

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

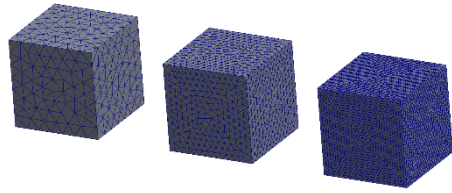
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
Analisi strutturali di un riduttore bistadio mediante
modelli FEM su Solidworks Simulation

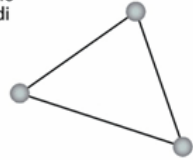
Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Nicolò Angi*

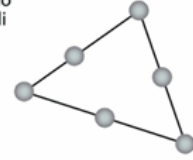
Padova, 18/11/2022



triangolo
a 3 nodi
(T3)



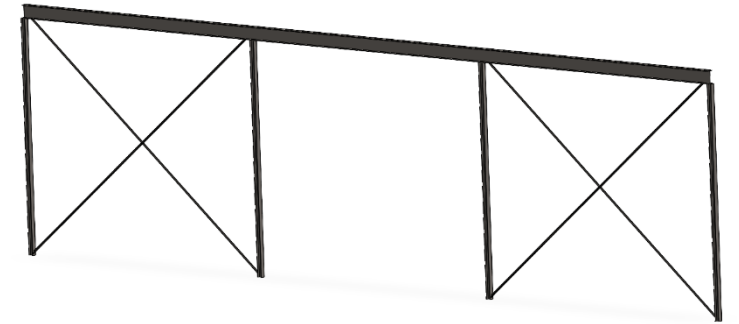
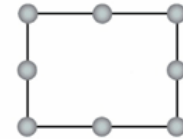
triangolo
a 6 nodi
(T6)



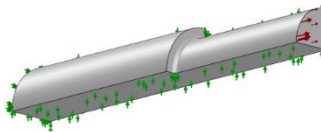
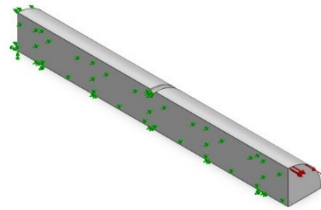
quadrilatero
a 4 nodi
(Q4)



quadrilatero
a 8 nodi
(Q8)



www.dii.unipd.it



Introduzione al
metodo degli
elementi finiti

Addestramento
a Solidworks
Simulation

Analisi dell'albero
intermedio del
riduttore

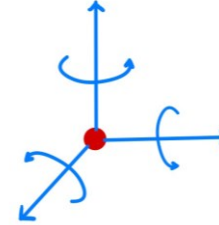
Introduzione al metodo degli elementi finiti:

➤ Definizioni di base:

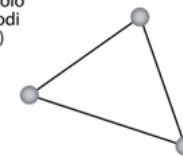
- Nodo
- Elemento finito
- Mesh

➤ Applicazione del metodo all'analisi statica:

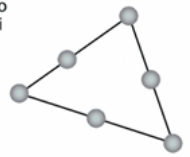
- Ipotesi dell'analisi statica lineare
- Passi del metodo agli elementi finiti applicato all'analisi statica lineare



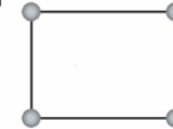
triangolo
a 3 nodi
(T3)



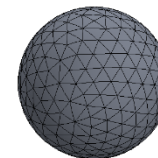
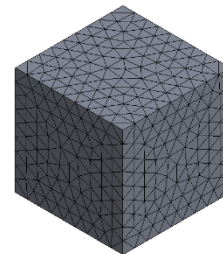
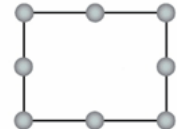
triangolo
a 6 nodi
(T6)

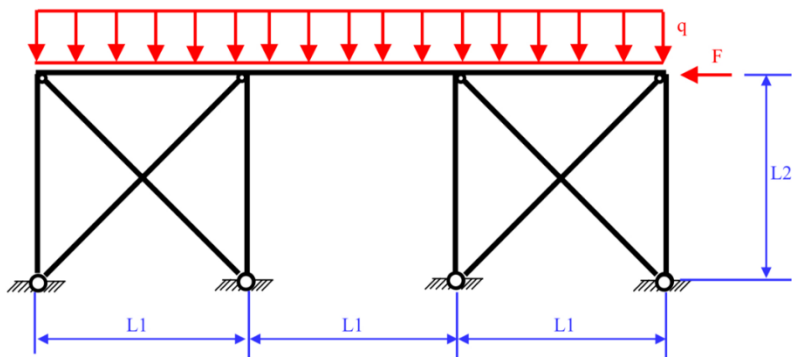


quadrilatero
a 4 nodi
(Q4)



quadrilatero
a 8 nodi
(Q8)





Dati:

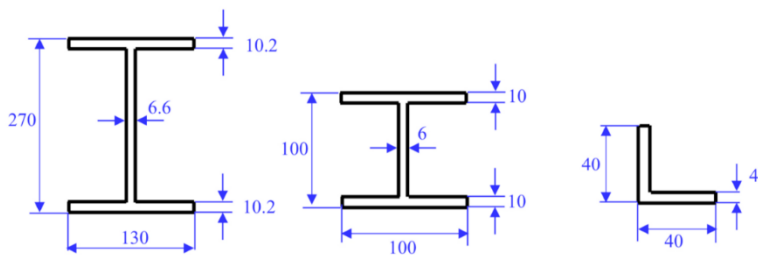
$L1 = 6000$ mm
 $L2 = 5000$ mm
 $F = 60$ kN
 $q = 20$ kN/m

Materiale: Fe430

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

- 1) Deformazione in termini di spostamenti ai nodi
- 2) Reazioni vincolari e diagrammi delle sollecitazioni
- 3) Verifica strutturale

Schema della struttura



Corrente superiore: IPE 270

Colonne: HE 100 B

Controventi: L 40x4

Profili delle travi

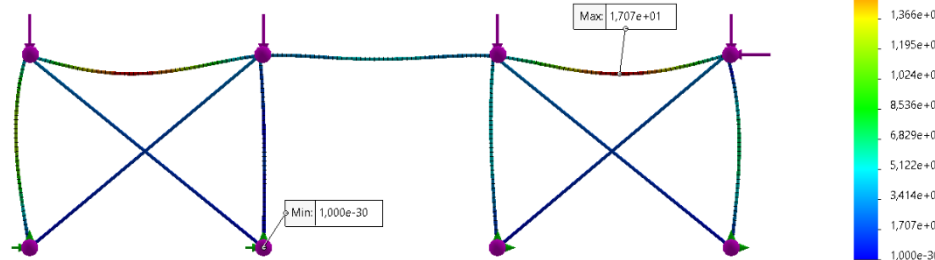
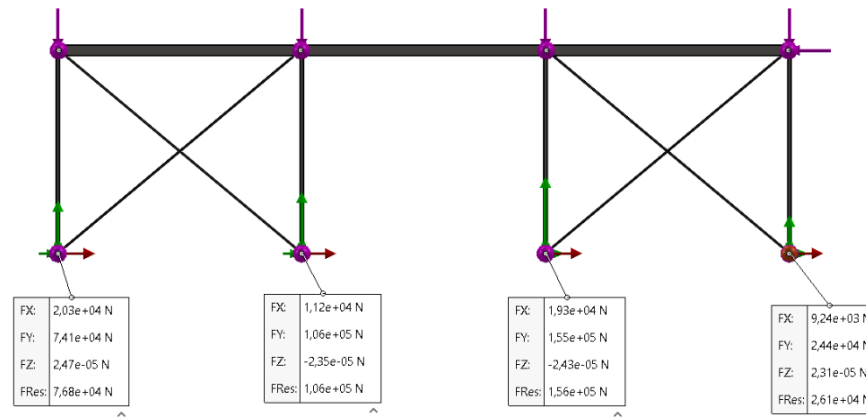
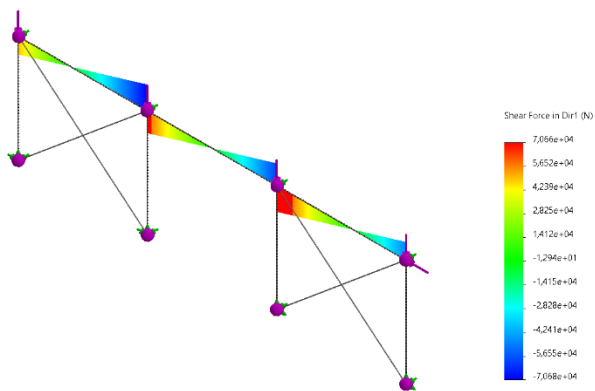


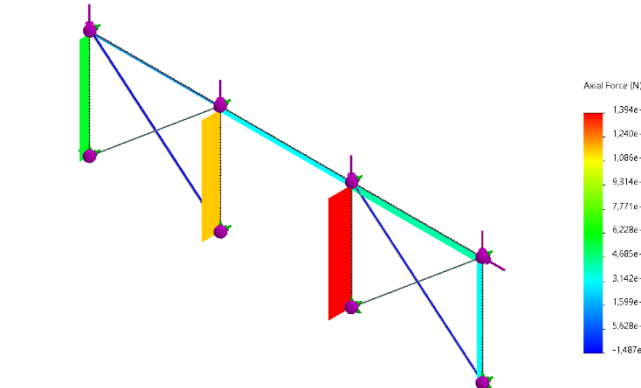
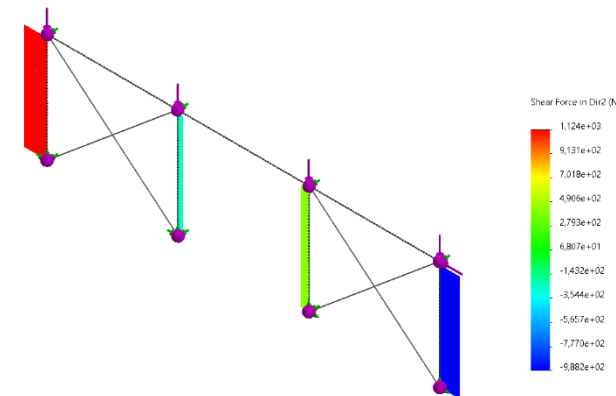
Grafico della deformazione



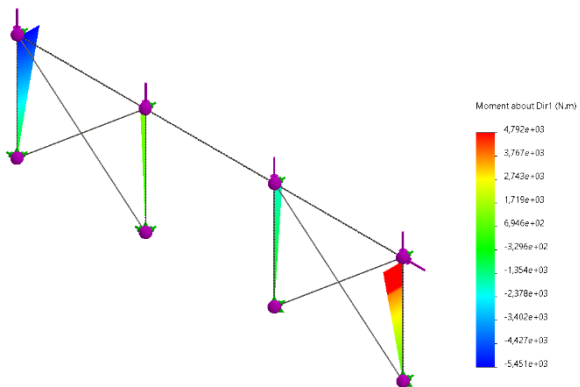
Reazioni vincolari



Sforzo di taglio T



Sforzo normale N



Momento M

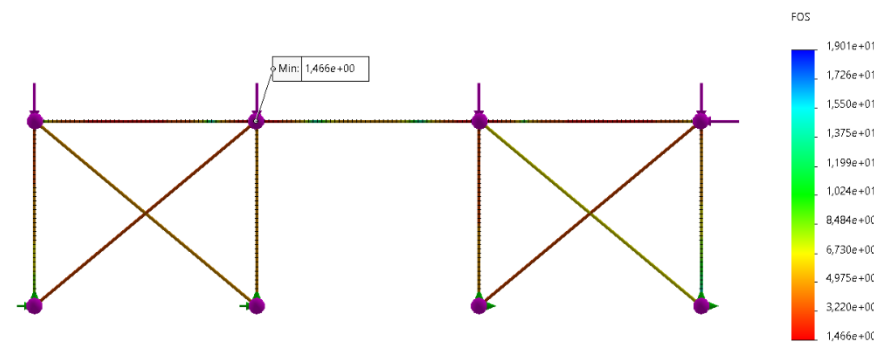
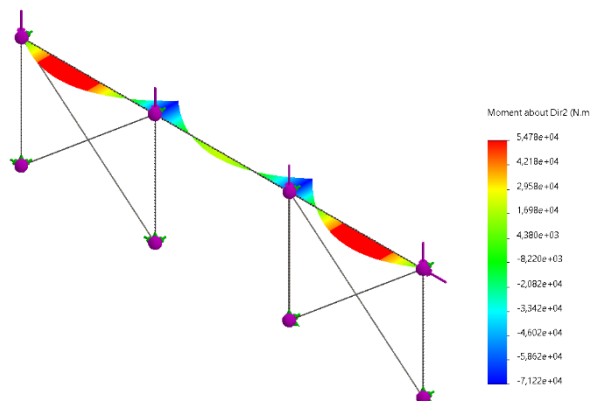
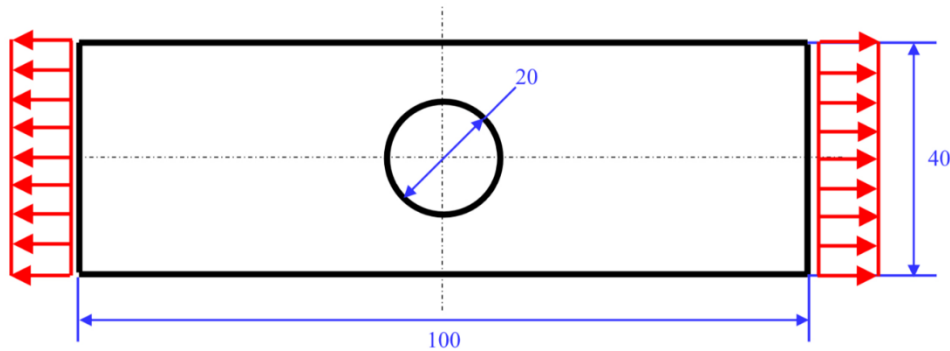


Grafico del coefficiente di sicurezza statico v_s

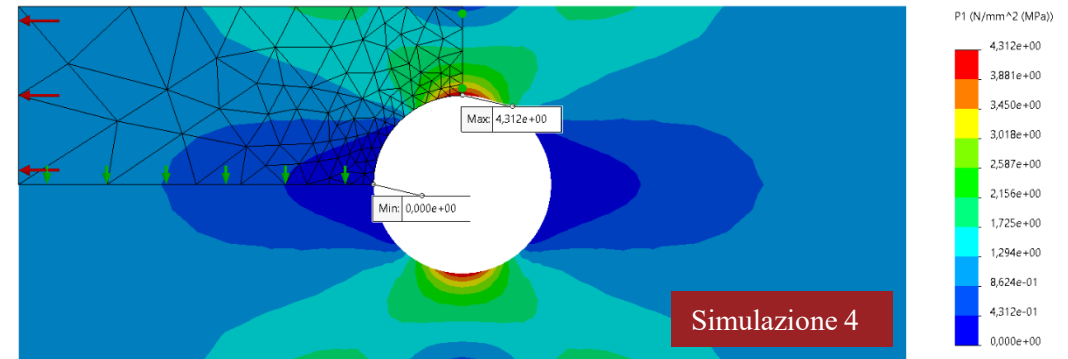
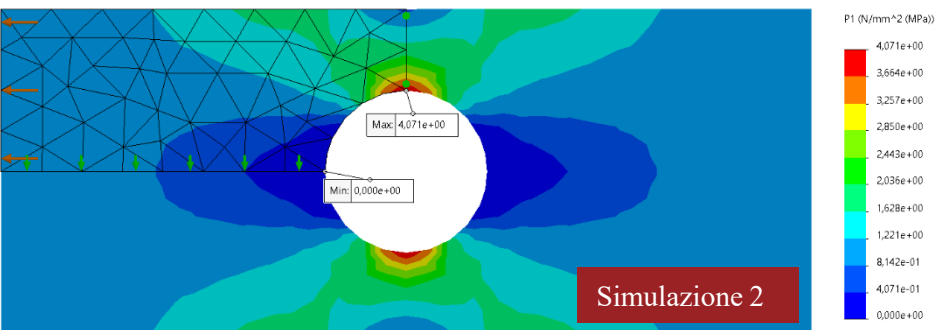
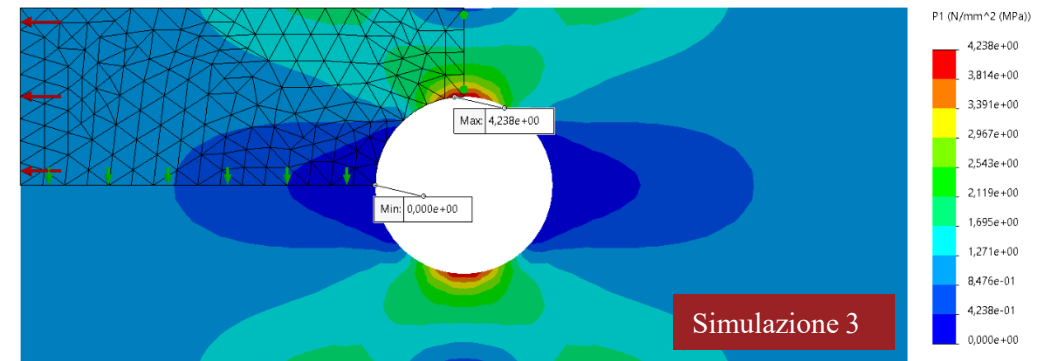
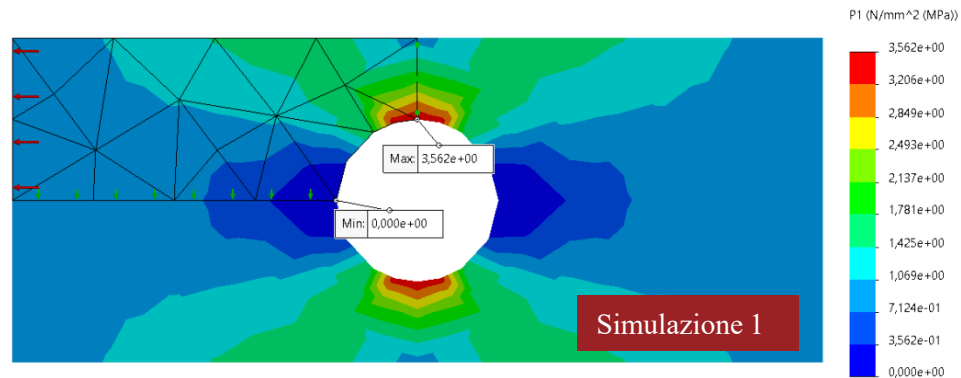
$$v_{s,\min} = 1,466 > 1,447 = v_{\text{amm}} = \sigma_s / \sigma_{\text{adm}}$$



Dati:
Spessore $w = 1$ mm
 $\sigma_{ng} = 1$ MPa

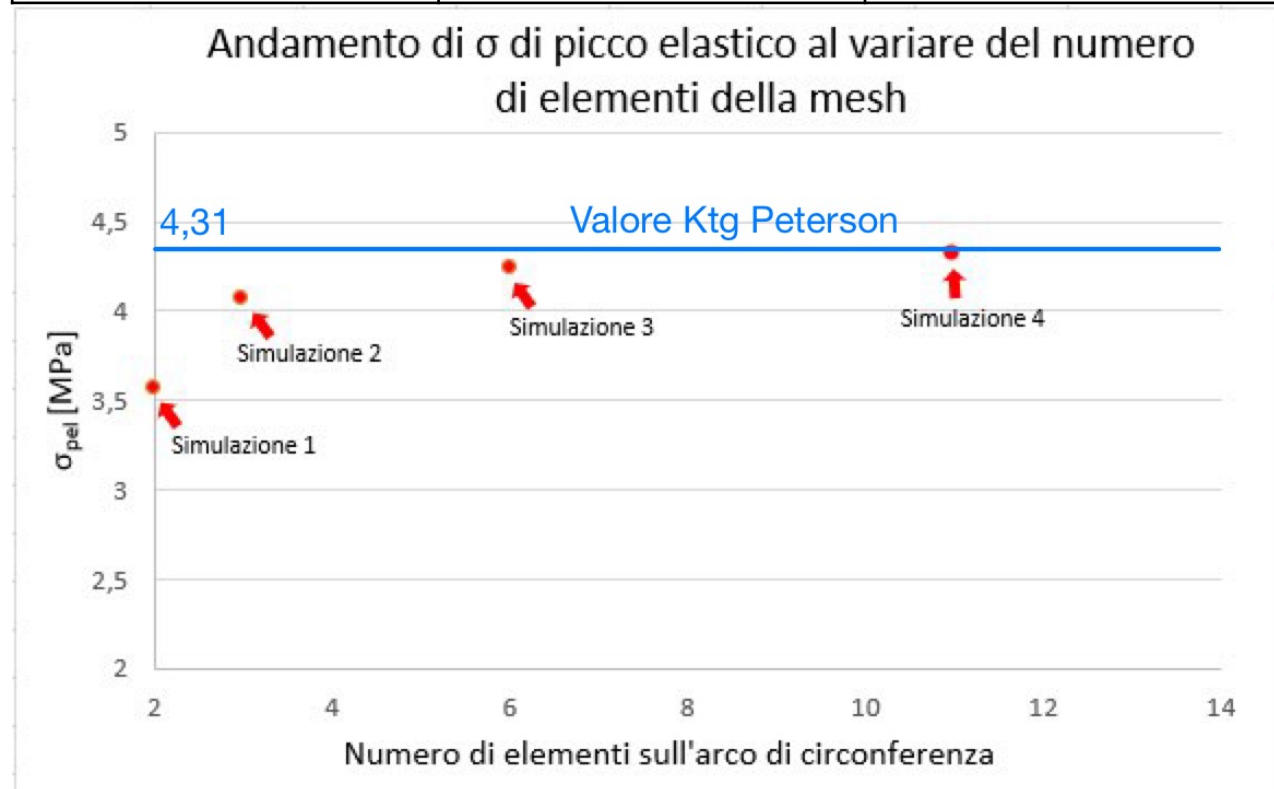
Materiale: Fe360
 $\sigma_r = 360$ MPa
 $E = 206000$ MPa
 $\nu = 0,3$

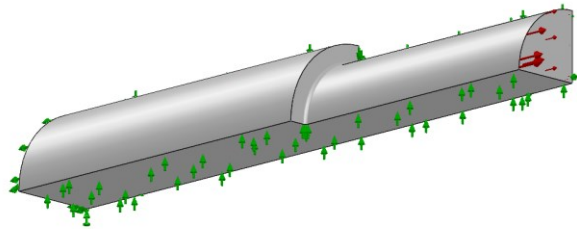
- 1) Analisi di sensibilità della mesh
- 2) Calcolo del K_{tg} dal grafico
- 3) Confronto con il valore fornito dal manuale del Peterson



$$K_{tg} = \sigma_{pel} / \sigma_{ng}$$

Nome	N° di elementi lungo la porzione di foro	K_{tg}
Simulazione 1	2	3,562
Simulazione 2	3	4,071
Simulazione 3	6	4,238
Simulazione 4	11	4,312





Dati:

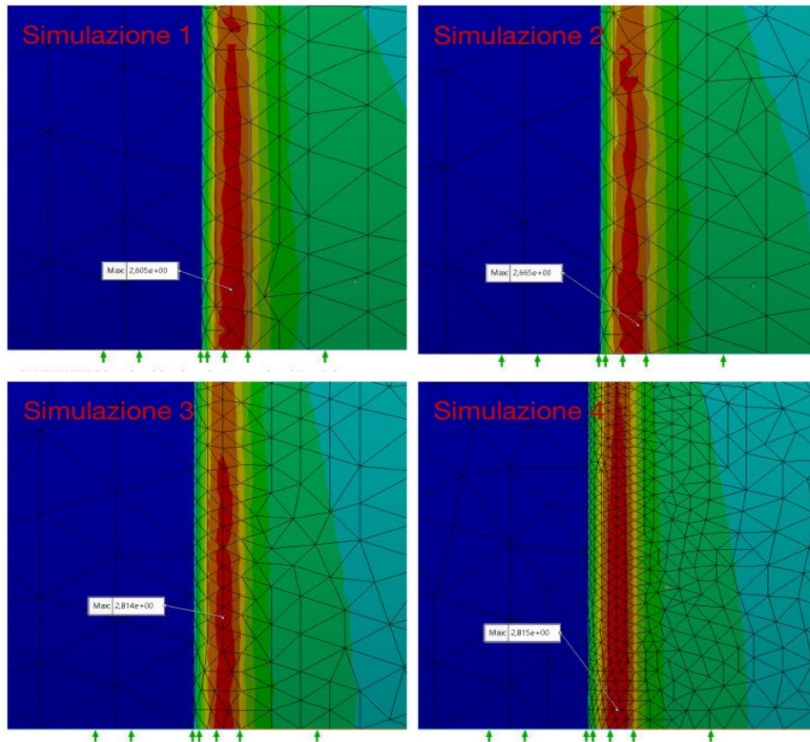
Diametro minore $d = 40$ mm
Diametro maggiore $D = 51$ mm
Raggio del raccordo $R = 1$ mm
 $\sigma_{mn} = 1$ MPa

Materiale: 39NiCrMo3

$\sigma_r = 880$ MPa
 $E = 206000$ MPa
 $\nu = 0,3$

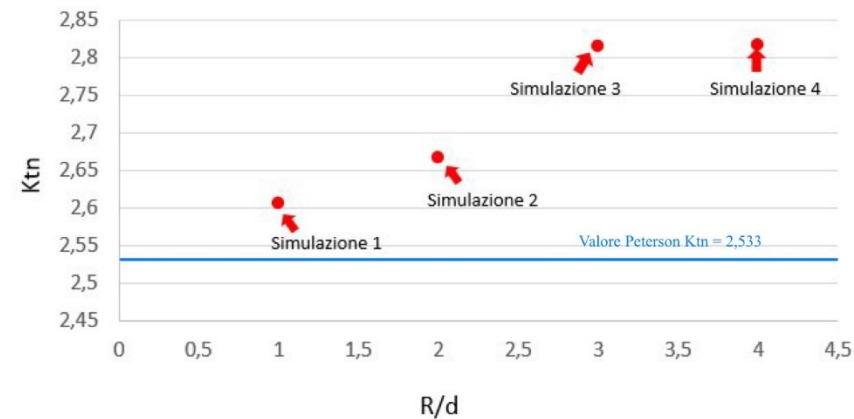
- 1) Analisi di sensibilità della mesh
- 2) Calcolo del K_{tn} dal grafico
- 3) Confronto con il valore fornito dal manuale del Peterson

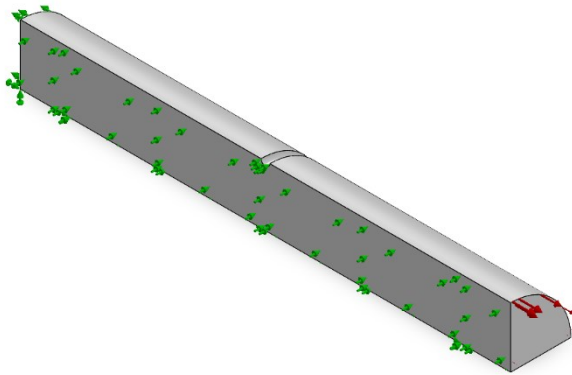
$$K_{tn} = \sigma_{pel} / \sigma_{mn}$$



N° simulazione	Dimensione elementi nel raccordo	R/d	K_{tn}	$\Delta\%$ del valore del Peterson [1]
Simulazione 1	1,00	1	2,605	2,8%
Simulazione 2	0,75 mm	1,33	2,665	5,0%
Simulazione 3	0,50 mm	2	2,814	10,0%
Simulazione 4	0,25 mm	4	2,815	10,0%

K_{tn} : spallamento cuscinetto





Dati:

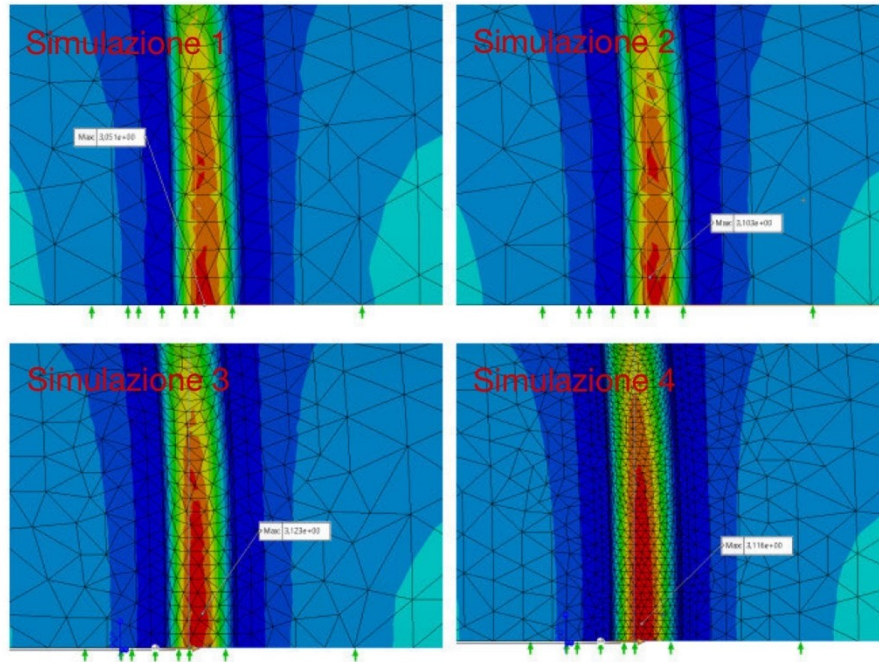
Diametro minore $d = 51$ mm
Diametro maggiore $D = 55$ mm
Raggio del raccordo $R = 2$ mm
 $\sigma_{ng} = 1$ MPa

Materiale: 39NiCrMo3

$\sigma_r = 880$ MPa
 $E = 206000$ MPa
 $\nu = 0,3$

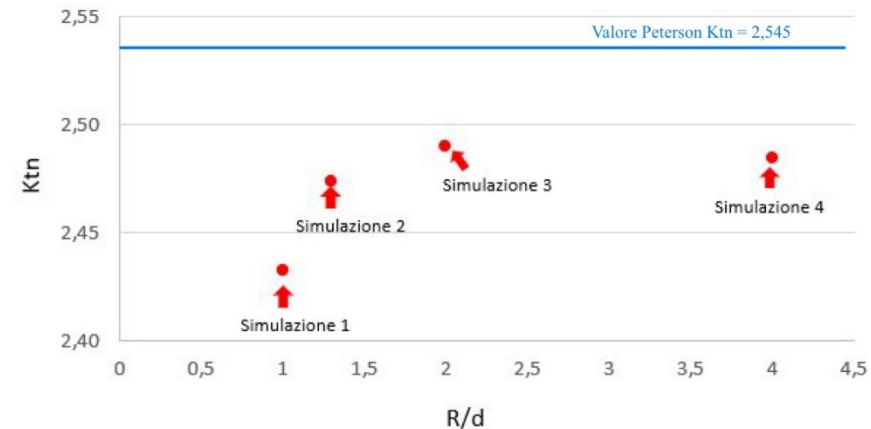
- 1) Analisi di sensibilità della mesh
- 2) Calcolo del K_{tn}
- 3) Confronto con il valore fornito dal manuale del Peterson

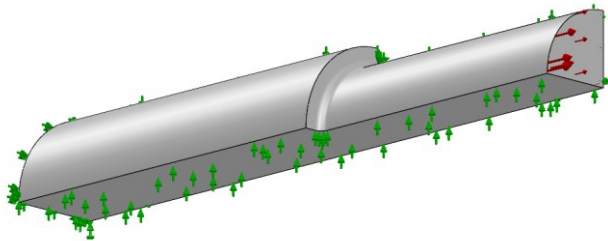
$$\frac{K_{tn}}{K_{tg}} = \frac{\sigma_{pel}/\sigma_{nn}}{\sigma_{pel}/\sigma_{ng}} = \frac{\sigma_{ng}}{\sigma_{nn}} = \frac{W_{fn}}{W_{fg}} = \frac{d^3}{D^3}$$



N° simulazione	Dimensione elementi nella gola di scarico	R/d	K_{tg}	K_{tn}	$\Delta\%$ del valore del Peterson [1]
Simulazione 1	2,00 mm	1	3,051	2,433	4,6%
Simulazione 2	1,50 mm	1,3	3,103	2,474	2,9%
Simulazione 3	1,00 mm	2	3,123	2,490	2,2%
Simulazione 4	0,50 mm	4	3,116	2,484	2,4%

Ktn: gola di scarico





Dati:

Diametro minore $d = 55$ mm
Diametro maggiore $D = 70$ mm
Raggio del raccordo $R = 3$ mm
 $\sigma_{mn} = 1$ MPa

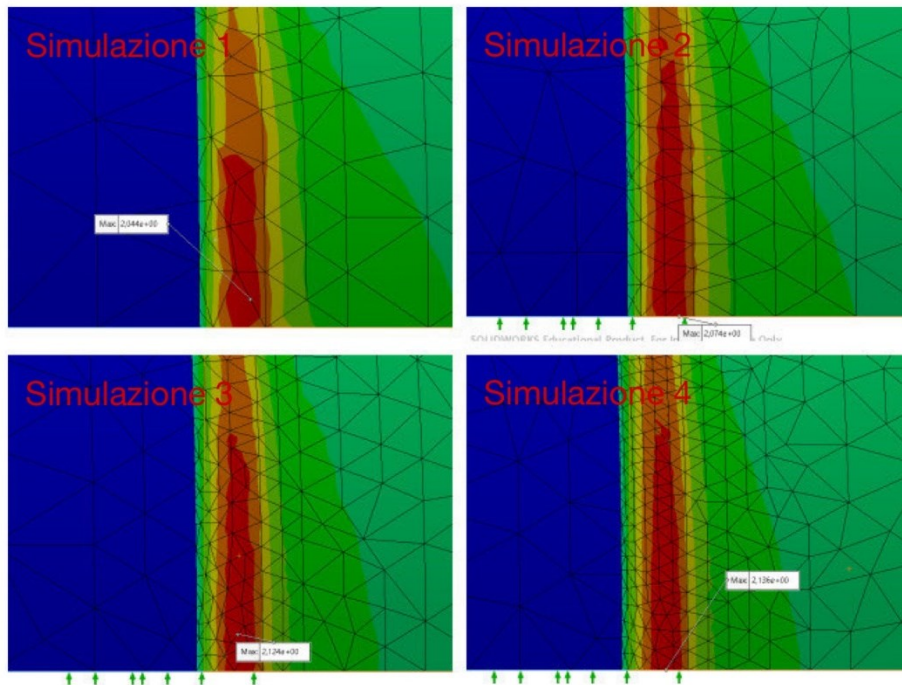
Materiale: 39NiCrMo3

$\sigma_r = 880$ MPa
 $E = 206000$ MPa
 $\nu = 0,3$

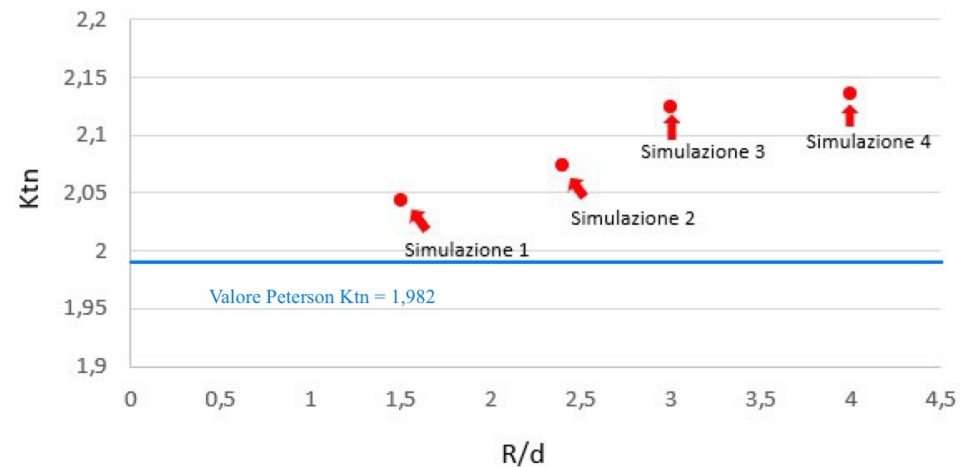
- 1) Analisi di sensibilità della mesh
- 2) Calcolo del K_{tn} dal grafico
- 3) Confronto con il valore fornito dal manuale del Peterson

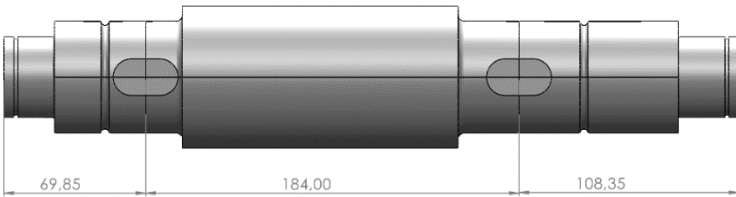
$$K_{tn} = \sigma_{pel} / \sigma_{mn}$$

N° simulazione	Dimensione elementi nel raccordo	R/d	K_{tn}	$\Delta\%$ del valore del Peterson [1]
Simulazione 1	2,00 mm	1,5	2,044	3,0%
Simulazione 2	1,25 mm	2,4	2,074	4,4%
Simulazione 3	1,00 mm	3	2,124	6,6%
Simulazione 4	0,75 mm	4	2,136	7,2%



K_{tn} : spallamento ruota





Dati:

Componente radiale della forza trasferita alla ruota 2 (di sinistra), $Fr_2 = 1243 \text{ N}$;
Componente tangenziale della forza trasferita alla ruota 2, $Ft_2 = 3416 \text{ N}$;
Componente radiale della forza trasferita alla ruota 3 (di destra), $Fr_3 = 4974 \text{ N}$;
Componente tangenziale della forza trasferita alla ruota 3, $Ft_3 = 13665 \text{ N}$.

Materiale: 39NiCrMo3
 $\sigma_r = 880 \text{ MPa}$
 $E = 206000 \text{ MPa}$
 $\nu = 0,3$

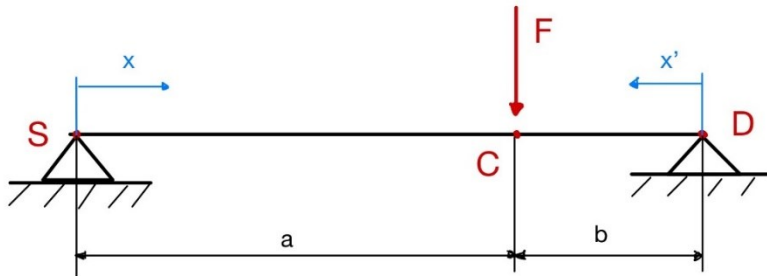
- 1) Calcolo di frecce e rotazioni utilizzando un modello solido tridimensionale
- 2) Calcolo di frecce e rotazioni utilizzando un modello monodimensionale
- 3) Confronto dei risultati ottenuti dai due modelli con quelli trovati analiticamente

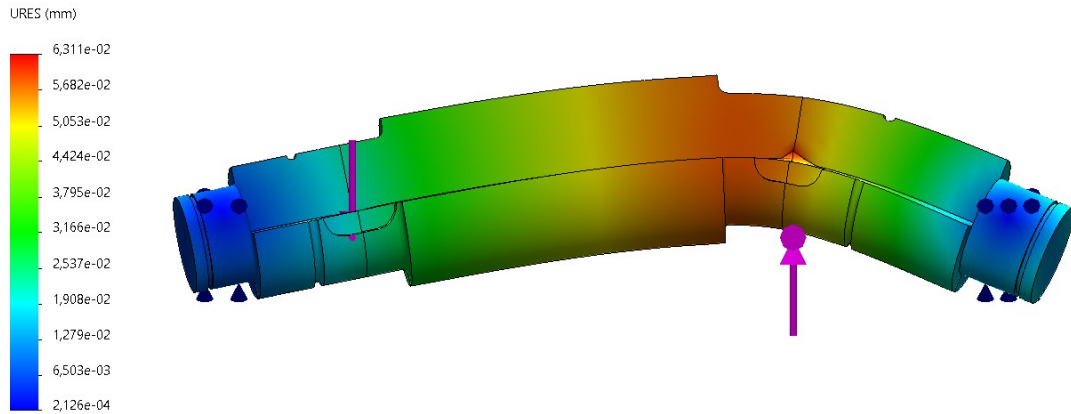
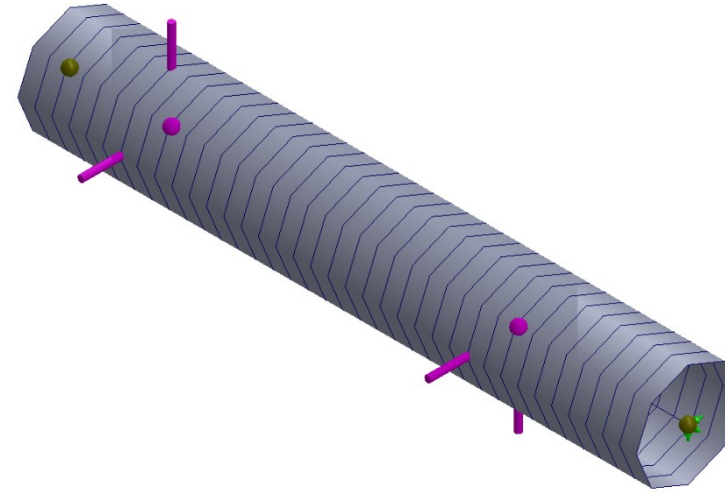
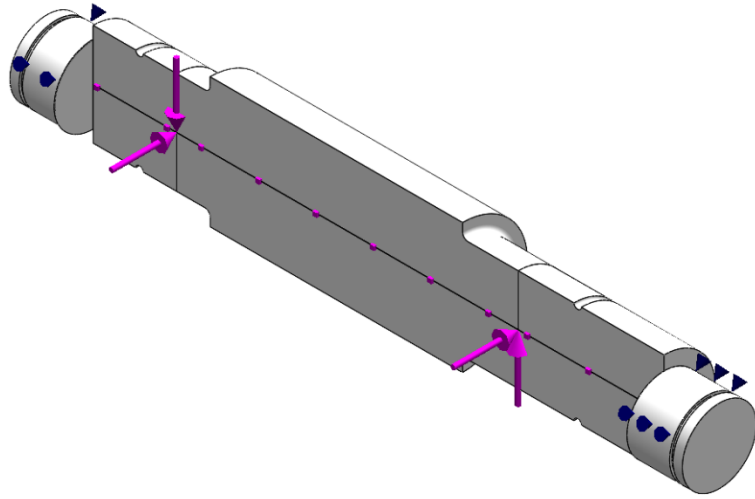
$$f(x) = \frac{1}{6} \frac{F}{EJ} \frac{a^2 b^2}{L} \left(\frac{2x}{a} + \frac{x}{b} + \frac{x^3}{a^2 b} \right) \quad \text{da S a C;}$$

$$f(x') = \frac{1}{6} \frac{F}{EJ} \frac{a^2 b^2}{L} \left(\frac{2x'}{a} + \frac{x'}{b} + \frac{x'^3}{a b^2} \right) \quad \text{da D a C;}$$

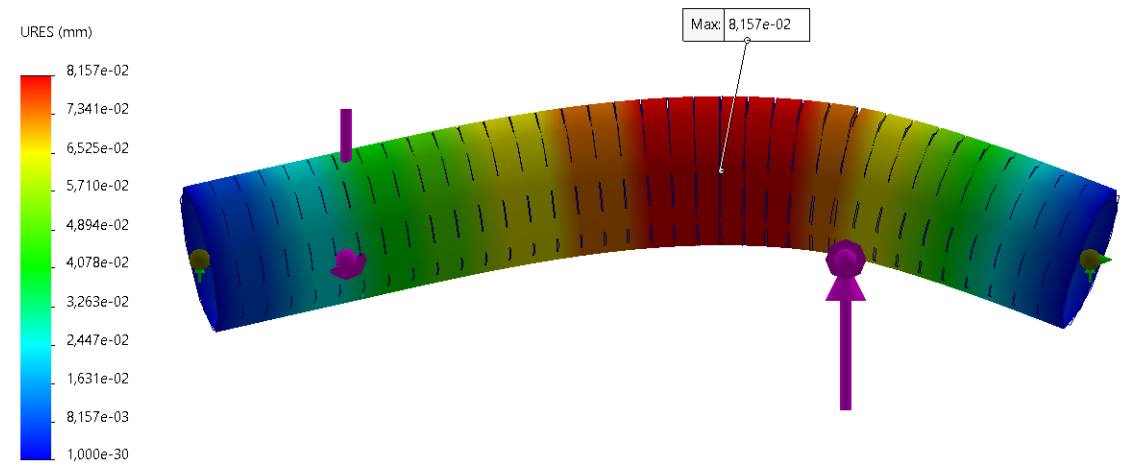
$$\text{Rotazione in corrispondenza del cuscinetto di sinistra, } \varphi_s = \frac{Fb(l^2 - b^2)}{6EJ_{eq}l};$$

$$\text{Rotazione in corrispondenza del cuscinetto di destra, } \varphi_d = \frac{Fa(l^2 - a^2)}{6EJ_{eq}l}.$$

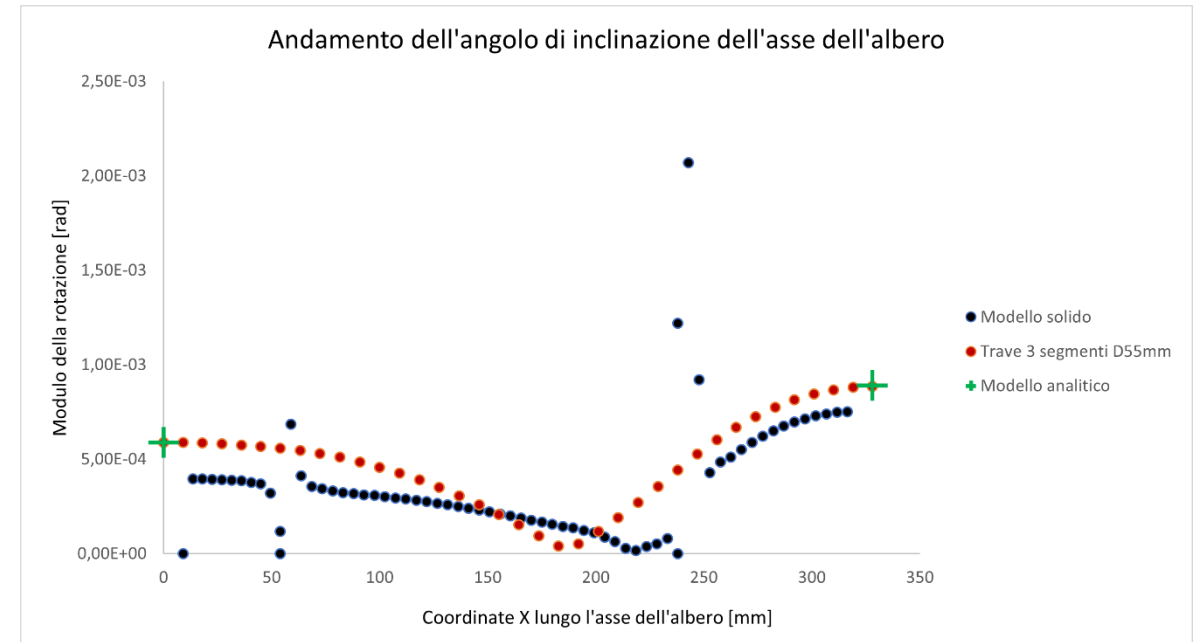
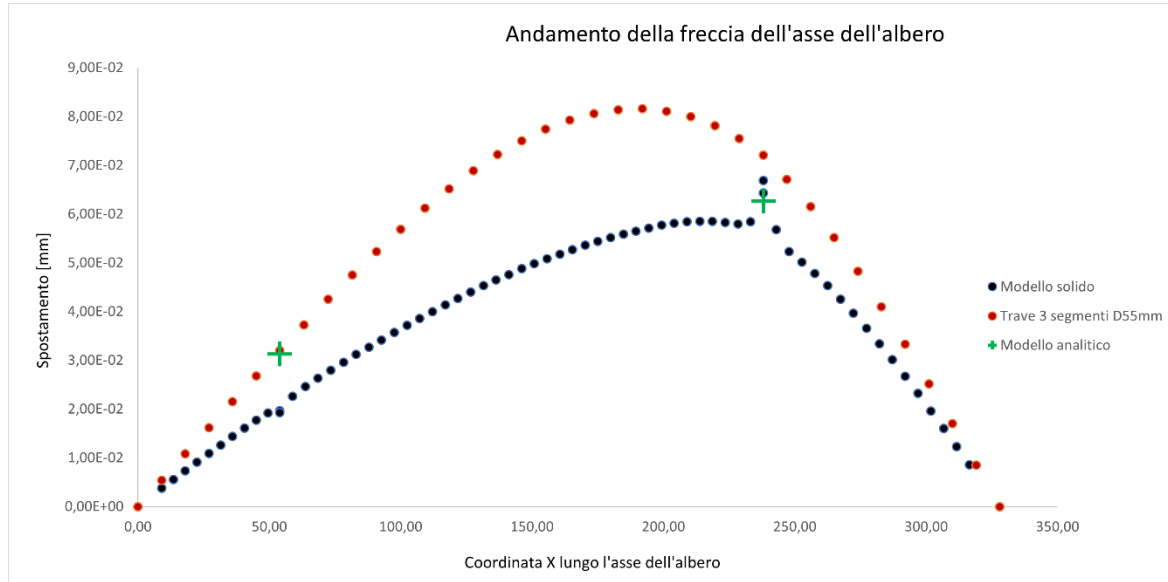




Freccia modello solido tridimensionale



Freccia modello monodimensionale



Modello:	f_{\max}	φ_{\max}
Modello solido tridimensionale	6,693-02 mm	7,52e-04 rad
Modello monodimensionale	8,157e-02 mm	8,85-04 rad
Modello analitico	6,628e-02 mm	8,85e-04 rad

Modello migliore in termini di sicurezza e costo computazionale

Freccia limite per riduttori (ASME)
 $f_{\text{amm}} = 1,27e-0.1 \text{ mm}$

Adottare cuscinetti con un disallineamento ammissibile di almeno 4'

