

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

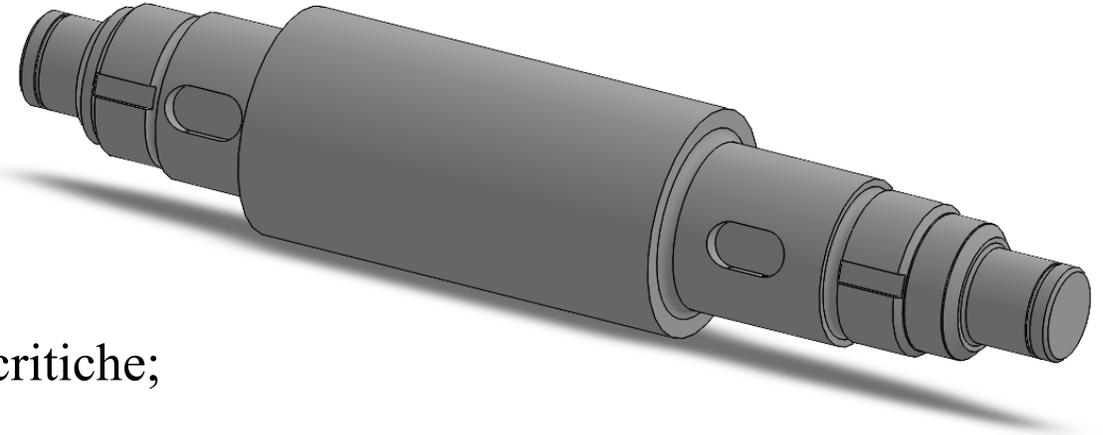
***Relazione per la prova finale***  
***Analisi FEM per la durabilità strutturale di un  
riduttore bistadio mediante SolidWorks Simulation***

Tutor Universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: Francesco Luise

Padova, 18/11/2022

- **Oggetto**

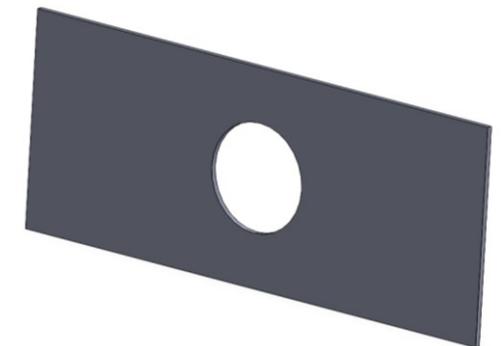
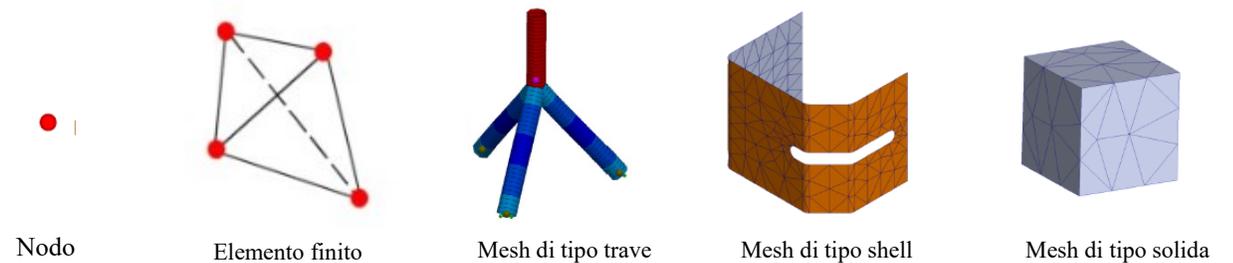


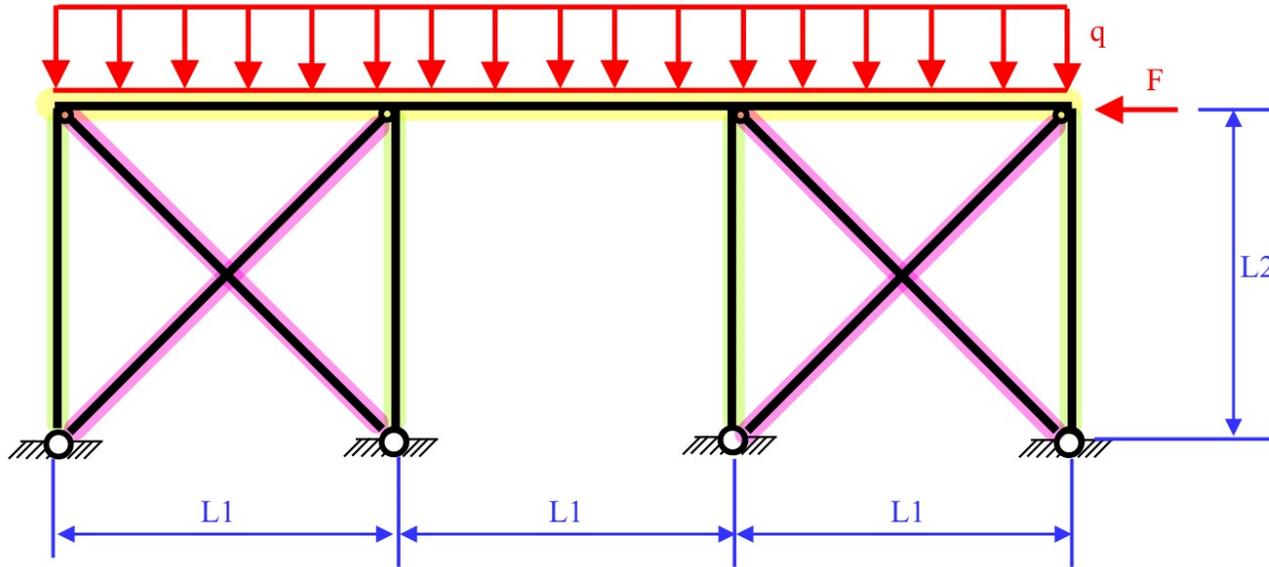
- **Obiettivi**

- 1) Verifica a fatica flessionale di alcune sezioni critiche;
- 2) Verifica a deformabilità flessionale;

- **Svolgimento dell'attività**

- 1) Introduzione all'analisi FEM
- 2) Addestramento all'uso di SolidWorks Simulation
- 3) Studio dell'albero intermedio





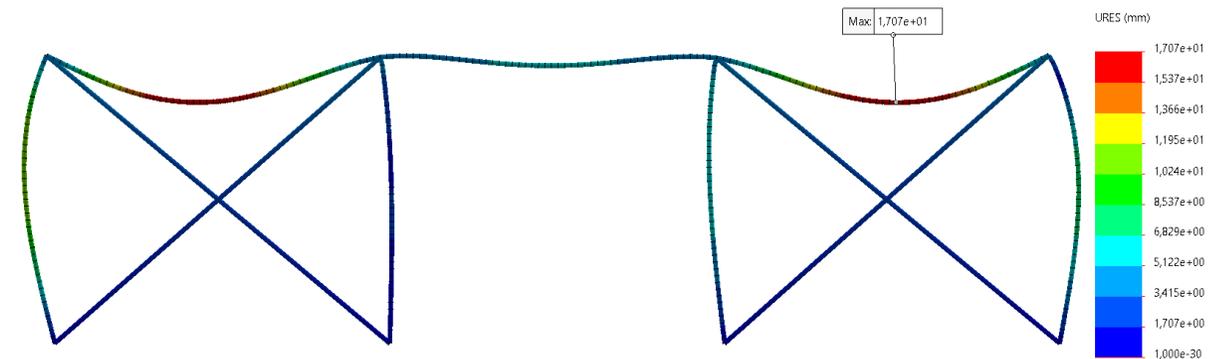
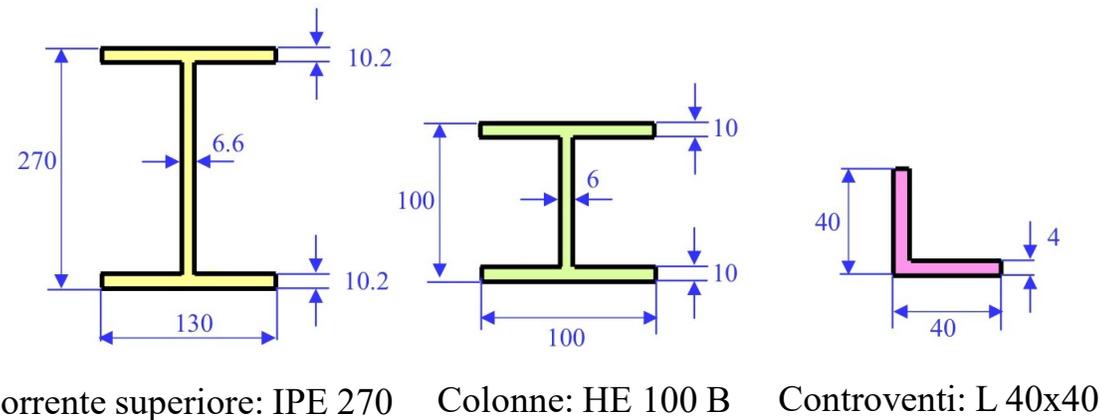
**Dati:**

- $F = 60 \text{ kN}$
- $q = 20 \text{ kN/m}$
- $L1 = 6000 \text{ mm}$
- $L2 = 5000 \text{ mm}$
- Materiale = Acciaio Fe430

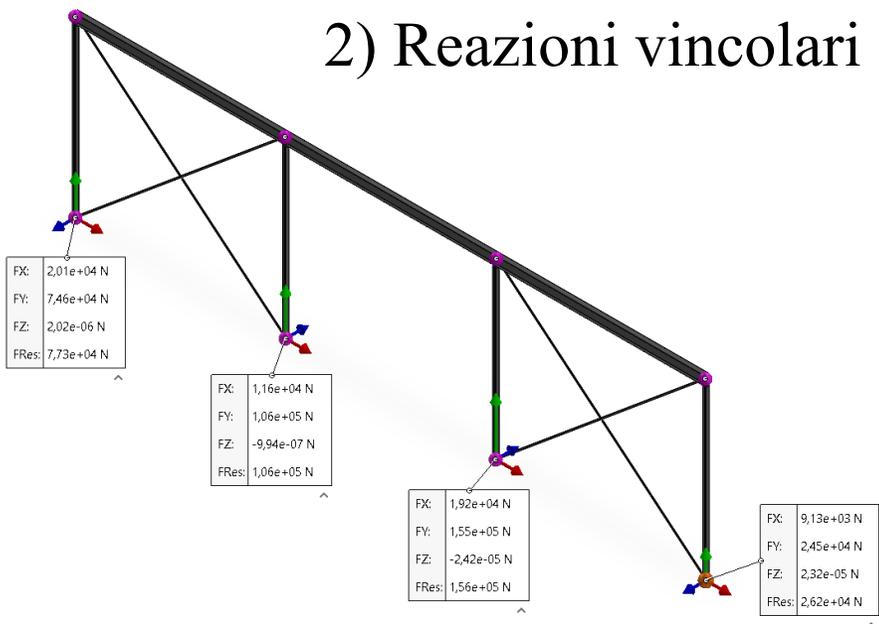
**Obiettivi dell'analisi:**

- 1) Struttura deformata;
- 2) Reazioni vincolari;
- 3) Diagrammi delle sollecitazioni;
- 4) Verifica strutturale con il metodo delle tensioni ammissibili;

## 1) Struttura deformata



## 2) Reazioni vincolari



## 3) Diagrammi delle sollecitazioni

Diagramma del momento flettente direz. Y

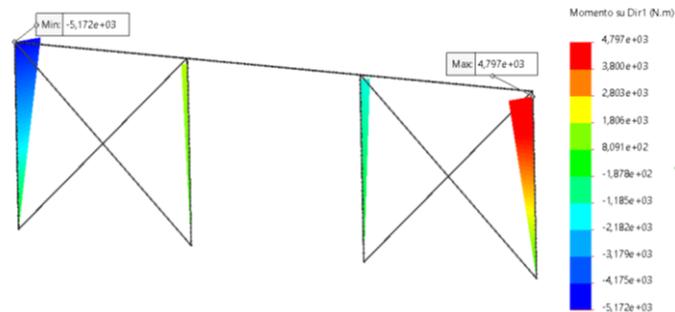


Diagramma del momento flettente direz. X

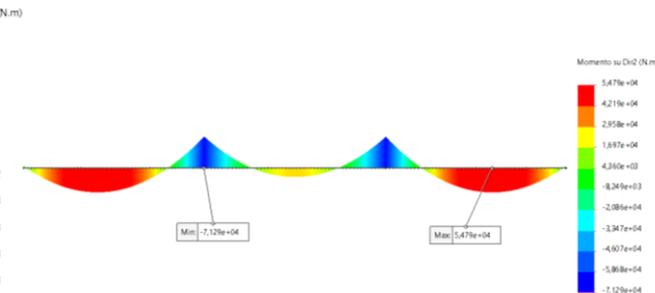


Diagramma di taglio direz. Y

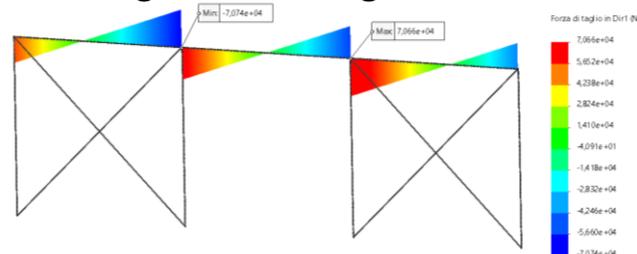


Diagramma di taglio direz. X

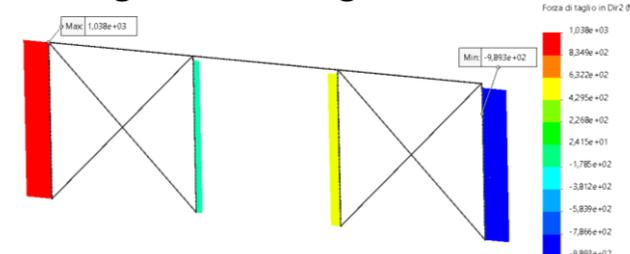
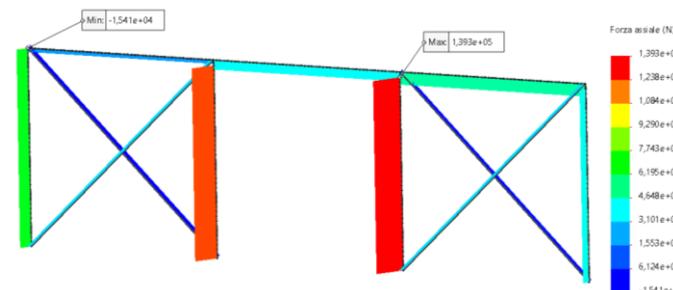
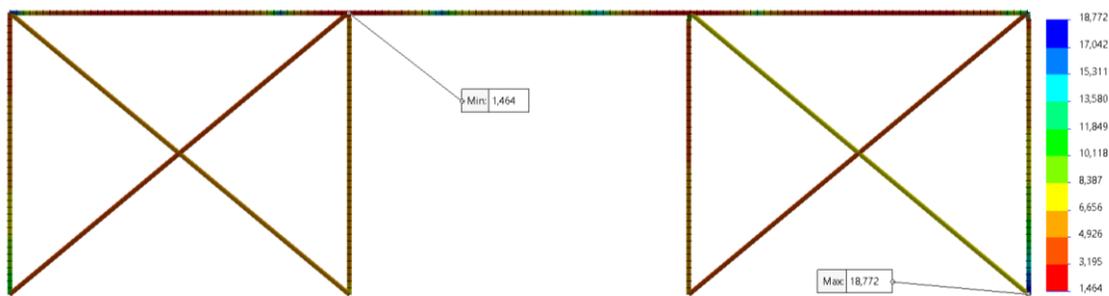


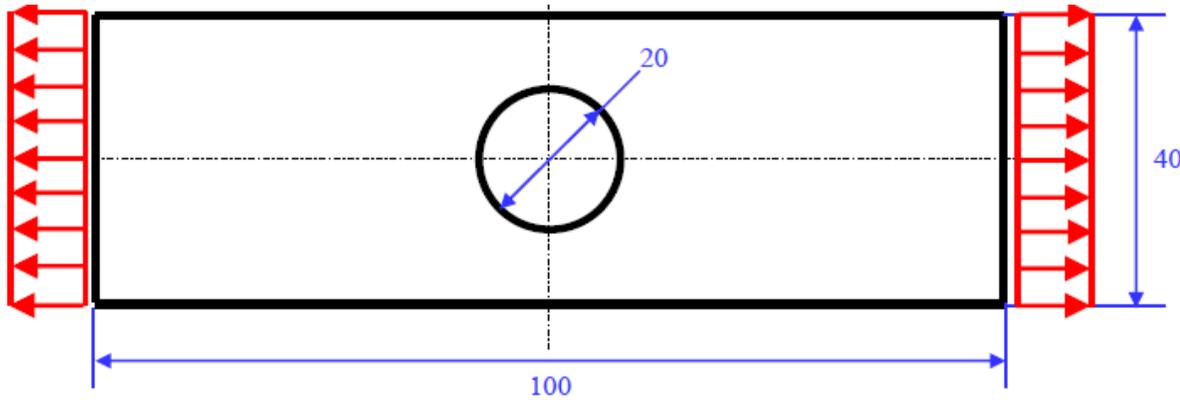
Diagramma dello sforzo normale



## 4) Verifica strutturale



$$\nu_S = \frac{\sigma_S}{\sigma_{id}} \quad (\sigma_{id} \approx 183MPa) \leq (\sigma_{AMM} = 190MPa)$$



**Dati:**

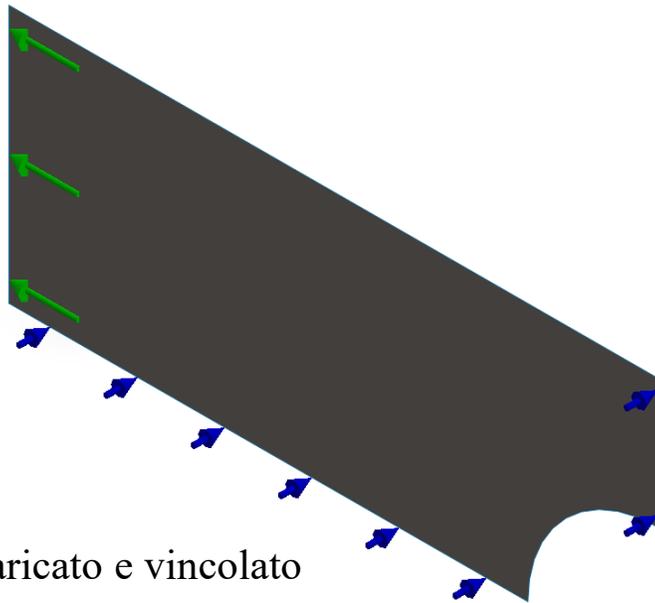
Spessore = 1mm

$\sigma = 1MPa$

Materiale = Acciaio Fe360

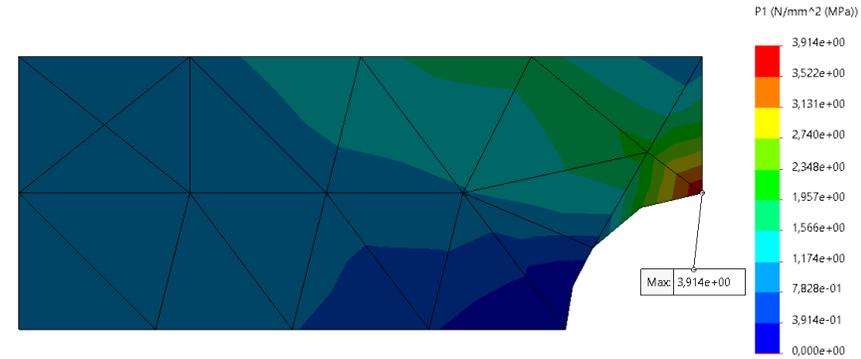
**Obiettivi dell'analisi:**

- 1)  $K_{tg}$ , sfruttando le simmetrie;
- 2) Diagramma dell'andamento di  $K_{tg}$  in funzione del numero di elementi presenti lungo il bordo del foro, confronto con il valore di  $K_{tg}$  del Peterson;

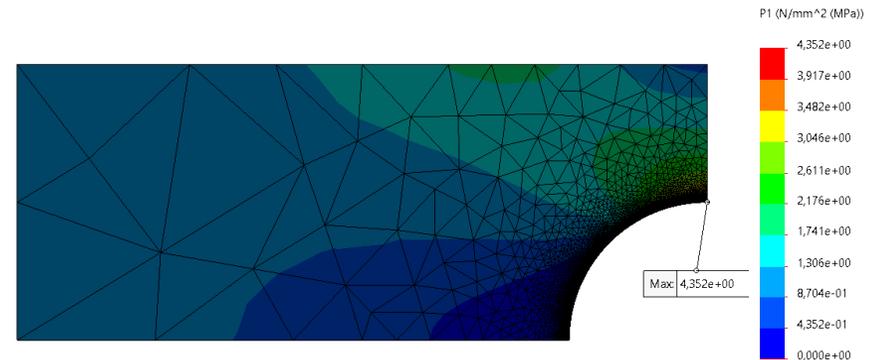


Modello caricato e vincolato

Analisi 1



Analisi 13



## 1) Determinazione del $K_{tg}$

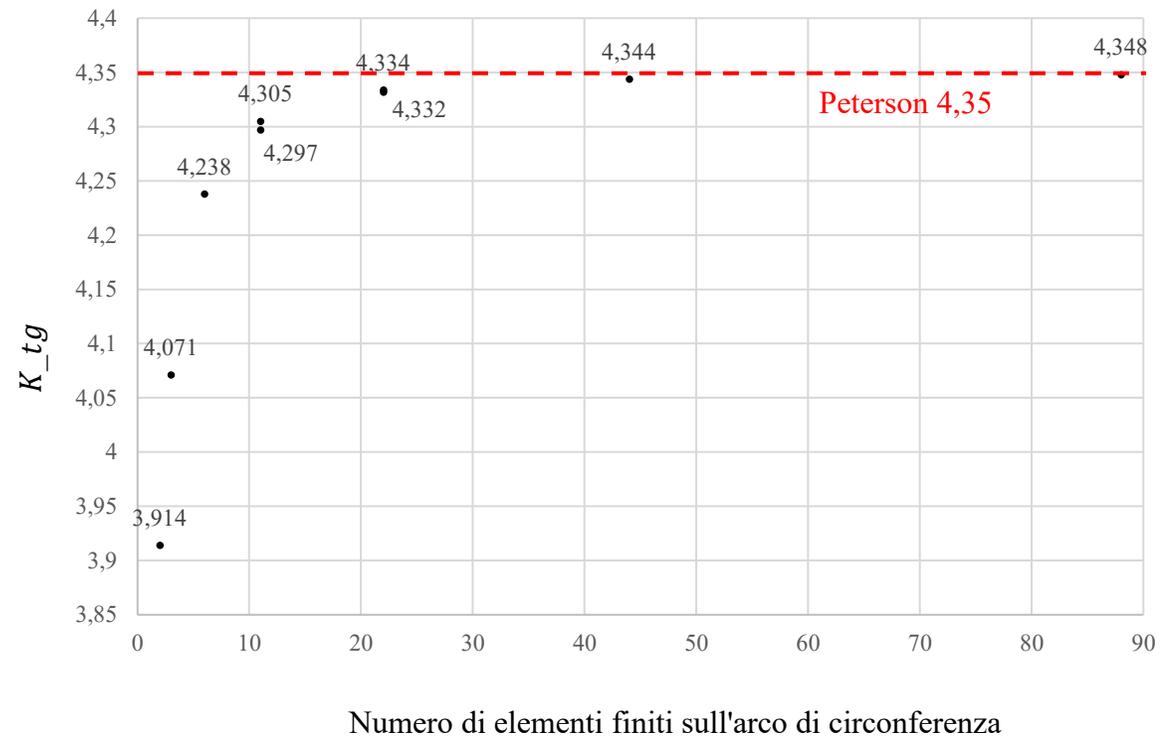
Tabella dei  $K_{tg}$  ottenuti dalle analisi.

n. Analisi	n. El.Fin. Bordo foro	$K_{tg}$	Dev.% Peterson
1	2	3,914	10,02%
2	3	4,071	6,41%
3	6	4,238	2,57%
4	11	4,297	1,22%
5	11	4,305	1,03%
6	22	4,334	0,37%
7	22	4,332	0,41%
8	44	4,344	0,14%
9	88	4,348	0,05%
10	176	4,348	0,05%
11	352	4,36	0,23%
12	704	4,357	0,16%
13	1408	4,352	0,05%
Peterson		4,35	

$$K_{tg} = \frac{\sigma_{P.EL}}{\sigma_{ng}}, \sigma_{ng} = 1Mpa \rightarrow K_{tg} = \sigma_{P.EL}$$

$$K_{tg} \approx 4,35$$

## 2) Diagramma dell'andamento di $K_{tg}$ in funzione del numero di elementi presenti lungo il bordo del foro



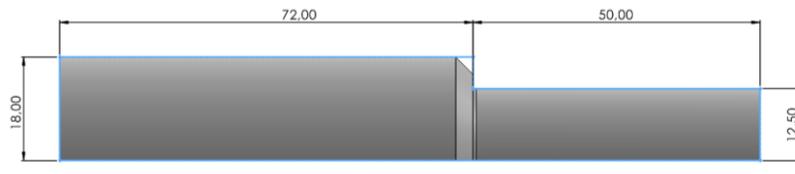
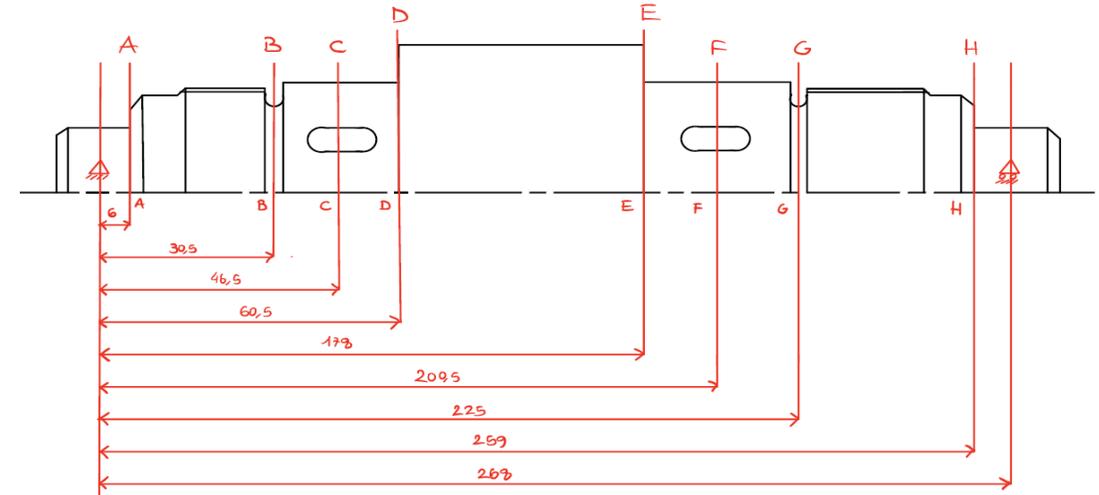
1) Verifica a fatica flessionale dell'albero intermedio, determinando il fattore teorico di concentrazione delle tensioni a flessione  $K_t$ , per le sezioni critiche A, B e D.

**Dati:**

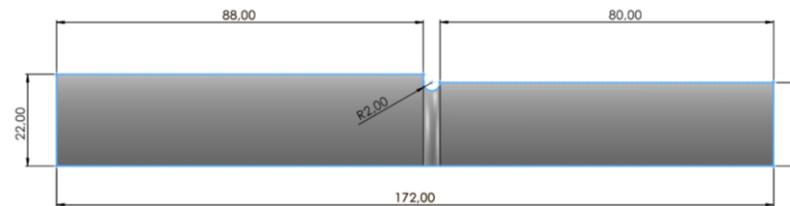
$\sigma = 1MPa$  con distribuzione a "farfalla"

Materiale = Acciaio C45 Bonificato

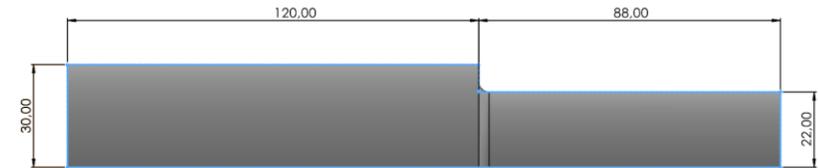
Schema delle sezioni critiche dell'albero intermedio



Sez. A-A: spallamento del cuscinetto sinistro

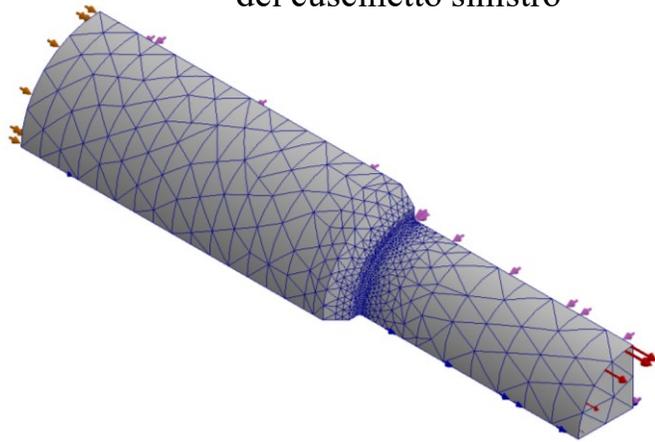


Sez. B-B: gola di scarico della filettatura di sinistra

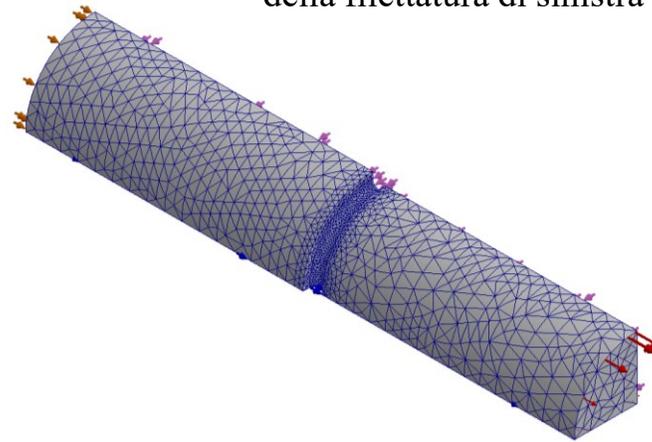


Sez. D-D: spallamento della ruota dentata sinistra

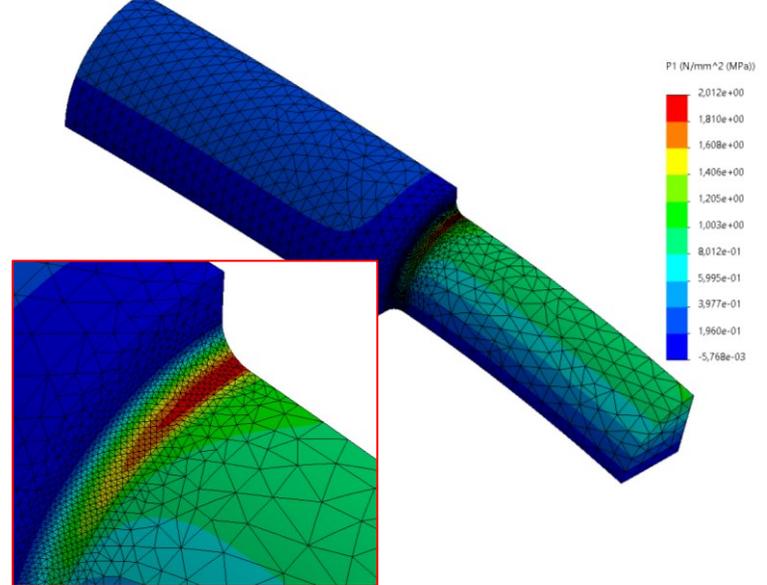
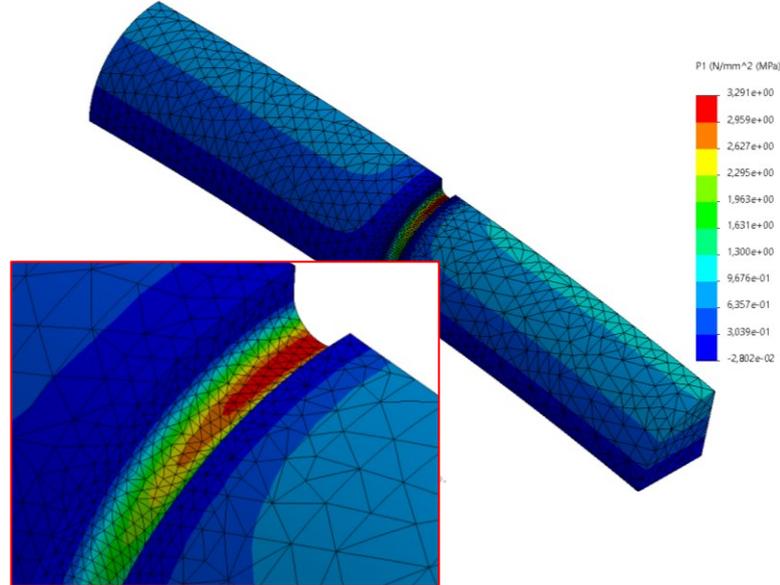
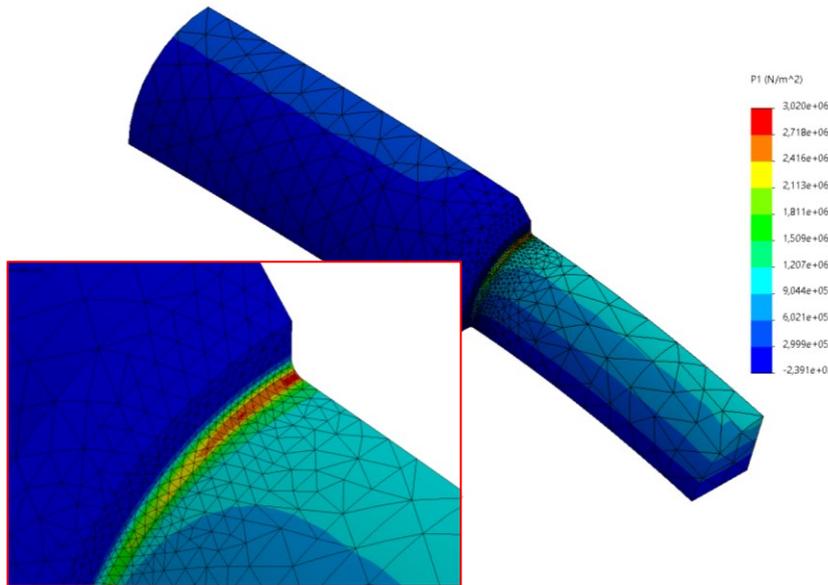
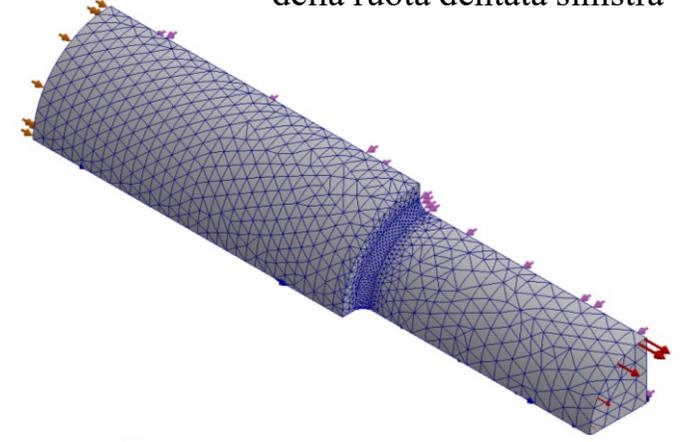
Sezione A-A: spallamento  
del cuscinetto sinistro



Sezione B-B: gola di scarico  
della filettatura di sinistra



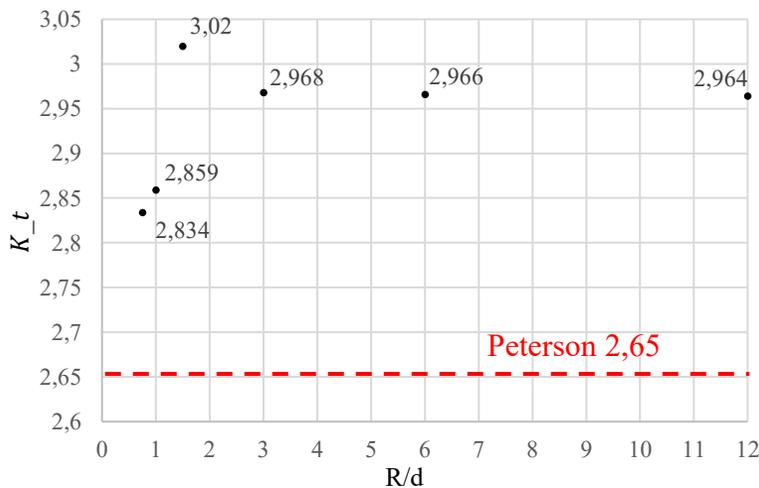
Sezione D-D: spallamento  
della ruota dentata sinistra



Sezione A-A: spallamento  
del cuscinetto sinistro,  
 $R = 0,6mm$

n. Analisi	$K_t$	Diff.%	Dev.% Peterson	d [mm]
1	2,834		6,94%	0,8
2	2,859	0,87%	7,89%	0,6
3	3,02	5,33%	13,96%	0,4
4	2,968	1,75%	12,00%	0,2
5	2,966	0,07%	11,92%	0,1
6	2,964	0,07%	11,85%	0,05
Peterson	2,65			

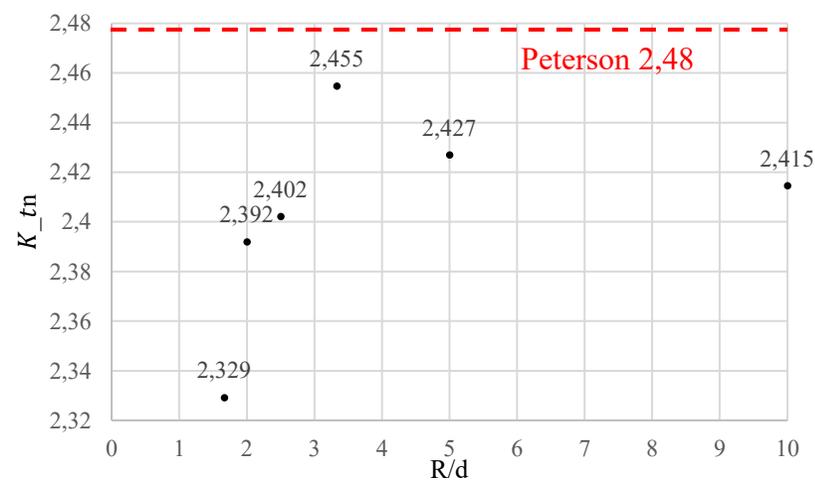
$K_t \approx 2,96$



Sezione B-B: gola di scarico  
della filettatura di sinistra,  
 $R = 2mm$

n. Analisi	$K_{tn}$	Diff.%	Dev.% Peterson	d [mm]
1	2,329		6,08%	1,2
2	2,392	2,62%	3,55%	1
3	2,402	0,43%	3,14%	0,8
4	2,455	2,14%	1,02%	0,6
5	2,427	1,14%	2,14%	0,4
6	2,415	0,51%	2,64%	0,2
Peterson	2,48			

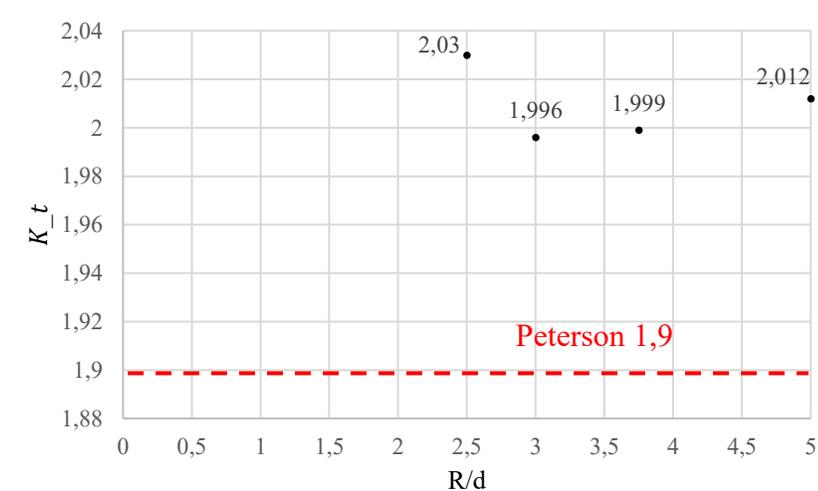
$K_t \approx 2,42$



Sezione D-D: spallamento  
della ruota dentata sinistra,  
 $R = 3mm$

n. Analisi	$K_t$	Diff.%	Dev.% Peterson	d [mm]
1	2,03		6,84%	1,2
2	1,996	1,70%	5,05%	1
3	1,999	0,15%	5,21%	0,8
4	2,012	0,65%	5,89%	0,6
Peterson	1,9			

$K_t \approx 2$



2) Verifica a deformabilità flessionale dell'albero intermedio, determinando frecce e rotazioni subite dall'albero per effetto delle forze  $F_t$  e  $F_r$  derivanti dall'azione delle ruote dentate, con modello 3D, 1D e confronto con il modello analitico.

www.dii.unipd.it

**Forze applicate:**

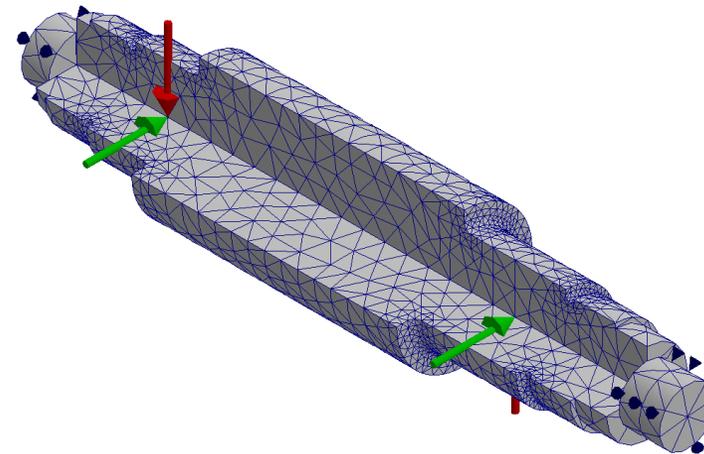
$$F_{t2} = 1315 \text{ N}$$

$$F_{r2} = 478,7 \text{ N}$$

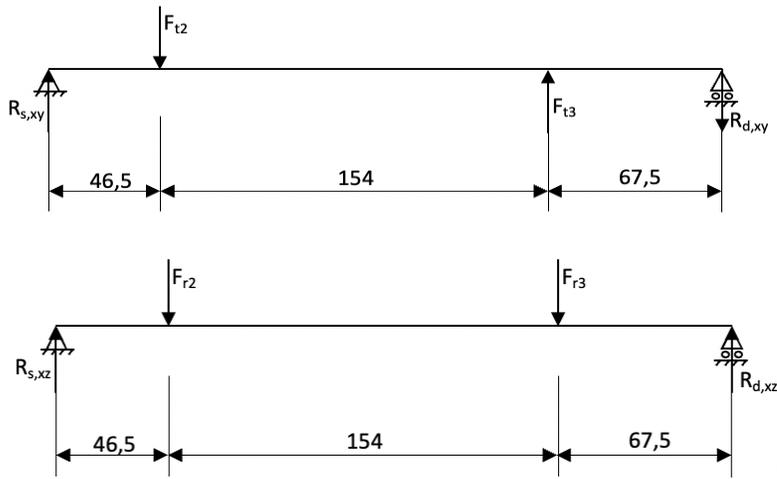
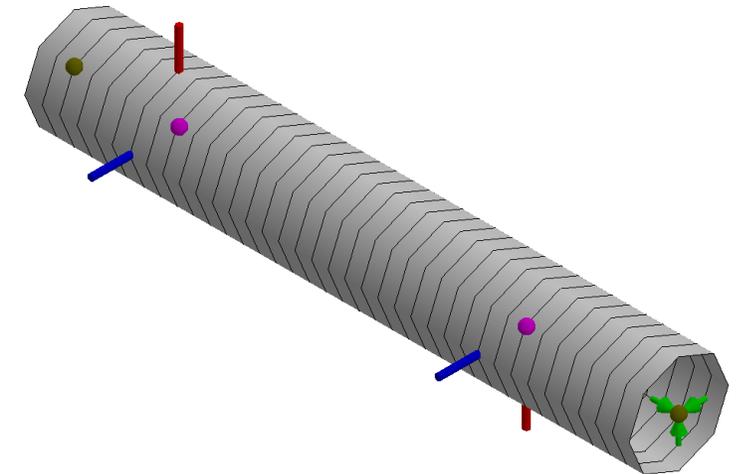
$$F_{t3} = 6037,5 \text{ N}$$

$$F_{r3} = 2197,5 \text{ N}$$

Modello tridimensionale (3D)



Modello monodimensionale (1D)



Schema di applicazione delle forze

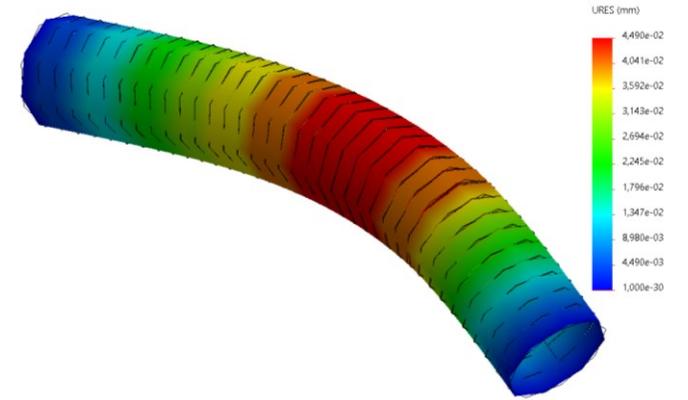
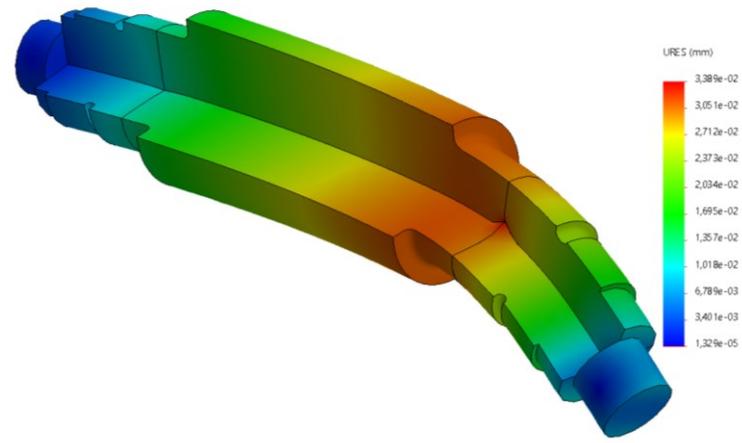
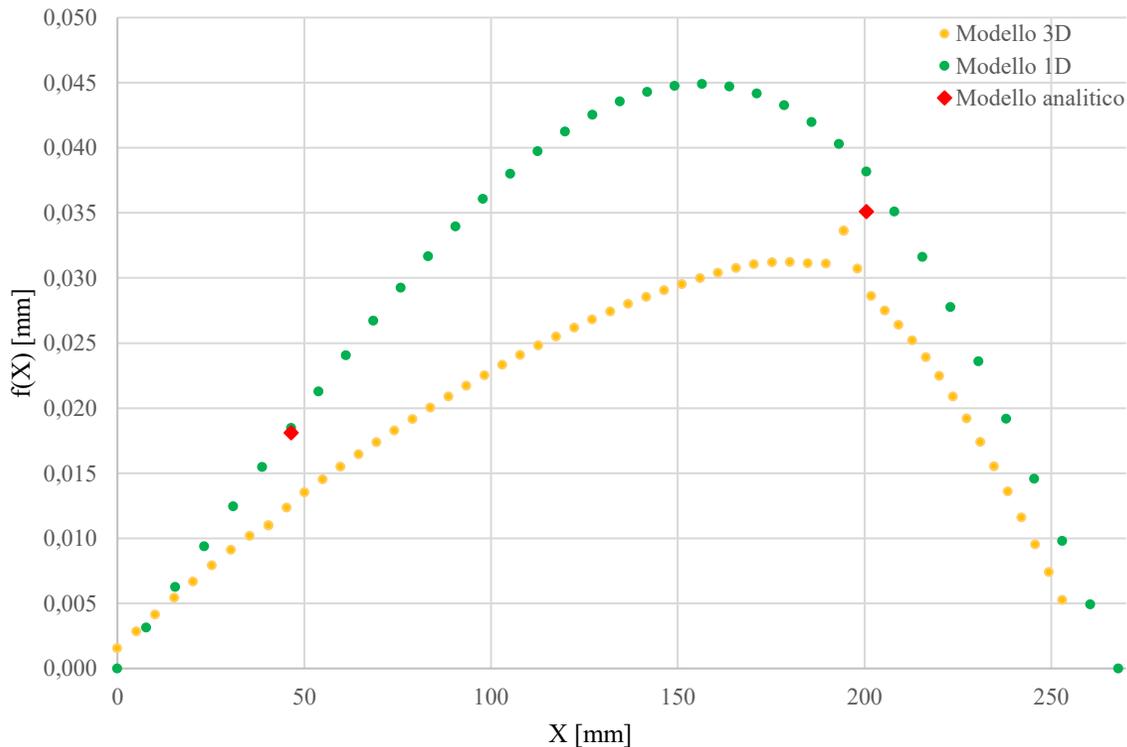
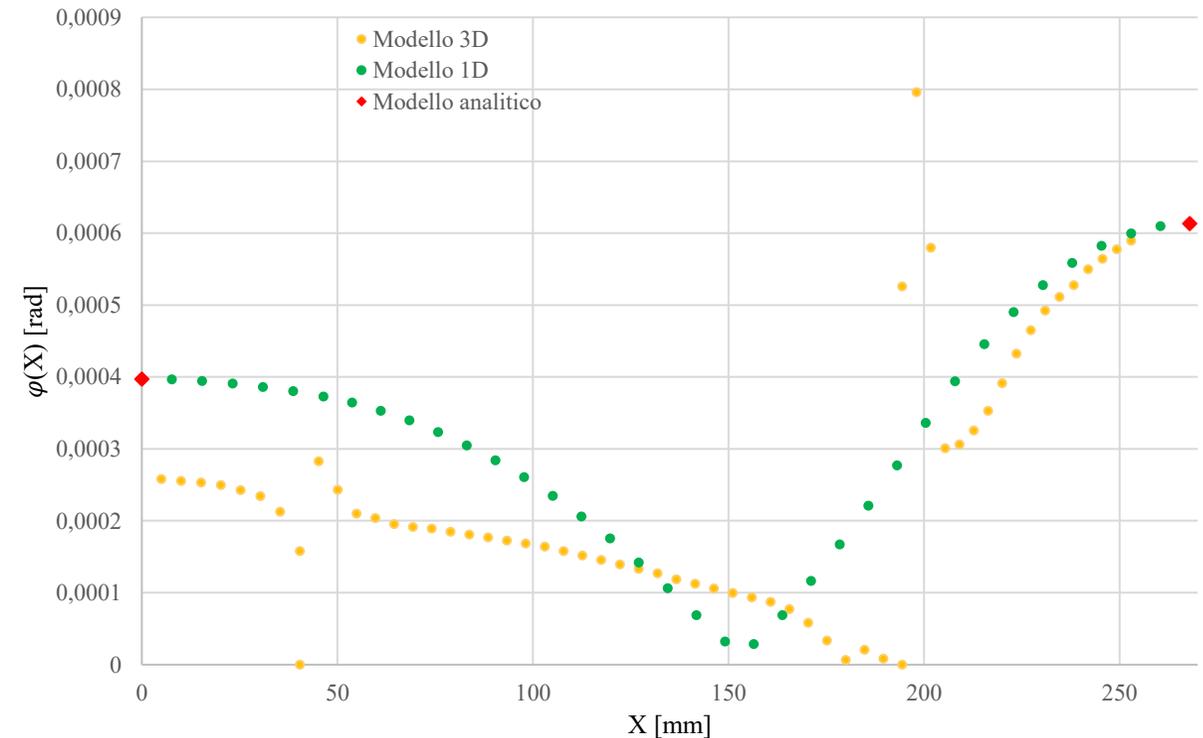


Grafico dell'andamento della freccia risultante  $f$  in funzione della coordinata  $X$  per i vari modelli considerati.



$$f_2, f_3 \leq f_{lim} = 0,127 \text{ mm secondo ASME}$$

Grafico dell'andamento della rotazione risultante  $\varphi$  in funzione della coordinata  $X$  per i vari modelli considerati.



$$\varphi_S \leq \varphi_{lim} = 0,00291 \text{ rad cuscinetto } sx \text{ a sfere (SKF)}$$

$$\varphi_D \leq \varphi_{lim} = 0,00116 \text{ rad cuscinetto } dx \text{ a rulli (SKF)}$$

1) Verifica a fatica flessionale, determinazione del  $K_t$  per le sezioni critiche A, B, D:

Sezione	$K_t$	$K_t$ Peterson	Dev.% Peterson
A, spallamento cuscinetto sx	2,96	2,65	12%
B, gola di scarico filettatura sx	2,42	2,48	2-3%
C, spallamento della ruota sx	2,00	1,9	5-6%

2) Verifica a deformazione, determinazione di frecce  $f$  sotto le ruote e rotazioni  $\varphi$  in prossimità dei cuscinetti:

Modello	$\varphi_S$ [rad]	$f_2$ [mm]	$f_3$ [mm]	$\varphi_D$ [rad]
3D	0,000258	0,0126	0,0294	0,00059
1D	0,000397	0,0185	0,0382	0,000613
Analitico	0,000397	0,0181	0,0351	0,000613

