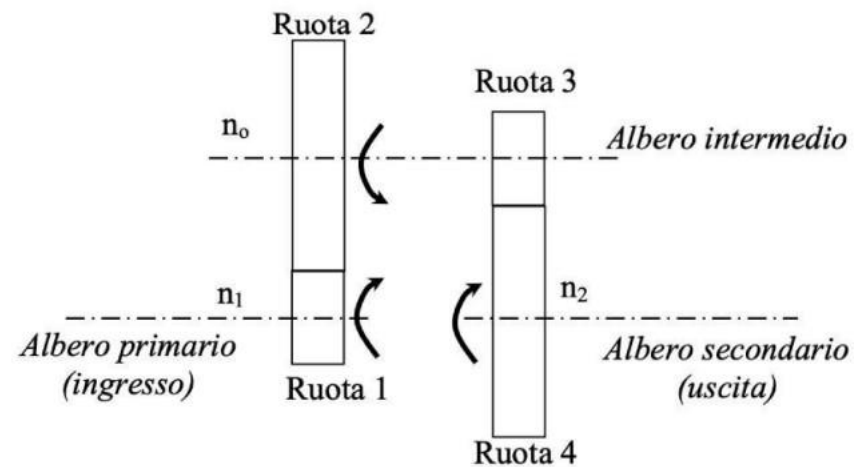
- Progettazione delle ruote dentate secondo la normativa ISO 6336 e confronto con la formula di Lewis
- Progettazione degli alberi
- Scelta dei componenti ausiliari
- Verifica statica degli alberi
- Verifica a fatica degli alberi
- Verifica a deformazione degli alberi
- Progettazione della cassa del riduttore
- Modellazione CAD 3D di tutti i componenti

Si è partiti da questi dati in uscita del riduttore:

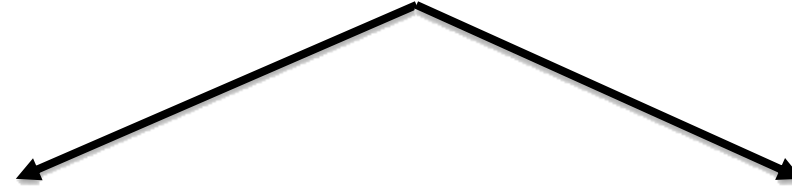
|                 |     |
|-----------------|-----|
| $M_{2nom}$ [Nm] | 450 |
| $n$ [rpm]       | 110 |
| $\tau$          | 13  |

Sulla base dei dati iniziali, si va a definire i relativi valori per ciascun albero:

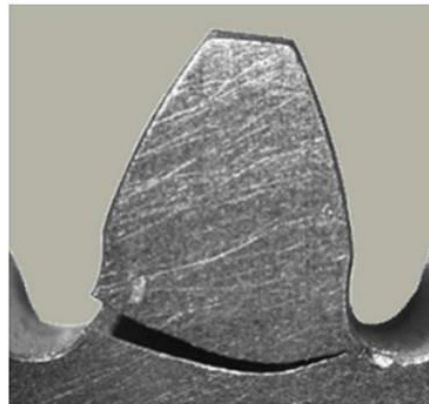
|          | P [kW] | n [rpm] | M [N·mm]          |
|----------|--------|---------|-------------------|
| ALBERO 2 | 7.78   | 110     | $6.75 \cdot 10^5$ |
| ALBERO 0 | 8.10   | 396.60  | $1.95 \cdot 10^5$ |
| ALBERO 1 | 8.43   | 1430.00 | $5.63 \cdot 10^4$ |



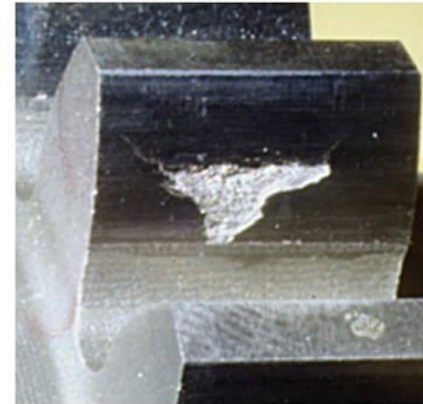
Si è scelto di usare la normativa ISO 6336 per il dimensionamento delle ruote dentate rispetto alla più semplificativa formula di Lewis, di cui è stato fatto un confronto a pari numero di denti e rapporto larghezza/modulo. La normativa presuppone di dimensionare le ruote dentate secondo i parametri più critici a fatica:



Sollecitazione di flessione a base dente



Cedimento per contatto o pitting



La normativa prevede che vengano determinate le tensioni relativamente ai due criteri di cedimento, le quali dovranno essere minori di quelle ammissibili:

Con:

$$\sigma_F \leq \sigma_{FP}, \sigma_H \leq \sigma_{HP}$$

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{Flim} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{ST}}{S_{Fmin}} \cdot Y_{\delta relT} \cdot Y_{RrelT} \cdot Y_X \cdot Y_M$$

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim} \cdot Z_{NT}}{S_{Hmin}} \cdot Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot Z_W$$

Si dovrà poi determinare il modulo minimo:

$$m_n \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T}{\lambda \cdot z \cdot \sigma_{FP}} \cdot Y_F \cdot Y_S \cdot K_{F\beta}} = 2,17mm$$

$$m_n \geq \sqrt[3]{\frac{(Z_B \cdot Z_H \cdot Z_E)^2}{z \cdot \sigma_{HP}} \cdot \left(\frac{2 \cdot T}{\lambda}\right) \cdot K_{H\beta} \cdot \frac{\tau + 1}{\tau}} = 3,07mm$$

La normativa riguarda acciai cementati di media qualità, si è scelto dunque il *18NiCrMo4*:

|                        |      |
|------------------------|------|
| $\sigma_{Flim}$ [MPa]  | 461  |
| $\sigma_{Hlim}$ [MPa]  | 1500 |
| $\sigma_{amm,s}$ [MPa] | 250  |

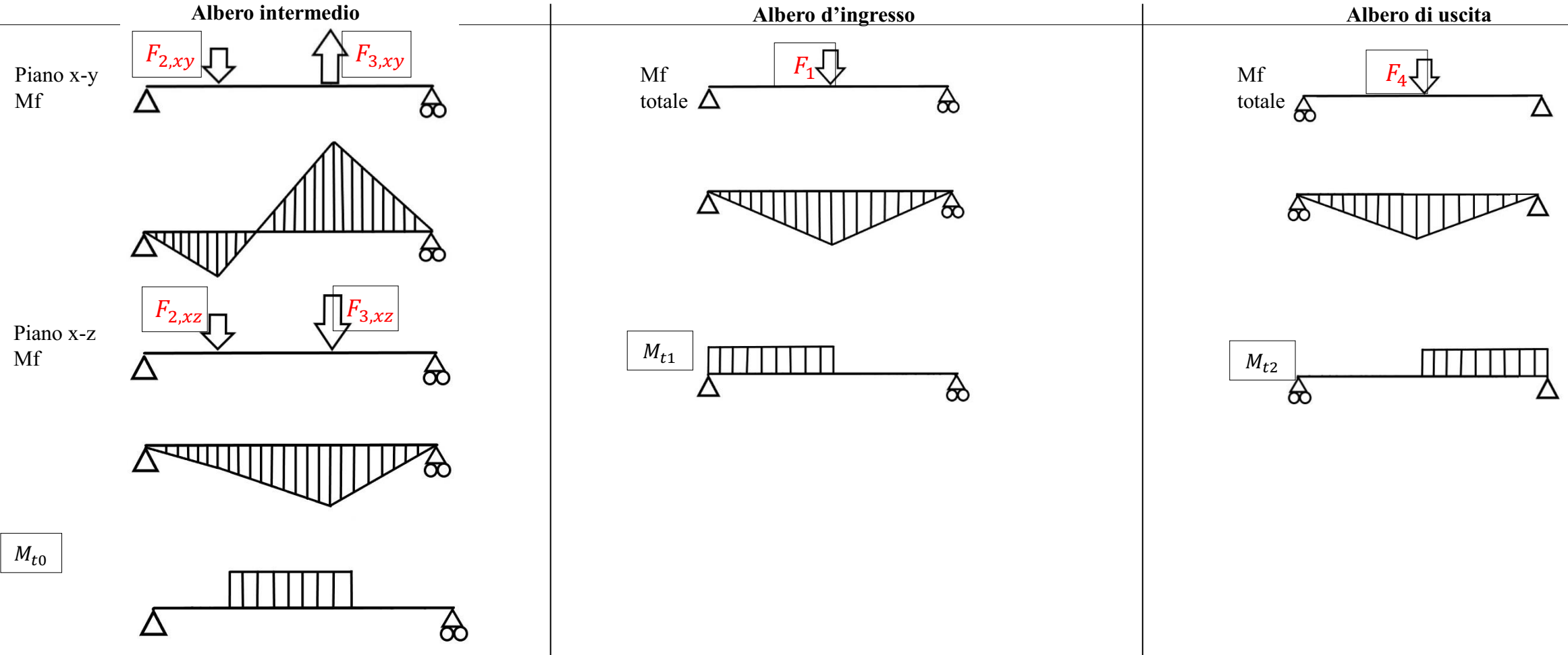
Sulla base dei valori dei moduli minimi, si è scelto un modulo con valore nominale di  $4mm$ .

|            | z<br>[denti] | m<br>[mm] | $\varnothing_p$<br>[mm] | $\lambda$ | b<br>[mm] |
|------------|--------------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|
| RUOTA<br>1 | 19           | 4         | 76                      | 6         | 24        |
| RUOTA<br>2 | 69           | 4         | 276                     | 6         | 24        |
| RUOTA<br>3 | 19           | 4         | 76                      | 10        | 40        |
| RUOTA<br>4 | 69           | 4         | 276                     | 10        | 40        |

Si è poi fatto un paragone con Lewis

|            | m [mm] | $D_p$ [mm] | b [mm] | i [mm] | $\lambda$ |
|------------|--------|------------|--------|--------|-----------|
| ISO 6336 → | 3,25   | 61,75      | 32,5   | 143    | 10        |
| Lewis →    | 4,75   | 90,25      | 47,5   | 209    | 10        |

- Dapprima si determina la lunghezza degli alberi:  $L_i \cong 3 \cdot b_i$
- Si devono determinare le forze in gioco  $\longrightarrow$  Albero come trave in appoggio soggetta a taglio (trascurabile), momento torcente e flettente



- Si calcolino le tensioni dovute ai momenti

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f} = \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot \varnothing^3}$$

$$\tau_{Mt} = \frac{M_t}{W_t} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \varnothing^3}$$

|          | Materiale        | $\sigma_R$ [MPa] | $\sigma_S$ [MPa] |
|----------|------------------|------------------|------------------|
| Albero 0 | C25 Bonificato   | 490              | 305              |
| Albero 1 | C25 Normalizzato | 410              | 235              |
| Albero 2 | C35 Bonificato   | 570              | 355              |

- Si calcoli la tensione ideale di Von Mises e si calcoli il coefficiente di sicurezza statico

$$\sigma_{id\ Von\ Mises} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_{Mt}^2}$$

$$v_{st} = \frac{\sigma_s}{\sigma_{id\ Von\ Mises}}$$

I parametri trovati sono i seguenti

|          | l [mm] | $\varnothing_p$ [mm] | $v_s$ | $l/\varnothing_p$ |
|----------|--------|----------------------|-------|-------------------|
| ALBERO 0 | 240    | 45                   | 9.4   | 5.34              |
| ALBERO 1 | 80     | 25                   | 6.2   | 3.2               |
| ALBERO 2 | 120    | 45                   | 5.25  | 2.67              |

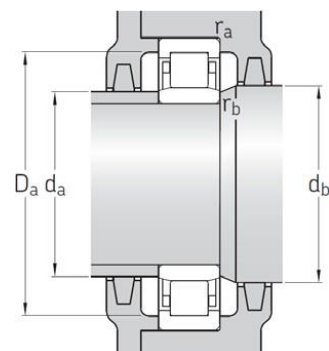
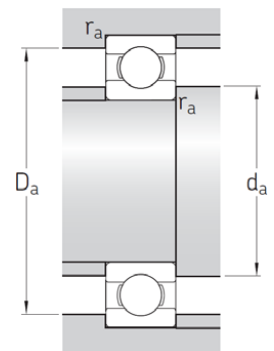
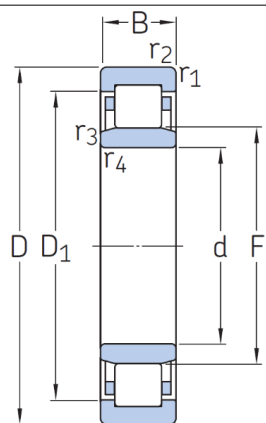
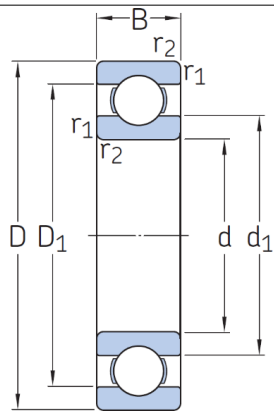


- Si devono scegliere i cuscinetti secondo la durata di esercizio del riduttore
  - Selezionati in base al coefficiente di carico dinamico

$$L_{10} = \frac{L_{10h} \cdot 60 \cdot n}{10^6}$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$$C = P \cdot (L_{10})^{\frac{1}{p}}$$



| Tipologia | L10<br>[10 <sup>6</sup> giri] | Fr [N] | P [N]  | p    | C [kN] | Codice SKF |
|-----------|-------------------------------|--------|--------|------|--------|------------|
| Sfere     | 3432,00                       | 788,33 | 788,33 | 3    | 11,90  | 6305       |
| Rulli     | 3432,00                       | 788,33 | 788,33 | 3,33 | 9,07   | NU 203 ECP |

### Albero 1

| Tipologia | L10<br>[10 <sup>6</sup> giri] | Fr [N]  | P [N]   | p    | C [kN] | Codice SKF |
|-----------|-------------------------------|---------|---------|------|--------|------------|
| Sfere     | 264,00                        | 2602,61 | 2602,61 | 3    | 16,70  | 6009       |
| Rulli     | 264,00                        | 2602,61 | 2602,61 | 3,33 | 9,07   | NU 205 ECP |

### Albero 2

| Tipologia | L10<br>[10 <sup>6</sup> giri] | Fr [N]  | P [N]   | p    | C [kN] | Codice SKF |
|-----------|-------------------------------|---------|---------|------|--------|------------|
| Sfere     | 951,80                        | 901,38  | 901,38  | 3    | 8,86   | 16006      |
| Rulli     | 951,80                        | 3905,62 | 3905,62 | 3,33 | 30,56  | NU 205 ECP |

### Albero 0

- Dimensionamento delle linguette:

$$l \geq \frac{2 \cdot M_t}{\varnothing \cdot t_1 \cdot p_{amm}}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot M_t}{b \cdot l_{scelto} \cdot \varnothing} < \tau_{amm} = \frac{\sigma_{amm}}{\sqrt{3}} = \frac{\sigma_s}{v_s \cdot \sqrt{3}}$$

| Materiale        | $\sigma_{amm}$ [MPa] | $\tau_{amm}$ [MPa] | b [mm] | h [mm] | $p_{amm}$ [MPa] | l [mm] |
|------------------|----------------------|--------------------|--------|--------|-----------------|--------|
| C25 Normalizzato | 156,67               | 90,45              | 8      | 7      | 90              | 14     |

**Albero 1**

| Materiale        | $\sigma_{amm}$ [MPa] | $\tau_{amm}$ [MPa] | b [mm] | h [mm] | $p_{amm}$ [MPa] | l [mm] |
|------------------|----------------------|--------------------|--------|--------|-----------------|--------|
| C25 Normalizzato | 156,67               | 90,45              | 14     | 9      | 90              | 32     |

x2

**Albero 2**

| Materiale        | $\sigma_{amm}$ [MPa] | $\tau_{amm}$ [MPa] | b [mm] | h [mm] | $p_{amm}$ [MPa] | l [mm] |
|------------------|----------------------|--------------------|--------|--------|-----------------|--------|
| C25 Normalizzato | 156,67               | 90,45              | 14     | 9      | 90              | 32     |
| C25 Normalizzato | 156,67               | 90,45              | 14     | 9      | 90              | 18     |

**Albero 0**

Si prevedano inoltre anelli elastici per bloccare i cuscinetti, ghiera e rosette per bloccare le ruote dentate che poggeranno su distanziali per superare la gola di scarico per la filettatura.

La verifica statica si esegue sulle sezioni più critiche, evidenziate nei disegni. Si dovrà calcolare il momento flettente totale dei piani x-y e x-z e il momento torcente, qualora ci fosse, sulle relative sezioni. Dopo di chè bisognerà trovare il valore delle tensioni flessionale e torcente, combinarle nella tensione ideale di Von Mises e calcolare il coefficiente di sicurezza per il caso statico, il quale deve essere  $\geq 1,5$ .

$$M_f = \sqrt{M_{f,x-y}^2 + M_{f,x-z}^2}$$

$$W_f = \frac{\pi}{32} \cdot \varnothing^3, \quad W_t = \frac{\pi}{16} \cdot \varnothing^3$$

$$\sigma_{f,max} = \frac{M_f}{W_f}, \quad \tau_{t,max} = \frac{M_t}{W_t}$$

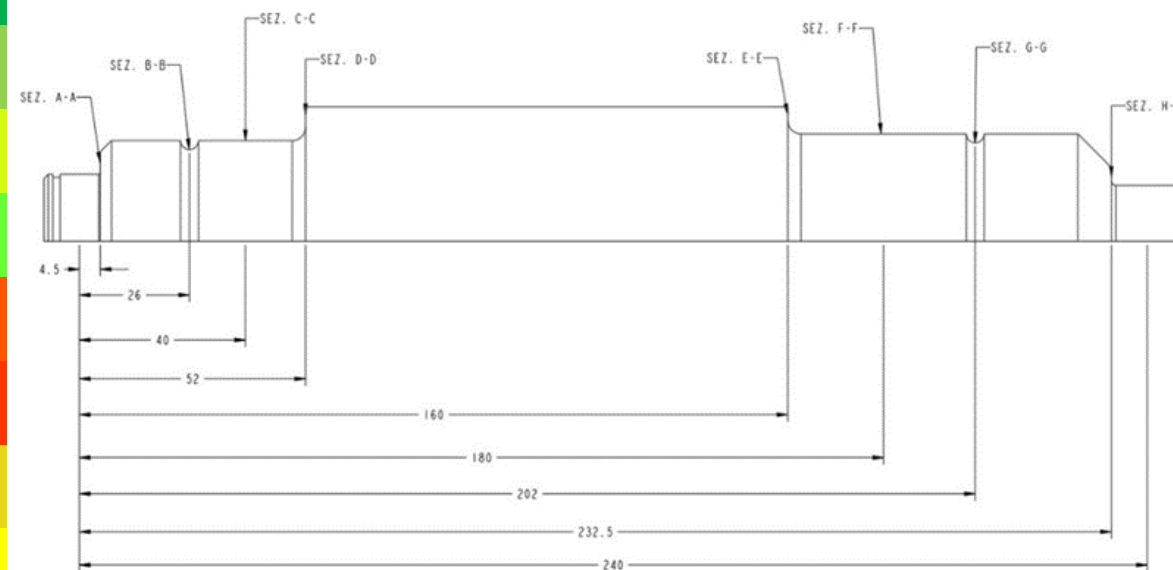
$$\sigma_{id,Von\ Mises} = \sqrt{\sigma_{f,max}^2 + 3 \cdot \tau_{t,max}^2}$$

$$\frac{\sigma_s}{\sigma_{id,Von\ Mises}} \geq 1.5$$

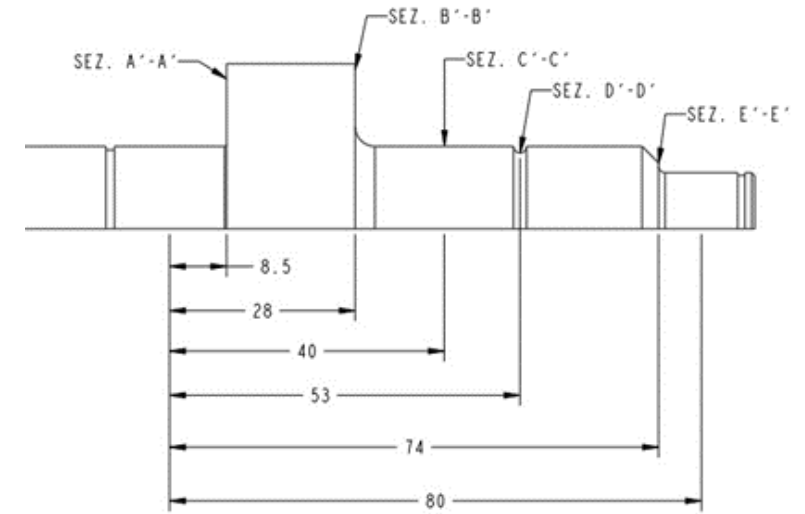
I valori ottenuti per ogni sezione degli alberi sono i seguenti:

| SEZ. | $M_f$<br>[N · mm] | $M_t$<br>[N · mm] | $\varnothing$<br>[mm] | $W_f$<br>[mm <sup>3</sup> ] | $W_t$<br>[mm <sup>3</sup> ] | $\sigma_{fmax}$<br>[MPa] | $r_{tmax}$<br>[MPa] | $v_{st}$ |
|------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|----------|
| A-A  | 4056.19           | 0                 | 30                    | 2650.72                     | 5301.44                     | 1.53                     | 0.00                | 199.3    |
| B-B  | $2.34 \cdot 10^4$ | 0                 | 41                    | 6766.30                     | $1.35 \cdot 10^4$           | 3.46                     | 0.00                | 88.10    |
| C-C  | $3.60 \cdot 10^4$ | $1.95 \cdot 10^5$ | 45                    | 8946.18                     | $1.79 \cdot 10^4$           | 4.03                     | 10.90               | 15.81    |
| D-D  | $4.62 \cdot 10^4$ | $1.95 \cdot 10^5$ | 45                    | 8946.18                     | $1.79 \cdot 10^4$           | 5.16                     | 10.90               | 15.60    |
| E-E  | $2.03 \cdot 10^5$ | $1.95 \cdot 10^5$ | 45                    | 8946.18                     | $1.79 \cdot 10^4$           | 22.74                    | 10.90               | 10.32    |
| F-F  | $2.34 \cdot 10^5$ | $1.95 \cdot 10^5$ | 45                    | 8946.18                     | $1.79 \cdot 10^4$           | 26.19                    | 10.90               | 9.45     |
| G-G  | $1.50 \cdot 10^5$ | 0                 | 41                    | 6766.30                     | $1.35 \cdot 10^4$           | 21.93                    | 0.00                | 13.91    |
| H-H  | $2.92 \cdot 10^4$ | 0                 | 25                    | 1534.00                     | 3068.00                     | 19.10                    | 0.00                | 15.97    |

**Albero 0**

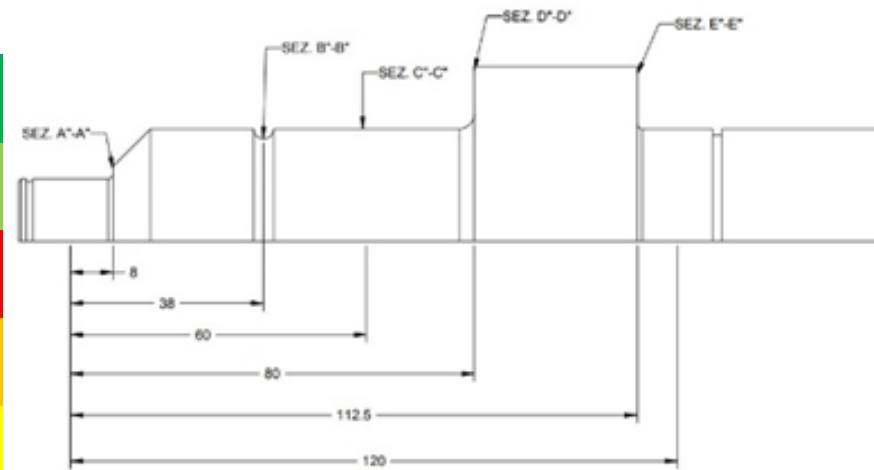


| SEZ.  | $M$<br>[N · mm]   | $M_t$<br>[N · mm] | $\varnothing$<br>[mm] | $W_f$<br>[mm <sup>3</sup> ] | $W_t$<br>[mm <sup>3</sup> ] | $\sigma_{fmax}$<br>[MPa] | $r_{tmax}$<br>[MPa] | $v_{st}$ |
|-------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|----------|
| A'-A' | 6700.82           | $5.63 \cdot 10^4$ | 25                    | 1534.00                     | 3068.00                     | 4.40                     | 18.35               | 7.32     |
| B'-B' | $2.2 \cdot 10^4$  | $5.63 \cdot 10^4$ | 25                    | 1534.00                     | 3068.00                     | 14.40                    | 18.35               | 6.74     |
| C'-C' | $3.15 \cdot 10^4$ | $5.63 \cdot 10^4$ | 25                    | 1534.00                     | 3068.00                     | 20.56                    | 18.35               | 6.21     |
| D'-D' | $2.13 \cdot 10^4$ | 0                 | 23                    | 1194.50                     | 2389.00                     | 17.82                    | 0.00                | 13.20    |
| E'-E' | 4730.00           | 0                 | 17                    | 482.33                      | 964.67                      | 9.81                     | 0.00                | 24.00    |



Albero 1

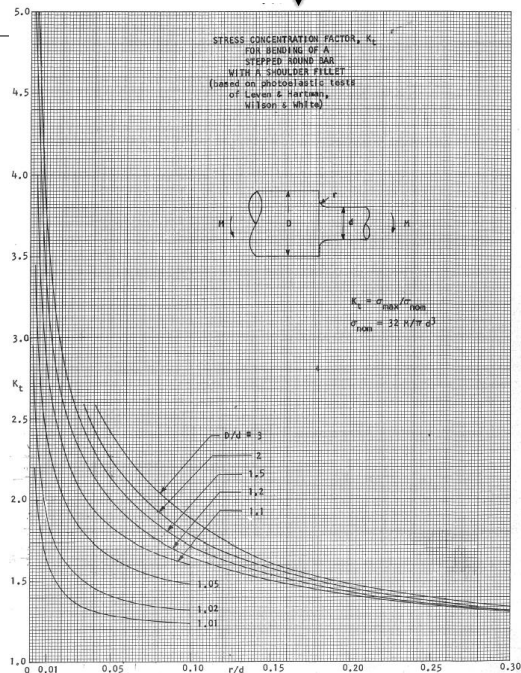
| SEZ.    | $M$<br>[N · mm]   | $M_t$<br>[N · mm] | $\varnothing$<br>[mm] | $W_f$<br>[mm <sup>3</sup> ] | $W_t$<br>[mm <sup>3</sup> ] | $\sigma_{fmax}$<br>[MPa] | $r_{tmax}$<br>[MPa] | $v_{st}$ |
|---------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|----------|
| A''-A'' | $2.10 \cdot 10^4$ | 0                 | 25                    | 1534.00                     | 3068.00                     | 13.57                    | 0.00                | 26.15    |
| B''-B'' | $9.89 \cdot 10^5$ | 0                 | 41                    | 6766.30                     | $1.35 \cdot 10^4$           | 14.62                    | 0.00                | 24.30    |
| C''-C'' | $1.56 \cdot 10^5$ | $6.75 \cdot 10^5$ | 45                    | 8946.18                     | $1.79 \cdot 10^4$           | 17.50                    | 37.73               | 5.25     |
| D''-D'' | $1.04 \cdot 10^5$ | $6.75 \cdot 10^5$ | 45                    | 8946.18                     | $1.79 \cdot 10^4$           | 11.64                    | 37.73               | 5.35     |
| E''-E'' | $1.95 \cdot 10^4$ | $6.75 \cdot 10^5$ | 45                    | 8946.18                     | $1.79 \cdot 10^4$           | 2.18                     | 37.73               | 5.43     |



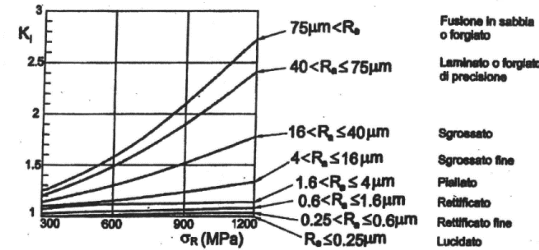
Albero 2

Per la verifica a fatica bisognerà verificare le sezioni che presentano effetti di intaglio, con l'obiettivo di avere vita infinita. A partire dall'ampiezza di tensione da ciclo di fatica, pari a metà della tensione di rottura del materiale di cui è fatto il pezzo, si deve arrivare a quella relativa alla flessione rotante per ogni sezione. Si veda ad esempio il caso della sezione A-A (spallamento cuscinetto sx) dell'albero intermedio:

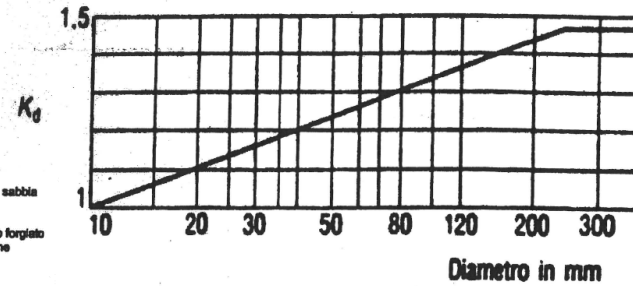
- $\sigma_{a\infty,-1} = 245MPa$
- $K_v = 1$  perché la sollecitazione è la flessione rotante
- $K_d = 1,16$  da diagramma
- $K_l = 1,05$  da diagramma
- $K_{tn} = 2,72$  da diagramma



UNI 7670:  
Coefficiente  $K_t$  in funzione  
Del tipo di finitura del pezzo



UNI 7670:  
Coefficiente  $K_d$  in funzione  
del diametro dell'albero



- Poiché il raggio di raccordo è  $< 2mm$ , serve  $K_f = 1 + q(K_{tn} - 1) = 1,94$

Sulla base di ciò, si avrà:

$$\sigma_{a\infty,-1}^* = \frac{\sigma_{a\infty,-1}}{K_d \cdot K_l \cdot K_f \cdot K_v} = 112,20MPa$$

E si procede alla verifica del coefficiente di sicurezza a fatica:

$$v_\sigma = \frac{\sigma_{a\infty,-1}^*}{\sigma_a} = 73,30$$

| SEZ.            | $\sigma_{f_{max}}$ [MPa] | $K_d$ | $K_l$ | $K_{tn}$ | $K_f$ | $\sigma_{a_{\infty,-1}}^*$ [Mpa] | $v_{st}$ | SEZ.            | $\sigma_{f_{max}}$ [MPa] | $K_d$ | $K_l$ | $K_{tn}$ | $K_f$ | $\sigma_{a_{\infty,-1}}^*$ [Mpa] | $v_{st}$ |
|-----------------|--------------------------|-------|-------|----------|-------|----------------------------------|----------|-----------------|--------------------------|-------|-------|----------|-------|----------------------------------|----------|
| A-A             | 1.53                     | 1.16  | 1.05  | 3.05     | 1.94  | 102.63                           | 67.10    | A'-A'           | 4.40                     | 1.14  | 1.03  | 2.34     | 2.01  | 86.75                            | 19.90    |
| B-B             | 3.46                     | 1.20  | 1.13  | 2.20     | 2.20  | 88.83                            | 25.65    | B'-B'           | 14.40                    | 1.14  | 1.10  | 1.65     | 1.65  | 99.38                            | 6.91     |
| C-C             | 4.03                     | 1.23  | 1.13  | /        | 1.97  | 96.78                            | 24.01    | C'-C'           | 20.56                    | 1.14  | 1.10  | /        | 1.83  | 89.33                            | 4.35     |
| D-D             | 5.16                     | 1.23  | 1.13  | 1.80     | 1.80  | 106.00                           | 20.51    | D'-D'           | 17.82                    | 1.12  | 1.10  | 2.44     | 2.10  | 79.72                            | 4.47     |
| E-E             | 22.74                    | 1.23  | 1.13  | 1.80     | 1.80  | 106.00                           | 4.66     | E'-E'           | 9.81                     | 1.08  | 1.03  | 2.58     | 1.76  | 104.70                           | 10.70    |
| F-F             | 26.19                    | 1.23  | 1.13  | /        | 1.91  | 99.82                            | 3.81     | <b>Albero 1</b> |                          |       |       |          |       |                                  |          |
| G-G             | 21.93                    | 1.20  | 1.13  | 2.20     | 2.20  | 88.83                            | 4.05     | SEZ.            | $\sigma_{f_{max}}$ [MPa] | $K_d$ | $K_l$ | $K_{tn}$ | $K_f$ | $\sigma_{a_{\infty,-1}}^*$ [Mpa] | $v_{st}$ |
| H-H             | 19.10                    | 1.13  | 1.05  | 2.12     | 1.90  | 117.76                           | 6.17     | A''-A''         | 13.57                    | 1.14  | 1.03  | 2.14     | 1.93  | 125.86                           | 9.27     |
| <b>Albero 0</b> |                          |       |       |          |       |                                  |          | B''-B''         | 14.62                    | 1.21  | 1.10  | 2.34     | 2.34  | 91.51                            | 6.26     |
|                 |                          |       |       |          |       |                                  |          | C''-C''         | 17.50                    | 1.23  | 1.10  | /        | 1.92  | 57.14                            | 3.27     |
|                 |                          |       |       |          |       |                                  |          | D''-D''         | 11.64                    | 1.23  | 1.10  | 2.00     | 2.00  | 105.32                           | 9.05     |
|                 |                          |       |       |          |       |                                  |          | E''-E''         | 2.20                     | 1.23  | 1.03  | 3.06     | 2.68  | 84.01                            | 30.50    |
|                 |                          |       |       |          |       |                                  |          | <b>Albero 2</b> |                          |       |       |          |       |                                  |          |

Ogni qualvolta che un corpo è soggetto a un carico, esso subisce anche delle deformazioni. Bisognerà verificare che :

$$f \leq f_{lim} = \frac{l}{3000}, \quad \varphi \leq \varphi_{lim}$$

Per le deformazioni angolari si deve guardare il catalogo SKF, il quale definisce un valore limite per i cuscinetti a rulli e uno limite per quelli a sfere rispettivamente:

$$\varphi_{lim, cuscinetto \text{ a rulli}} = 8.73 \cdot 10^{-4} rad$$

$$\varphi_{lim, cuscinetto \text{ a sfere}} = 2.91 \cdot 10^{-3} rad$$

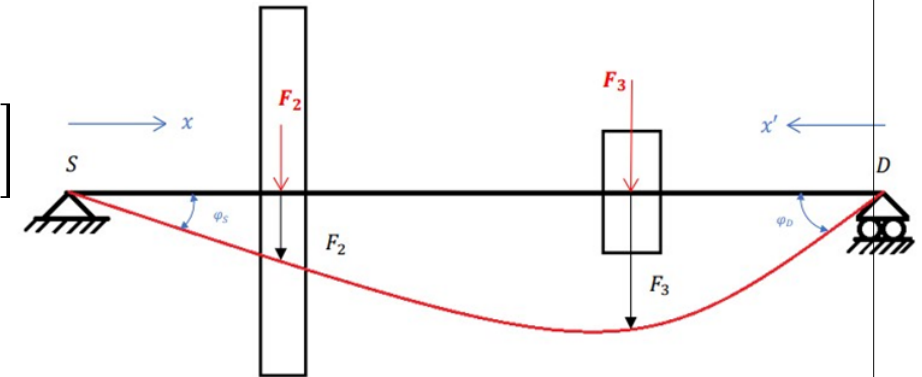
Si può usare la sovrapposizione degli effetti, dunque si calcoli tutto una forza alla volta e poi si sommino i risultati. Si consideri, per convenzione,  $f$  positiva se verso il basso e  $\varphi$  positiva in senso orario. Si adottino inoltre, due sistemi di riferimento diversi: l'asse  $x$  e l'asse  $x'$ . Siano:

$$f(x) = \frac{1}{6} \cdot \frac{F}{EJ} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{l} \cdot \left[ \frac{2x}{a} + \frac{x}{b} - \frac{x^3}{a^2 \cdot b} \right]$$

$$f(x') = \frac{1}{6} \cdot \frac{F}{EJ} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{l} \cdot \left[ \frac{2x'}{ab} + \frac{x'}{a} - \frac{x'^3}{b^2 \cdot a} \right]$$

$$\varphi_s = \frac{F \cdot b \cdot (l^2 - b^2)}{6EJ \cdot l}$$

$$\varphi_d = \frac{F \cdot a \cdot (l^2 - a^2)}{6EJ \cdot l}$$



Dove  $a$  e  $b$  sono rispettivamente le distanze dei sistemi di riferimento dal punto di applicazione della forza,  $J$  è il momento d'inerzia relativo alla sezione ed  $E$  il modulo elastico relativo al materiale.

Si attuerà questo procedimento su entrambi i piani  $x$ - $y$  e  $x$ - $z$ , poi con Pitagora si trova la deformazione totale.



| PIANO         |            | $\varphi_S$ [rad]     | $f_t$ [mm]            | $f_j$ [mm]            | $\varphi_D$ [rad]     |
|---------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| X - Y         | $f_{t,2}$  | $-8.33 \cdot 10^{-5}$ | $-3.03 \cdot 10^{-3}$ | $-2.98 \cdot 10^{-3}$ | $5.30 \cdot 10^{-5}$  |
|               | $f_{t,3}$  | $2.78 \cdot 10^{-4}$  | $1.08 \cdot 10^{-2}$  | $2.00 \cdot 10^{-2}$  | $-3.90 \cdot 10^{-4}$ |
|               | <b>tot</b> | $1.95 \cdot 10^{-4}$  | $7.78 \cdot 10^{-3}$  | $1.71 \cdot 10^{-2}$  | $-3.73 \cdot 10^{-4}$ |
| X - Z         | $f_{r,2}$  | $-3.03 \cdot 10^{-5}$ | $-1.1 \cdot 10^{-3}$  | $-1.08 \cdot 10^{-3}$ | $1.93 \cdot 10^{-5}$  |
|               | $f_{r,3}$  | $-1.01 \cdot 10^{-4}$ | $-3.93 \cdot 10^{-3}$ | $-7.29 \cdot 10^{-3}$ | $-3.90 \cdot 10^{-4}$ |
|               | <b>tot</b> | $-1.32 \cdot 10^{-4}$ | $-5.03 \cdot 10^{-3}$ | $-8.38 \cdot 10^{-3}$ | $-3.70 \cdot 10^{-4}$ |
| <b>TOTALE</b> |            | $2.35 \cdot 10^{-4}$  | $9.26 \cdot 10^{-3}$  | $1.90 \cdot 10^{-2}$  | $5.01 \cdot 10^{-4}$  |

**Albero 0**

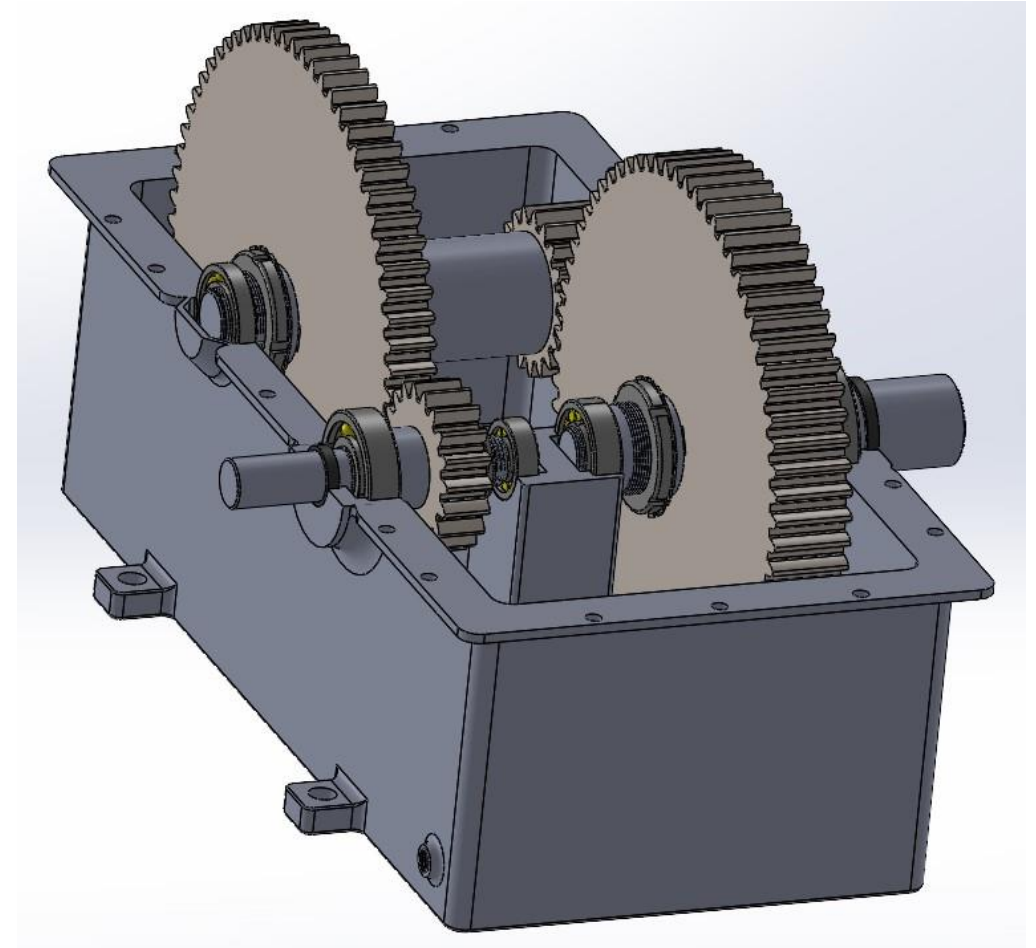
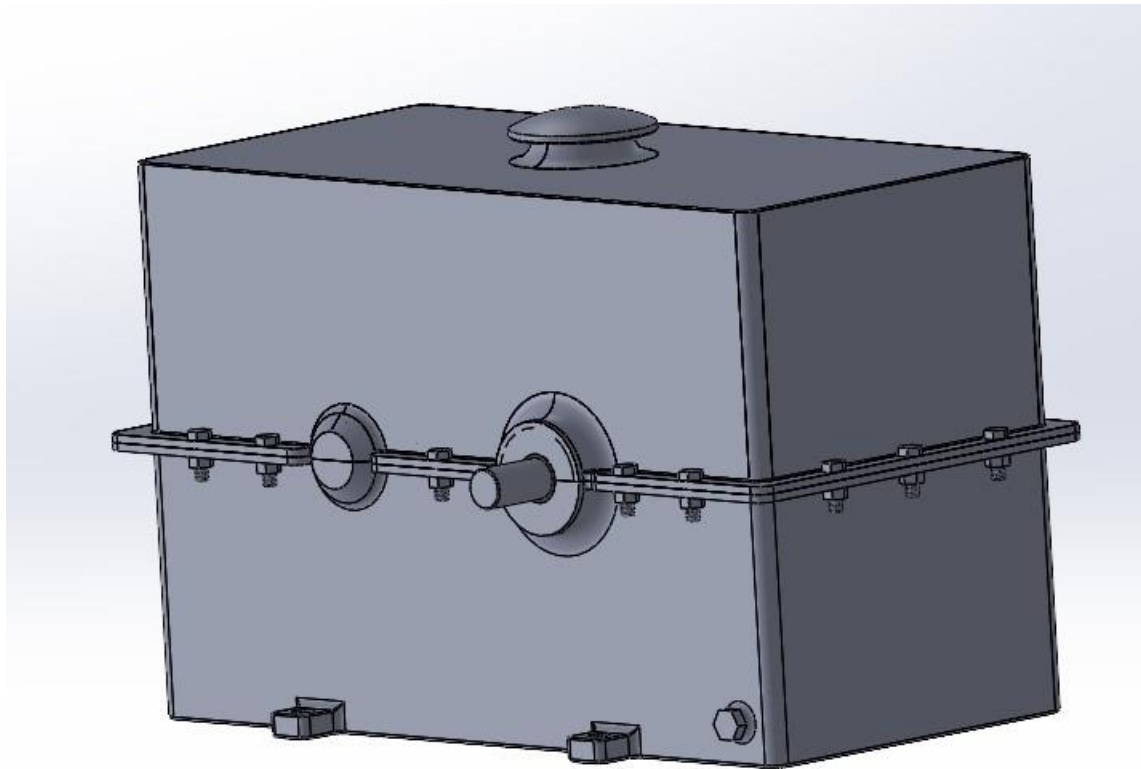
|            | $\varphi_S$ [rad]    | $f_i$ [mm]           | $\varphi_D$ [rad]    |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>tot</b> | $1.60 \cdot 10^{-4}$ | $4.26 \cdot 10^{-3}$ | $1.60 \cdot 10^{-4}$ |

**Albero 1**

|            | $\varphi_S$ [rad]    | $f_i$ [mm]           | $\varphi_D$ [rad]    |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>tot</b> | $1.13 \cdot 10^{-4}$ | $4.52 \cdot 10^{-3}$ | $1.13 \cdot 10^{-4}$ |

**Albero 2**

- La cassa contiene le ruote e gli alberi
- Funge da supporto per i cuscinetti
- Ingombri ridotti
- Facilità di montaggio, di ispezione e di manutenzione



Il riduttore è stato verificato in ogni sua parte, pertanto si consiglia di usare sempre la normativa ISO 6336 per dimensionare le ruote dentate in quanto si ottengono ingranaggi a pari numero di denti ma con dimensioni nettamente minori a favore di peso e ingombri.

