

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

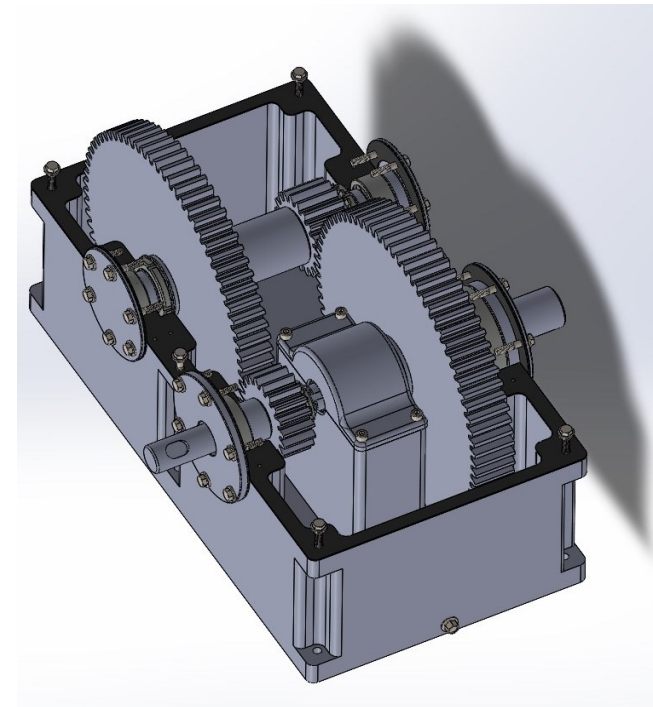
Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Berion Alessandro*

Padova, 22/09/2023

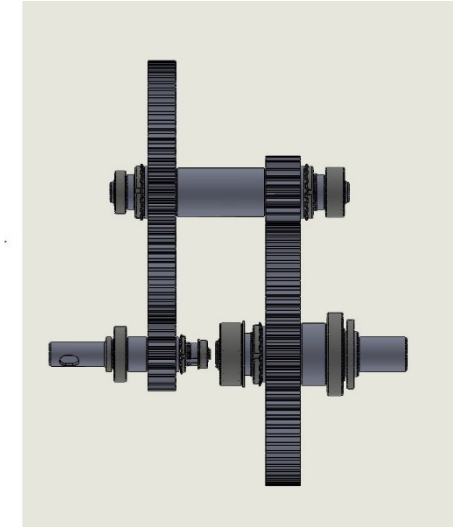
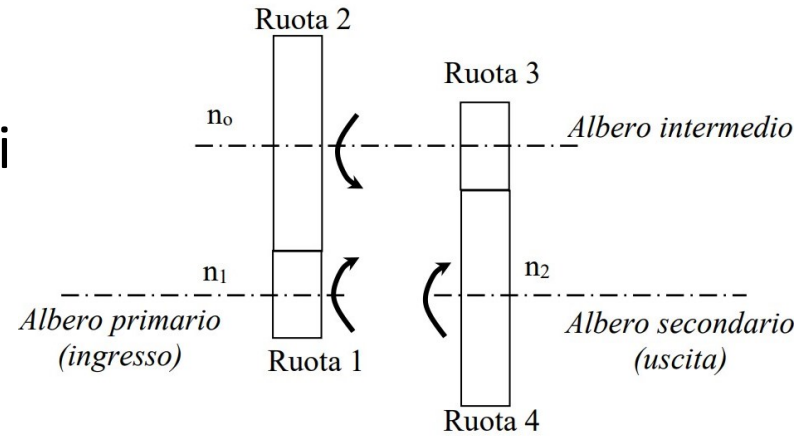
Il riduttore serve a ridurre la velocità di rotazione da un albero in ingresso a un albero in uscita aumentando la coppia prodotta dal motore.

- Progettazione completa delle ruote dentate secondo ISO 6336
- Progettazione completa alberi
- Verifica degli alberi secondo normativa CNR UNI 10011
- Progettazione della cassa del riduttore
- Modellazione CAD 3D di tutti i componenti



• Specifiche di progetto:

- Alberi di ingresso e uscita coassiali
- $M_u = 1200 \text{ Nm}$
- $\tau = 15$
- $N_2 = 95 \text{ rpm}$



ALBERO	POTENZA [W]	COPPIA [Nm]	VELOCITA' [rpm]
Albero di ingresso	19430.42	128.76	1441.05
Albero intermedio	18653.21	481.49	370
Albero di uscita	17907.00	1200.00	95

MATERIALE RUOTE DENTATE		RUOTA	Z [denti]	m_n [mm]	Dp [mm]	λ	b [mm]
16CrNi4		1	19	5	95	8	40
$\sigma_{F,lim}$	461 MPa	2	74	5	370	8	40
$\sigma_{H,lim}$	1500 MPa	3	19	5	95	10	50
$\sigma_{adm,s}$	250 MPa	4	74	5	370	10	50

Modulo secondo ISO6336 a flessione:

$$m_n \geq \sqrt[3]{\frac{2M_0}{\lambda_3 \cdot z_3 \cdot \sigma_{F,P}} \cdot \gamma_{F,3} \cdot \gamma_{S,3} \cdot k_{F\beta,3}} ;$$

Modulo secondo ISO6336 a pitting:

$$m_n \geq \sqrt[3]{\left(\frac{z_{B,3} \cdot z_{H,3} \cdot z_{E,3}}{z_3 \cdot \sigma_{HP}}\right)^2 \cdot \left(\frac{2M_0}{\lambda_3}\right) \cdot k_{H\beta,3} \cdot \left(\frac{u+1}{u}\right)} ;$$

RUOTA	Modulo Lewis [mm]	Modulo ISO6336 Flessione [mm]	Modulo ISO6336 Pitting [mm]
3	4.91	2.89	4.08

Ipotesi:

Tozzo:

- $l/d < 4$
- $v_s = 5-7$

Snello:

- $l/d > 4$
- $v_s = 9-12$

Verifica:

$$v_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_{id,VM}}$$

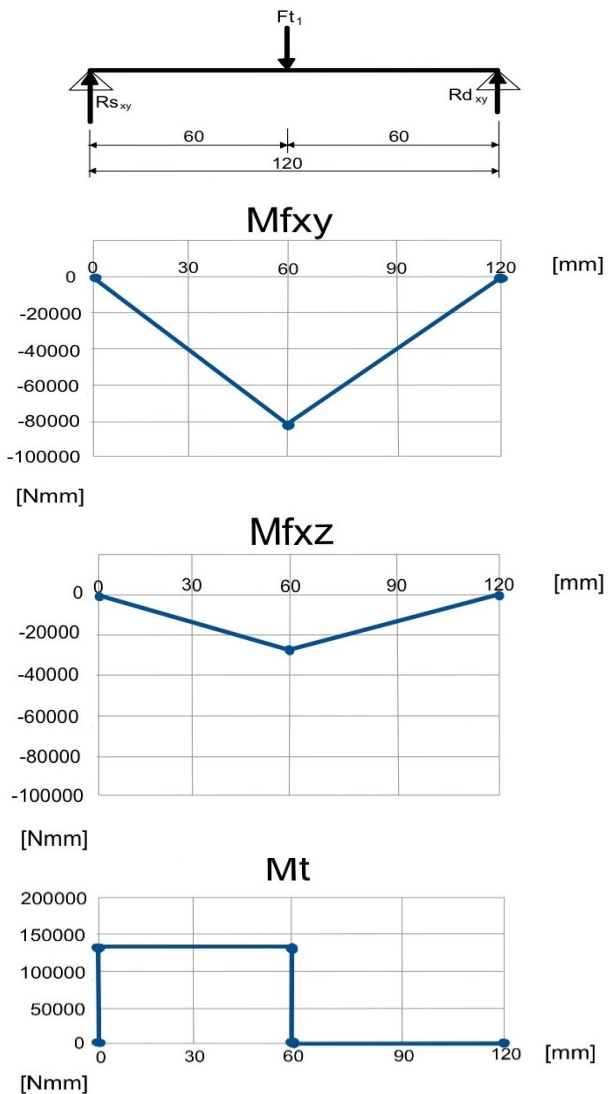
Dimensionamento:

$$\begin{aligned} \sigma_{adm} &= \frac{\sigma_s}{v_s} & \tau_{adm} &= \frac{\sigma_{adm}}{\sqrt{3}} & \rightarrow & d = \sqrt[3]{\frac{32 M_f}{\pi \sigma_{adm}}} & \rightarrow & d = \sqrt[3]{\frac{16 M_t}{\pi \tau_{adm}}} & \rightarrow & \sigma_f &= \frac{32 M_f}{\pi d^3} & \rightarrow & \tau_{Mt} &= \frac{16 M_t}{\pi d^3} & \rightarrow & \sigma_{id,VM} &= \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_{Mt}^2} \end{aligned}$$

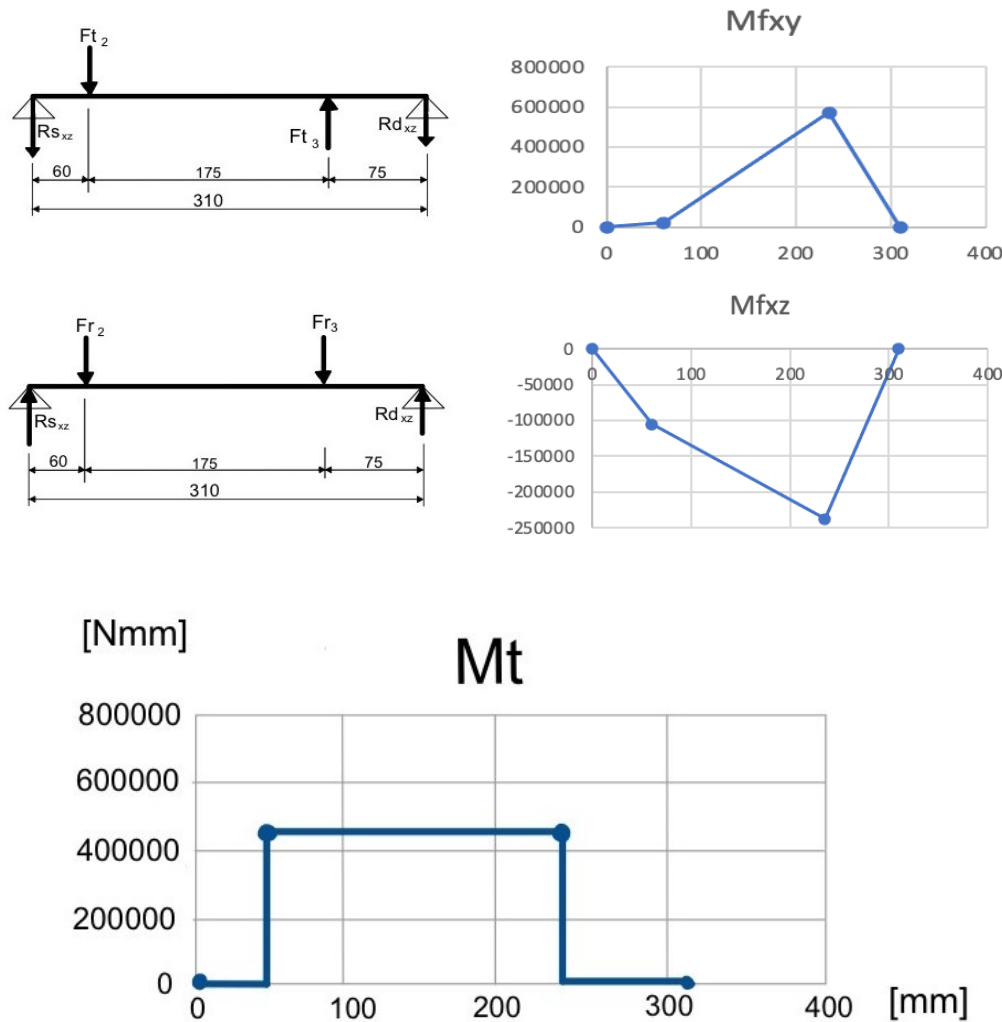
Acciaio C25 bonificato	Acciaio C60 bonificato	Acciaio C40 bonificato
$\sigma_R = 490 \text{ MPa}$	$\sigma_R = 740 \text{ MPa}$	$\sigma_R = 590 \text{ MPa}$
$\sigma_s = 305 \text{ MPa}$	$\sigma_s = 450 \text{ MPa}$	$\sigma_s = 370 \text{ MPa}$

ALBERO	MATERIALE	LUNGHEZZA [mm]	DIAMETRO [mm]	l/d	HP: v_s	$\sigma_{id,VM}$ [MPa]	v_s calcolato
Ingresso	C25 bonificato	120	35	3.42	9	33.52	9.09
Intermedio	C60 bonificato	310	55	5.64	9	43.89	10.25
Uscita	C40 bonificato	150	65	2.30	6	59.58	6.21

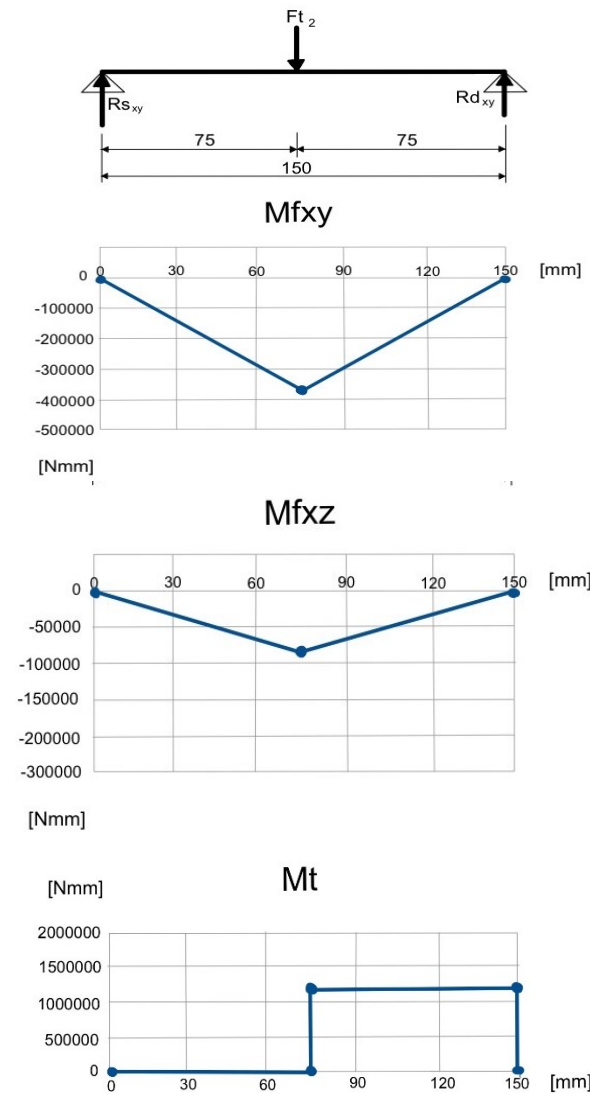
ALBERO DI INGRESSO



ALBERO INTERMEDIO



ALBERO DI USCITA



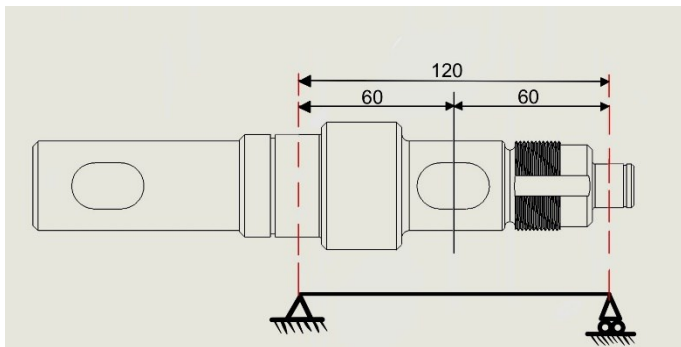
Scelta cuscinetti: $R_D, R_S, L_{10} \longrightarrow L_{10} = \frac{L_{10h} \cdot n_1 \cdot 60}{10^6} \longrightarrow C = L_{10}^{\frac{1}{p}} \cdot R_D$

Albero di ingresso:



SX	d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [KN]
6208	40	80	18	32.5

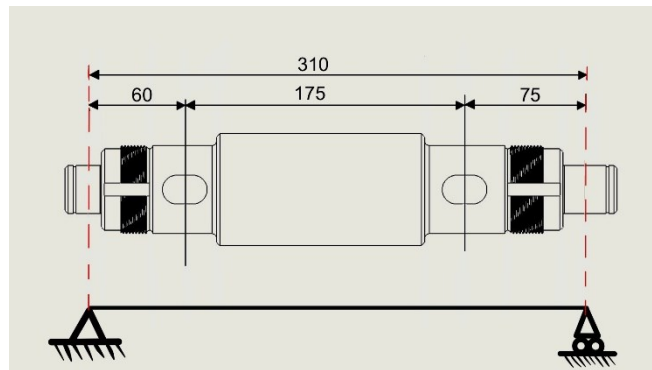
DX	D[mm]	D [mm]	B [mm]	C [KN]
NJ 203 ECP	17	40	12	20



DX	d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [KN]
NU 2306 ECPH	30	72	27	83

SX	d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [KN]
6206	30	62	16	20.3

Albero intermedio:

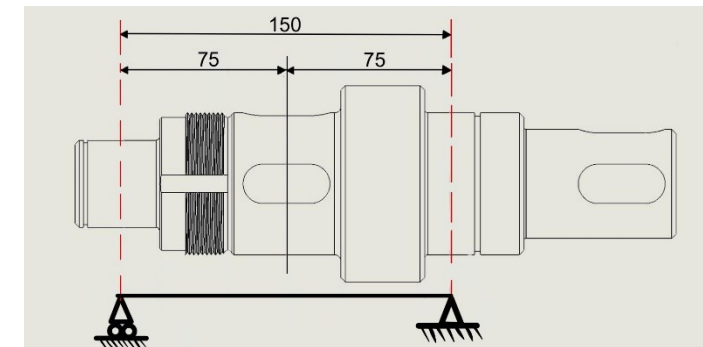


Albero di uscita:



SX	d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [KN]
NU 2308 ECP	40	90	33	129

DX	d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [KN]
6213 M	65	120	23	58,5



$$b \times h = f(d) \quad \begin{matrix} \sigma_{adm} = \frac{\sigma_S}{\nu_S} \\ \tau_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\sqrt{3}} \end{matrix} \longrightarrow l \geq \frac{2M_{t0}}{d_0 t_1 p_{adm}} \longrightarrow \tau = \frac{2M_{t0}}{d_0 b l} \leq \tau_{adm}$$

**Albero di
ingresso**

Materiale	σ_{adm} [MPa]	τ_{adm} [MPa]	b [mm]	h [mm]	p_{adm} [MPa]	l [mm]
C25	203,33	117.39	18	11	90	28

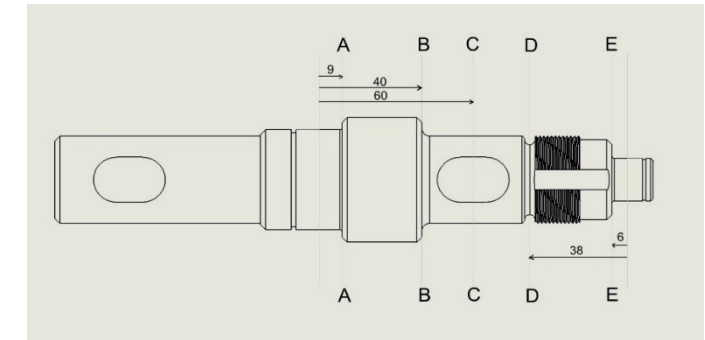
**Albero
intermedio**

Materiale	σ_{adm} [MPa]	τ_{adm} [MPa]	b [mm]	h [mm]	p_{adm} [MPa]	l [mm]
C60	353.33	204	18	11	90	28

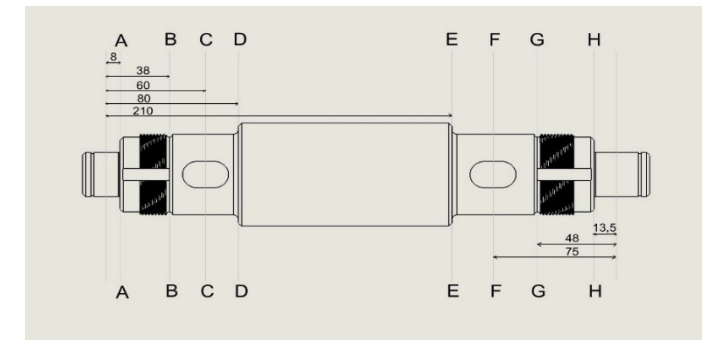
**Albero di
uscita**

Materiale	σ_{adm} [MPa]	τ_{adm} [MPa]	b [mm]	h [mm]	p_{adm} [MPa]	l [mm]
C40	246.67	142.41	18	11	100	40 x 2 linguette

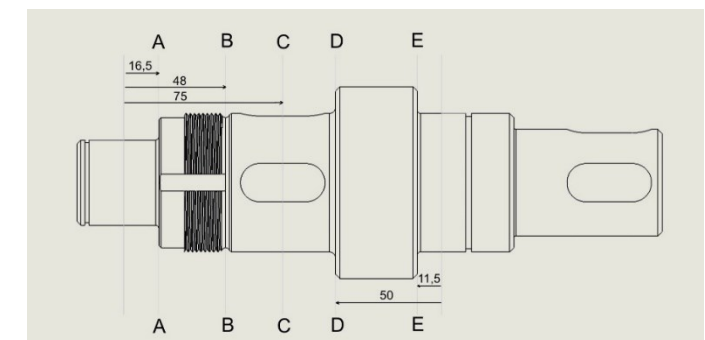
ALBERO 1	D [mm]	Dist. [mm]	M _{f_{xy}} [Nmm]	M _{f_{xz}} [Nmm]	M _{f_{tot}} [Nmm]	M _t [Nmm]	W _f [mm ³]	W _t [mm ³]	σ _f [MPa]	τ _{Mt} [MPa]	σ _{id} [MPa]	v _s [MPa]
A-A	40	9 (da Rs)	12198,33	4440,15	12981,30	128760	6283,18	12566,4	2,07	10,24	17,86	17,08
B-B	35	40 (da Rs)	54214,80	197340,0	57694,67	128760	4209,24	8418,5	13,70	15,29	29,82	10,23
C-C	35	60 (da Rs)	81322,20	296010,0	86542,00	128760	4209,24	8418,5	20,56	15,29	33,53	9,09
D-D	31	38 (da Rd)	51504,06	18747,30	54809,94	0	2924,70	0	18,74	0	σ _f	16,27
E-E	17	6 (da Rd)	8132,220	2960,10	8654,20	0	482,33	0	17,94	0	σ _f	17,00



ALBERO 2	D [mm]	Dist.[m m]	M _{f_{xy}} [Nmm]	M _{f_{xz}} [Nmm]	M _{f_{tot}} [Nmm]	M _t [Nmm]	W _f [mm ³]	W _t [mm ³]	σ _f [MPa]	τ _{Mt} [MPa]	σ _{id} [MPa]	v _s [MPa]
A-A	40	16,5 (daRs)	80270,36	29216,00	85422,00	0	6283,19	0	13,59	0	σ _f	27,23
B-B	61	48 (da Rs)	233513,76	84992,16	248500,00	0	22283,8	0	11,15	0	σ _f	32,17
C-C	65	75 (da Rs)	364865,25	132800,3	388281,00	1800000	26961,3	53922,5	14,40	33,38	59,58	6,2
D-D	65	50 (da Rd)	243243,50	88533,50	258854,00	1800000	26961,3	53922,5	9,60	33,38	58,61	6,3
E-E	65	11,5 (daRd)	55946,00	20362,70	59536,00	1800000	26961,3	53922,5	2,20	33,38	57,86	6,4



ALBERO 0	D [mm]	Dist.[m m]	M _{f_{xy}} [Nmm]	M _{f_{xz}} [Nmm]	M _{f_{tot}} [Nmm]	M _t [Nmm]	W _f [mm ³]	W _t [mm ³]	σ _f [MPa]	τ _{Mt} [MPa]	σ _{id} [MPa]	v _s [MPa]
A-A	30	8 (da Rs)	2828	13252	13551	0	2649.38	0	5.11	0	σ _f	88.06
B-B	51	38 (da Rs)	13433	62949	64366	0	13022.9	0	4.94	0	σ _f	91.05
C-C	55	60 (da Rs)	21210	99393	101631	481490	16373.0	32667	6.22	14.74	26.28	17.13
D-D	55	80 (da RS)	80333	-131577	154162	481490	16373.0	32667	9.44	14.74	27.22	16.53
E-E	55	210 (daRS)	464632	-205782	508163	481490	16373.0	32667	31.11	14.74	40.24	11.18
F-F	55	75 (da Rd)	538536	223513	583077	481490	16373.0	32667	35.70	14.74	43.89	10.25
G-G	51	48 (da Rd)	344663	143048	373169	0	13022.9	0	28.65	0	σ _f	15.70
H-H	30	3.5 (daRd)	96936	40232	104953	0	2649.38	0	39.61	0	σ _f	11.36



www.dii.unipd.it

Definizione dei limiti:

Cuscinetti a sfere:
 $\varphi = 2.91E-3$ rad

Cuscinetti a rulli:
 $\varphi = 5.821E-3$ rad

$f = 0.127$ mm
da ASME

**Albero di
ingresso**

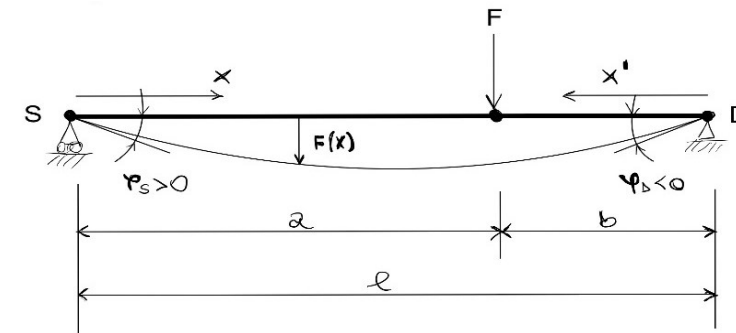
φ_S [rad]	φ_D [rad]	f_1 [mm]
0.00017	0.00017	0.00684

**Albero
intermedio**

$\varphi_{S\ xy}$ [rad]	$\varphi_{D\ xy}$ [rad]	$f_{2\ xy}$ [mm]	$f_{3\ xy}$ [mm]	$\varphi_{S\ xz}$ [rad]	$\varphi_{D\ xz}$ [rad]	$f_{2\ xz}$ [mm]	$f_{3\ xz}$ [mm]	$\varphi_{S\ tot}$ [rad]	$\varphi_{D\ tot}$ [rad]	$f_{2\ tot}$ [mm]	$f_{3\ tot}$ [mm]
-0.000368	0.000243	-0.0197	-0.027	0.000226	-0.000149	0.0120	0.0167	0.000432	0.000285	0.023	0.032

**Albero di
uscita**

φ_S [rad]	φ_D [rad]	f_4 [mm]
0.0000807	0.0000807	0.004033



$$f(n) = \frac{1 \cdot F}{6 \cdot E \cdot J_{eq}} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{l} \cdot \left(\frac{2 \cdot n}{a} + \frac{n}{b} - \frac{n^3}{a^2 \cdot b} \right) \quad \varphi_s = \frac{F \cdot b \cdot (l^2 - b^2)}{6 \cdot E \cdot J_{eq} \cdot l}$$

$$f(n') = \frac{1 \cdot F}{6 \cdot E \cdot J_{eq}} \cdot \frac{a^2 \cdot b^2}{l} \cdot \left(\frac{2 \cdot n'}{b} + \frac{n'}{a} - \frac{n'^3}{b^2 \cdot a} \right) \quad \varphi_D = -\frac{F \cdot a \cdot (l^2 - a^2)}{6 \cdot E \cdot J_{eq} \cdot l}$$

**Albero di
ingresso**

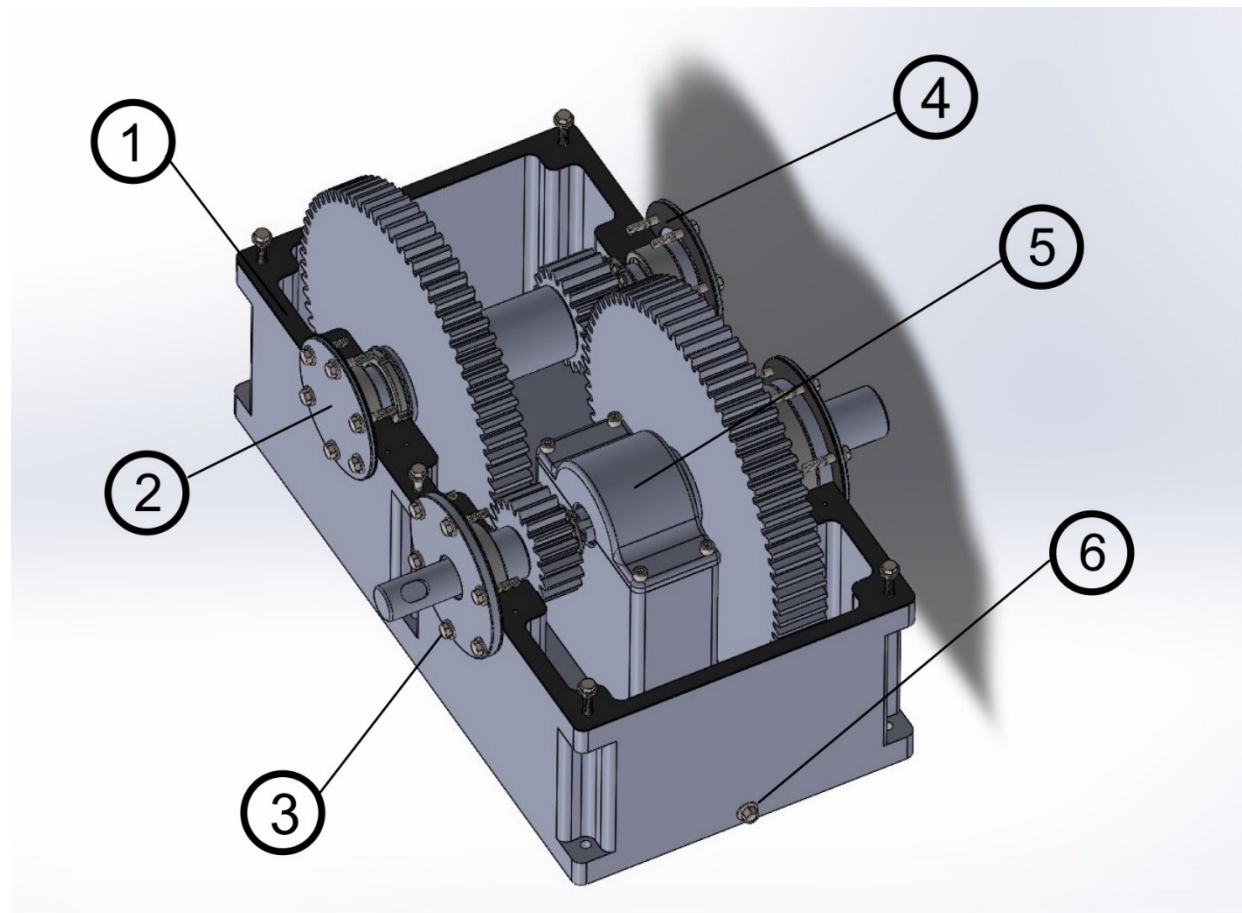
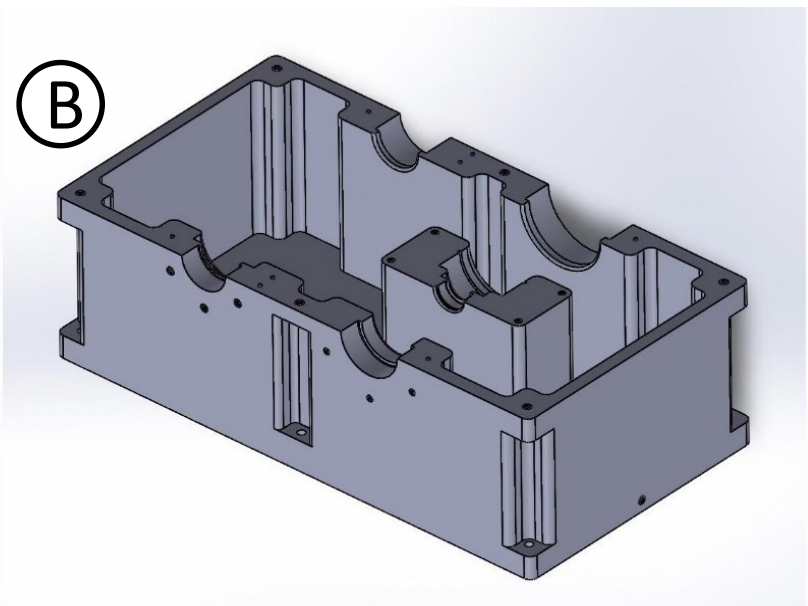
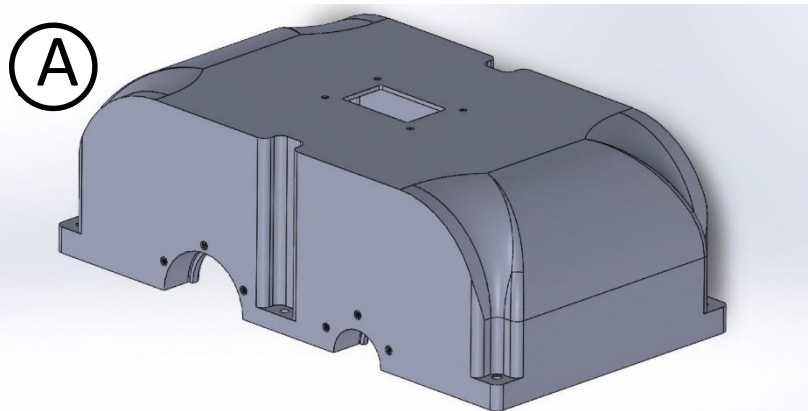
SEZ	D	d	r	D/d	r/d	K_{tn}	q	k_f	k_d	k_l	M_f	$\sigma_{f max}$	$\sigma_{a\infty,-1}^*$	ν_σ
A-A	50	40	3	1,25	0,075	1,80	0,917	1,734	1,18	1,05	12981,30	2,066	114,07	55,21
B-B	50	35	3	1,42	0,085	1,76	0,917	1,697	1,18	1,15	57694,67	17,930	106,39	5,93
C-C	35	28	/	/	/	1,70	/	1,700	1,15	1,15	86542,00	26,900	108,97	4,05
D-D	35	31	2	1,13	0,065	1,76	0,880	1,669	1,16	1,15	54809,94	25,430	110,04	4,32
E-E	28	17	1	1,65	0,059	2,08	0,786	1,849	1,08	1,05	8654,20	17,940	116,85	6,51

**Albero di
uscita**

SEZ	D	d	r	D/d	r/d	K_{tn}	q	k_f	k_d	k_l	M_f	$\sigma_{f max}$	$\sigma_{a\infty,-1}^*$	ν_σ
A-A	58	40	1	1,45	0,025	2,64	0,82	2,34	1,18	1,05	85422,00	13,59	101,75	7,49
B-B	65	61	2	1,07	0,033	2,57	0,90	2,41	1,27	1,15	248500,00	11,15	83,81	7,51
C-C	65	/	/	/	/	/	/	2,1	1,28	1,15	388281,00	14,40	95,43	6,62
D-D	80	65	3	1,23	0,046	2,1	0,93	2,023	1,28	1,15	258854,00	9,60	99,06	10,32
E-E	80	65	3	1,23	0,046	2,1	0,93	2,023	1,28	1,05	59536,00	2,20	108,50	49,31

**Albero
intermedio**

SEZ	D	d	r	D/d	r/d	K_{tn}	q	k_f	k_d	k_l	M_f	$\sigma_{f max}$	$\sigma_{a\infty,-1}^*$	ν_σ
A-A	47	30	1	1.567	0.033	2.4	0.859	2.2	1.16	1.05	13551	5.11	137.84	26.97
B-B	55	51	2	1.078	0.039	2.5	0.925	2	1.23	1.25	64366	4.94	120.33	24.36
C-C	/	/	/	/	/	2.1	/	2.1	1.25	1.25	101631	6.22	112.76	18.13
D-D	70	55	3	1.273	0.055	1.9	0.948	2	1.25	1.25	154162	9.44	118.4	12.54
E-E	70	55	3	1.273	0.055	1.9	0.948	2	1.25	1.25	508163	31.11	118.4	3.81
F-F	/	/	/	/	/	2.1	/	2.1	1.25	1.25	583077	35.70	112.76	3.16
G-G	55	51	2	1.078	0.039	2.5	0.925	2	1.23	1.25	373169	28.65	120.33	4.2
H-H	47	30	1	1.567	0.033	2.4	0.925	2.2	1.05	1.05	104953	39.61	137.84	3.48



- La progettazione di tutti gli elementi del riduttore risulta completata;
- Tutte le verifiche sono soddisfatte e garantiscono il corretto ingranamento delle ruote dente e il corretto funzionamento dei cuscinetti;
- La modellazione CAD 3D risulta finita, e tramite animazione dell'accoppiamento ad ingranaggi meccanici delle ruote dentate si può definire funzionante;
- Si ottiene una macchina dalle dimensioni contenute, di facile manutenzione e pulizia;