

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

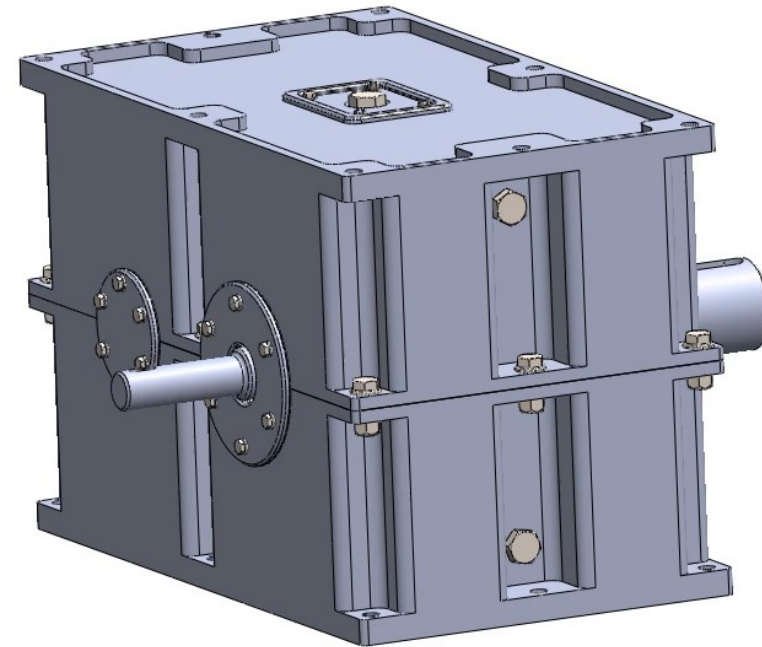
Relazione per la prova finale
PROGETTAZIONE STATICA E A FATICA E MODELLAZIONE
CAD 3D DI UN RIDUTTORE BISTADIO

Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Schiavon Leonardo*

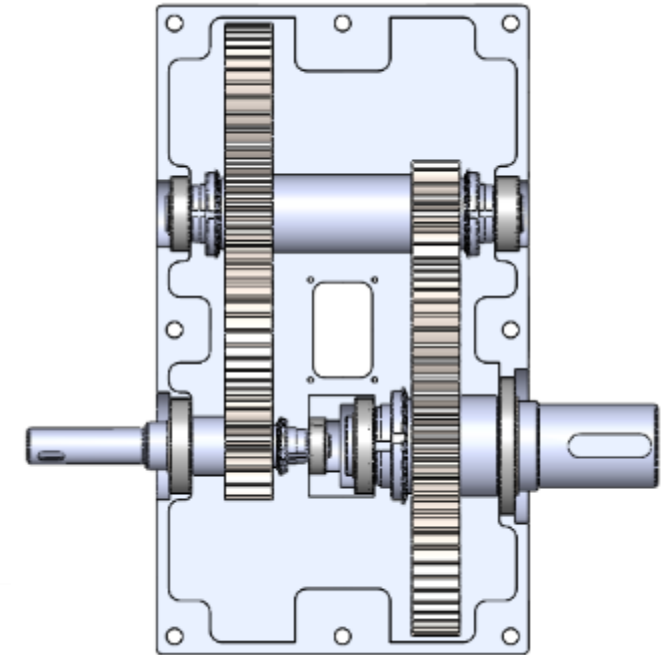
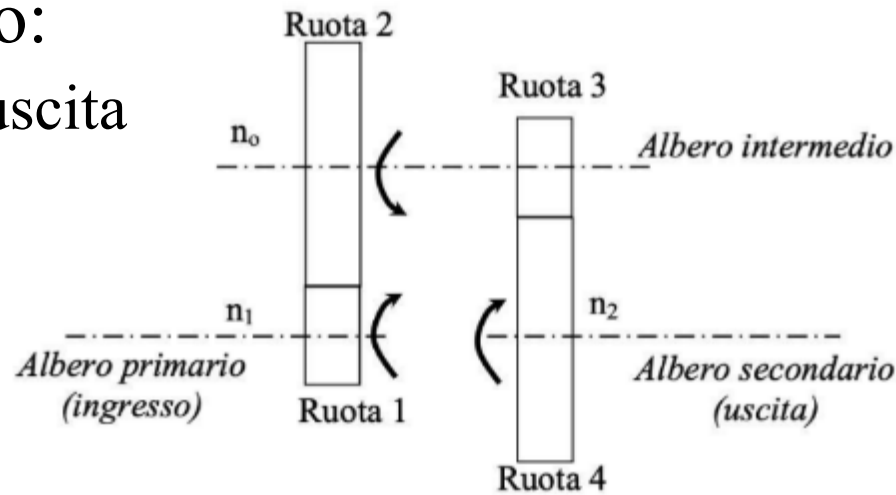
Padova, 14/07/2022

Progettazione di un
riduttore bistadio
che collega in modo
coassiale un motore
elettrico e il
tamburo di un
nastro trasportatore



• Specifiche di progetto:

- Alberi di ingresso e uscita coassiali
- $M_u = 1000 \text{ Nm}$
- $\tau = 15$
- $N_2 \text{ } 62 \text{ rpm}$



www.dii.unipd.it

ALBERO	POTENZA [W]	COPPIA [Nm]	VELOCITÀ [rpm]
Albero di ingresso	10567	108,5	97,39
Albero intermedio	10145	403,4	25,15
Albero di uscita	9740	1500	6,49

Materiale	$\sigma_{adm,s}$ [MPa]	σ_{Flim} [MPa]	σ_{Hlim} [MPa]
Acciaio 18CrNiMo7	685	461	1500

Ruota	Modulo Lewis	Modulo ISO6336 flessione	Modulo ISO6336 pitting
3	3,85 mm	3,25 mm	4,84 mm

Modulo secondo ISO6336 a flessione

$$m_{F3} \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot M_0}{\lambda_3 \cdot z_3 \cdot \sigma_{FP}} \cdot Y_{F3} \cdot Y_{S3} \cdot K_{F\beta 3}}$$

Modulo secondo ISO6336 a pitting

$$m_{H3} \geq \sqrt[3]{\left(\frac{Z_{B3} \cdot Z_{H3} \cdot Z_{E3}}{z_3 \cdot \sigma_{HP3}}\right)^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot M_0}{\lambda_3}\right) \cdot K_{H\beta 3} \cdot \frac{u+1}{u}}$$

Ruota	Denti (z)	Modulo	Diametro (Dp)	Larghezza (b)
1	16	5 mm	80 mm	40 mm
2	55	5 mm	310 mm	40 mm
3	16	5 mm	80 mm	40 mm
4	55	5 mm	310 mm	40 mm

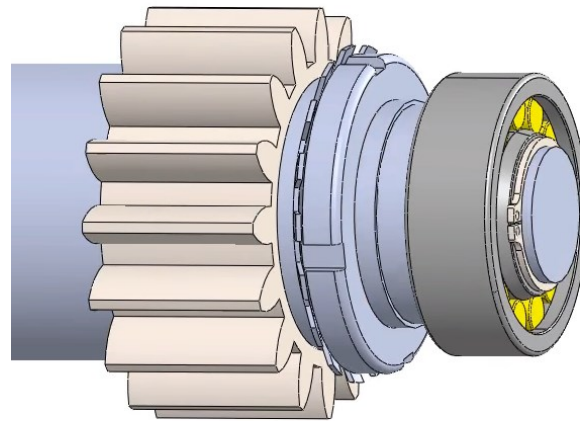
Ipotesi:

Tozzo:

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

Snello:

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



Dimensionamento:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_S}{v_s} \quad \tau_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\sqrt{3}}$$



$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \tau_{adm}}} \quad d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot \sigma_{adm}}}$$

$$d \quad \longrightarrow$$

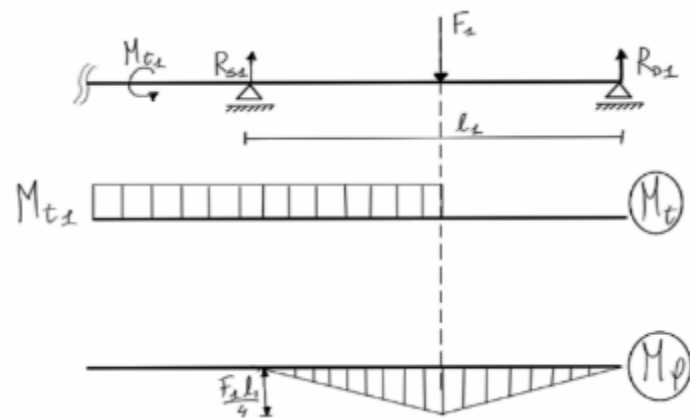
$$\sigma_f = \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d_1^3}$$

$$\tau_{Mt} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d_1^3}$$

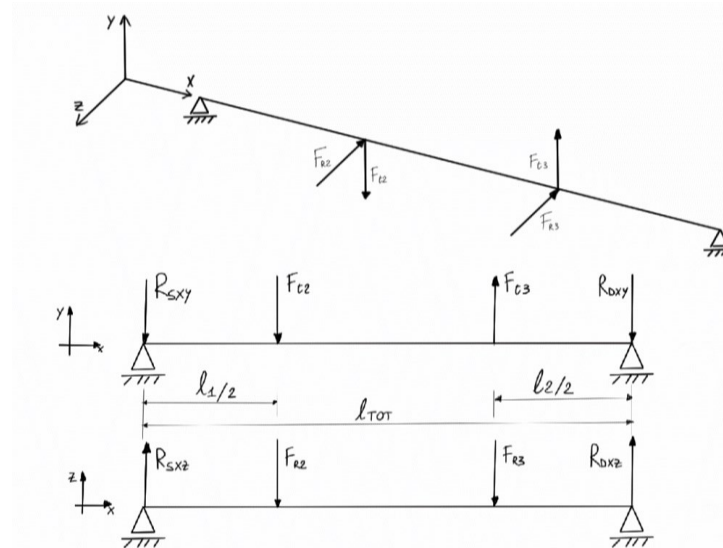


$$\sigma_{id,VM} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_{Mt}^2}$$

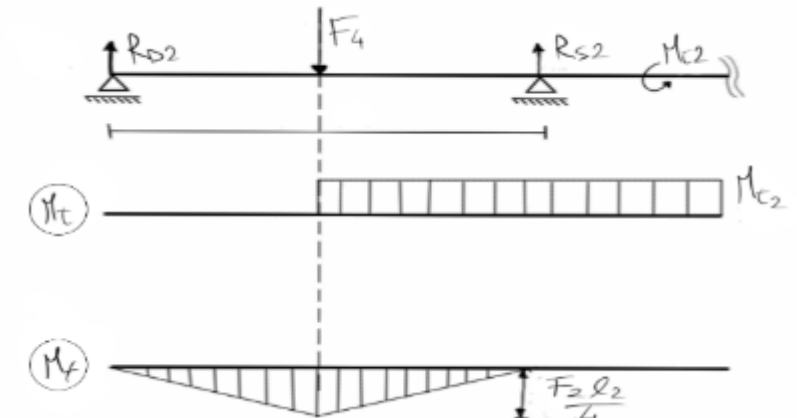
Albero di ingresso



Albero intermedio



Albero di uscita



ALBERO	materiale	lunghezza	diametro	l/d	u_s ipotizzato	$\sigma_{id,VM}$	u_s calcolato
Ingresso	C25 bonificato	115 mm	30 mm	3,83	6	47,30 MPa	6,45
Intermedio	C60 bonificato	275 mm	50 mm	5,5	9	48,20 MPa	9,33
Uscita	C35 normalizzato	120 mm	70 mm	1,71	6	39,65 MPa	6,93

Scelta cuscinetti:

$$R_D ; R_S ; L_{10h} \longrightarrow L_{10} = \frac{L_{10h} \cdot n_0 \cdot 60}{10^6} \longrightarrow C = L_{10}^{\frac{1}{p}} \cdot R$$

Albero di
ingresso

SX	d[mm]	D[mm]	B[mm]	C[kN]
W6208	40	80	18	25,1

DX	d[mm]	D[mm]	B[mm]	C[kN]
N204ECP	20	47	14	28,5

Albero
intermedio

SX	d[mm]	D[mm]	B[mm]	C[kN]
NU 1010	50	80	16	36,5

DX	d[mm]	D[mm]	B[mm]	C[kN]
16015	75	115	13	30,2

Albero di
uscita

SX	d[mm]	D[mm]	B[mm]	C[kN]
206	30	62	16	20,9

DX	d[mm]	D[mm]	B[mm]	C[kN]
NJ2206 E	30	62	20	55

Scelta linguette:

$$\sigma_{adm}, \tau_{adm}, b \times h \longrightarrow l \geq \frac{2 \cdot M_{t1}}{d_1 \cdot t_1 \cdot p_{adm}} \longrightarrow \tau = \frac{2 \cdot M_{t1}}{d_1 \cdot b \cdot l} \leq \tau_{adm}$$

Albero di
ingresso

Materiale	σ_{adm}	τ_{adm}	b	h	p_{adm}	l
C25	203 MPa	117 MPa	8 mm	7 mm	90 MPa	22 mm

Albero
intermedio

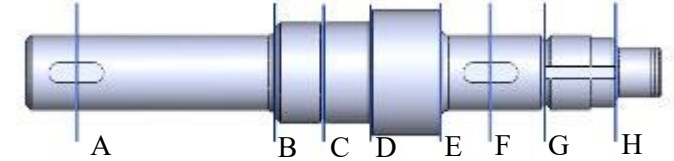
Materiale	σ_{adm}	τ_{adm}	b	h	p_{adm}	l
C25	203 MPa	117 MPa	14 mm	9 mm	90 MPa	36 mm

Albero di
uscita

Materiale	σ_{adm}	τ_{adm}	b	h	p_{adm}	l
C35	183 MPa	105 MPa	20 mm	12 mm	90 MPa	64 mm

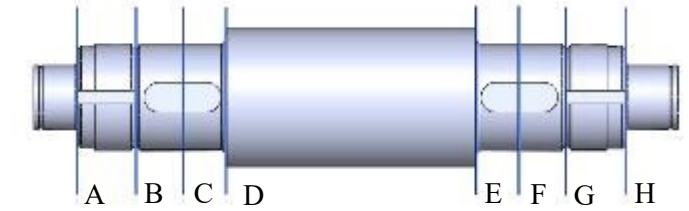
Albero
di
ingresso

Sezione	D [mm]	distanza [mm]	Mftot [Nmm]	Mt1 [Nmm]	wf [mm ³]	σf [MPa]	wt [mm ³]	τMt [MPa]	σid [MPa]	vs /
A-A	30	/	/	108507	/	/	5301	20,47	35,5	8,6
B-B	30	/	/	108507	/	/	5301	20,47	35,5	8,6
C-C	37,5	/	/	108507	/	/	10354	10,48	18,2	16,8
D-D	40	9	12990	108507	6283	2,07	12566	8,63	15,1	20,2
E-E	30	37,5	54127	108507	2651	20,42	5301	20,47	40,9	7,5
F-F	30	57,5	82995	108507	2651	31,31	5301	20,47	47,3	6,4
G-G	26	79,5	51240	0	1726	29,70	3451	0,00	29,7	10,3
H-H	20	108	10104	0	785	12,86	1571	0,00	12,9	23,7



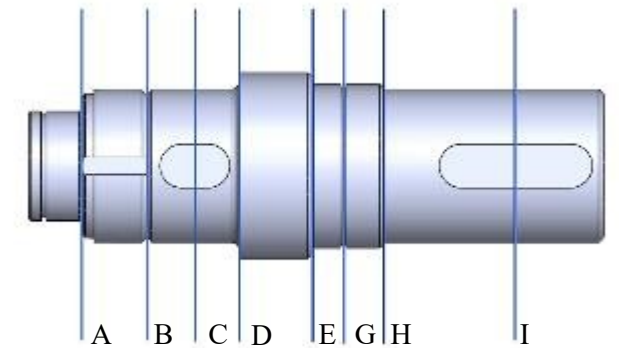
Albero
intermedio

Sezione	D [mm]	distanza [mm]	Mfxy [Nmm]	Mfyz [Nmm]	Mftot [Nmm]	Mt0 [Nmm]	wf [mm ³]	σf [MPa]	wt [mm ³]	τMt [MPa]	σid [MPa]	vs /
A-A	30	8	1136	12402	12454	0	2651	4,70	/	/	/	95,8
B-B	46	35,5	5040	55032	55262	0	9556	5,78	/	/	/	77,8
C-C	50	57,5	8163	89137	89510	403436	12272	7,29	24544	16,44	29,39	15,3
D-D	50	77,5	63059	120141	135684	403436	12272	11,06	24544	16,44	30,54	14,7
E-E	50	195	385571	245449	457067	403436	12272	37,25	24544	16,44	46,88	9,6
F-F	50	215	440467	184087	477387	403436	12272	38,90	24544	16,44	48,21	9,3
G-G	46	237	278962	116588	302345	0	9556	31,64	/	/	/	14,2
H-H	30	265	73411	30681	79565	0	2651	30,02	/	/	/	15,0



Albero di
uscita

Sezione	D [mm]	distanza [mm]	Mftot [Nmm]	Mt2 [Nmm]	wf [mm ³]	σf [MPa]	wt /	τMt [MPa]	σid [MPa]	vs /
A-A	50	8	41194	0	12272	3,36	24544	/	3,36	81,9
B-B	66	38	195671	0	28225	6,93	56450	/	6,93	39,7
C-C	70	60	308955	1500000	33674	9,17	67348	22,27	39,65	6,9
D-D	70	80	205970	1500000	33674	6,12	67348	22,27	39,06	7,0
E-E	75	113,5	33470	1500000	41417	0,81	82835	18,11	31,37	8,8
G-G	72	/	/	1500000	/	/	73287	20,47	35,45	7,8
H-H	70	/	/	1500000	/	/	67348	22,27	38,58	7,1
I-I	70	/	/	1500000	/	/	67348	22,27	38,58	7,1



Definizione dei
limiti:

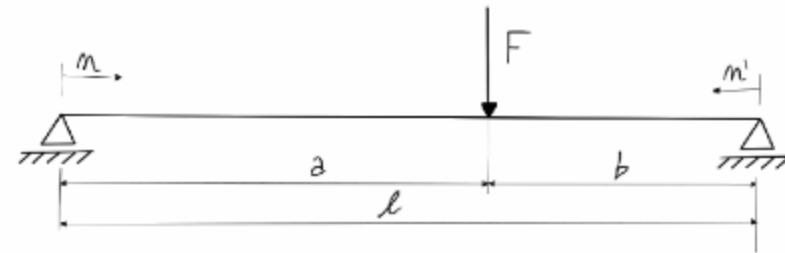
cuscinetti a sfera:
 $\varphi \approx 2,91 \cdot 10^{-3} \text{rad}$

cuscinetti a rulli:
 $\varphi \approx 5,82 \cdot 10^{-4} \text{rad}$

frecce:
 $f = 0,127 \text{ mm da ASME}$

Albero di
ingresso

$\phi's$	f	f	$\phi'd$
[rad]	[mm]	[mm]	[rad]
0,000291	0,011167	0,011167	0,000291



Albero
intermedio

$\phi_s xy$	f2 xy	f3 xy	$\phi d xy$
[rad]	[mm]	[mm]	[rad]
0,00052	-0,02113	-0,04598	-0,00062

$\phi_s xz$	f2 xz	f3 xz	$\phi d xz$
[rad]	[mm]	[mm]	[rad]
0,000208	0,011188	0,01387	-0,00026

$\phi_s \text{ tot}$	f2 tot	f3 tot	$\phi d \text{ tot}$
[rad]	[mm]	[mm]	[rad]
0,00034	0,019	0,030	0,00057

Albero di
uscita

$\phi's$	f	f	$\phi'd$
[rad]	[mm]	[mm]	[rad]
3,82E-05	0,001527	0,001527	3,82E-05

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

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

Albero di ingresso

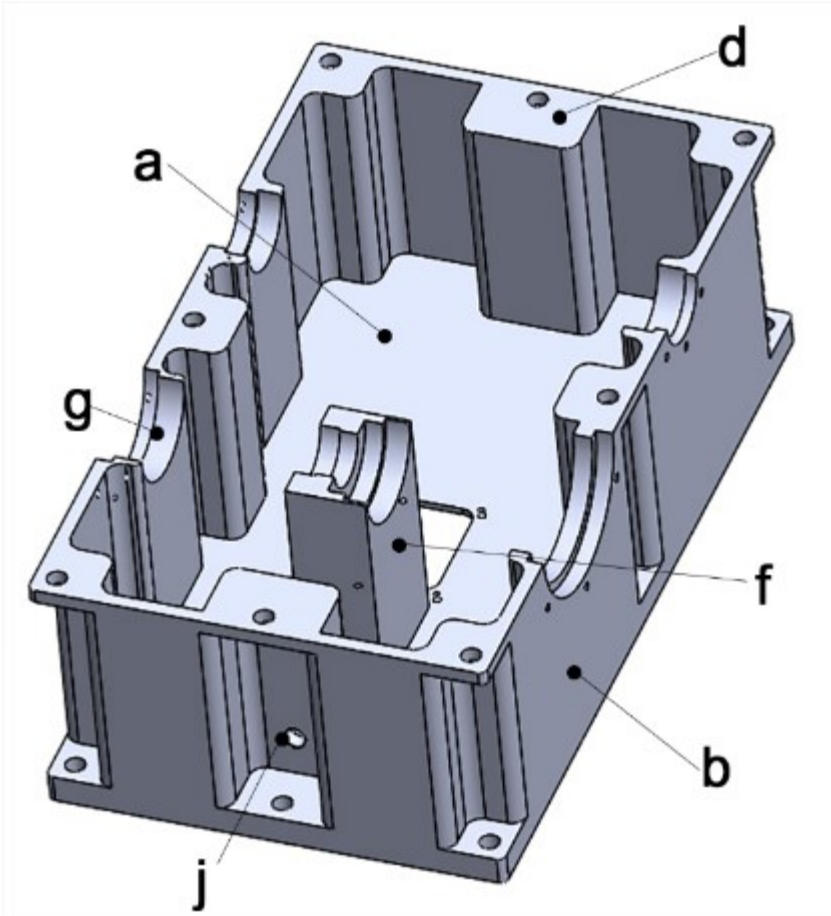
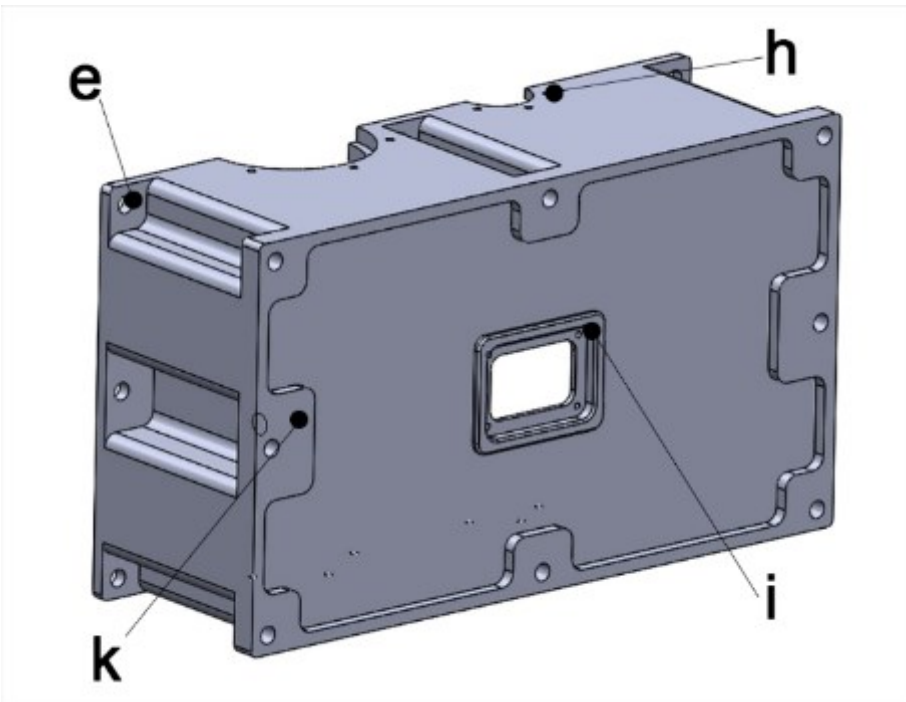
SEZIONE	D	d	r	D/d	r/d	K _{tn}	q	K _f	K _d	K _l	M _f	W _f	σ _{fmax} =σ _a	σ _{a*} ,∞, -1	νσ
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[Nmm]	[mm ³]	[MPa]	[MPa]	[]
D-D	48	40	1	1,200	0,025	2,48	0,835	2,24	1,2	1,05	12990	6283	2,07	86,95	42,06
E-E	50	30	3	1,667	0,100	2	0,938	2,00	1,19	1,15	54127	2651	20,42	89,51	4,38
F-F	/	/	/	/	/	2/		2,00	1,19	1,15	82995	2651	31,31	89,51	2,86
G-G	30	26	2	1,154	0,077	1,76	0,910	1,76	1,17	1,15	51240	1726	29,70	103,46	3,48
H-H	24	20	1	1,200	0,050	3,1	0,835	2,75	1	1,05	10104	785	12,86	84,72	6,59

Albero intermedio

SEZIONE	D	d	r	D/d	r/d	K _{tn}	q	K _f	K _d	K _l	M _f	W _f	σ _{fmax} =σ _a	σ _{a*} ,∞, -1	νσ
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[Nmm]	[mm ³]	[MPa]	[MPa]	[]
A-A	44	30	1	1,467	0,033	2,4	0,8688097	2,22	1,17	1,05	12454	2651	4,70	135,89	28,92
B-B	50	46	2	1,087	0,043	2,36	0,9298001	2,36	1,22	1,2	55262	9556	5,78	107,09	18,52
C-C	/	/	/	/	/	2,1/		2,10	1,24	1,2	89510	12272	7,29	118,41	16,23
D-D	65	50	2	1,300	0,040	2,2	0,9298001	2,20	1,24	1,2	135684	12272	11,06	113,03	10,22
E-E	65	50	2	1,300	0,040	2,2	0,9298001	2,20	1,24	1,2	457067	12272	37,25	113,03	3,03
F-F	/	/	/	/	/	2,1/		2,10	1,24	1,2	477387	12272	38,90	118,41	3,04
G-G	50	46	2	1,087	0,043	2,38	0,9298001	2,38	1,22	1,2	302345	9556	31,64	106,19	3,36
H-H	44	30	1	1,467	0,033	2,4	0,8688097	2,22	1,18	1,05	79565	2651	30,02	134,74	4,49

Albero di uscita

SEZIONE	D	d	r	D/d	r/d	K _{tn}	q	K _f	K _d	K _l	M _f	W _f	σ _{fmax} =σ _a	σ _{a*} ,∞, -1	νσ
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[Nmm]	[mm ³]	[MPa]	[MPa]	[]
A-A	62	50	0,6	1,240	0,012	2,9	0,753	2,43	1,24	1,05	41194	12272	3,36	77,44	23,07
B-B	70	66	2	1,061	0,030	2,54	0,910	2,54	1,28	1,15	195671	28225	6,93	65,53	9,45
C-C	/	/	/	/	/	1,96/		1,96	1,29	1,15	308955	33674	9,17	84,26	9,18
D-D	85	70	3	1,214	0,043	2,18	0,938	2,18	1,29	1,15	205970	33674	6,12	75,76	12,39
E-E	81	75	0,6	1,080	0,008	3	0,753	2,51	1,3	1,05	33470	41417	0,81	71,64	88,66



Particolari difficoltà sono sorte nelle verifiche a deformabilità dell'albero intermedio, si è reso necessario scegliere di privilegiare le ridotte dimensioni mantenendo un materiale meno prestazionale.

