

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale***  
***PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE GEOMETRICA DI UN***  
***RIDUTTORE BISTADIO***

Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Simone Bolner*

Padova, 16/09/2022

## 1. Dati di progetto

$M_{2n}$ [Nm]	$n_2$ [giri/min]	$\tau_{tot}$ [ ]
610	76	12

- Scelta:  $\tau_{12} = \tau_{34} \rightarrow$  dimensioni ottimizzate

## 2. Potenze, momenti torcenti e velocità angolare

Albero	$M_t$ [Nm]	$\omega$ [rad/s]	P [W]
Uscita	915	8,0	7283
Intermedio	270	27,5	7432
Ingresso	80	95,3	7584

### Obiettivi:

- Riduzione degli ingombri
- Contenimento dei costi

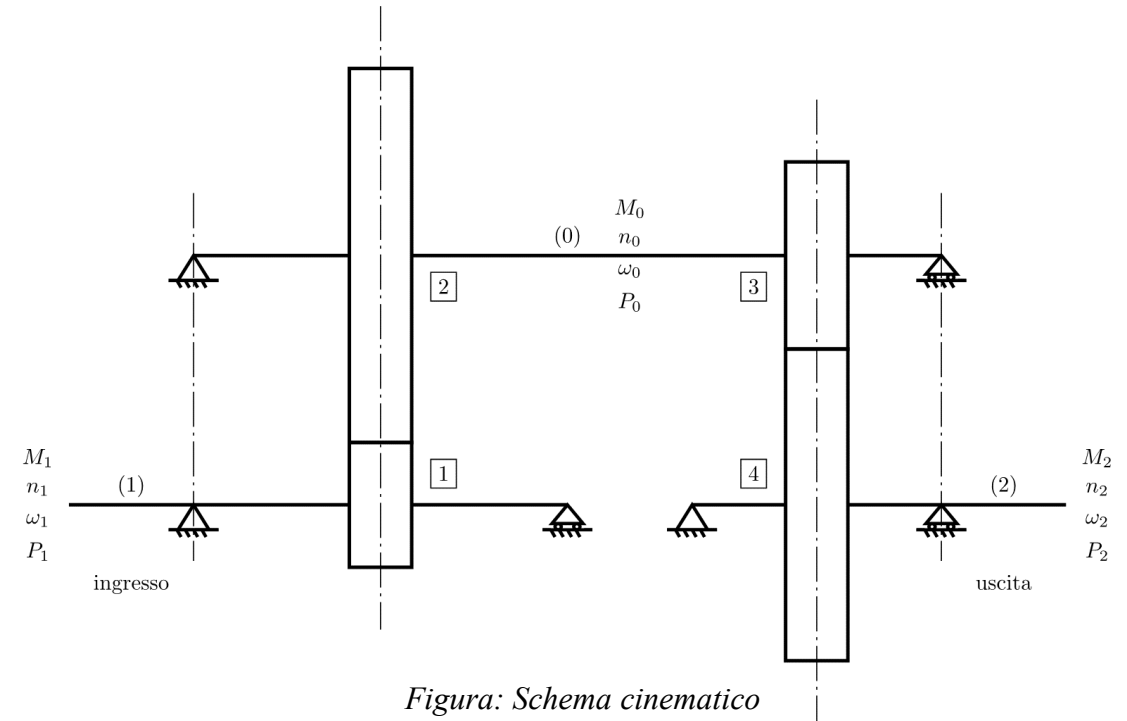


Figura: Schema cinematico

- $m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m$
- Scelta numero di denti minore possibile (19) → riduzione ingombri
- Materiale: acciaio da cementazione 16CrNi4 → buon rapporto costo/performance

Dimensionamento secondo normativa per resistenza a fatica:

1. Per flessione alla base del dente

$$\sigma_{F,3} \leq \sigma_{FP,3}$$

$$\Rightarrow m_{min} = 2,43 \text{ mm}$$

Per:

- vita a fatica di  $3 \cdot 10^6$  cicli
- Probabilità di sopravvivenza 99%



2. Per contatto (pitting)

$$\sigma_{H,3} \leq \sigma_{HP,3}$$

$$\Rightarrow m_{min} = 3,36 \text{ mm}$$



Modulo unificato scelto:

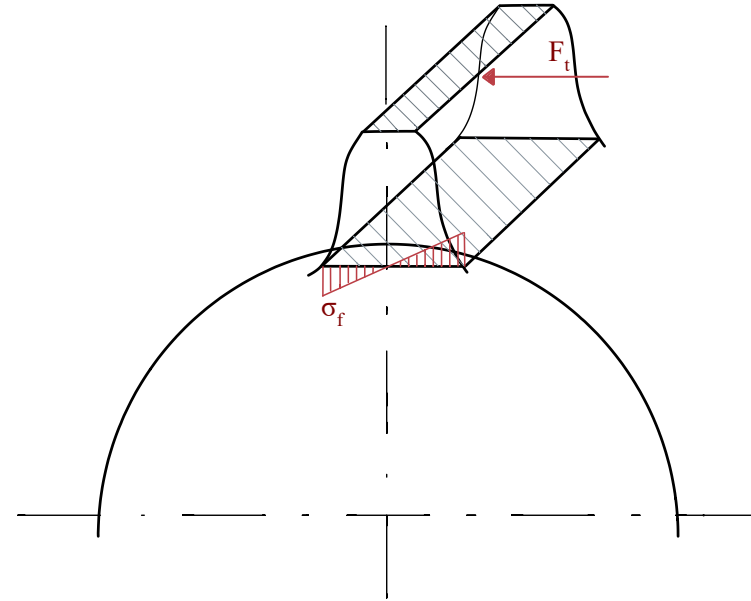
$$m_{uni} = 4 \text{ mm}$$

Confronto con il criterio di Lewis:

$$\sigma_{f,max} \leq \sigma_{amm,d}$$

$$\Rightarrow m_{f,min} = 3,64 \text{ mm}$$

(modulo minimo per la  
resistenza *a flessione*)



Parametri geometrici ottenuti sia secondo ISO 6336 che secondo il criterio di Lewis:

Ruota	$z$	$m$ [mm]	$D_p$ [mm]	$\lambda$	$b$ [mm]
1	19	4	76	8	32
2	66	4	264	8	32
3	19	4	76	10	40
4	66	4	264	10	40

- Materiale scelto: acciaio da bonifica 42CrMo4
- $l = (3 \div 4) \cdot b$
- Predimensionamento statico a *flessione* e *torsione*

## Flessione

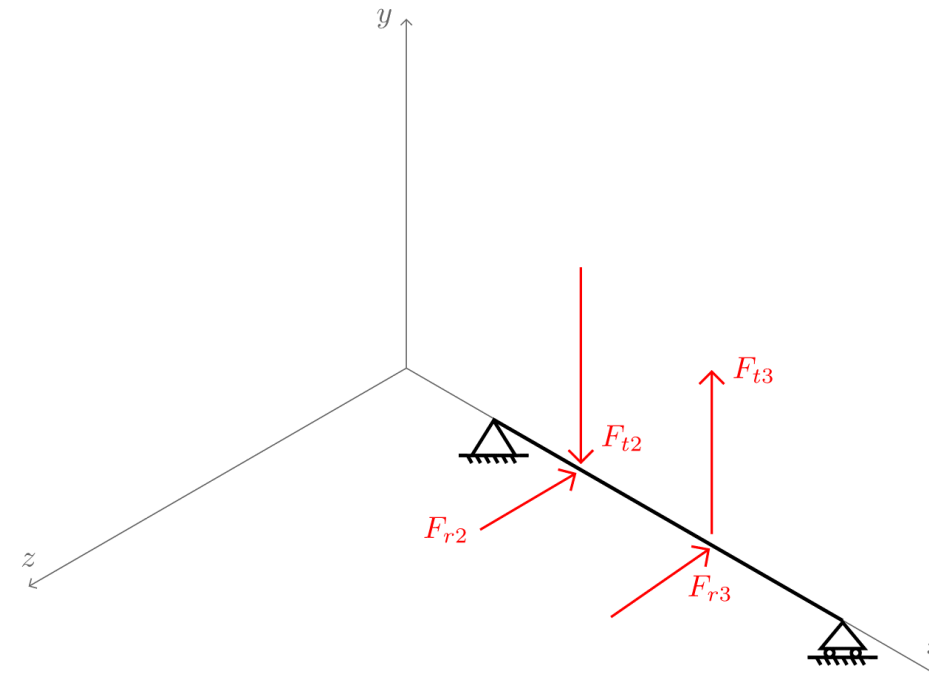
$$\sigma_f \leq \sigma_{amm}$$

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

## Torsione

$$\tau_{Mt} \leq \tau_{amm}$$

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



Albero	$\sigma_R$ [MPa]	$\sigma_S$ [MPa]	d [mm]	$\sigma_f$ [MPa]	$\tau_{Mt}$ [MPa]	$\sigma_{VM}$ [MPa]	$\nu_{st}$ [ ]	Tipo
Ingresso	930	735	25	34,9	25,9	56,9	12,9	snello
Intermedio	930	735	40	52,3	21,5	64,2	11,4	snello
Uscita	830	635	45	24,7	51,1	92,0	6,9	tozzo

• **Cuscinetti**

Scelti da catalogo SKF:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Durata dei cuscinetti:  $L_{10h} = 40\ 000\ h$

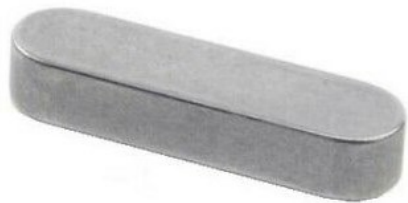


Bloccaggio cuscinetti → anelli elastici



• **Bloccaggio ruote dentate**

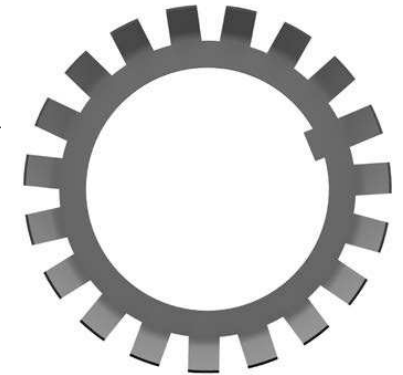
1. Linguetta tipo A (arrotondata)



2. Ghiera

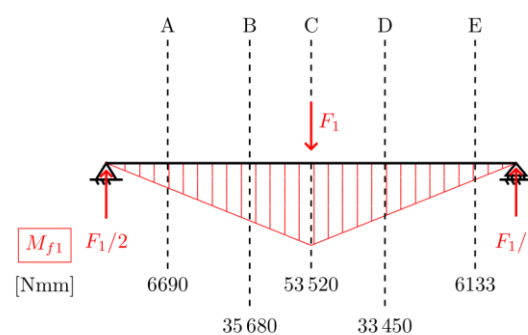
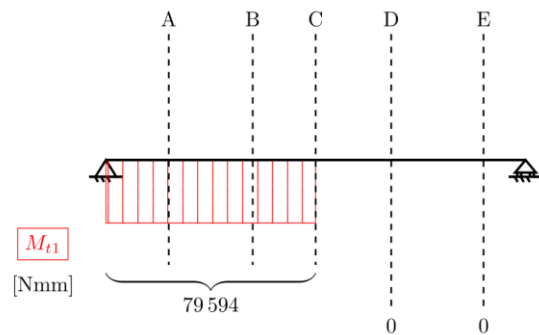
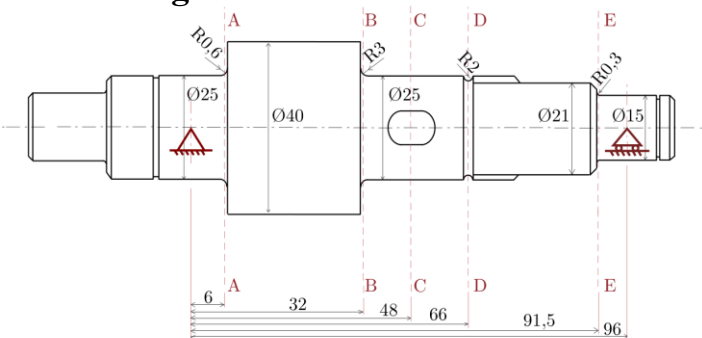


3. Rosetta di sicurezza

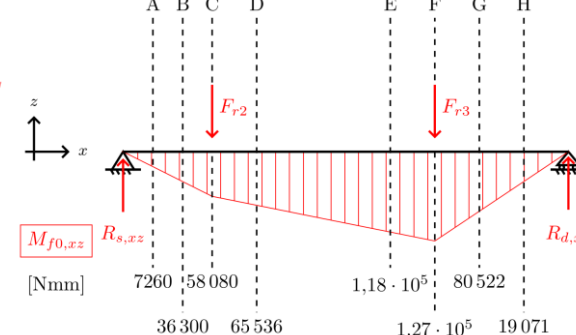
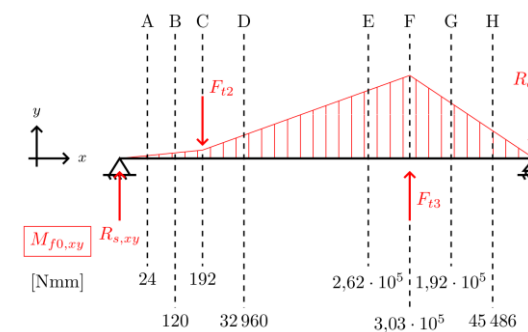
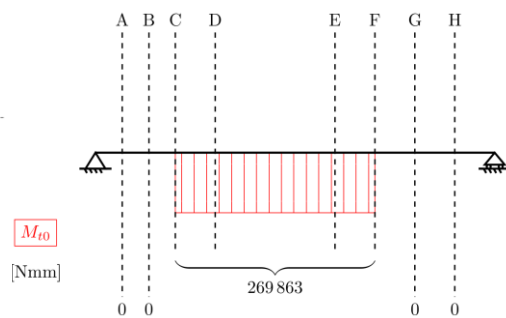
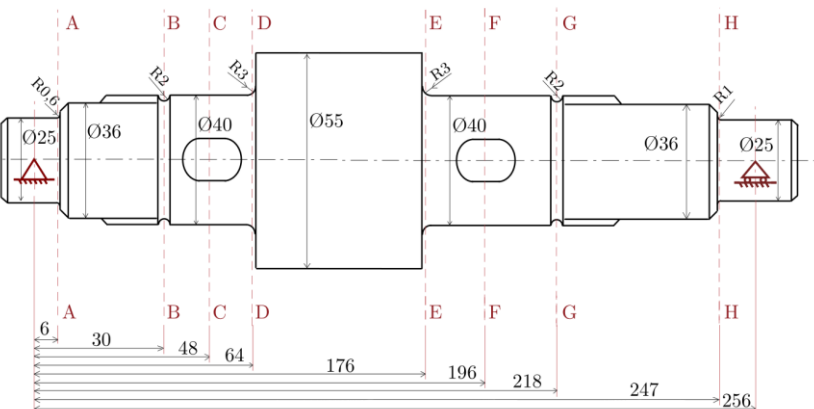


Albero	Cuscinetto sx (sfere)	Cuscinetto dx (rulli)	Linguetta	Ghiera	Rosetta
Ingresso	6005	NU 202 ECP	8 x 7 x 18	KM 5	MB 5
Intermedio	6005	NU 2205 ECP	12 x 8 x 25	KM 8	MB 8
Uscita	6406	NU 1009 ECP	14 x 9 x 25	KM 9	MB 9

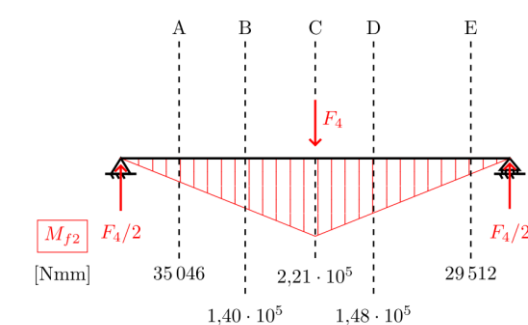
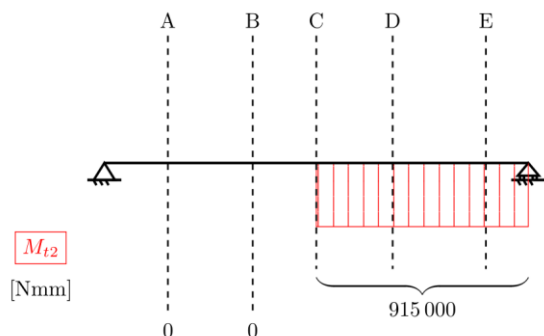
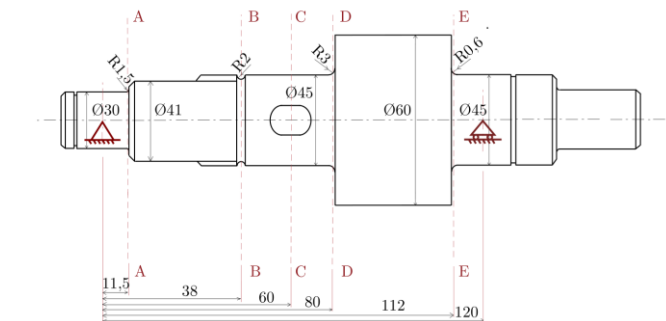
## Albero ingresso



## Albero intermedio



## Albero uscita



## Albero ingresso

Sezione	d [mm]	$M_f$ [Nmm]	$M_t$ [Nmm]	$\sigma_f$ [MPa]	$\tau_{Mt}$ [MPa]	$\sigma_{VM}$ [MPa]	$\nu_{st}$ [ ]
A	25	66 90	79 594	4,4	25,9	45,1	16
B	25	35 680	79 594	23,3	25,9	50,6	15
C	25	53 520	79 594	34,9	25,9	56,8	13
D	21	33 450	0	36,8	0,0	36,8	20
E	15	6 133	0	18,5	0,0	18,5	40

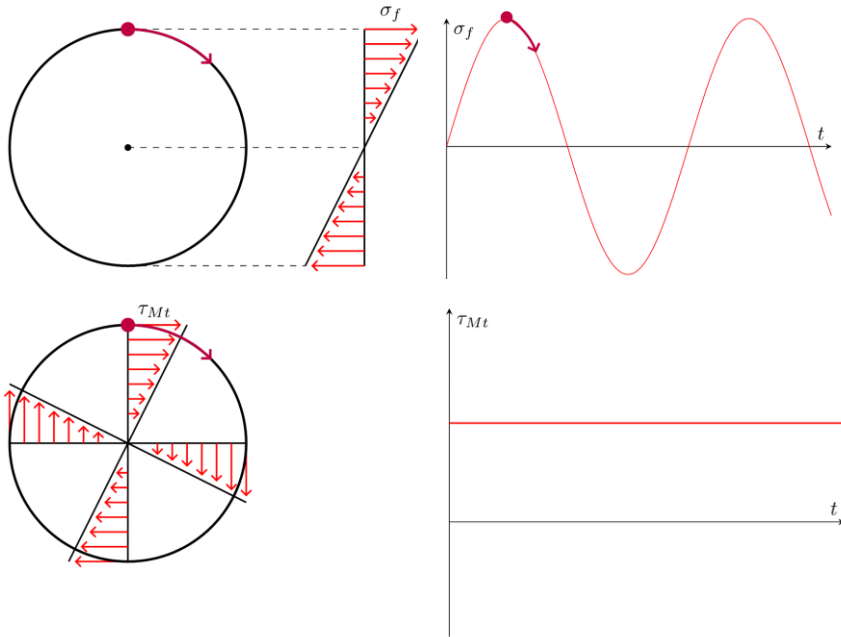
## Albero intermedio

Sezione	d [mm]	$M_{f,tot}$ [Nmm]	$M_t$ [Nmm]	$\sigma_f$ [MPa]	$\tau_{Mt}$ [MPa]	$\sigma_{VM}$ [MPa]	$\nu_{st}$ [ ]
A	25	7 260	0	4,7	0,0	4,7	156
B	36	36 300	0	7,9	0,0	7,9	93
C	40	58 080	269 863	9,2	21,5	38,4	19
D	40	73 358	269 863	11,7	21,5	39,0	19
E	40	287 541	269 863	45,8	21,5	59,0	12
F	40	328 815	269 863	52,3	21,5	64,2	11
G	36	208 249	0	45,5	0,0	45,5	16
H	25	49 322	0	32,2	0,0	32,2	23

## Albero uscita

Sezione	d [mm]	$M_f$ [Nmm]	$M_t$ [Nmm]	$\sigma_f$ [MPa]	$\tau_{Mt}$ [MPa]	$\sigma_{VM}$ [MPa]	$\nu_{st}$ [ ]
A	30	42 424	0	16,0	0,0	16,0	46
B	41	140 182	0	20,7	0,0	20,7	36
C	45	221 340	915 000	24,7	51,1	91,9	8
D	45	147 560	915 000	16,5	51,1	90,0	8
E	45	29 512	915 000	3,3	51,1	88,6	8

Il momento torcente è costante  
→ non ha influenza sulla resistenza a fatica



$$\sigma_{a,\infty,-1}^* = \frac{\sigma_R/2}{k_d \cdot k_l \cdot k_f}$$

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

## Albero ingresso

Sezione	$k_d$	$k_l$	$k_{tn}$	$k_f$	$\sigma_{a,\infty,-1}^*$ [Mpa]	$v_\sigma$
A	1,13	1,08	2,80	2,55	149,4	34,0
B	1,13	1,08	1,74	1,74	219,0	9,4
C	1,13	1,32	-	2,21	141,1	4,0
D	1,11	1,32	2,02	2,02	157,1	4,3
E	1,06	1,08	2,82	2,37	171,4	9,3

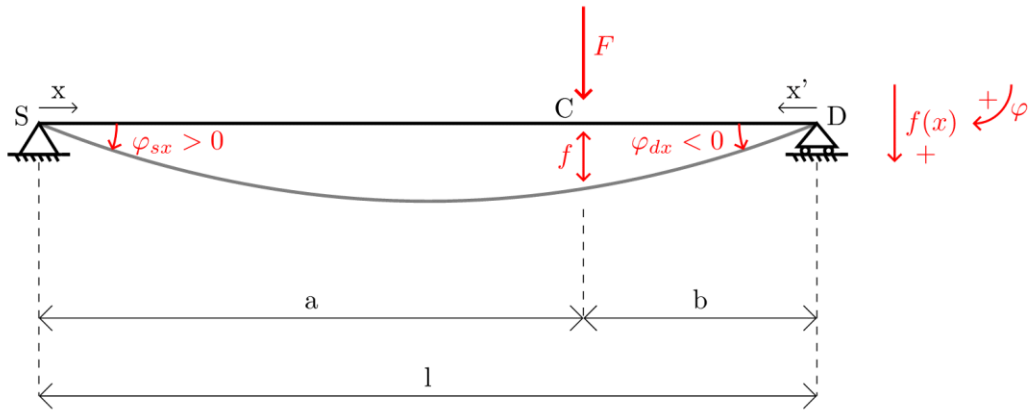
## Albero intermedio

Sezione	$k_d$	$k_l$	$k_{tn}$	$k_f$	$\sigma_{a,\infty,-1}^*$ [Mpa]	$v_\sigma$
A	1,13	1,05	2,64	2,40	163,3	34,7
B	1,18	1,20	2,16	2,16	152,0	19,2
C	1,20	1,20	-	2,15	150,2	16,3
D	1,20	1,05	1,95	1,95	189,3	16,2
E	1,20	1,05	1,95	1,95	189,3	4,1
F	1,20	1,20	-	2,15	150,2	2,9
G	1,18	1,20	2,16	2,16	152,0	3,3
H	1,13	1,05	2,64	2,33	168,2	5,2

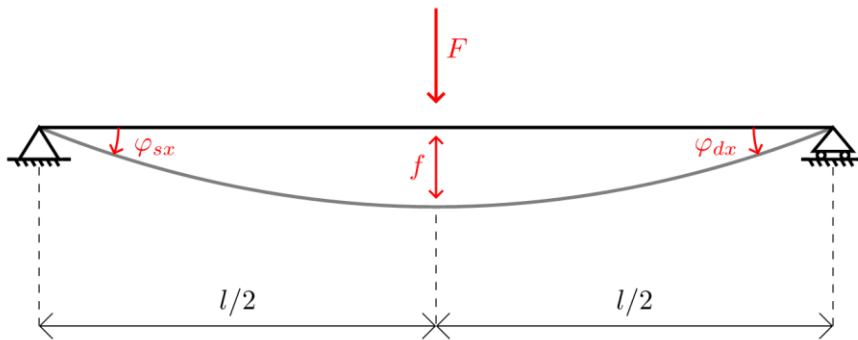
## Albero uscita

Sezione	$k_d$	$k_l$	$k_{tn}$	$k_f$	$\sigma_{a,\infty,-1}^*$ [Mpa]	$v_\sigma$
A	1,16	1,08	2,06	1,97	188,4	11,8
B	1,20	1,32	2,36	2,36	124,4	6,0
C	1,22	1,32	-	2,21	130,7	5,3
D	1,22	1,08	1,90	1,90	185,7	11,3
E	1,22	1,08	3,27	2,84	124,3	37,7

## Integrazione della linea elastica



Albero intermedio → sovrapposizione degli effetti



## Valori limite

$f_{lim}$ [mm]	$\varphi_{lim,sfere}$ [°]	$\varphi_{lim,rulli}$ [°]
0,127	0,00174	0,00116

## Albero intermedio

$f_2$ [mm]	$f_3$ [mm]	$\varphi_{sx}$ [rad]	$\varphi_{dx}$ [rad]
0,041	0,045	0,00083	0,0005

## Alberi ingresso e uscita

$f_1$ [mm]	$\varphi_{sx}$ [rad]	$\varphi_{dx}$ [rad]
0,0104	0,00033	0,00033

$f_4$ [mm]	$\varphi_{sx}$ [rad]	$\varphi_{dx}$ [rad]
0,006	0,00016	0,00016

