

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

# ***Relazione per la prova finale***

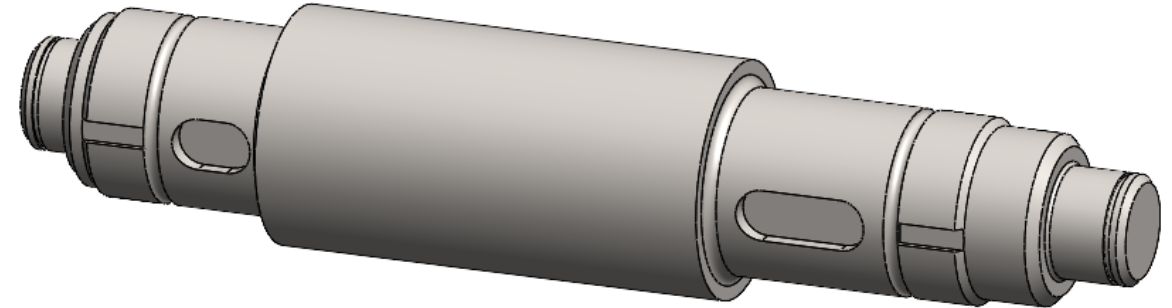
## ***Analisi FEM di un albero per riduttore bistadio mediante Solidworks Simulation***

Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: Belè Nicolò

Padova, 22/09/2023

- **Oggetto:** Albero intermedio del riduttore bistadio progettato durante il corso

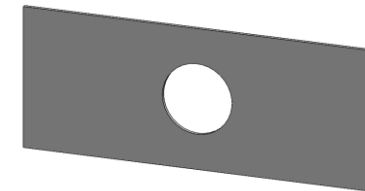
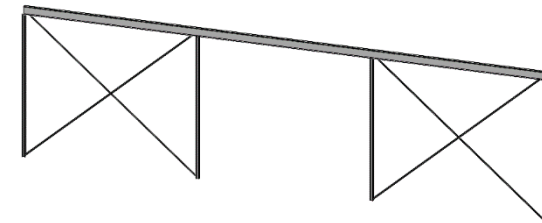


- **Obiettivi**

- 1) Addestramento a Solidworks Simulation
- 2) Verifica a fatica flessionale di alcune sezioni critiche dell'albero
- 3) Verifica a deformabilità dell'albero

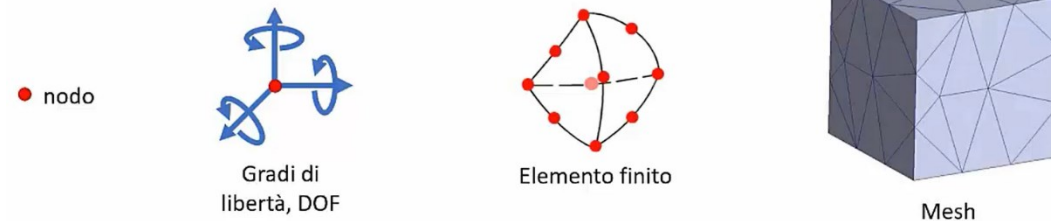
- **Svolgimento dell'attività**

- 1) Introduzione alla teoria dell'analisi agli elementi finiti
- 2) Addestramento a Solidworks Simulation (telaio piano e piastra forata)
- 3) Studio dell'albero intermedio



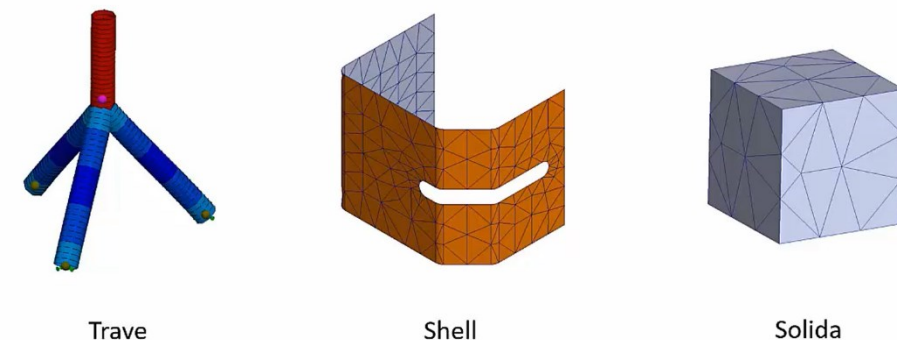
## ❖ Definizioni di base:

- Nodo
- Elemento finito (del 1° o 2° ordine)
- Mesh (trave, shell, solida)



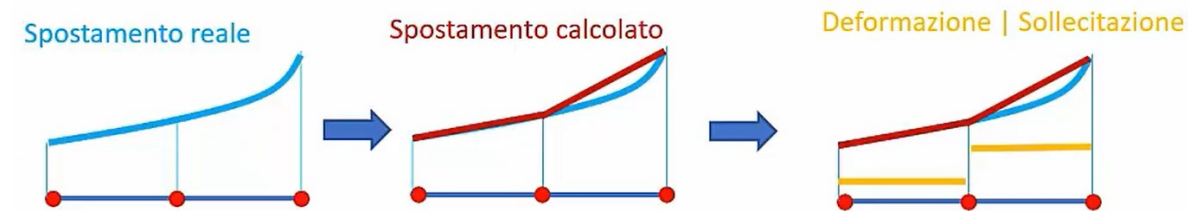
## ❖ Passi dell'analisi statica lineare:

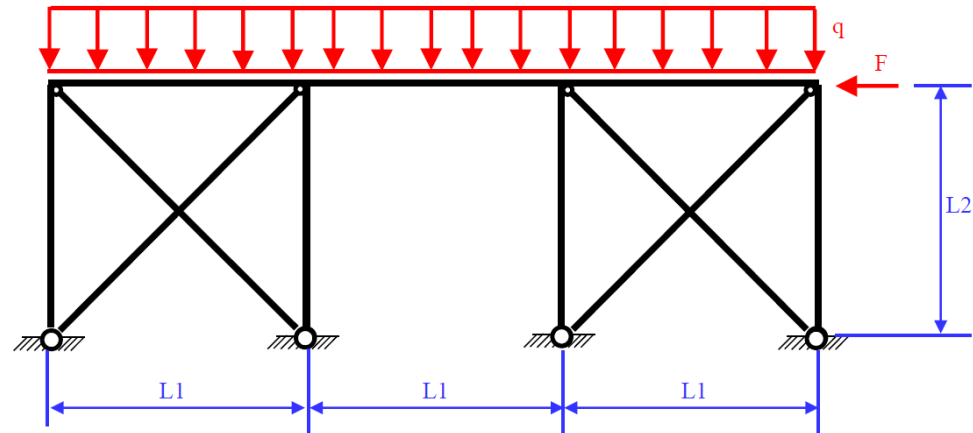
- Applicazione delle condizioni al contorno
- Calcolo degli spostamenti
- Calcolo della deformazione e della tensione



## ❖ Ipotesi dell'analisi statica lineare:

- Carichi costanti nel tempo
- Piccoli spostamenti
- Risposta lineare del materiale





Schema della struttura

**Dati:**

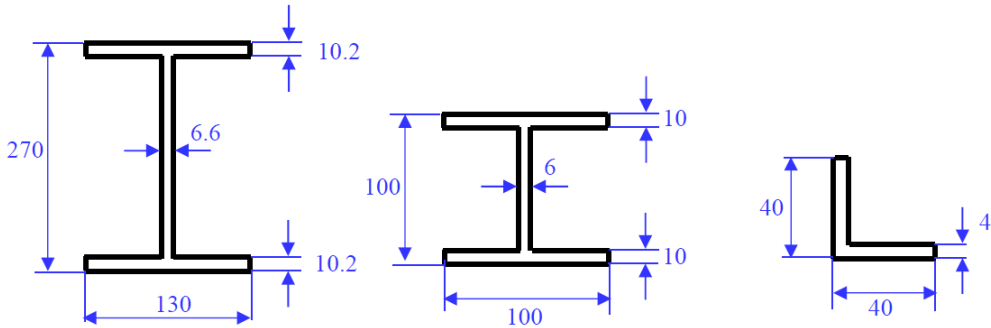
$L1 = 6000 \text{ mm}$   
 $L2 = 5000 \text{ mm}$   
 $F = 60 \text{ kN}$   
 $q = 20 \text{ kN/m}$

**Materiale: Fe430**

$\sigma_{amm} = 190 \text{ MPa}$   
 $\sigma_s = 275 \text{ MPa}$   
 $E = 206000 \text{ MPa}$   
 $\nu = 0,3$

**Obiettivi:**

- 1) Deformazione della struttura
- 2) Reazioni vincolari e diagrammi delle sollecitazioni
- 3) Diagrammi delle sollecitazioni
- 4) Verifica strutturale

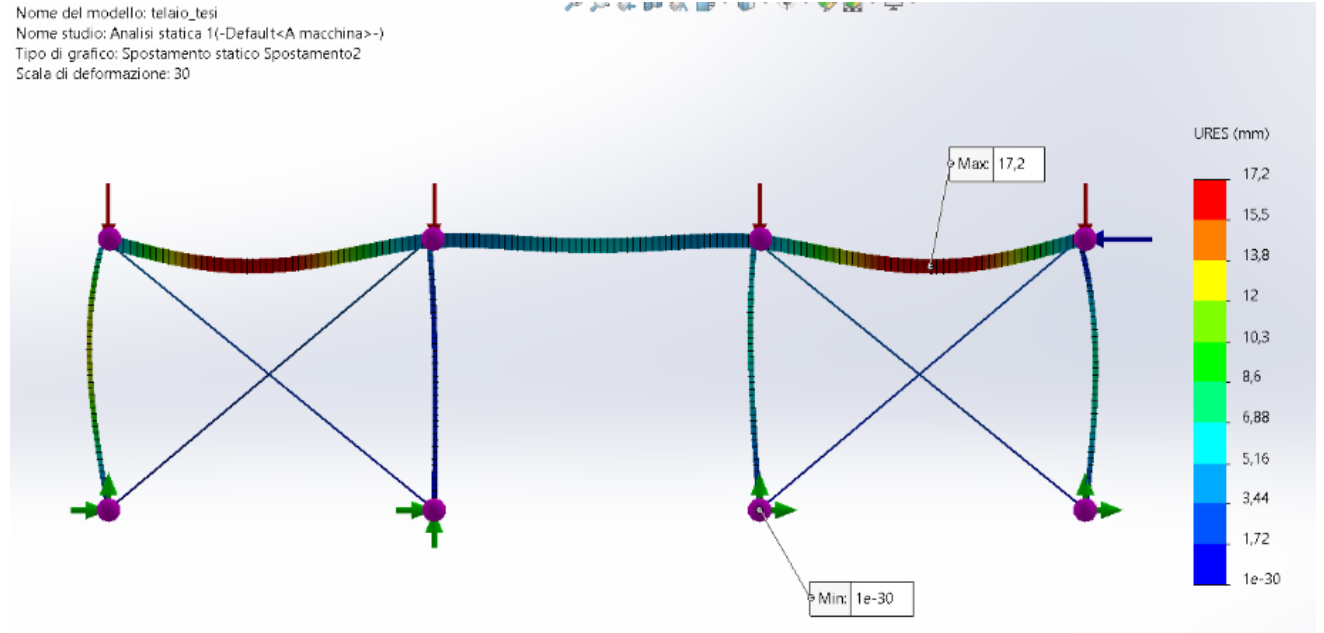


Corrente superiore: IPE 270

Colonne: HE 100 B

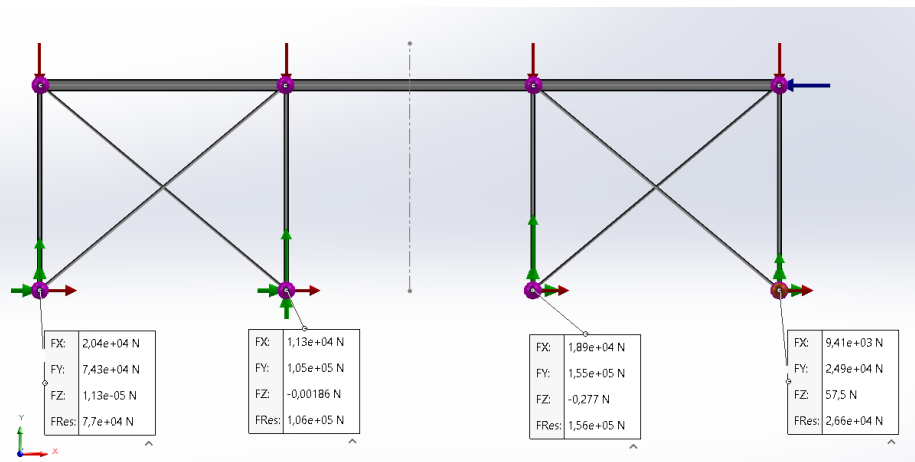
Controventi: L 40x4

Profili delle travi

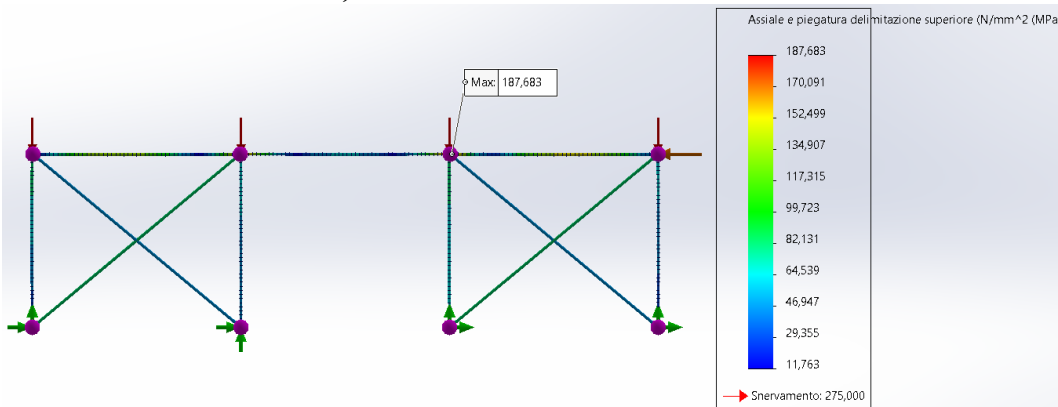


1) Struttura deformata

## 2) Reazioni vincolari



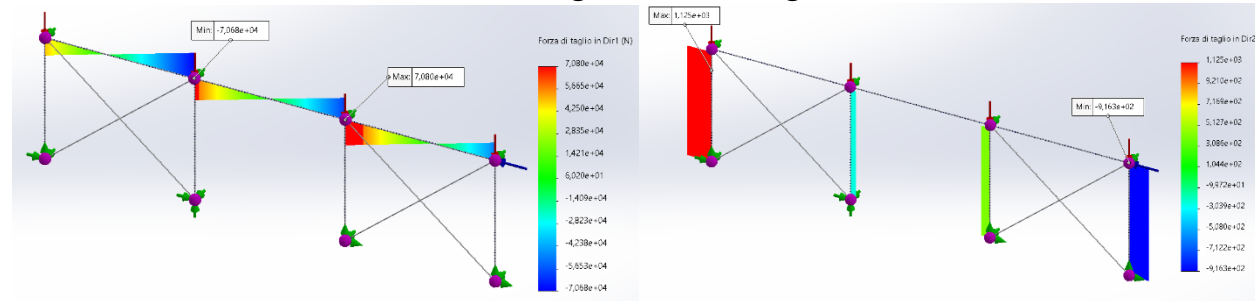
## 4) Verifica strutturale



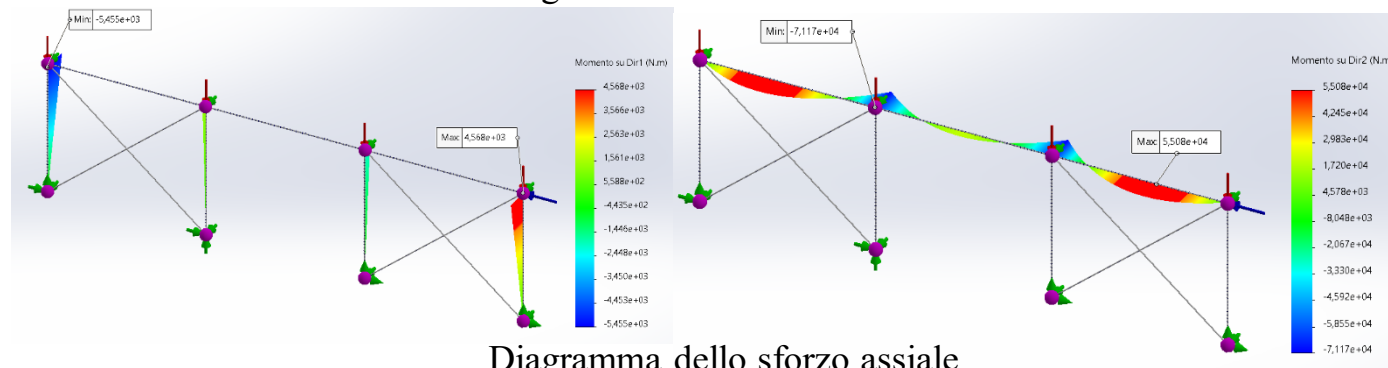
$$(\sigma_{id} \approx 187,7 \text{ MPa}) \leq (\sigma_{amm} \approx 190 \text{ MPa})$$

## 3) Diagrammi delle sollecitazioni

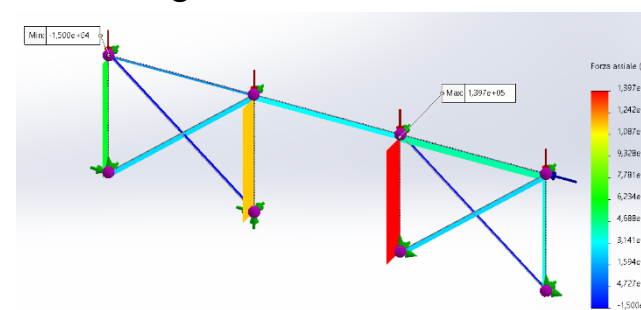
### Diagramma del taglio

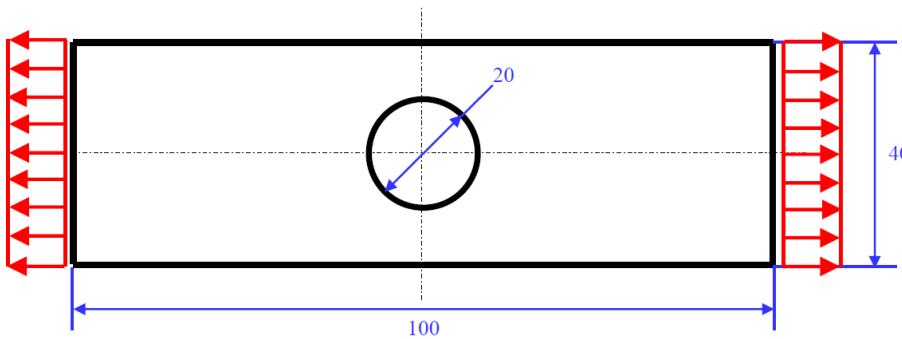


### Diagramma del momento flettente



### Diagramma dello sforzo assiale





**Dati:**

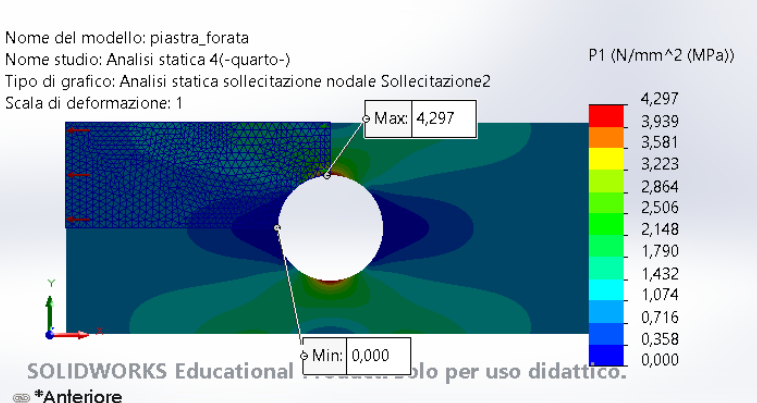
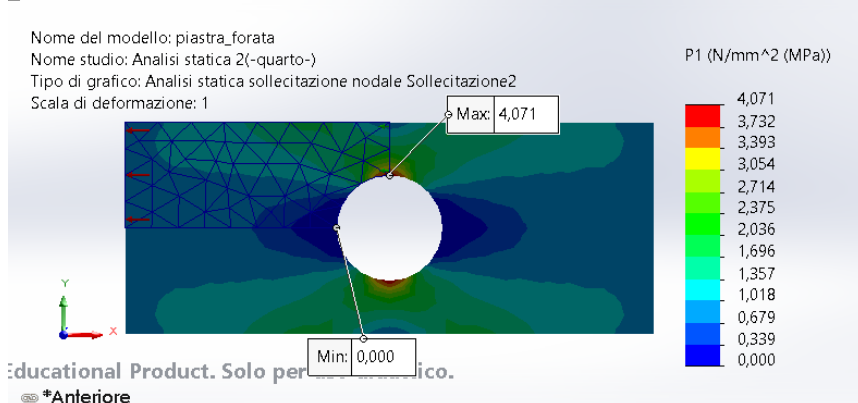
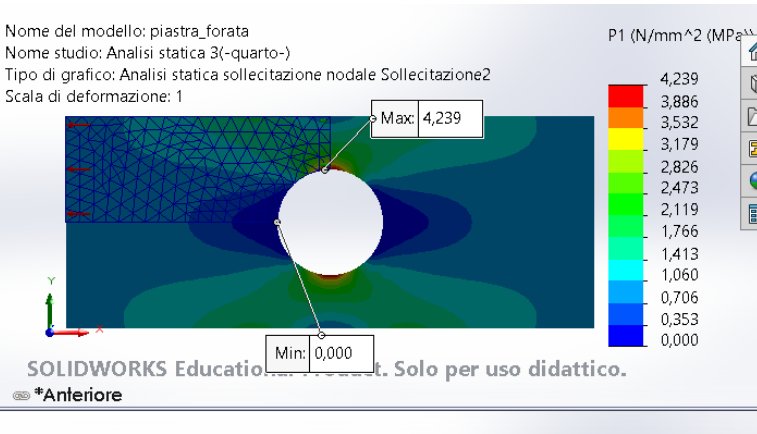
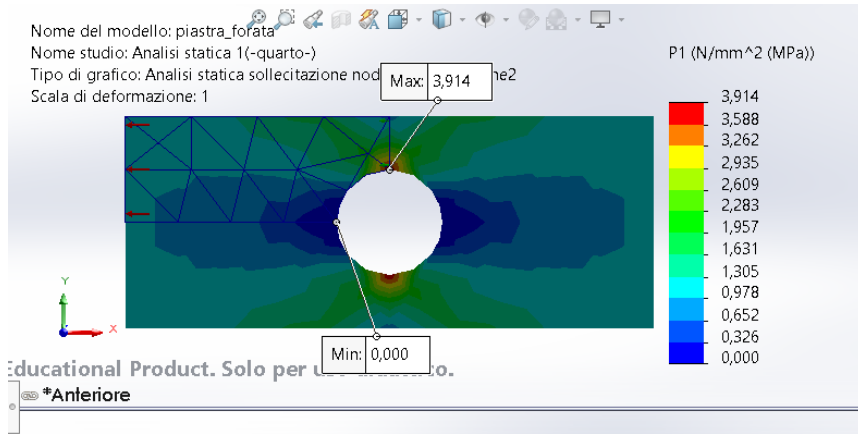
Spessore = 1 mm  
 $\sigma_g = 1 \text{ MPa}$

**Materiale: Fe360**

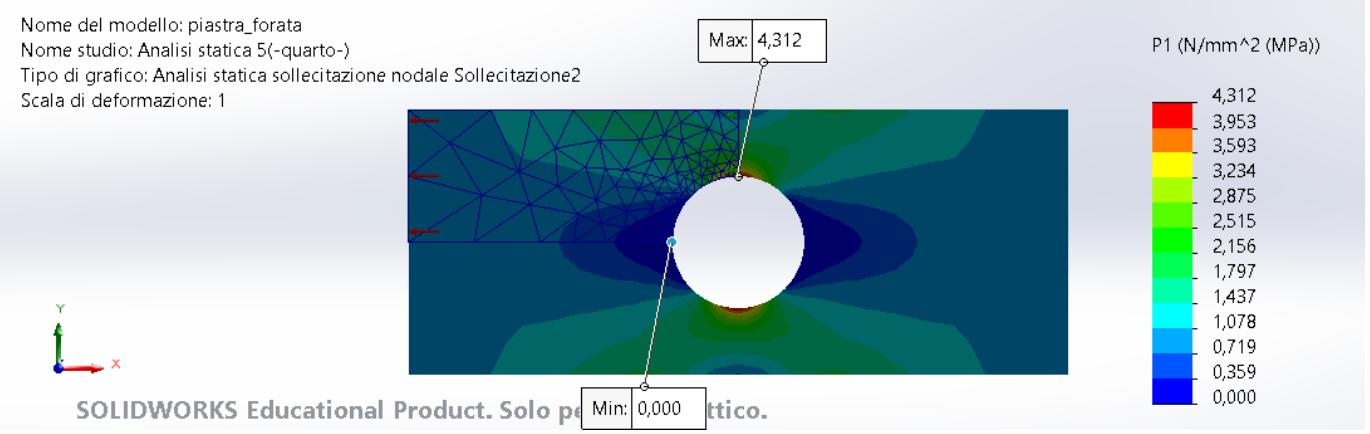
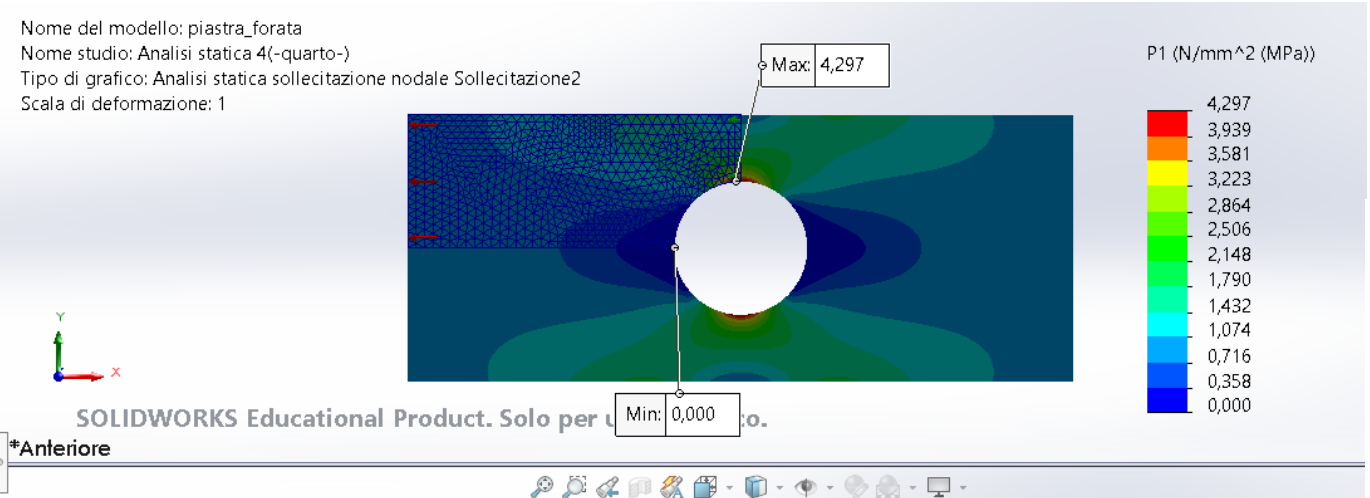
$\sigma_r = 360 \text{ MPa}$   
 $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$   
 $E = 206000 \text{ MPa}$   
 $\nu = 0,3$

**Obiettivi:**

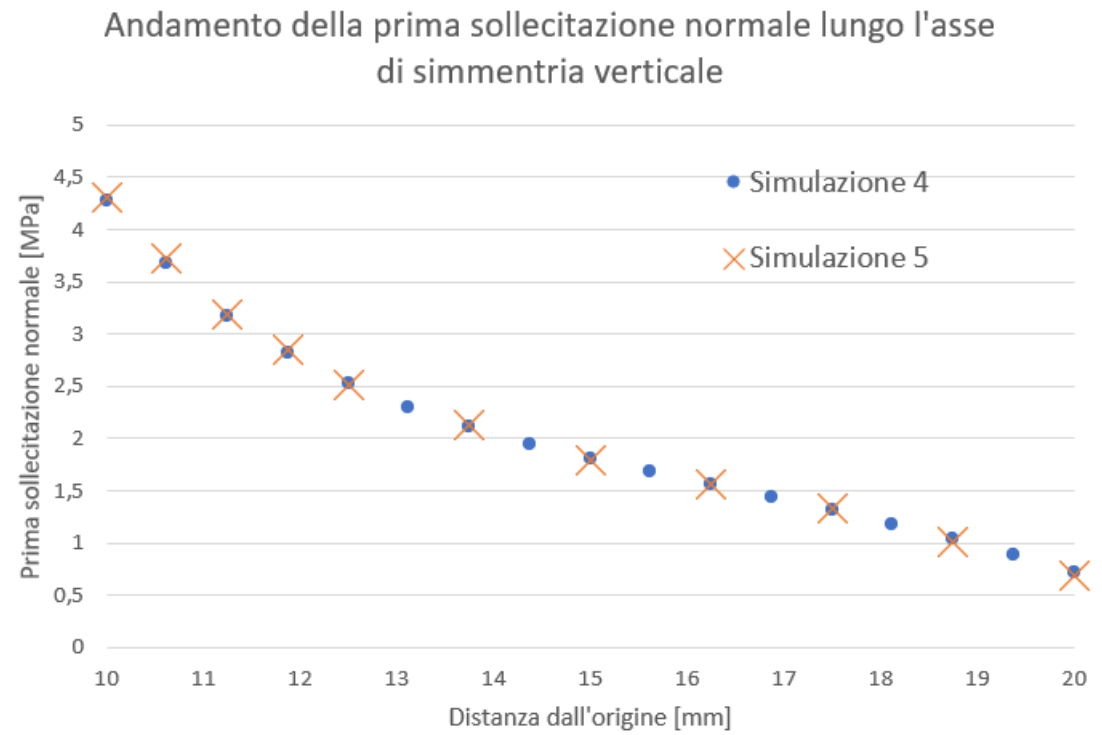
- 1) Analisi di sensibilità della mesh
- 2) Calcolo del Ktg tramite analisi FEM e confronto col valore ottenuto con il valore ottenuto dal manuale Peterson



**1) Analisi di sensibilità della mesh:**  
viene messa a confronto la prima sollecitazione normale calcolata con elementi finiti di dimensioni sempre minori in tutto il modello



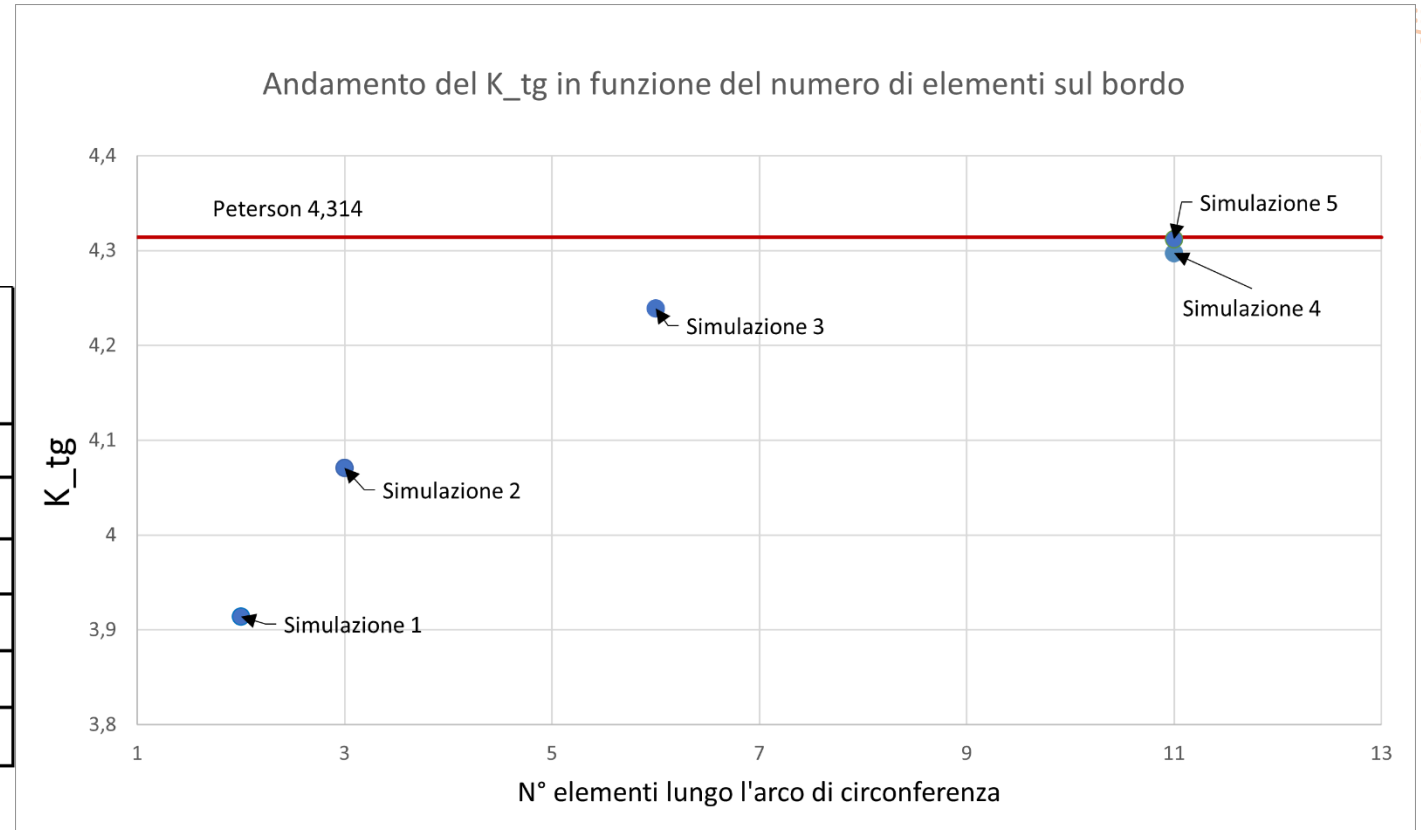
Viene valutato se l'infittimento localizzato nella regione ad alto gradiente tensionale fornisce risultati concordi con un infittimento globale



**2) Determinazione del  $K_{tg}$  e confronto col Peterson:**  
avendo impostato come tensione agente sulla piastra 1 MPa,  
risulta che il valore di picco registrato è numericamente  
uguale al fattore  $K_{tg}$ .

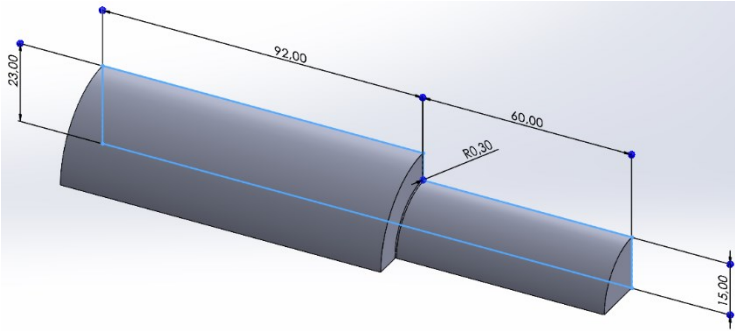
$$K_{tg} = \frac{\sigma_{pel}}{\sigma_g}, \sigma_g = 1 \text{ MPa} \rightarrow K_{tg} = \sigma_{pel}$$

N° simulazione	N° elementi finiti lungo il bordo del foro	$K_{tg}$	Deviazione % dal Peterson
1	2	3,914	9,27%
2	3	4,071	5,97%
3	6	4,239	1,73%
4	11	4,297	0,39%
5	11	4,312	0,05%
Peterson		4,314	



$$K_{tg} \approx 4,31$$





**Dati:**

Diametro minore = 30 mm  
 Diametro maggiore = 46 mm  
 Raggio del raccordo = 0,3 mm  
 $\sigma_n = 1$  MPa (andamento a «farfalla»)

**Materiale:** C40 bonificato

$\sigma_r = 645$  MPa  
 $\sigma_s = 410$  MPa  
 $E = 206000$  MPa  
 $\nu = 0,3$

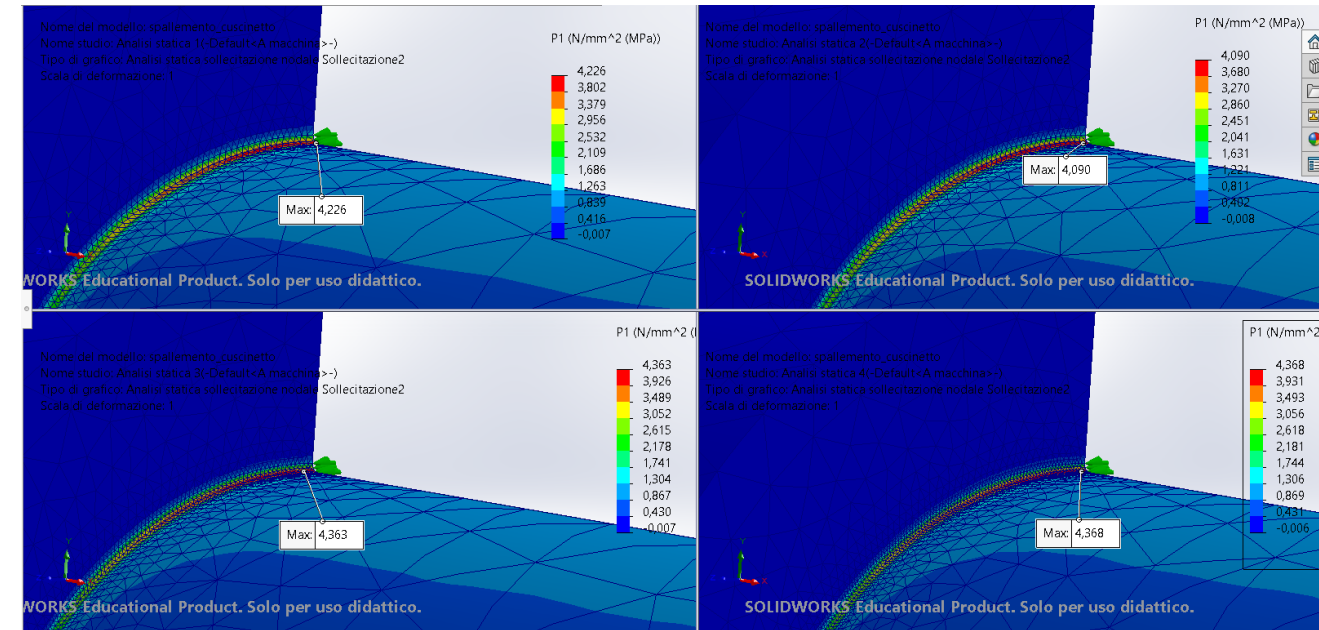
**Obiettivi:**

- 1) Analisi di sensibilità della mesh
- 2) Calcolo del  $K_{tn}$  tramite analisi FEM e confronto col valore ottenuto con il valore ottenuto dal manuale Peterson

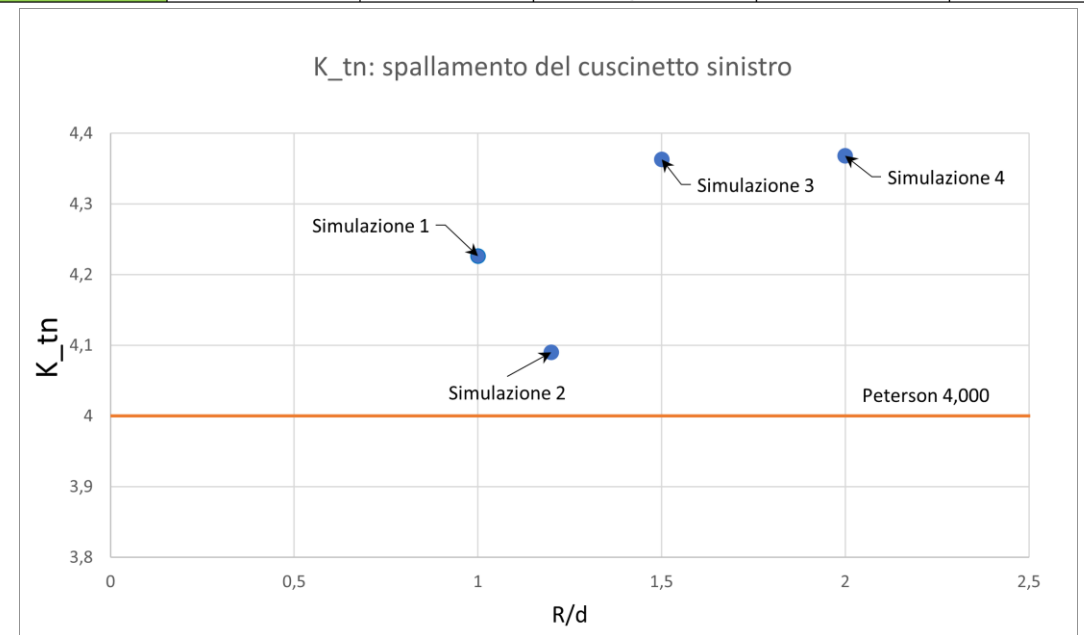
$$K_{tn} = \frac{\sigma_{pel}}{\sigma_n}, \sigma_n = 1 \text{ MPa} \rightarrow K_{tn} = \sigma_{pel}$$

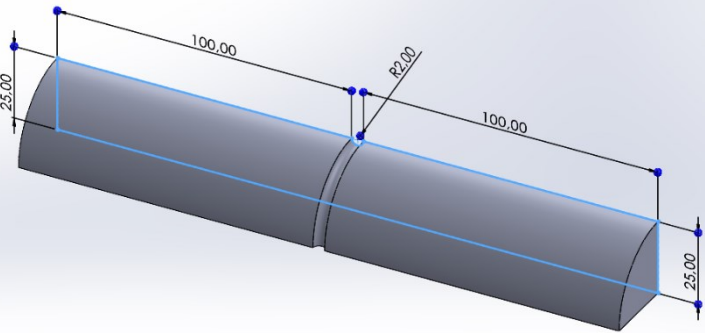
N° simulazione	Dimensione elementi sul raccordo [mm]	R/d	$K_{tn}$	Delta% tra risultati successivi	Delta% dal valore del Peterson[2]
1	0,3	1	4,226		5,65
2	0,25	1,2	4,090	3,33	2,25
3	0,2	1,5	4,363	6,67	9,08
4	0,15	2	4,368	0,115	9,20
<b>Peterson</b>			4,000		

www.dii.unipd.it



$$K_{tg} \approx 4,37$$





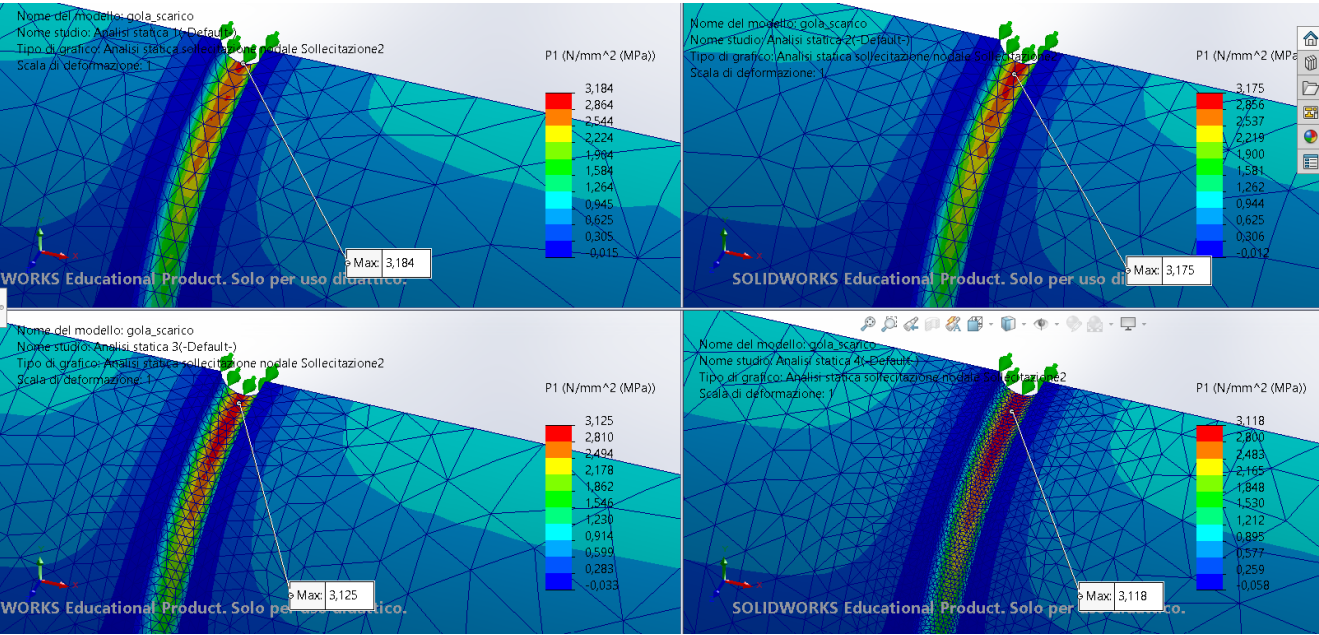
**Dati:**  
 Diametro minore = 46 mm  
 Diametro maggiore = 50 mm  
 Raggio del raccordo = 2 mm  
 $\sigma_g = 1$  MPa (andamento a «farfalla»)

**Materiale:** C40 bonificato  
 $\sigma_r = 645$  MPa  
 $\sigma_s = 410$  MPa  
 $E = 206000$  MPa  
 $\nu = 0,3$

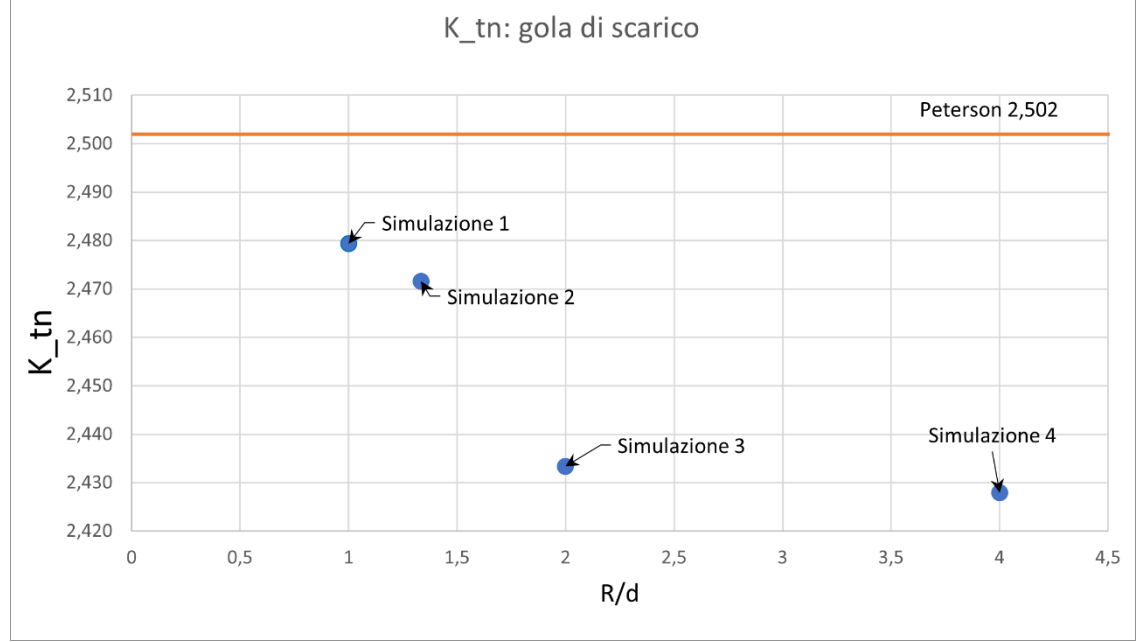
**Obiettivi:**  
 1) Analisi di sensibilità della mesh  
 2) Calcolo del  $K_{tn}$  tramite analisi FEM e confronto col valore ottenuto con il valore ottenuto dal manuale Peterson

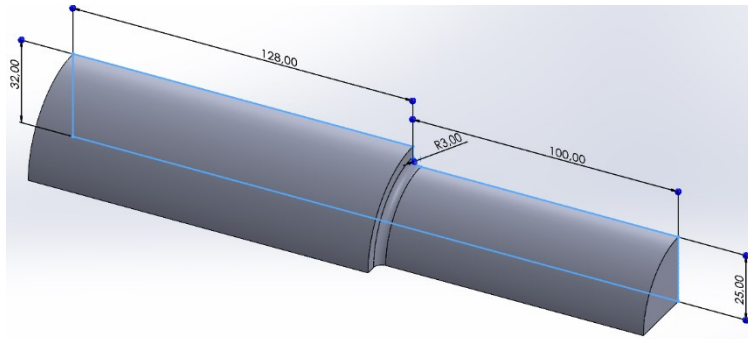
$$K_{tg} = \frac{\sigma_{pel}}{\sigma_g}, \sigma_g = 1 \text{ MPa} \rightarrow K_{tg} = \sigma_{pel} \rightarrow K_{tn} = \frac{d^3}{D^3} \cdot K_{tg}$$

N° simulazione	Dimensione elementi sul raccordo [mm]	R/d	K <sub>tg</sub>	K <sub>tn</sub>	Delta% tra risultati successivi	Delta% dal valore del Peterson[2]
1	2	1	3,184	2,479		0,91
2	1,5	1,3333333	3,174	2,472	0,28	1,23
3	1	2	3,125	2,433	1,6	2,82
4	0,5	4	3,118	2,428	0,22	3,05
<b>Peterson</b>				<b>2,502</b>		



$K_{tg} \approx 2,43$





**Dati:**

Diametro minore = 50 mm  
Diametro maggiore = 64 mm  
Raggio del raccordo = 3 mm  
 $\sigma_n = 1$  MPa (andamento a «farfalla»)

**Materiale:** C40 bonificato

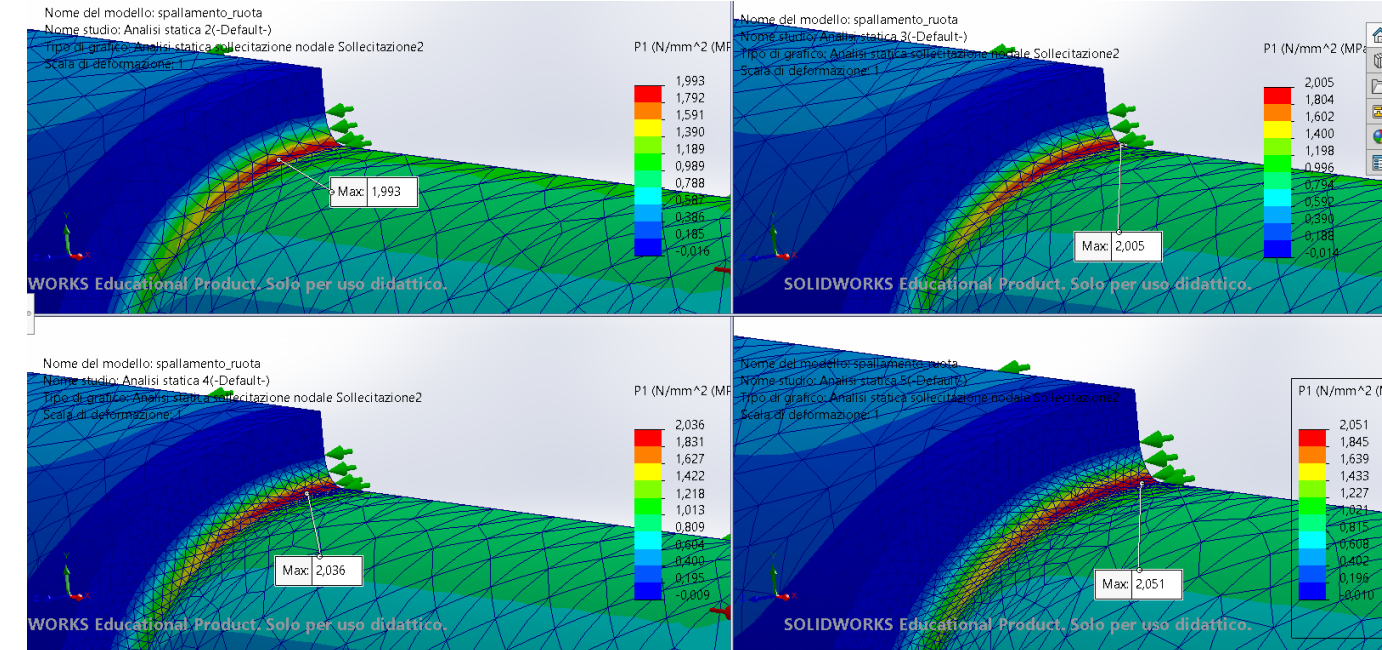
$\sigma_r = 645$  MPa  
 $\sigma_s = 410$  MPa  
 $E = 206000$  MPa  
 $\nu = 0,3$

**Obiettivi:**

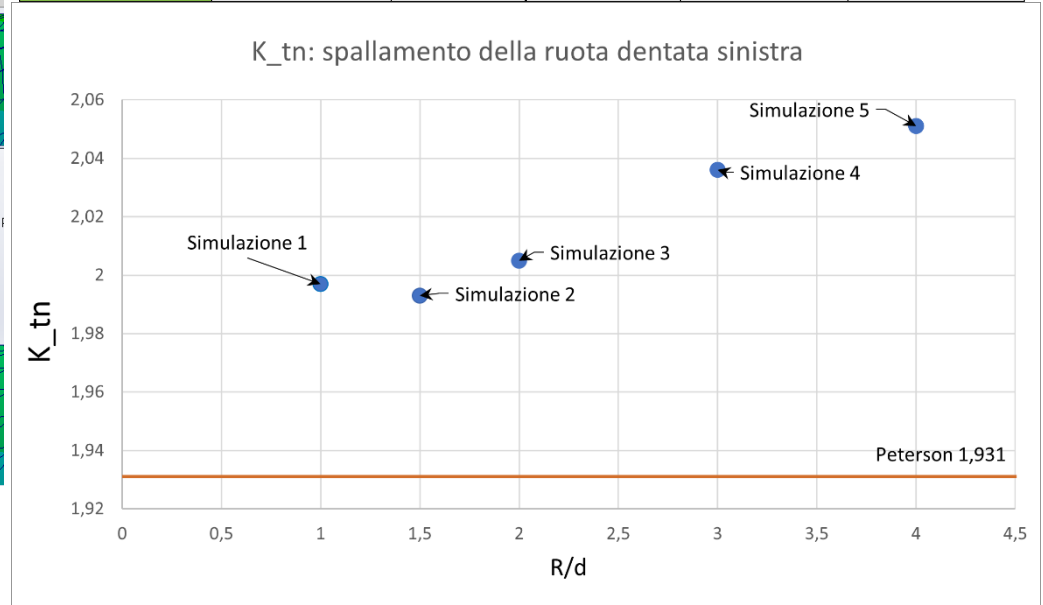
- 1) Analisi di sensibilità della mesh
- 2) Calcolo del  $K_{tn}$  tramite analisi FEM e confronto col valore ottenuto con il valore ottenuto dal manuale Peterson

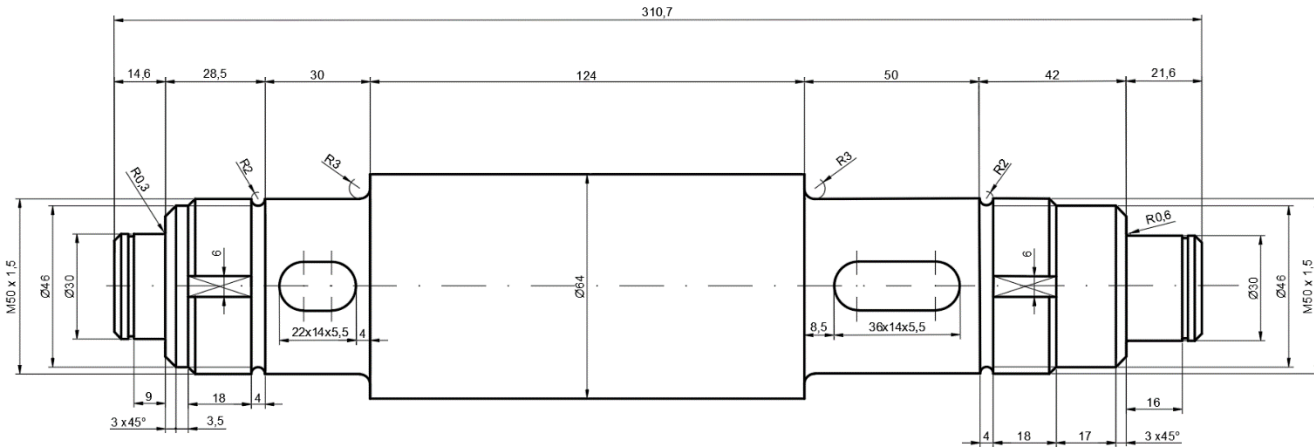
$$K_{tn} = \frac{\sigma_{pel}}{\sigma_n}, \sigma_n = 1 \text{ MPa} \rightarrow K_{tn} = \sigma_{pel}$$

N° simulazione	Dimensione elementi sul raccordo [mm]	R/d	K <sub>tn</sub>	Delta% tra risultati successivi	Delta% dal valore del Peterson[2]
1	3	1	1,997		3,42
2	2	1,5	1,993	0,20	3,21
3	1,5	2	2,005	0,60	3,83
4	1	3	2,036	1,55	5,44
5	0,75	4	2,051	0,74	6,21
Peterson			1,931		



$$K_{tg} \approx 2,05$$





### Dati:

$$F_{r2} = 563,9 \text{ N}$$

$$F_{r3} = 2454 \text{ N}$$

$$F_{t2} = 1549 \text{ N}$$

$$F_{t3} = 6744 \text{ N}$$

**Materiale:** C40 bonificato

$$\sigma_r = 645 \text{ MPa}$$

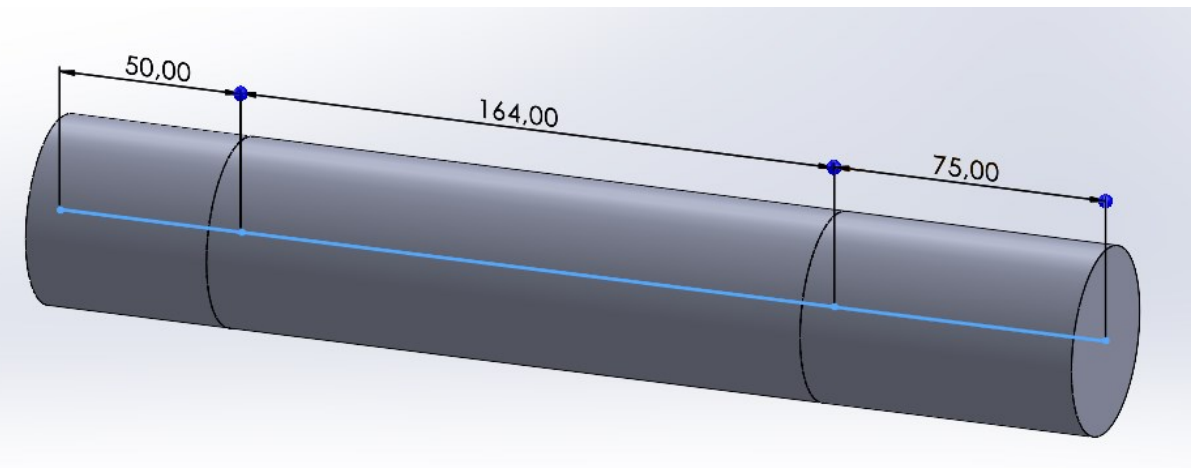
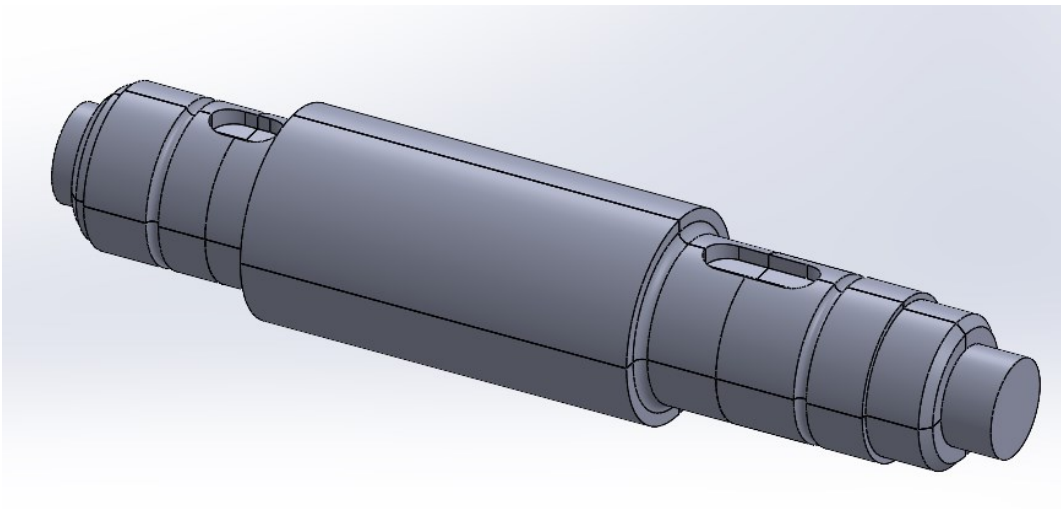
$$\sigma_s = 410 \text{ MPa}$$

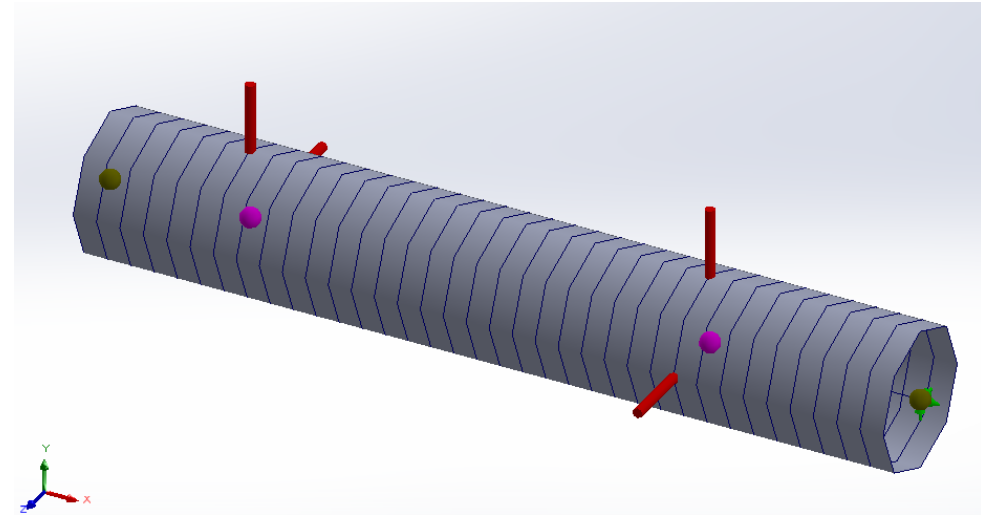
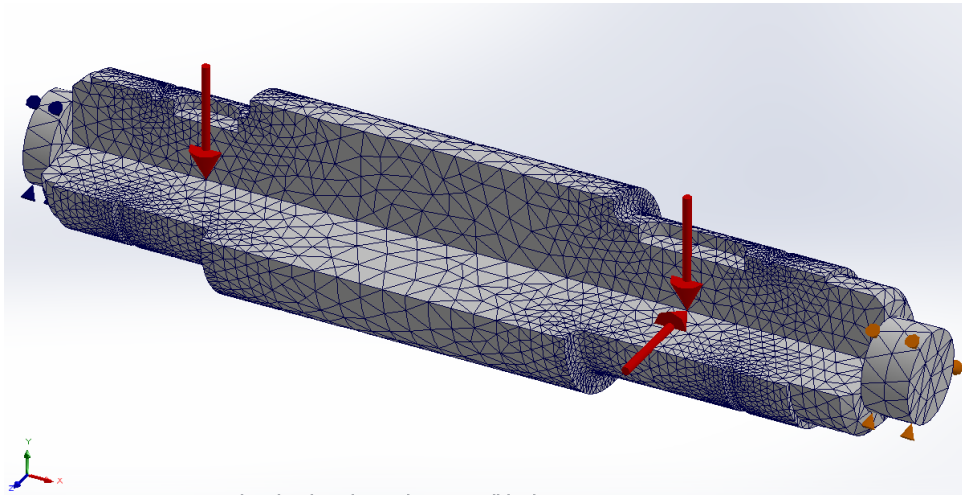
$$E = 206000 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,3$$

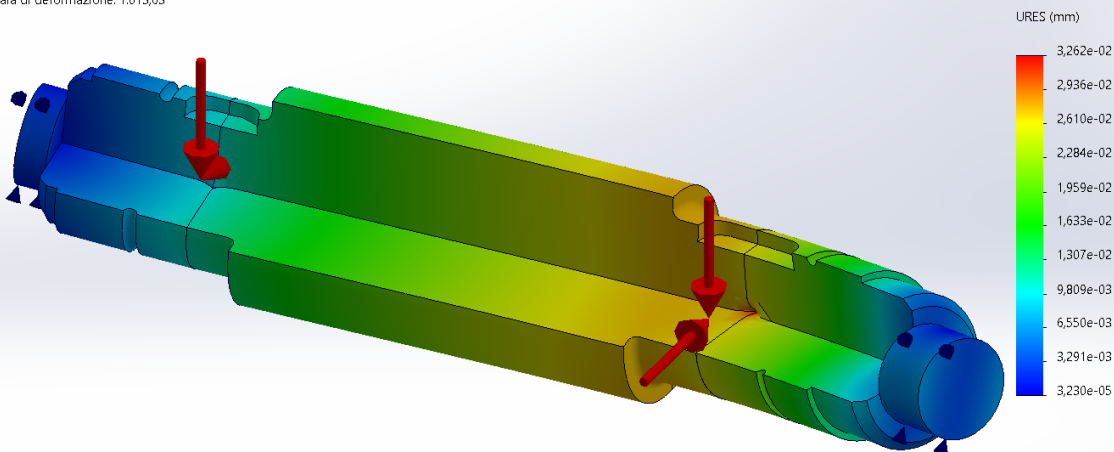
### Obiettivi:

- 1) Frecche e rotazioni utilizzando il modello tridimensionale
- 2) Frecche e rotazioni utilizzando un modello monodimensionale semplificato con diametro costante pari a quello sotto le ruote dentate
- 3) Confronto dei risultati ottenuti dai due modelli e quelli trovati analiticamente

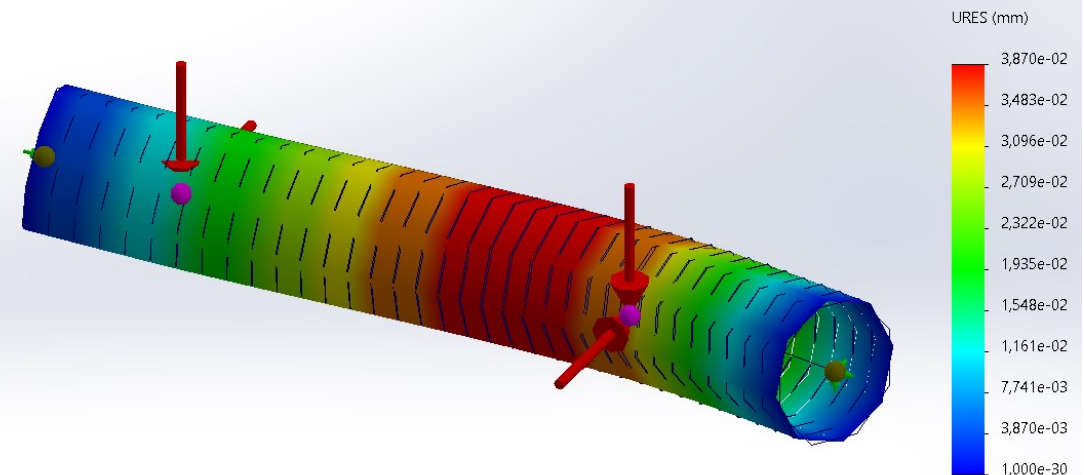




Nome del modello: albero\_3D\_deformabilità  
Nome studio: Analisi statica 3-(Default-)  
Tipo di grafico: Spostamento statico Spostamento1  
Scala di deformazione: 1.013,63

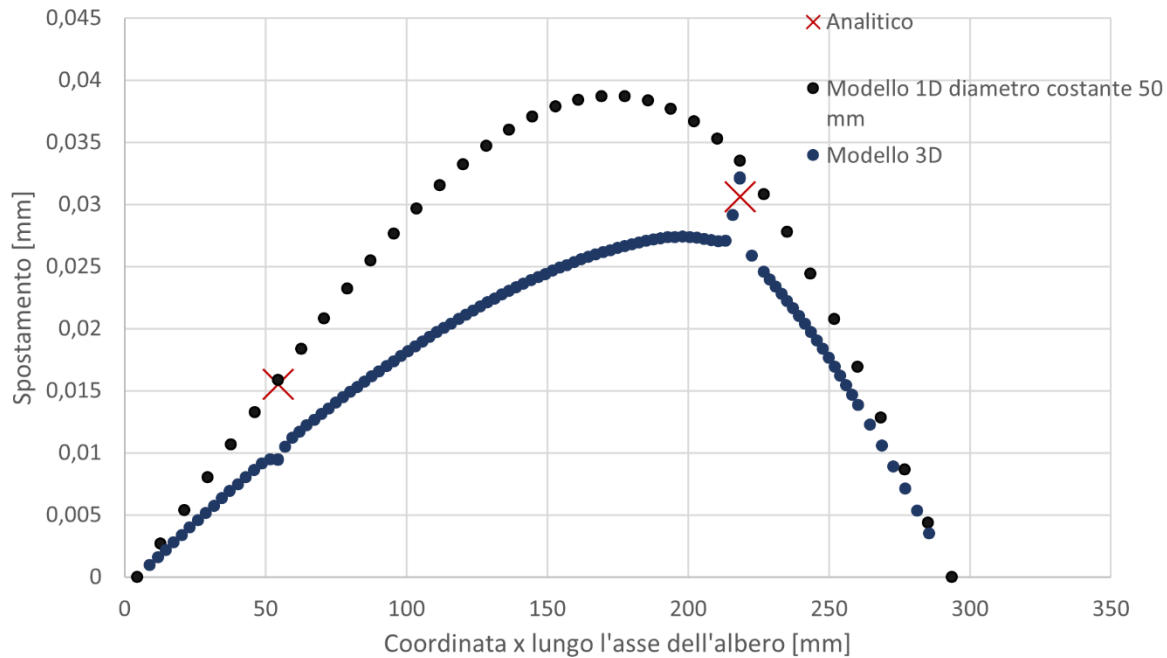


**Freccia complessiva modello tridimensionale**



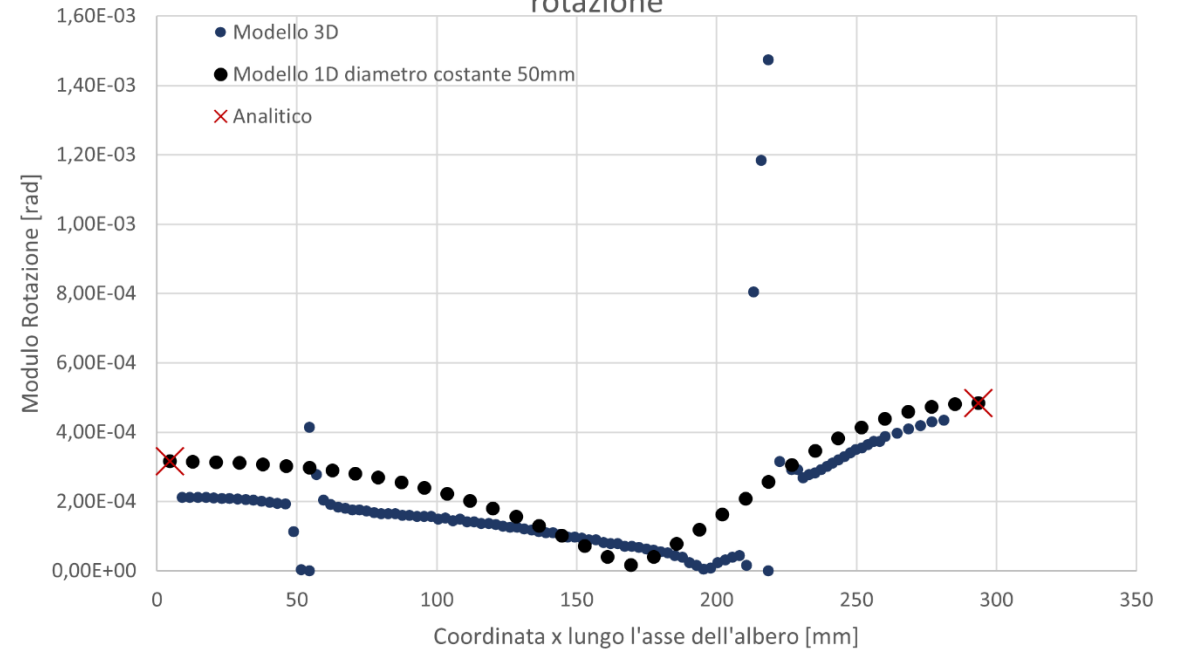
**Freccia complessiva modello monodimensionale**

Confronto tra i tre modelli dell'andamento della freccia



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

Confronto tra i tre modelli dell'andamento del modulo della rotazione

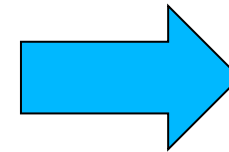


$$\varphi_S \leq \varphi_{lim} = 2,91 \cdot 10^{-3} \text{ rad (catalogo SKF)}$$

$$\varphi_D \leq \varphi_{lim} = 8,7 \cdot 10^{-4} \text{ rad (catalogo SKF)}$$

## 1) Determinazione del coefficiente $K_{tn}$ per alcune sezioni critiche per la vita a fatica

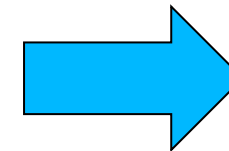
SEZIONE	$K_{tn}$	$K_{tn}$ Peterson	Dev.% Peterson
Spallamento cuscinetto sx	4,368	4,000	9,20
Gola di scarico	2,428	2,502	3,05
Spallamento ruota sx	2,051	1,931	6,21



I risultati ottenuti per la gola di scarico sono in linea con quelli teorici, mentre per gli spallamenti si ottengono dei coefficienti più alti in particolare per lo spallamento del cuscinetto a causa del piccolo raggio di raccordo e della difficoltà nel ricavare il valore teorico

## 2) Verifiche a deformabilità, frecce sotto le ruote dentate e rotazioni ai cuscinetti

MODELLO	$\varphi_S$ [rad]	$f_2$ [mm]	$f_3$ [mm]	$\varphi_D$ [rad]
3D	1,524E-04	0,0103	0,0266	3,645E-04
1D	3,158E-04	0,0158	0,0335	4,865E-04
Analitico	3,158E-04	0,0155	0,0306	4,836E-04



I risultati del modello tridimensionale risultano più bassi rispetto a quello monodimensionale (il quale rispecchia i risultati analitici), che risulta essere quindi in favore di sicurezza oltre che di più rapida esecuzione