

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

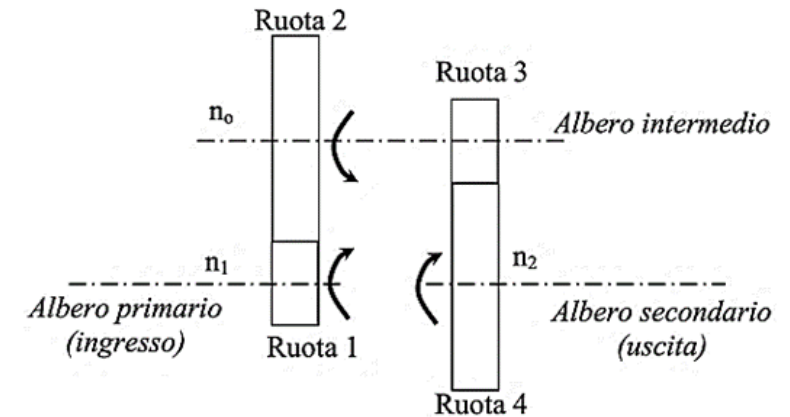
Laureando: *Lorenzo Corso*

Padova, 17/07/2023

**Obiettivo:** Progettazione di un riduttore bistadio → dimensioni contenute  
→ riduzione dei costi

Dati di progetto:

$M_{t,2,nom}$ [Nm]	$n_2$ [rpm]	$\tau_{tot}$ [/]
1230	65	22



Determinazione delle condizioni di lavoro →  $f_s = 1,5$

Albero	$M_t$ [Nm]	$n$ [giri/min]	$\omega$ [rad/s]	$P$ [kW]
Uscita	1845	65	6,81	12,564

$$\tau_{12} = \tau_{34}$$

$\tau_{12}$ [/]	$\tau_{34}$ [/]	$\tau_{tot}$ [/]
4,7	4,7	22,09

$$\eta_{34} = 0,98 - \eta_c = 0,98 \rightarrow \eta_{02}$$

Albero	$\eta_{02}$	$P$ [kW]	$n$ [giri/min]	$\omega$ [rad/s]	$M_t$ [Nm]
Intermedio	0,96	13,087	305,5	31,97	409,35

$$\eta_{12} = 0,98 - \eta_c = 0,98 \rightarrow \eta_{10}$$

Albero	$\eta_{10}$	$P$ [kW]	$n$ [giri/min]	$\omega$ [rad/s]	$M_t$ [Nm]
Ingresso	0,96	13,632	1435	150,2	90,76

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m \rightarrow z_1 = z_3 \text{ e } z_2 = z_4 \rightarrow z_2 = \frac{\tau_{12}}{z_1} = z_4 = \frac{\tau_{34}}{z_3}$$

$z_1 = z_3$ [denti]	$z_2 = z_4$ [denti]	$\tau_{tot}$ [°]
20	94	22,09

Materiale delle ruote dentate: 16CrNi4

Dimensionamento delle ruote dentate con le condizioni operative del pignone (3):

Dimensionamento delle ruote dentate per fatica a flessione a base del dente:  $\sigma_F \leq \sigma_{FP} \rightarrow m$

Ruota dentata	Resistenza a flessione	
	$\sigma_{FP}$ [MPa]	$m$ [mm]
(3)	678,6	2,7

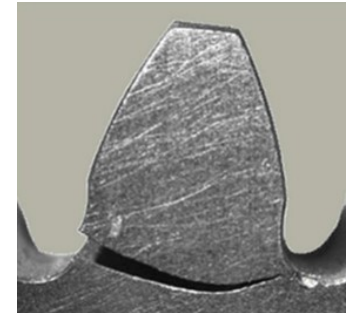
Dimensionamento delle ruote dentate per fatica di contatto (pitting):  $\sigma_H \leq \sigma_{HP} \rightarrow m$

Ruota dentata	Resistenza a pitting	
	$\sigma_{HP}$ [MPa]	$m$ [mm]
(3)	1208	3,7

Modulo unificato assunto dalla ISO 54:  $m = 4$  mm

Verifica pignone (1):

Ruota dentata	Resistenza a flessione		Resistenza a pitting	
	$\sigma_{FP}$ [MPa]	$\sigma_F$ [MPa]	$\sigma_{HP}$ [MPa]	$\sigma_H$ [MPa]
(1)	649	57,12	1155,6	557,8



NORMATIVA ISO 6336						
Ruota dentata n°	Modulo m [mm]	Numero di denti z [°]	$\lambda$ [°]	Larghezza b [mm]	Diametro primitivo $D_p$ [mm]	Interasse i [mm]
(1)	4	20	8	32	80	228
(2)	4	94	8	32	376	
(3)	4	20	10	40	80	228
(4)	4	94	10	40	376	

FORMULA DI LEWIS						
Ruota dentata n°	Modulo m [mm]	Numero di denti z [°]	$\lambda$ [°]	Larghezza b [mm]	Diametro primitivo $D_p$ [mm]	Interasse i [mm]
(1)	4,5	20	8	36	90	256,5
(2)	4,5	94	8	36	423	
(3)	4,5	20	10	45	90	256,5
(4)	4,5	94	10	45	423	

Lunghezza alberi:  $l_1 = 3 \cdot b_1$   
 $l_2 = 3 \cdot b_4 \rightarrow l_0 = l_1 + X + l_2$

Lunghezza albero l [mm]	Ingresso	Intermedio	Uscita
	96	260	120

Scelta del materiale  $\rightarrow \sigma_R$  e  $\sigma_S$ ; scelta del coefficiente di sicurezza  $v_{st}$ :

$v_{st} = 9 \div 11$  per alberi snelli:  $l/d > 4$  e  $v_{st} = 5 \div 7$  per alberi tozzi:  $l/d < 4$

Albero di ingresso  $\rightarrow$  Materiale: C25 Bonificato (UNI 7845)  $\rightarrow v_{st}$  assunto: 7

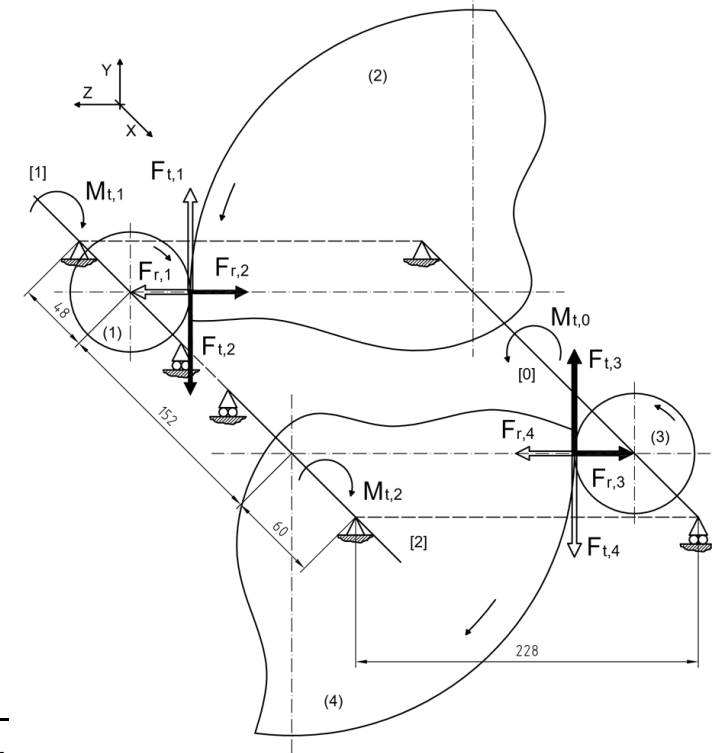
Albero intermedio  $\rightarrow$  Materiale: C45 Bonificato (UNI 7874)  $\rightarrow v_{st}$  assunto: 9

Albero di uscita  $\rightarrow$  Materiale: C35 Bonificato (UNI 7845)  $\rightarrow v_{st}$  assunto: 7

Dimensionamento a sola flessione:  $\sigma_{adm} = \frac{\sigma_S}{v_{st}} \rightarrow \sigma_f = \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d^3} \leq \sigma_{adm} \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot \sigma_{adm}}}$

Dimensionamento a sola torsione:  $\tau_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\sqrt{3}} \rightarrow \tau_{tors} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3} \leq \tau_{adm} \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \tau_{adm}}}$

$\rightarrow$  Assumo d  $\rightarrow$  Verifica assunzione:  $\sigma_f$  e  $\tau_{tors} \rightarrow \sigma_{id,vm} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_{tors}^2} \rightarrow v_{st} = \frac{\sigma_S}{\sigma_{id,vm}}$



Albero	$\sigma_R$ [MPa]	$\sigma_S$ [MPa]	d [mm]	$\sigma_f$ [MPa]	$\tau_{tors}$ [MPa]	$\sigma_{id,vm}$ [MPa]	$v_{st}$ [/]
Ingresso	490	305	30	22	17,2	37	8,2
Intermedio	685	450	50	39,4	16,7	48,9	9,2
Uscita	570	355	70	9,3	27,4	48,4	7,3

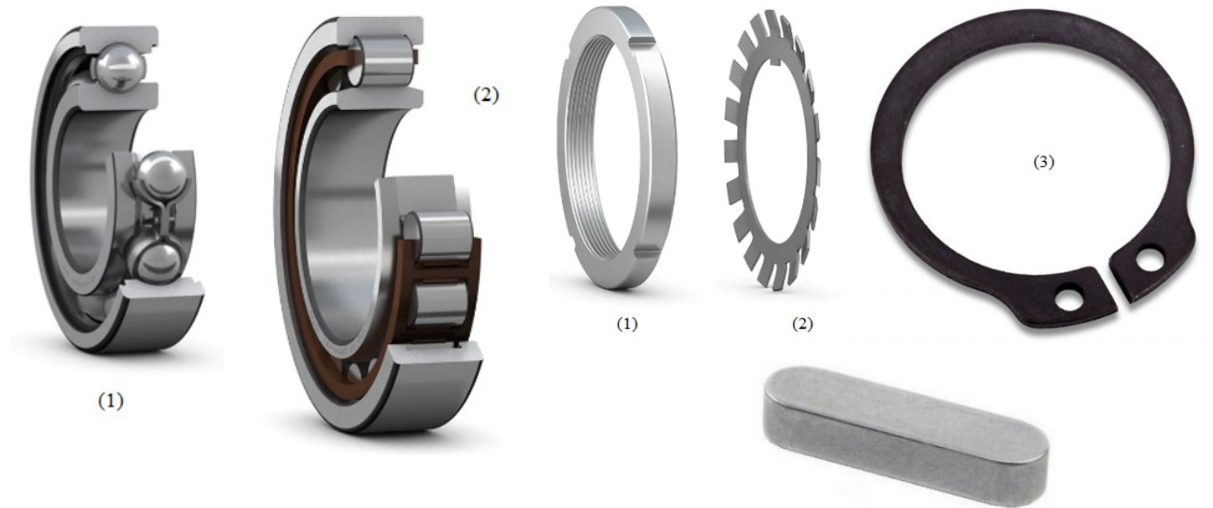
Cuscinetti:  $L_{10h} = 40000 \text{ ore} \rightarrow L_{10} = \frac{L_{10h} \cdot n \cdot 60}{10^6}$ ;  $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$

$\rightarrow C = P \cdot (L_{10})^{1/p} \rightarrow$  Catalogo SKF

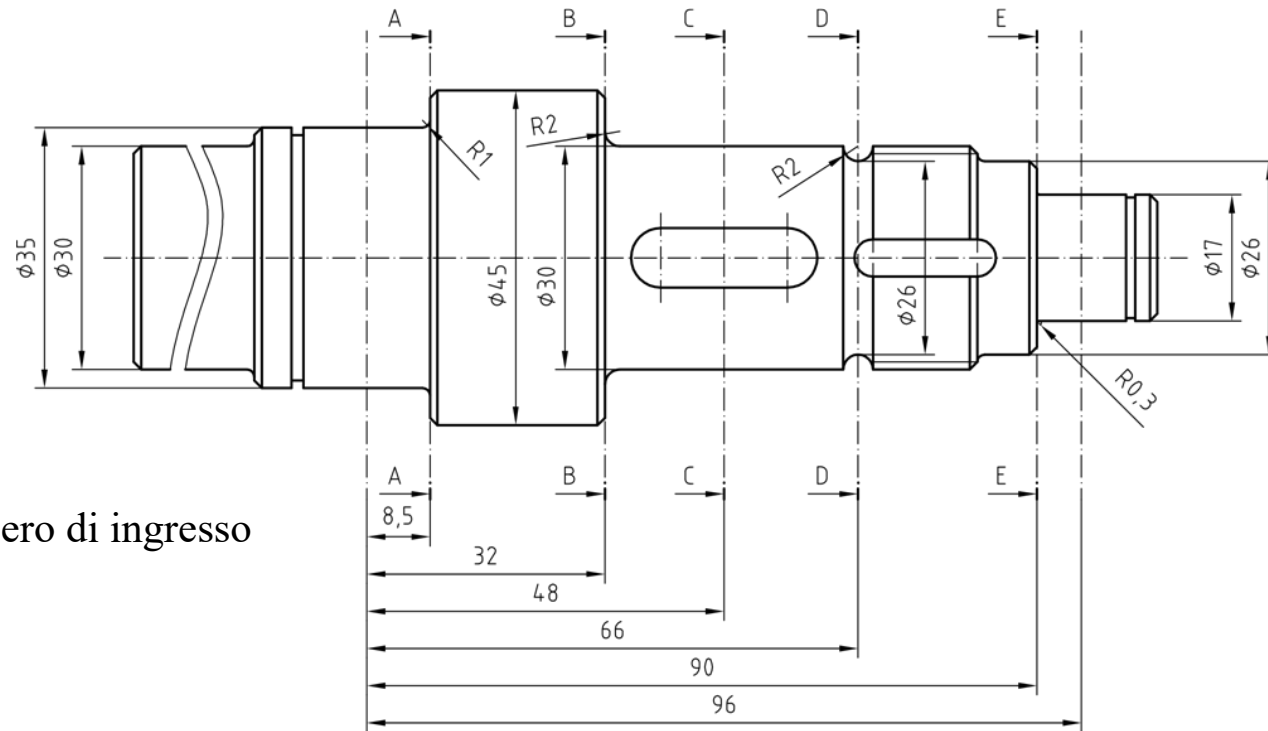
Linguette: lettura di  $b, h, t_1$  da UNI 6604; scelta del coefficiente di sicurezza  $v_s$  e scelta del materiale  $\rightarrow \sigma_R$  e  $\sigma_S \rightarrow$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_S}{v_s} \rightarrow \tau_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\sqrt{3}} \rightarrow l > \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot t_1 \cdot p_{adm}}$$

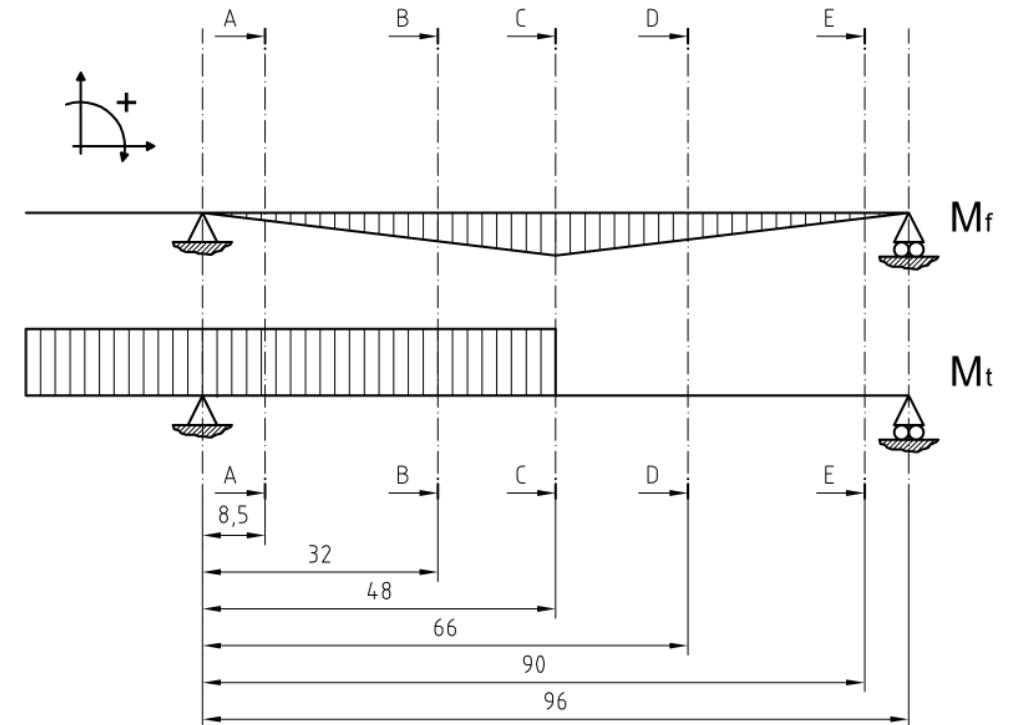
$\rightarrow$  Assumo  $l$  da UNI 6604  $\rightarrow$  verifica a taglio:  $\tau = \frac{M_t / (d/2)}{b \cdot l} \leq \tau_{adm}$



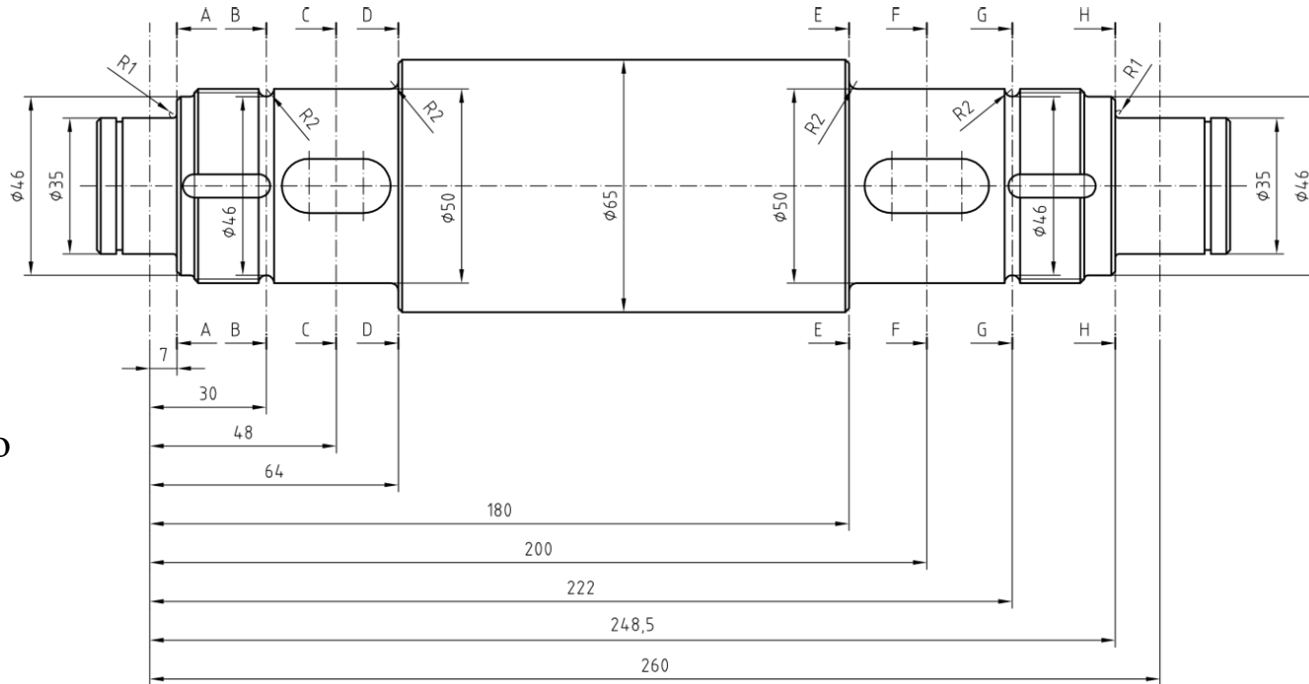
Albero	Cuscinetti		Linguette		Anelli elastici		Ghiere		Rosetta di sicurezza	
	Cuscinetto DX	Cuscinetto SX	“1”	“2”	Anello elastico DX	Anello elastico SX	“1”	“2”	“1”	“2”
Ingresso	SKF NU 203 ECP	SKF 6207	Linguetta A 8 x 7 x 25 UNI 6604		Anello 17 UNI 7435	Anello 35 UNI 7435	M30x1.5 SKF KM 6		SKF MB 6	
Intermedio	SKF NU 2207 ECP	SKF 6007	14 x 9 x 28	14 x 9 x 32	Anello 35 UNI 7435	Anello 35 UNI 7435	M50x1.5 SKF KM 10	M50x1.5 SKF KM 10	SKF MB 10	SKF MB 10
Uscita	SKF 6015	SKF NU 1010 ECP	20 x 12 x 34	20 x 12 x 34	Anello 75 UNI 7435	Anello 50 UNI 7435	M70x2 SKF KM 14		SKF MB 14	



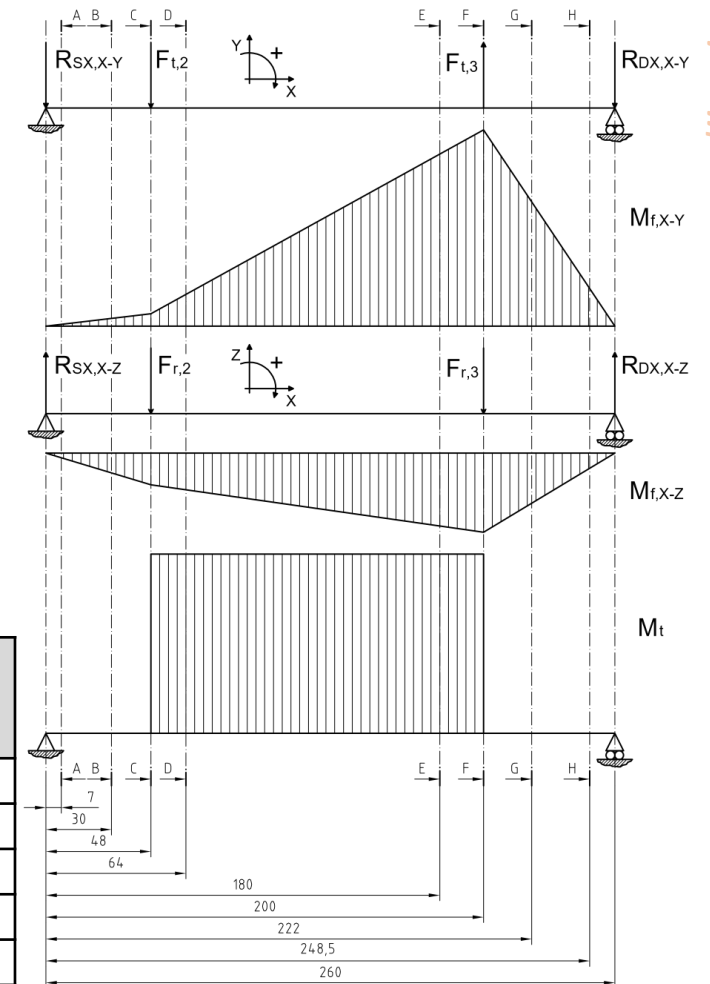
Albero di ingresso



Sezione	d [mm]	$M_f$ [Nmm]	$M_{t,1}$ [Nmm]	$W_f$ [mm <sup>3</sup> ]	$W_t$ [mm <sup>3</sup> ]	$\sigma_f$ [MPa]	$\tau_t$ [MPa]	$\sigma_{id,vm}$ [MPa]	$\nu_{st}$ [/]
A-A	35	10262,1	90760	4209,3	8418,5	2,44	10,78	18,8	16,2
B-B	30	38633,6	90760	2650,7	5301,44	14,6	17,12	33	9,22
C-C	30	57950,4	90760	2650,7	5301,44	21,86	17,12	37	8,2
D-D	26	28975,2	0	1725,5	0	16,8	0	16,8	18,15
E-E	17	7243,8	0	482,4	0	15	0	15	20,4

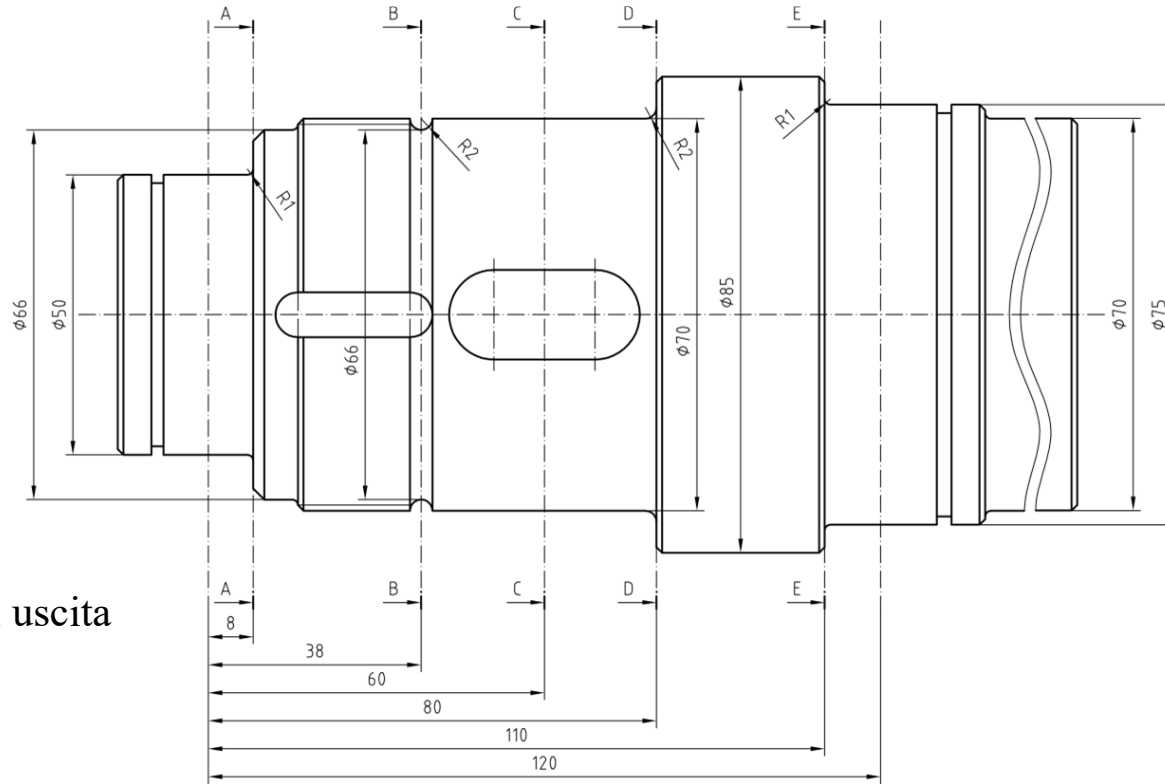


Albero intermedio

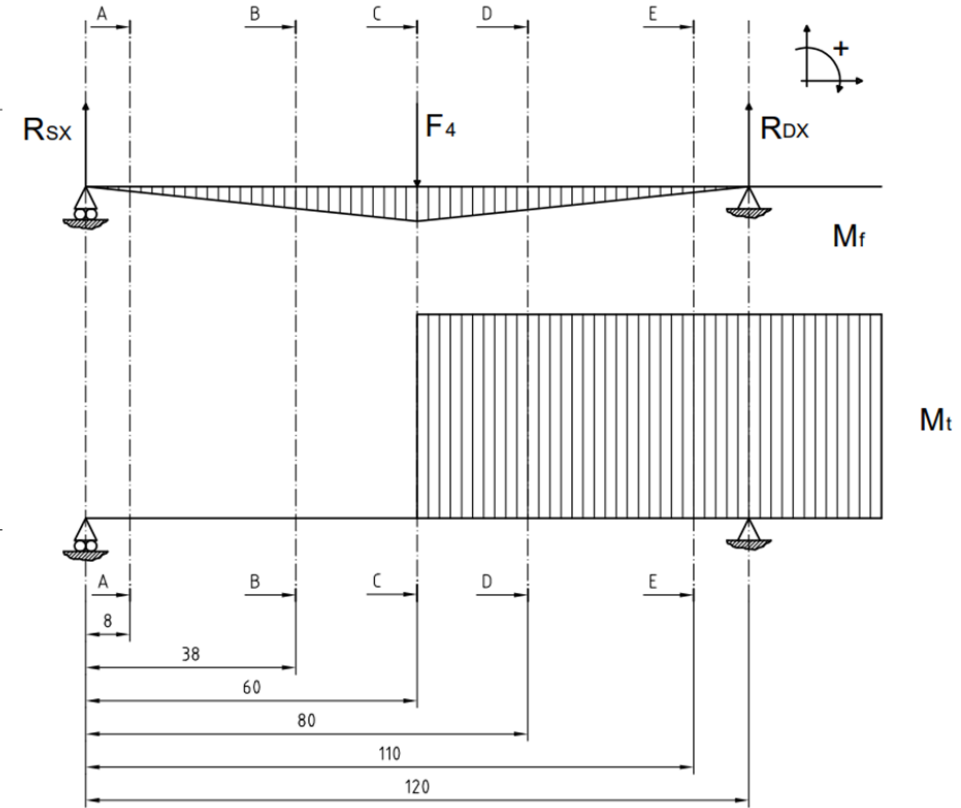


Sezione	d [mm]	$M_{f,X-Y}$ [Nmm]	$M_{f,X-Z}$ [Nmm]	$M_{f,tot}$ [Nmm]	$M_{t,0}$ [Nmm]	$W_f$ [mm <sup>3</sup> ]	$W_t$ [mm <sup>3</sup> ]	$\sigma_f$ [MPa]	$\tau_t$ [MPa]	$\sigma_{id,vm}$ [MPa]	$\nu_{st}$ [/]
A-A	35	4103,4	10540	11310,6	0	4209,3	0	2,7	0	2,7	166,7
B-B	46	17586	45171	48473,6	0	9556	0	5,1	0	5,1	88,2
C-C	50	28137,6	72273,6	77557,7	409350	12271,8	24543,7	6,3	16,7	29,6	15,2
D-D	50	72355,2	83684,8	110627,4	409350	12271,8	24543,7	9,02	16,7	30,3	14,6
E-E	50	392932,8	166416	426720,6	409350	12271,8	24543,7	34,8	16,7	45,25	9,9
F-F	50	448212	180696	483265	409350	12271,8	24543,7	39,4	16,7	48,9	9,2
G-G	46	283867,6	114440,8	306068	0	9556	0	32	0	32	14
H-H	35	85907,3	34633,4	92625,8	0	4209,3	0	22	0	22	20,5





Albero di uscita



Sezione	d [mm]	$M_f$ [Nmm]	$M_{t,2}$ [Nmm]	$W_f$ [mm <sup>3</sup> ]	$W_t$ [mm <sup>3</sup> ]	$\sigma_f$ [MPa]	$\tau_t$ [MPa]	$\sigma_{id,vm}$ [MPa]	$\nu_{st}$ [/]
A-A	50	41774,8	0	12271,8	0	3,4	0	3,4	104,4
B-B	66	198430,3	0	28224,9	0	7	0	7	50,71
C-C	70	313311	1845000	33673,9	67347,9	9,3	27,4	48,4	7,3
D-D	70	208874	1845000	33673,9	67347,9	6,2	27,4	47,86	7,42
E-E	75	52218,5	1845000	41417,5	82835	1,2	22,3	38,64	9,2

## Albero di ingresso

$M_t$  non è dimesionante;

$$\sigma_{a,\infty,-1} = 0,5 \cdot \sigma_R \rightarrow \sigma_{a,\infty,-1}^* = \frac{\sigma_{a,\infty,-1}}{K_f \cdot K_l \cdot K_d} \rightarrow \nu_\sigma = \frac{\sigma_{a,\infty,-1}^*}{\sigma_a} \geq 1,6$$

Sezione	d [mm]	$K_d$ [/]	$K_l$ [/]	r/d [/]	D/d [/]	q [/]	a [/]	$K_{tn}$ [/]	$K_f$ [/]	$\sigma_{a,\infty,-1}$ [MPa]	$\sigma_{a,\infty,-1}^*$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$\nu_\sigma$ [/]
A-A	35	1,18	1,05	0,0286	1,285	0,784	0,276	2,45	2,14	245	92,4	2,44	44
B-B	30	1,16	1,1	0,066	1,5	/	/	1,95	1,95	245	98,5	14,6	6,75
C-C	30	1,16	1,1	/	/	/	/	/	1,84	245	104,4	21,86	4,78
D-D	26	1,14	1,1	0,07	1,154	/	/	2,15	2,15	245	91	16,8	5,42
E-E	17	1,08	1,05	0,0176	1,53	0,52	0,276	3	2,04	245	106	15	7

## Albero intermedio

Sezione	d [mm]	$K_d$ [/]	$K_l$ [/]	r/d [/]	D/d [/]	q [/]	a [/]	$K_{tn}$ [/]	$K_f$ [/]	$\sigma_{a,\infty,-1}$ [MPa]	$\sigma_{a,\infty,-1}^*$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$\nu_\sigma$ [/]
A-A	35	1,18	1,05	0,0286	1,32	0,846	0,181	2,49	2,26	342,5	122,3	2,7	45,3
B-B	46	1,22	1,15	0,0435	1,1	/	/	2,48	2,48	342,5	98,44	5,1	19,3
C-C	50	1,25	1,15	/	/	/	/	/	2	342,5	119,2	6,3	18,9
D-D	50	1,25	1,15	0,04	1,3	/	/	2,08	2,08	342,5	114,5	9,02	12,7
E-E	50	1,25	1,15	0,04	1,3	/	/	2,08	2,08	342,5	114,5	34,8	3,3
F-F	50	1,25	1,15	/	/	/	/	/	2	342,5	119,2	39,4	3,02
G-G	46	1,22	1,15	0,0435	1,1	/	/	2,48	2,48	342,5	98,44	32	3,07
H-H	35	1,18	1,05	0,0286	1,32	0,846	0,181	2,49	2,26	342,5	122,3	22	5,6

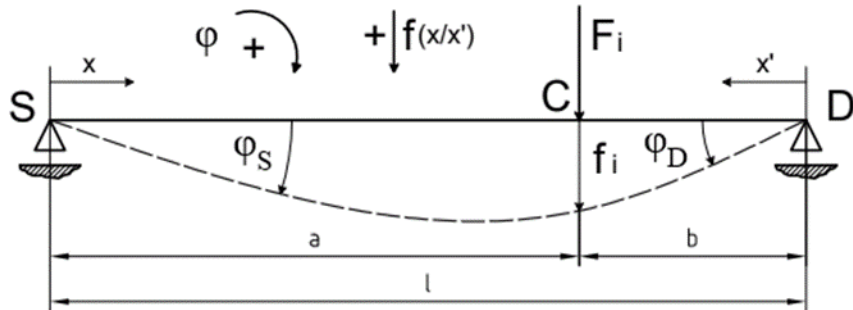
## Albero di uscita

Sezione	d [mm]	$K_d$ [/]	$K_l$ [/]	r/d [/]	D/d [/]	q [/]	a [/]	$K_{tn}$ [/]	$K_f$ [/]	$\sigma_{a,\infty,-1}$ [MPa]	$\sigma_{a,\infty,-1}^*$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$\nu_\sigma$ [/]
A-A	50	1,24	1,05	0,02	1,32	0,814	0,228	2,75	2,43	285	90,1	3,4	26,5
B-B	66	1,27	1,11	0,03	1,06	/	/	2,57	2,57	285	78,7	7	11,24
C-C	70	1,28	1,11	/	/	/	/	/	1,9	285	106,5	9,3	11,45
D-D	70	1,28	1,11	0,0285	1,22	/	/	2,37	2,37	285	84,64	6,2	13,65
E-E	75	1,29	1,05	0,014	1,13	0,817	0,228	2,52	2,23	285	94,35	1,2	78,63

Metodo analitico:

$$\frac{d^2 \eta}{dx^2} = - \frac{M}{E \cdot J} \rightarrow \varphi_i \rightarrow f_i$$

$$\varphi_i \leq \varphi_{lim} \quad e \quad f_i \leq f_{lim}$$



$$\varphi_S = \frac{F_i \cdot b \cdot (l^2 - b^2)}{6 \cdot E \cdot J_{eq} \cdot l}$$

$$\varphi_D = - \frac{F_i \cdot a \cdot (l^2 - a^2)}{6 \cdot E \cdot J_{eq} \cdot l}$$

$$f(x) = \frac{1}{6} \cdot \frac{F_i}{E \cdot J_{eq}} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{1} \cdot \left[ 2 \cdot \frac{x}{a} + \frac{x}{b} - \frac{x^3}{a^2 \cdot b} \right]$$

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

Valori limite:

$f_{lim}$ [mm]	$\varphi_{lim, rulli}$ [rad]	$\varphi_{lim, sfere}$ [rad]
0,127	$2' = 5,84 \cdot 10^{-4}$	$10' = 2,91 \cdot 10^{-3}$

Albero	$F_1$ [N]	$x$ [mm]	$f(x) = f_1$ [mm]	$\varphi_S$ [rad]	$\varphi_D$ [rad]
Ingresso	2414,6	48	$5,44 \cdot 10^{-3}$	$1,69 \cdot 10^{-4}$ rad	$-1,69 \cdot 10^{-4}$

Albero	$f_{2,tot}$ [mm]	$f_{3,tot}$ [mm]	$\varphi_{S,tot}$ [rad]	$\varphi_{D,tot}$ [rad]
Intermedio	$1,62 \cdot 10^{-2}$	$2,88 \cdot 10^{-2}$	$3,45 \cdot 10^{-4}$	$5,55 \cdot 10^{-4}$

Albero	$F_4$ [N]	$x$ [mm]	$f(x) = f_4$ [mm]	$\varphi_S$ [rad]	$\varphi_D$ [rad]
Uscita	10443,7	60	$1,55 \cdot 10^{-3}$	$3,87 \cdot 10^{-5}$	$-3,87 \cdot 10^{-5}$

da S a C

da D a C

## Modellazione CAD 3D del riduttore bistadio con Solidworks

