

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
DIMENSIONAMENTO E MODELLAZIONE CAD
3D DI UN RIDUTTORE BISTADIO

Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

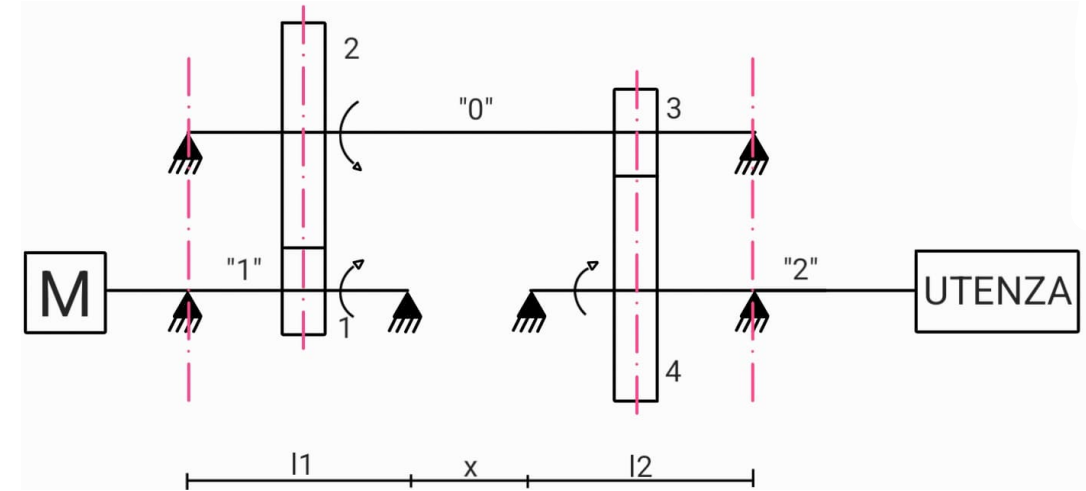
Laureando: Oscar Nalin

Padova, 20/07/2026

Obiettivo: Dimensionare un riduttore bistadio mirando ad ottimizzare l'ingegnerizzazione del prodotto finale

Specifiche di progetto:

- Momento torcente nominale dell'albero d'uscita: $M_{t2nom} = 1280 \text{ Nm}$
- Velocità di rotazione dell'albero d'uscita: $n_2 = 205 \frac{\text{giri}}{\text{min}}$
- Rapporto di trasmissione: $\tau_{tot} = \frac{n_1}{n_2} = 14,5$



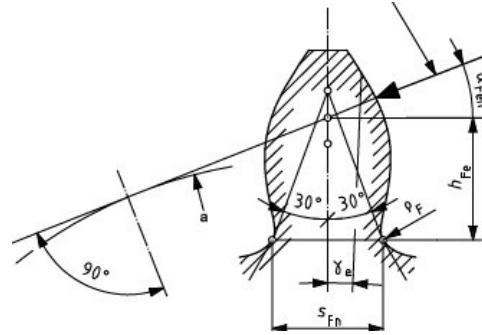
Impiego reale del riduttore: Azionare un nastro trasportatore che muove carichi pesanti e che lavora dalle sedici alle ventiquattro ore al giorno

	NUMERO GIRI [rpm]	POTENZA [kW]	COPPIA [Nm]
ALBERO D'INGRESSO	2973	44.7	144
ALBERO INTERMEDIO	781	42.9	525
ALBERO D'USCITA	205	41.2	1920

Premessa: Il dimensionamento segue la norma ISO 6336:2006 sulla base di una geometria già nota

Dimensionamento:

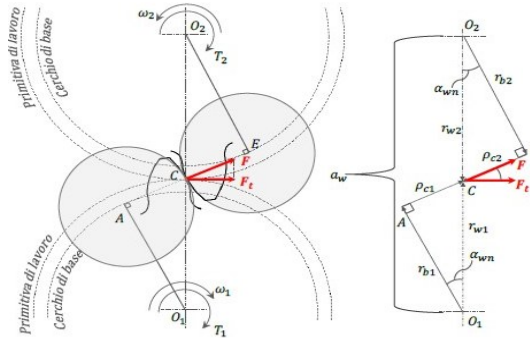
- FLESSIONE:**



$$\sigma_F \leq \sigma_{FP}$$

$$m_{F3} \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot M_0}{\lambda_3 \cdot Z_3 \cdot \sigma_{FP}} \cdot Y_{F3} \cdot Y_{S3} \cdot K_{F\beta 3}}$$

- PITTING:**

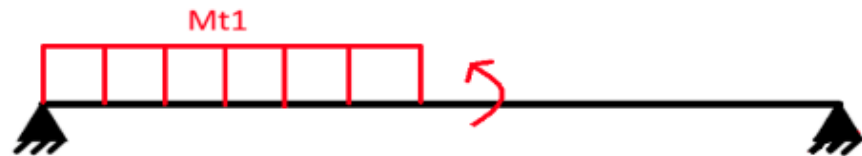
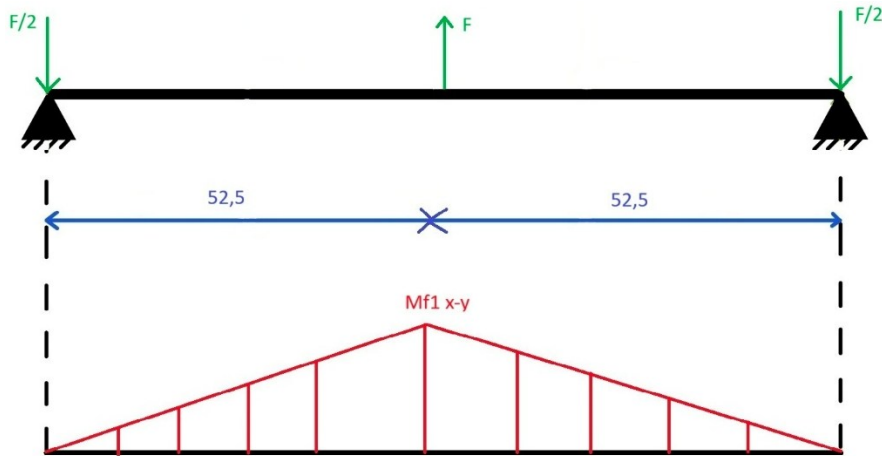


$$\sigma_H \leq \sigma_{HP}$$

$$m_{H3} \geq \sqrt[3]{\left(\frac{Z_{B3} \cdot Z_{H3} \cdot Z_{E3}}{Z_3 \cdot \sigma_{HP3}}\right)^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot M_0}{\lambda_3}\right) \cdot K_{H\beta 3} \cdot \frac{u+1}{u}}$$

RUOTA	z	m [mm]	Dp [mm]	λ []	b [mm]	i [mm]	Materiale
1	19	5	95	7	35	227,5	Acciaio da cementazione 16CrNi4
2	72	5	360	7	35		
3	19	5	95	8	40	227,5	
4	72	5	360	8	40		

Albero d'ingresso



$$l = (3 \div 4) \cdot b$$

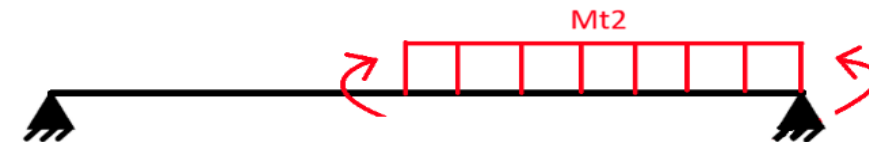
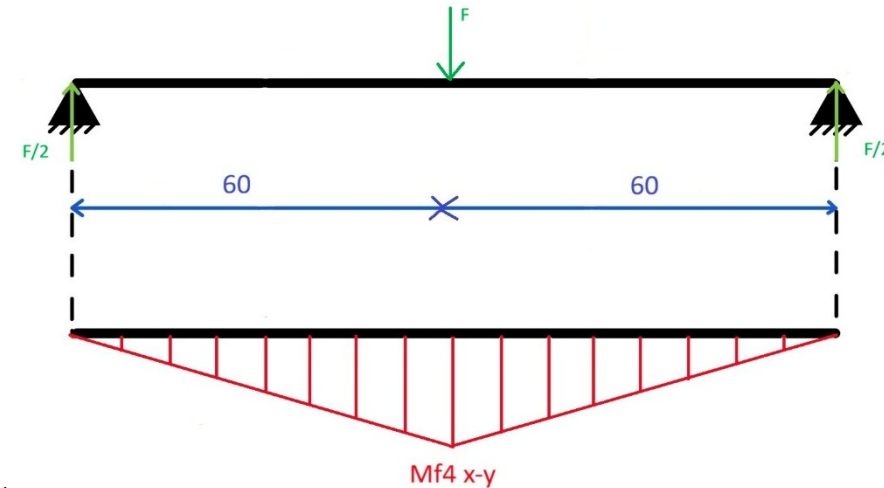
$$F = \sqrt{Fr^2 + Ft^2}$$

$$M_{f \max} = \frac{F \cdot l}{4}$$

$$\sigma_{amm} = \frac{\sigma_s}{v_s}$$

$$d = \left(\sqrt{\left(\frac{32 \cdot M_{f \max}}{\pi \cdot \sigma_{amm}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \sigma_{amm}} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

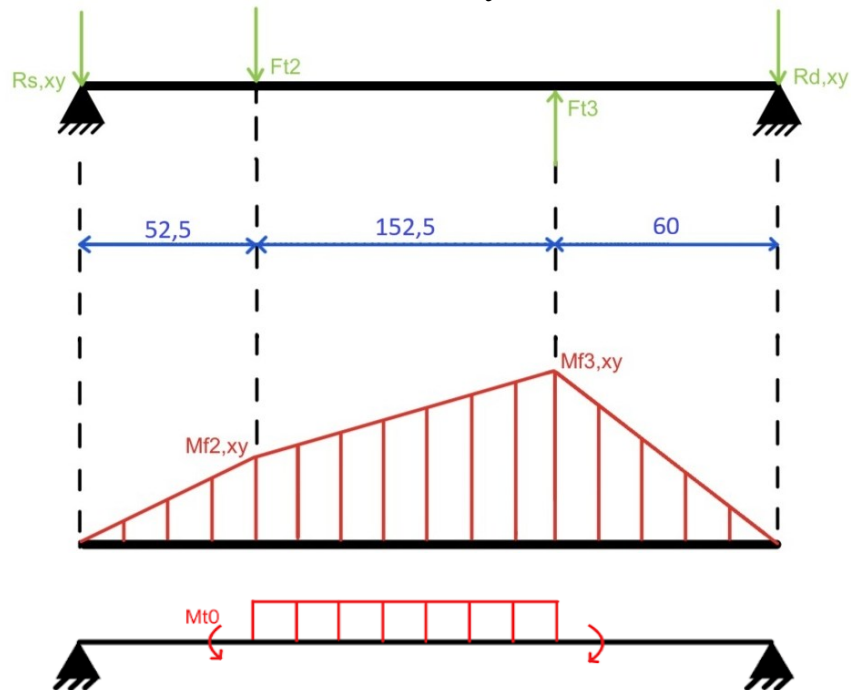
Albero d'uscita



Materiale (UNI 7845): acciaio legato da bonifica 39NiCrMo3

Albero	l [mm]	$M_{f \max}$ [Nmm]	M_t [Nmm]	d [mm]	$\frac{l}{d}$	v_s	σ_{amm} [MPa]	$\sigma_{id, VM}$ [MPa]
Ingresso	105	84426	143559	30	3.5 (tozzo)	8	91.9	56.7
Uscita	120	340537	1920000	50	2.4 (tozzo)	4	171.2	103.9

Piano x-y



Albero intermedio

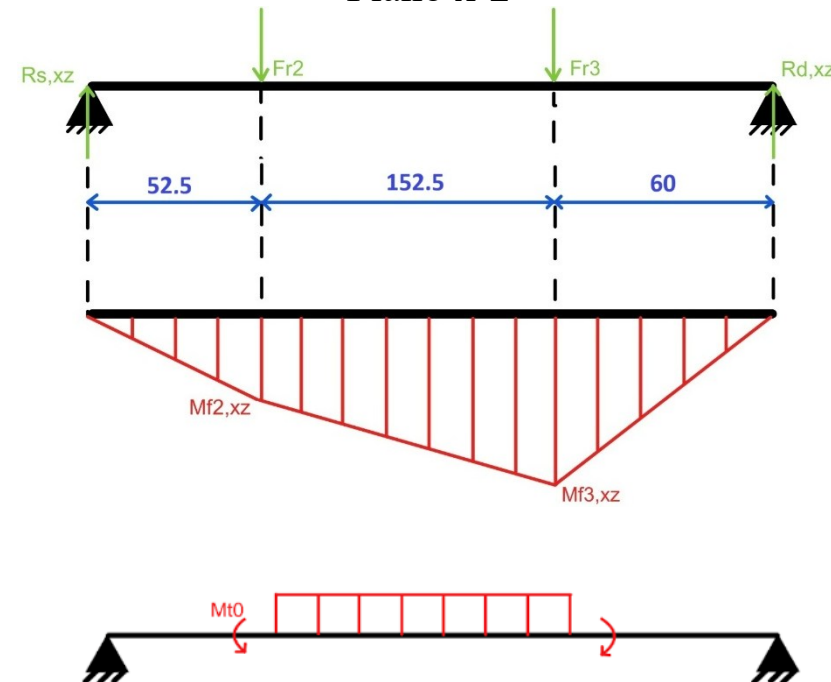
$$l_0 = l_1 + x + l_2$$

$$40\text{mm} \leq x \leq 50\text{mm}$$

$$M_{f \max} = \sqrt{M_{f3 \ xy}^2 + M_{f3 \ xz}^2}$$

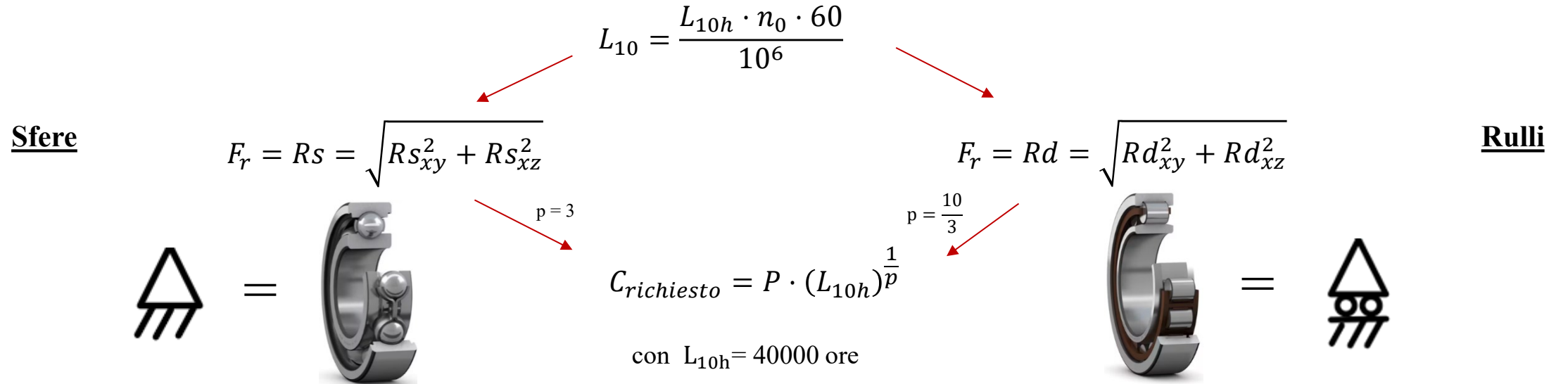
$$d = \left(\sqrt{\left(\frac{32 \cdot M_{f \max}}{\pi \cdot \sigma_{amm}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \sigma_{amm}} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Piano x-z



Materiale (UNI 7845): acciaio legato da bonifica 39NiCrMo3

Albero	l [mm]	$M_{f \max}$ [Nmm]	M_t [Nmm]	d [mm]	$\frac{l}{d}$	v_s	σ_{amm} [MPa]	$\sigma_{id,VM}$ [MPa]
Intermedio	265	518220	525007	50	5.3 (snello)	9	76.1	42.2



Ingresso

Intermedio

Uscita

Cuscinetto	L_{10} [mln di cicli]	P [N]	$C_{richiesto}$ [N]	C_{limite} [N]
SKF 6406 (Lato SX)	7134	1608	30957	43600
SKF 6306 (Lato SX)	1873	1770	21816	29600
SKF 6310 (Lato DX)	492	5676	44806	65000

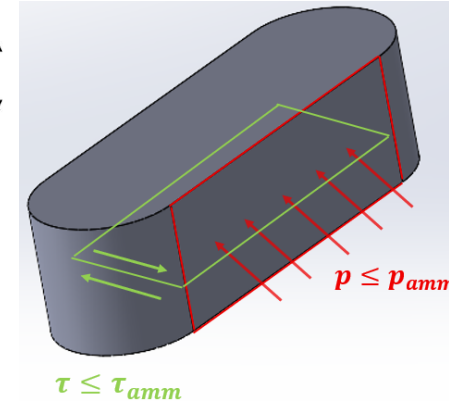
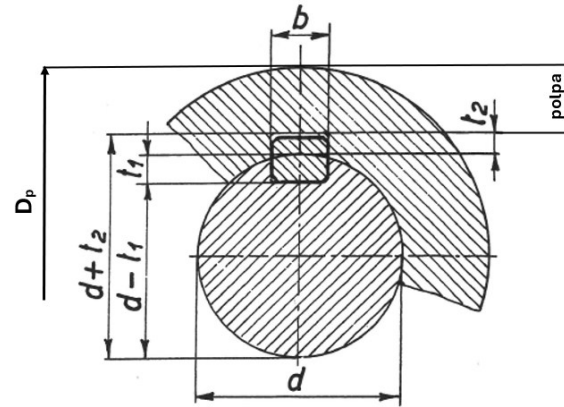
Cuscinetto	L_{10} [mln di cicli]	P [N]	$C_{richiesto}$ [N]	C_{limite} [N]
SKF NU303ECP (Lato DX)	7134	1608	23031	28500
SKF NU2306ECP (Lato DX)	1873	8637	82824	83000
SKF NU1007ECP (Lato SX)	492	5676	36442	41500

Verifica a pressione massima

$$p = \frac{2 \cdot M_{t,0}}{d_0} \cdot \frac{1}{t_1 \cdot l} \leq p_{amm}$$

da cui

$$l_{min} = \frac{2 \cdot M_{t,0}}{d_0} \cdot \frac{1}{t_1 \cdot p_{amm}}$$



Materiale: C60 bonificato (UNI 7845)

Verifica a tensione massima

$$\tau = \frac{2 \cdot M_{t,0}}{d_0} \cdot \frac{1}{b \cdot l} \leq \tau_{amm}$$

$$\text{con } \tau_{amm} = \frac{\sigma_{s,C60}}{\nu_s \cdot \sqrt{3}}$$

con $75 \text{ MPa} \leq p_{amm} \leq 110 \text{ MPa}$

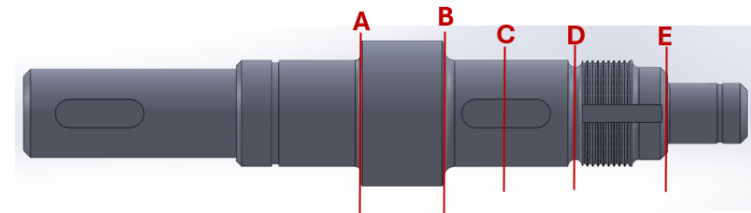
$$\sigma_{s,C60} \leq \sigma_{s,39NiCrMo3}$$

Albero	Quantità	Linguetta (tipo A UNI 6604)	$l_{min} [mm]$	$p [Mpa]$	$\tau [MPa]$	$\tau_{amm} [MPa]$	Polpa [mm]
Ingresso	1	8 x 7 x 25 (ruota 1)	21.8	95.7	47.9	227	23
Intermedio	1	16 x 10 x 32 (ruota 2)	31.8	109.4	41	204	144.4
	1	16 x 10 x 35 (ruota 3)	31.8	100	37.5	204	12
Uscita	4	14 x 9 x 35 (ruota 4)	31.7	100	156.7	204	145

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f} = \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d^3} \longrightarrow \tau_{Mt} = \frac{M_t}{W_t} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} \longrightarrow \sigma_{id,VM} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_{Mt}^2} \longrightarrow v_s = \frac{\sigma_{sn}}{\sigma_{id,VM}} \geq 1.5$$

Ingresso

Sezione	d [mm]	Mf [Nmm]	Mt [Nmm]	σ_f [MPa]	τ_{Mt} [MPa]	$\sigma_{id,VM}$ [MPa]	v_s
A	30	18493	143559	7	27.1	47.4	15.5
B	30	56284	143559	21.2	27.1	51.5	14.3
C	30	84827	143559	31.9	27.1	56.7	13



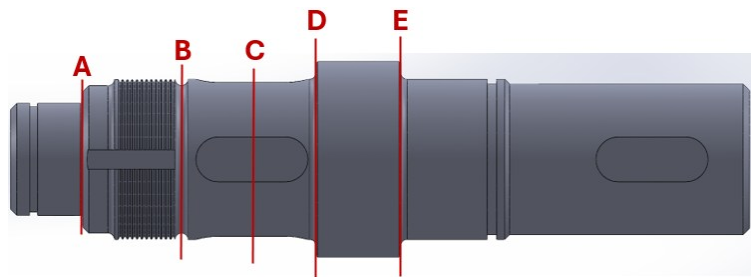
Intermedio

Sezione	d [mm]	Mf [Nmm]	Mt [Nmm]	σ_f [MPa]	τ_{Mt} [MPa]	$\sigma_{id,VM}$ [MPa]	v_s
E	50	456090	525007	37.2	21.4	52.5	13
F	50	518219	525007	42.2	21.4	56.2	12.2
H	30	116519	525007	44	0	44	15.6



Uscita

Sezione	d [mm]	Mf [Nmm]	Mt [Nmm]	σ_f [MPa]	τ_{Mt} [MPa]	$\sigma_{id,VM}$ [MPa]	v_s
C	50	340537	1920000	27.8	78.2	138.3	5
D	50	227024	1920000	18.5	78.2	136.8	5
E	50	76621	1920000	6.2	78.2	135.6	5



Premessa: Gli alberi vengono sottoposti a sola flessione rotante σ_f , la componente torsionale τ_{Mt} riguarda solo le verifiche statiche.

Parametri a fatica:

- $K_d = f(d)$

- $K_l = f(\sigma_r, \text{finitura superficiale}, R_a)$

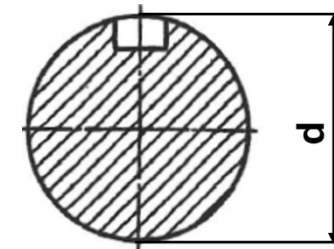
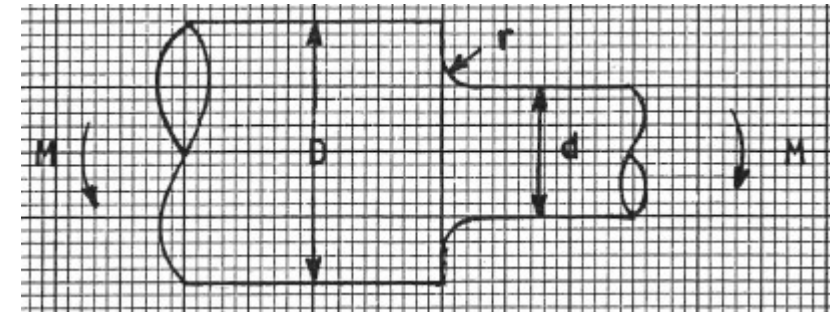
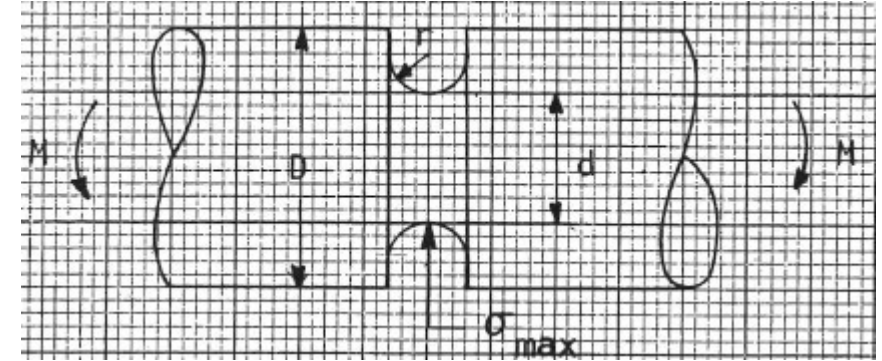
- $K_f = 1 + q \cdot (K_{tn} - 1) \quad \text{con } q = \frac{1}{1 + \frac{a}{r}}, \quad a = f(\sigma_r)$

$K_f = K_{tn} \quad \text{se } r \geq 2mm$

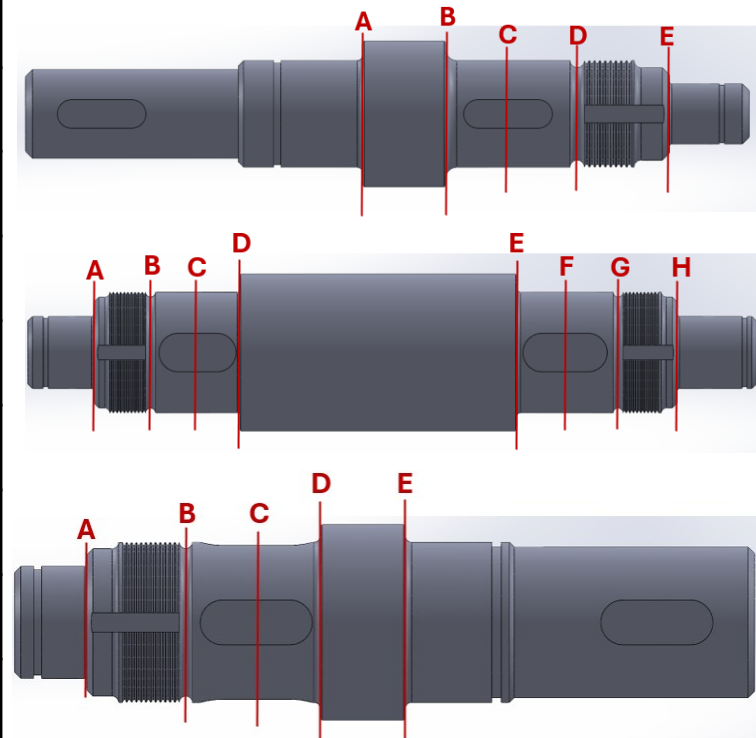
- $K_v = 1$

$\sigma_{a,\infty,-1}^* = \frac{\sigma_{a,\infty,-1}}{K_d \cdot K_l \cdot K_f \cdot K_v} \quad \text{con } \sigma_{a,\infty,-1} = \frac{\sigma_r}{2} = 465 \text{ MPa per acciaio 39NiCrMo3,}$

$v_\sigma = \frac{\sigma_{a,\infty,-1}^*}{\sigma_f} \geq 1.6$



Albero	Sezione	d [mm]	r [mm]	K_d []	K_l []	K_f []	K_{tn} []	q []	a [mm]	$\sigma_{a,\infty,-1}^*$ [MPa]	v_σ
Ingresso	C	30	-	1.17	1.21	2.18	-	-	-	150.7	4.73
	D	26	2	1.15	1.21	2.21	2.21	-	-	150.9	4.91
	E	17	0.6	0.9	1.07	2.23	2.45	0.85	0.109	216.9	9.29
Intermedio	F	50	-	1.23	1.21	2.18	-	-	-	135.6	3.21
	G	46	2	1.22	1.21	2.5	2.5	-	-	119.2	3.47
	H	30	1	1.17	1.06	2.33	2.5	0.89	0.123	152	3.45
Uscita	B	46	2	1.22	1.21	2.5	2.5	-	-	119.2	5.28
	C	50	-	1.23	1.21	2.18	-	-	-	135.6	4.89
	D	50	2	1.23	1.06	2.12	2.12	0.94	0.123	159.4	8.62



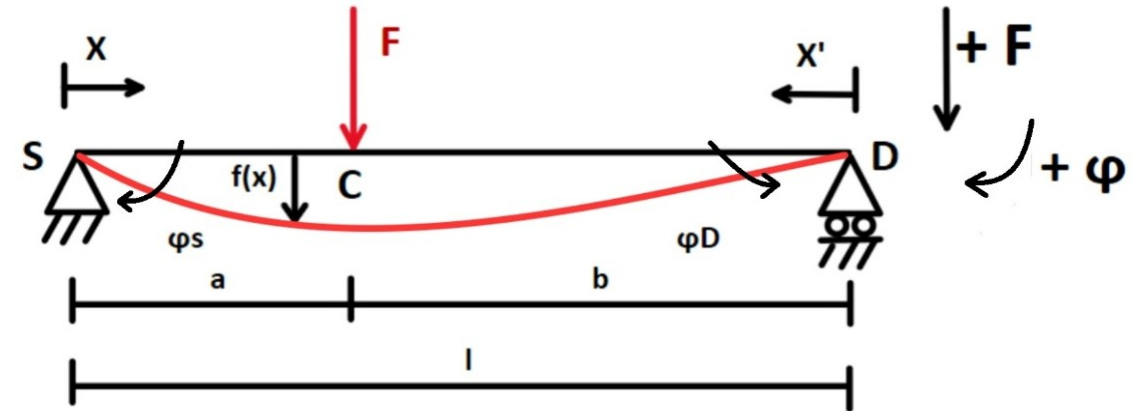
Premessa: E' di fondamentale importanza che gli alberi si deformino e ruotino entro certi limiti. Questi ultimi sono evidenziati da:

- FRECCE (f) che indicano lo spostamento dei punti critici dell'albero rispetto allo stato indeformato
- ROTAZIONI (φ) dei supporti dell'albero rispetto allo stato indeformato

$$\text{S-C: } f(x) = \frac{1}{6} \cdot \frac{F}{E \cdot J_{eq}} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{l} \cdot \left[2 \cdot \frac{x}{a} + \frac{x}{b} - \frac{x^3}{a^2 \cdot b} \right]$$

$$\text{D-C: } f(x') = \frac{1}{6} \cdot \frac{F}{E \cdot J_{eq}} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{l} \cdot \left[2 \cdot \frac{x'}{a} + \frac{x'}{b} - \frac{x'^3}{a^2 \cdot b} \right]$$

$$\text{S: } \varphi_S = \frac{F \cdot b \cdot (l^2 - b^2)}{6 \cdot E \cdot J_{eq} \cdot l} \quad \text{D: } \varphi_D = \frac{F \cdot a \cdot (l^2 - a^2)}{6 \cdot E \cdot J_{eq} \cdot l}$$



Albero	$f(C)_{tot}[mm]$	$f(B)_{tot}[mm]$	$\varphi_{Stot}[rad]$	$\varphi_{Dtot}[rad]$
Ingresso	$9.5 \cdot 10^{-3}$	-	$2.7 \cdot 10^{-4}$	$2.7 \cdot 10^{-4}$
Intermedio	$1.8 \cdot 10^{-2}$	$3.1 \cdot 10^{-2}$	$3.6 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$
Uscita	$6.5 \cdot 10^{-3}$	-	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$

SPOSTAMENTO LIMITE:

$$f_{lim} = 0,127 \text{ mm (da ASME)}$$

ROTAZIONE CUSCINETTO SFERE LIMITE:

$$\varphi_{limite} = 10' = 2.9 \cdot 10^{-3} \text{ rad (da SKF)}$$

ROTAZIONE CUSCINETTO RULLI LIMITE:

$$\varphi_{limite} = 3' = 8.7 \cdot 10^{-4} \text{ rad (da SKF)}$$

