

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

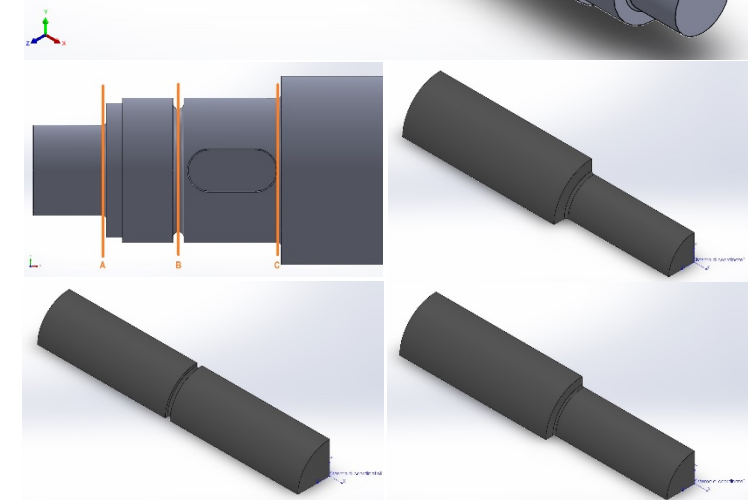
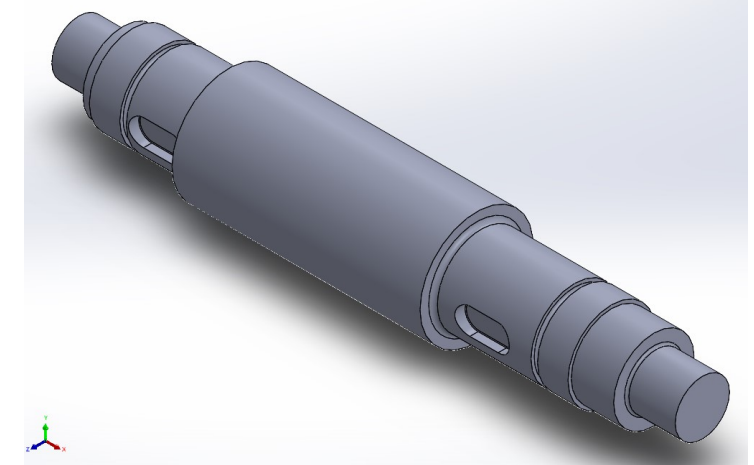
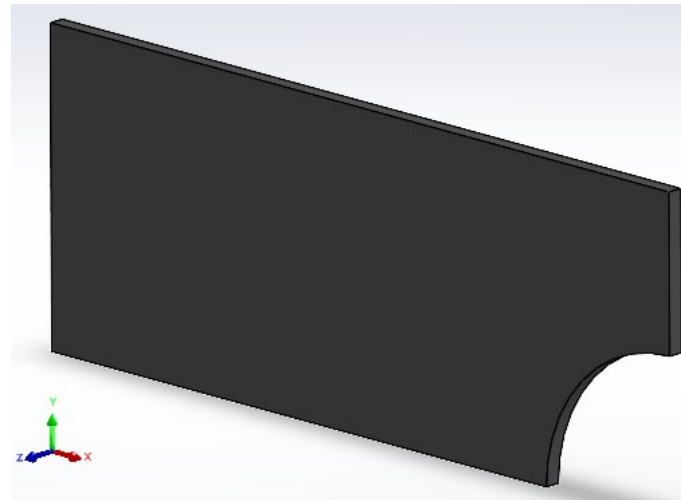
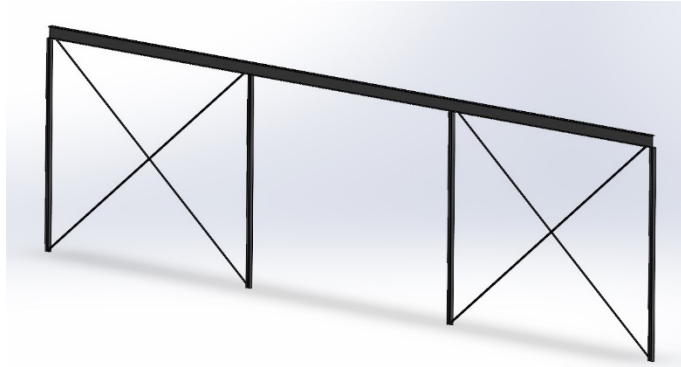
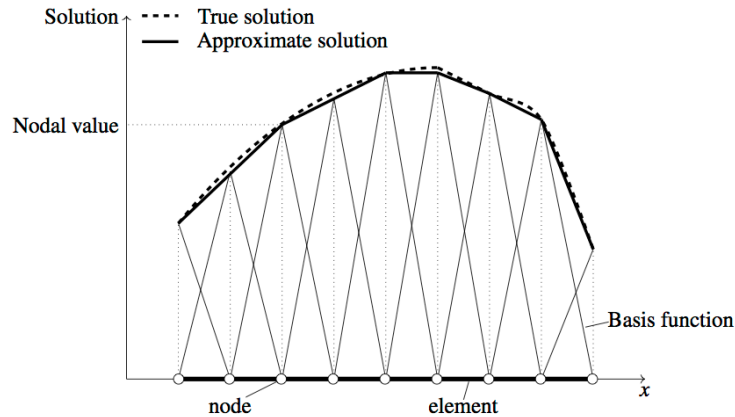
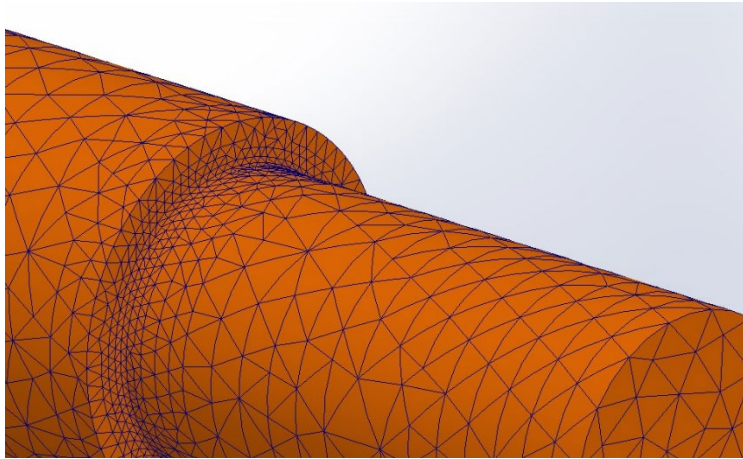
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
ANALISI STRUTTURALI DI UN ALBERO PER RIDUTTORE
BISTADIO MEDIANTE MODELLI FEM SU SOLIDWORKS
SIMULATION

Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Antonio Zenatto*

Padova, 11/03/2022



Obiettivi dell'analisi FEM dell'albero

- Stato tensionale
- Stato di deformazione
- Confronto con risultati analitici

Introduzione sul metodo degli elementi finiti

- Discretizzazione dominio
- Funzioni di forma
- Tipologie mesh

Addestramento a Solidworks Simulation

- Analisi FEM telaio piano
- Analisi FEM piastra forata

Analisi FEM dell'albero intermedio

- Calcolo K_t
- Verifiche a deformabilità

Costruzione
geometrica

Analisi FEM
elementi trave

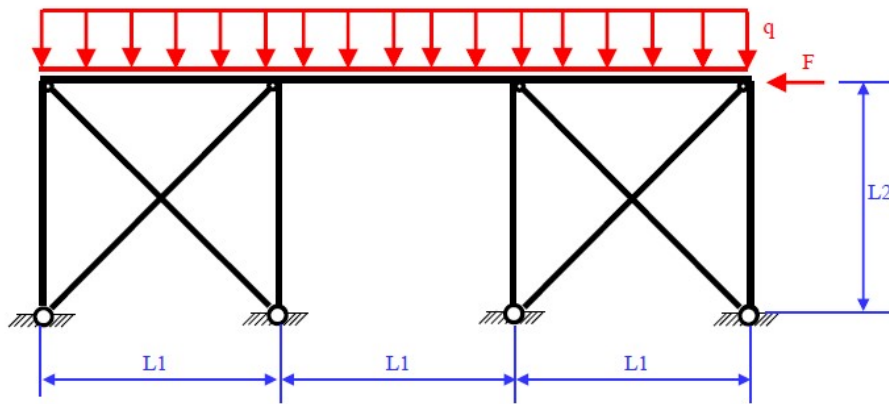
Deformata della
struttura

Reazioni
vincolari

Diagrammi
sollecitazioni

Verifiche
strutturali

1 ANALISI DI UN TELAIO PIANO



DATI

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

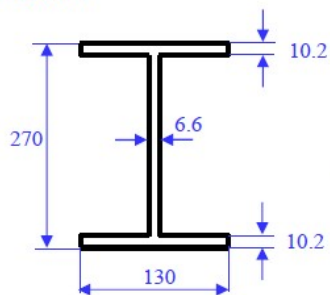
MATERIALE

Acciaio Fe 430
 $\sigma_{adm} = 190 \text{ MPa}$
 $E = 206000 \text{ MPa}$
 $\nu = 0.3$

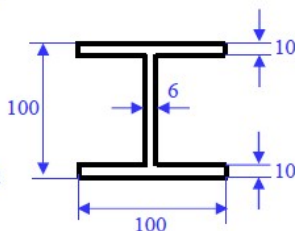
PROFILI ADOTTATI

Corrente superiore: IPE 270
Colonne: HE 100 B
Controventi: L 40x4

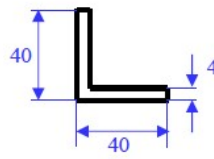
PROFILI



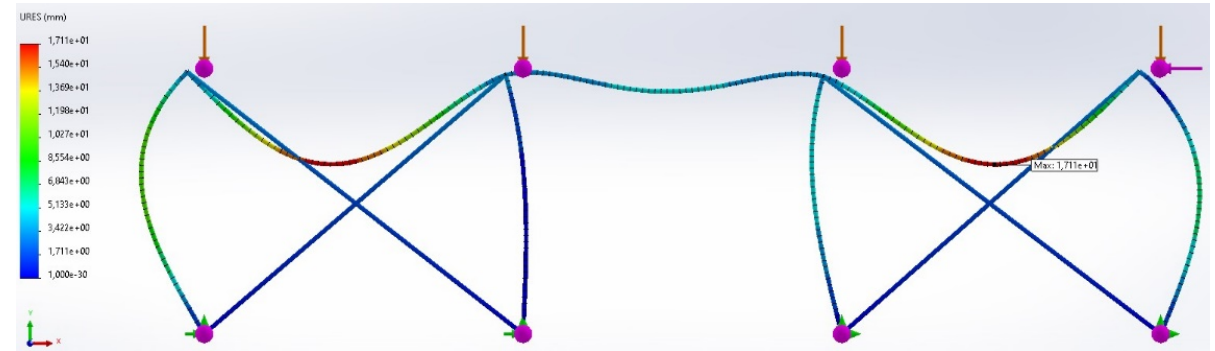
Corrente superiore: IPE 270



Colonne: HE 100 B



Controventi: L 40x4



Deformata telaio piano, rappresentazione grafica spostamento nodale, scala 107,389.

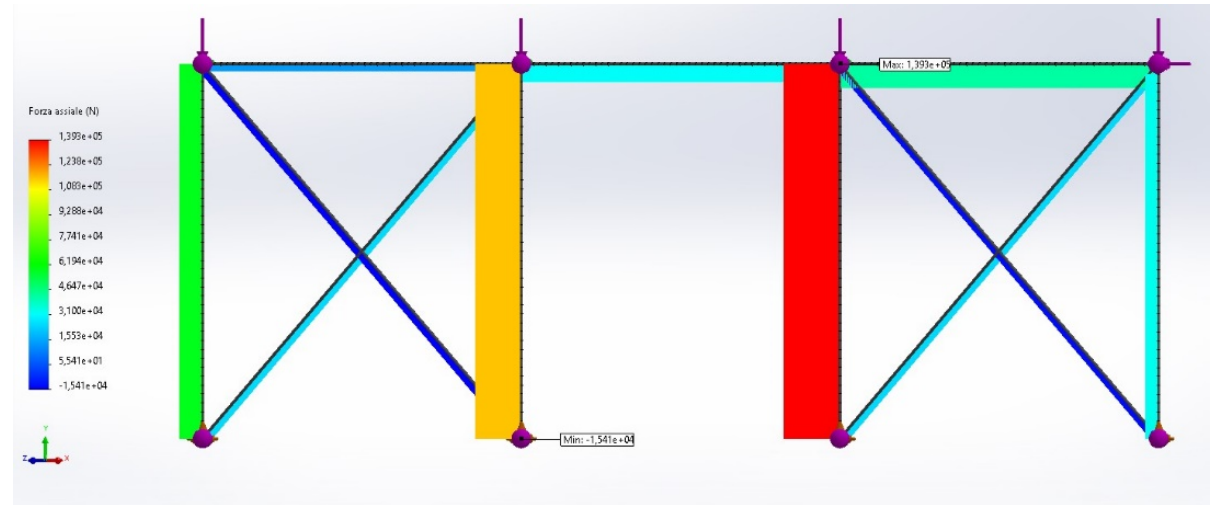


Diagramma sforzo assiale (N) applicato alle travi.

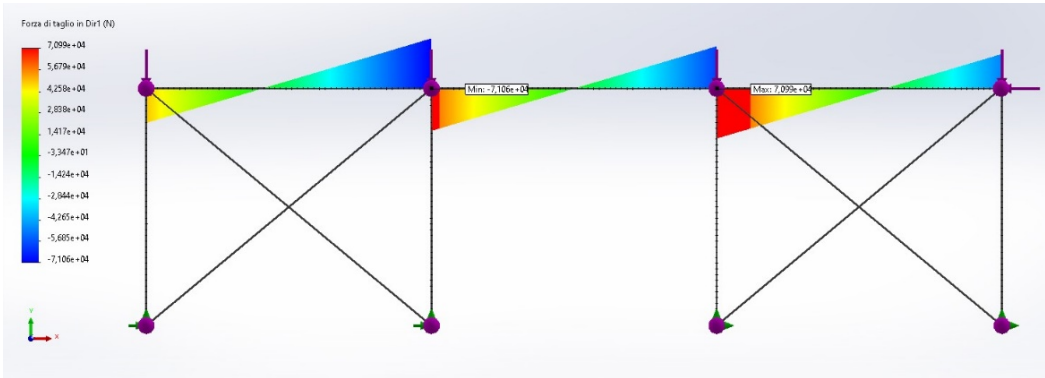


Diagramma taglio (N) lungo asse y, trave superiore.

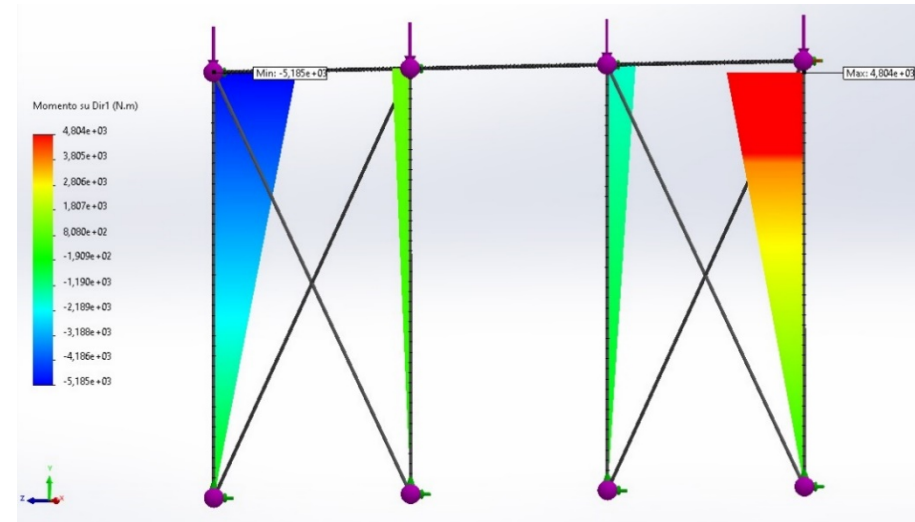


Diagramma momento flettente (N·m), colonne.

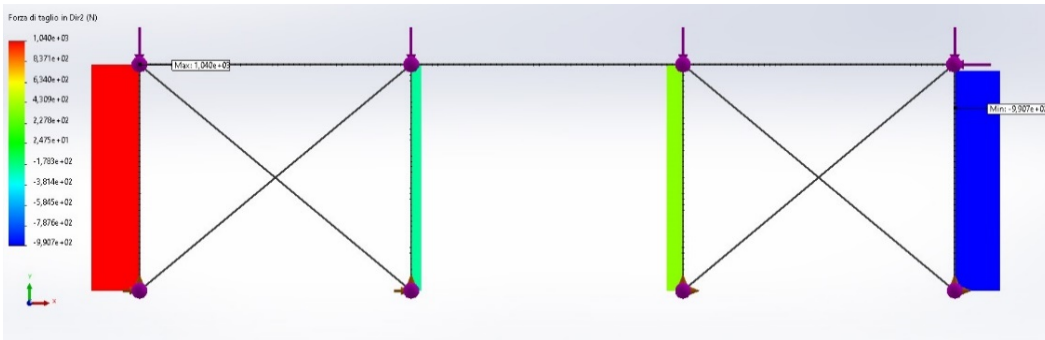


Diagramma taglio (N) lungo asse x, colonne.

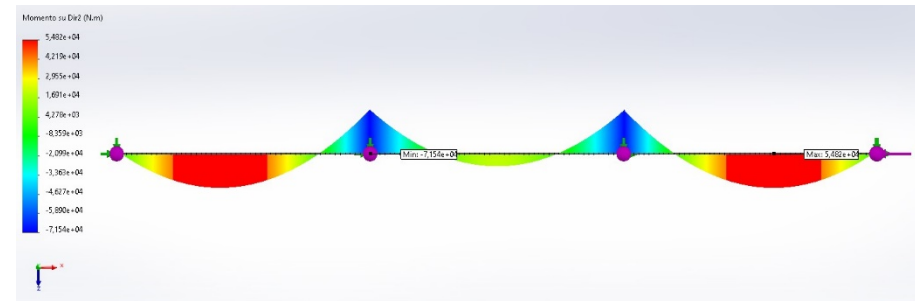


Diagramma momento flettente (N·m), trave superiore.

	σ_N (N/mm ²)	σ_{Mf} (N/mm ²)	σ_{tot} (N/mm ²)	σ_{adm} (N/mm ²)
IPE 270 (1)	7,36	181,11	188,47	190
IPE 270 (2)	9,81	177,49	187,30	
HE 100 B (1)	23,71	59,97	83,68	
HE 100 B (2)	56,17	20,72	76,89	
L 40x4	81,18	/	81,18	

Tensioni assiali sezioni più sollecitate del telaio, confronto con tensione ammissibile materiale σ_{adm} .

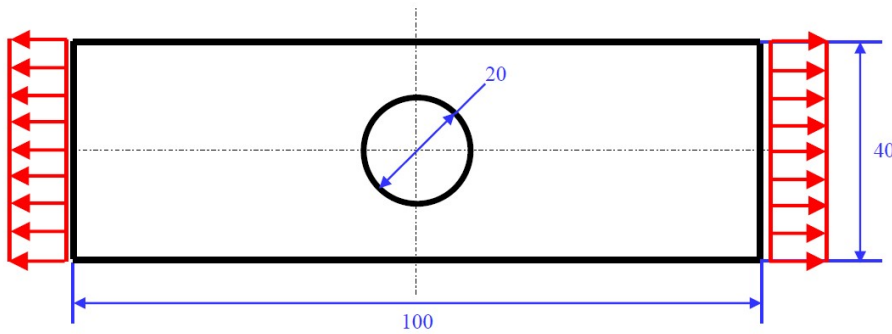
Costruzione geometrica

Analisi FEM bidimensionale

Sensibilità della mesh

Calcolo K_{tg}

2 PIASTRA FORATA SOLLECITATA A TRAZIONE

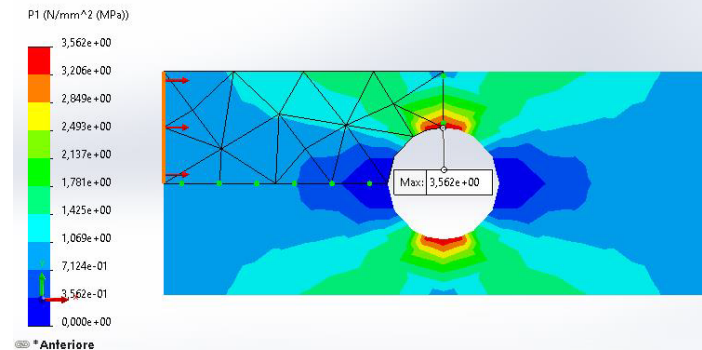


DATI
Spessore piastra = 1 mm

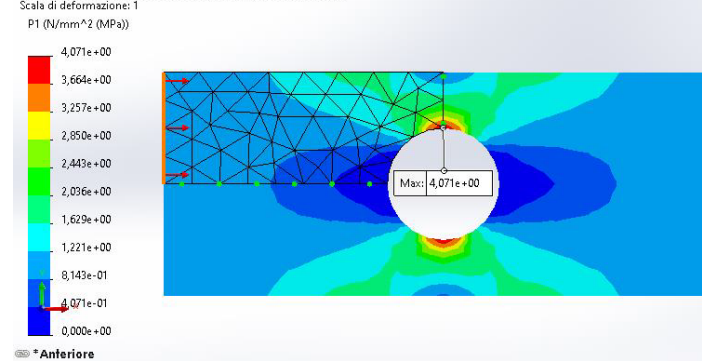
MATERIALE
Acciaio Fe 360
 $E=206000$ MPa, $\nu=0.3$

	Analisi 1	Analisi 2	Analisi 3	Analisi 4
Dimensione massima elemento	10 mm	5 mm	2,5 mm	1,2 mm
Sollecitazione massima	3,562 N/mm ²	4,071 N/mm ²	4,239 N/mm ²	4,297 N/mm ²

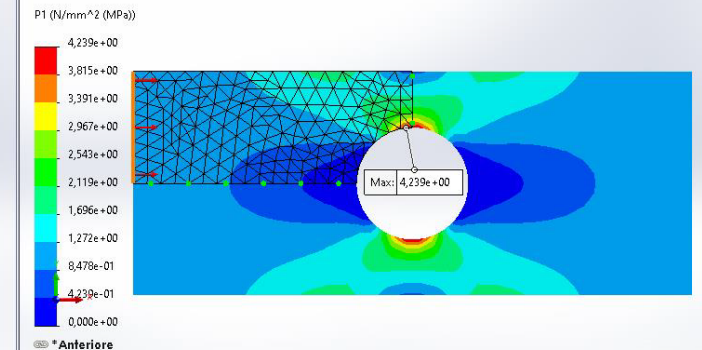
Tipo di grafico: Analisi statica sollecitazione nodale Sollecitazione2
Scala di deformazione: 1



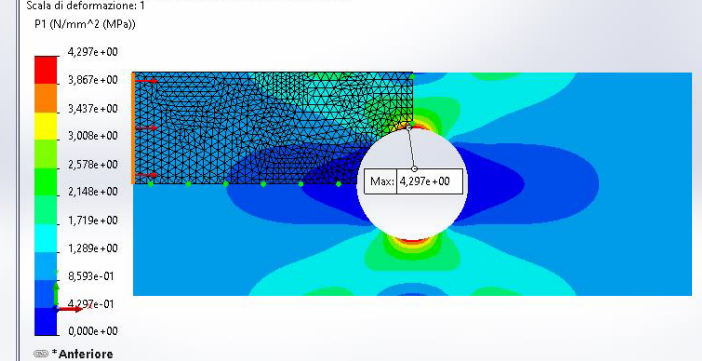
Tipo di grafico: Analisi statica sollecitazione nodale Sollecitazione2
Scala di deformazione: 1



Tipo di grafico: Analisi statica sollecitazione nodale Sollecitazione2
Scala di deformazione: 1

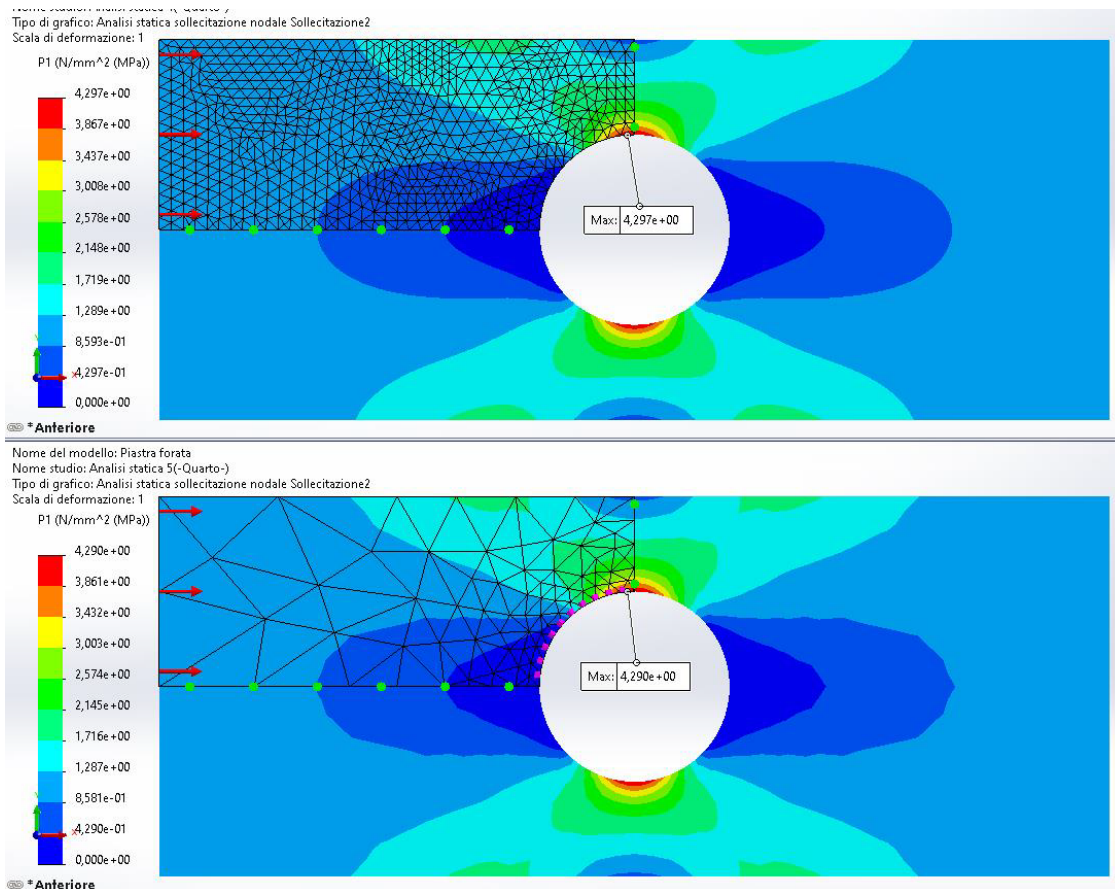


Tipo di grafico: Analisi statica sollecitazione nodale Sollecitazione2
Scala di deformazione: 1



Valori sollecitazione massima in funzione affinamento mesh.

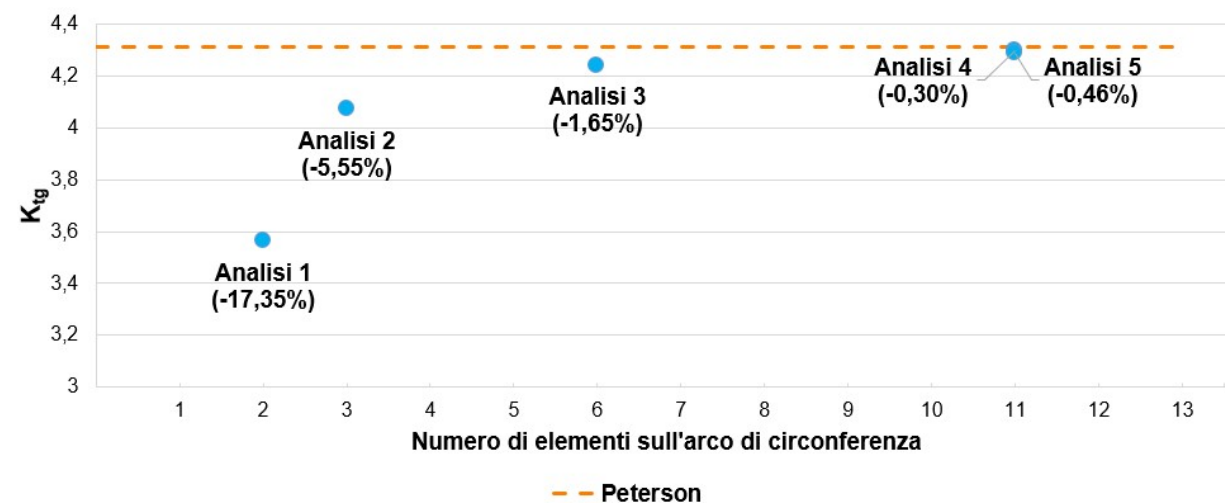
Confronto grafici prima sollecitazione normale con variazione grandezza elemento finito.



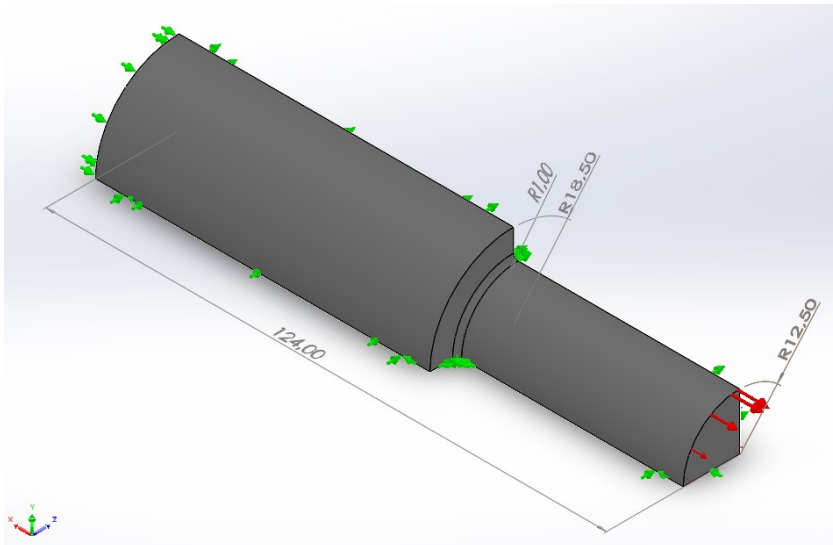
Confronto grafici di sollecitazione normale analisi 4 (sopra) e 5 (sotto).

	Analisi 1	Analisi 2	Analisi 3	Analisi 4	Analisi 5	Peterson
K_{tg}	3,562	4,071	4,239	4,297	4,290	4,310

Valori del fattore teorico di concentrazione delle tensioni K_{tg} .



Andamento K_{tg} , funzione elementi arco di circonferenza, variazione percentuale rispetto K_{tg} Peterson.



Modello 3D spallamento cuscinetto sinistro con quote, vincoli e carichi.

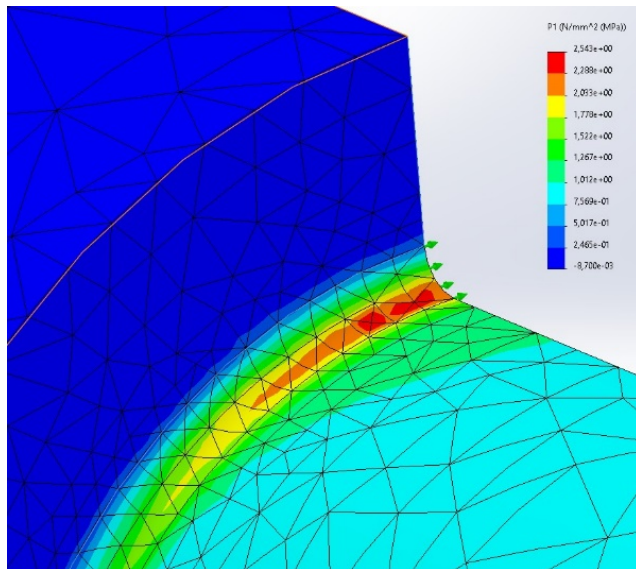
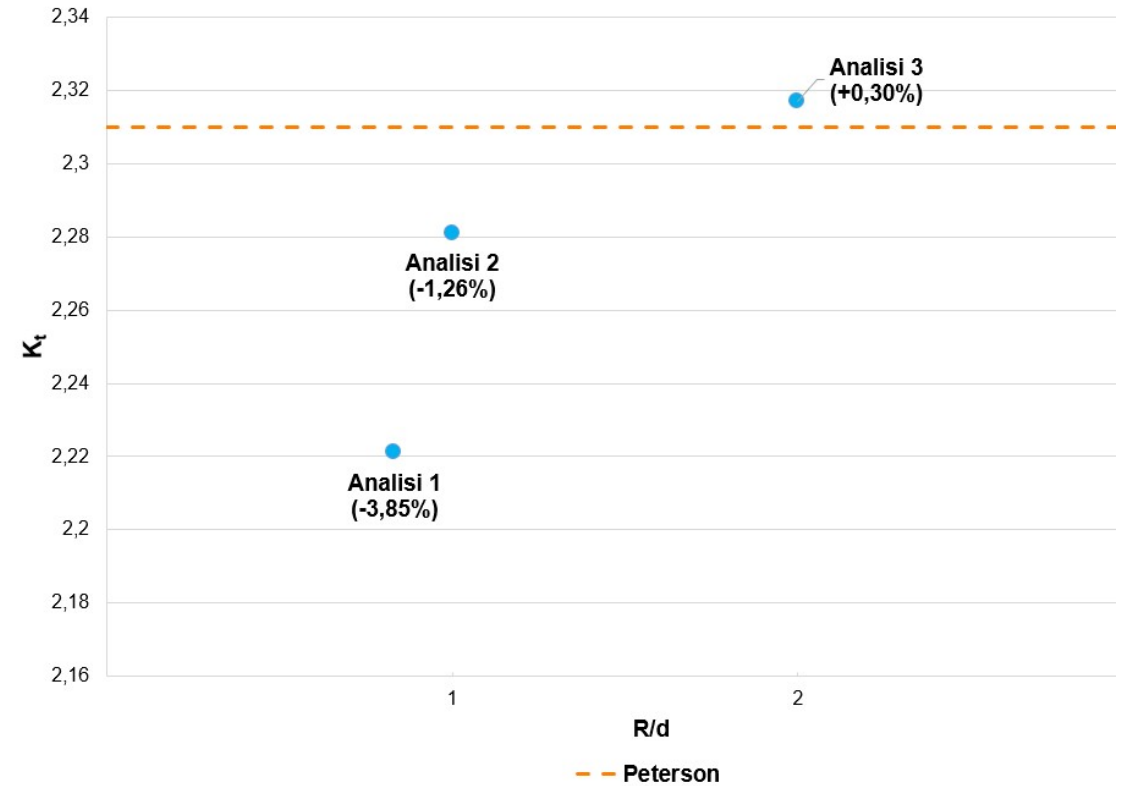


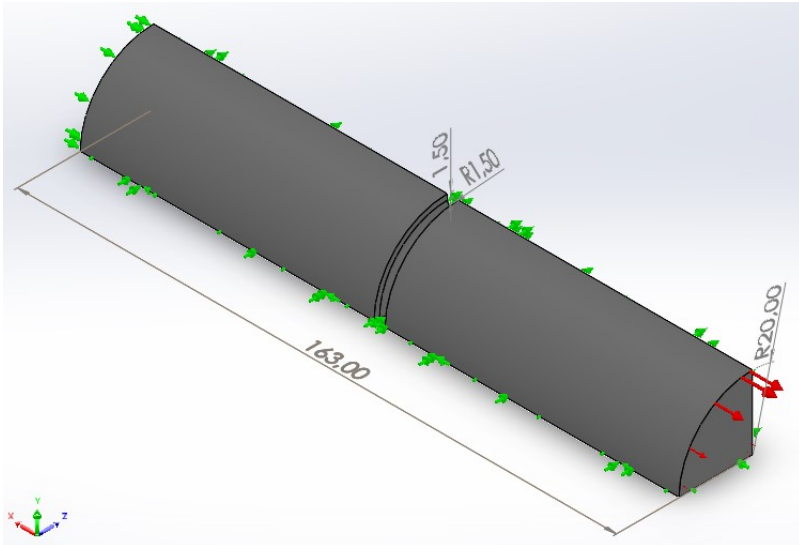
Grafico sollecitazione normale zona spallamento.



Andamento K_t in funzione del rapporto R/d , variazione percentuale rispetto K_t Peterson.

	Analisi 1	Analisi 2	Analisi 3
Dimensione elemento	1,2 mm	1 mm	0,5 mm
K_t	2,221	2,281	2,317
$\Delta\%$	/	+2,70%	+1,58%
K_t Peterson	2,31	2,31	2,31

K_t e $\Delta K_t\%$ ottenuti in funzione dell'affinamento del controllo mesh.



Modello 3D gola di scarico sinistra con quote, vincoli e carichi.

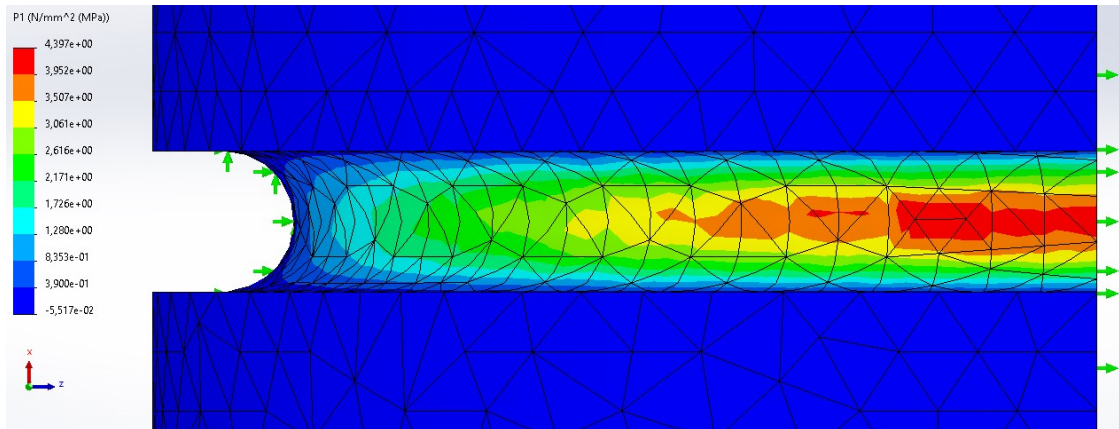
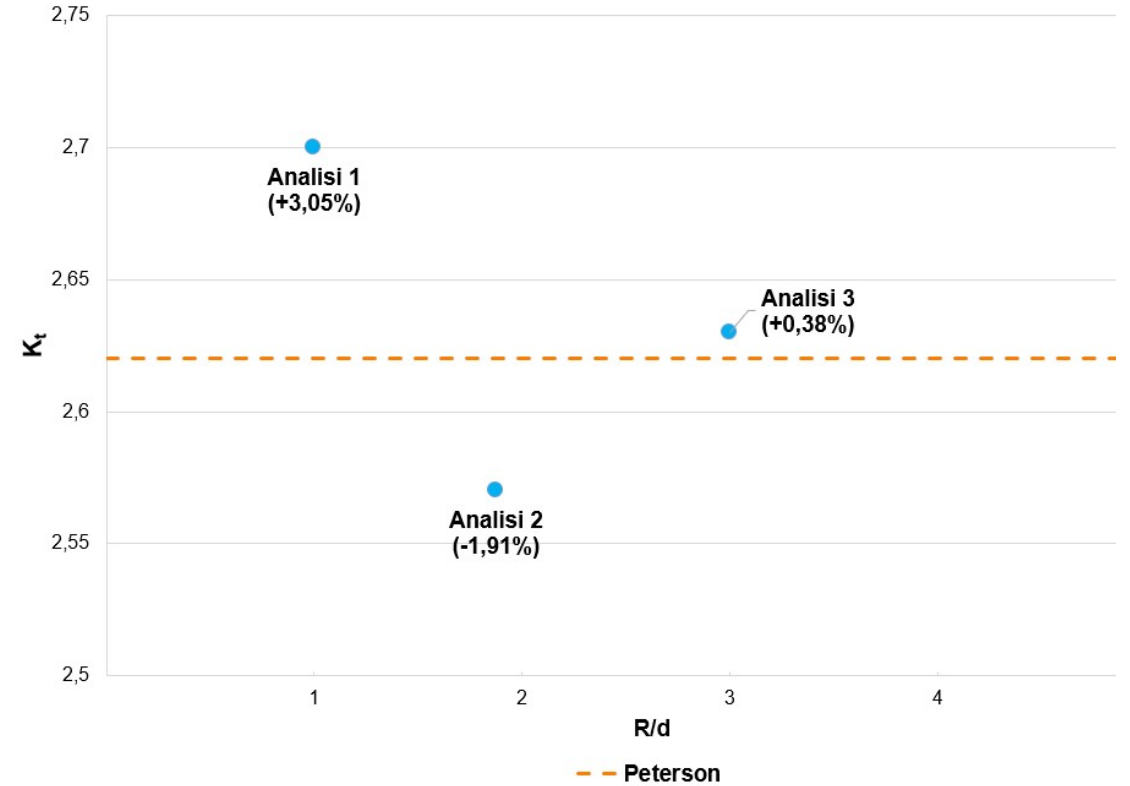


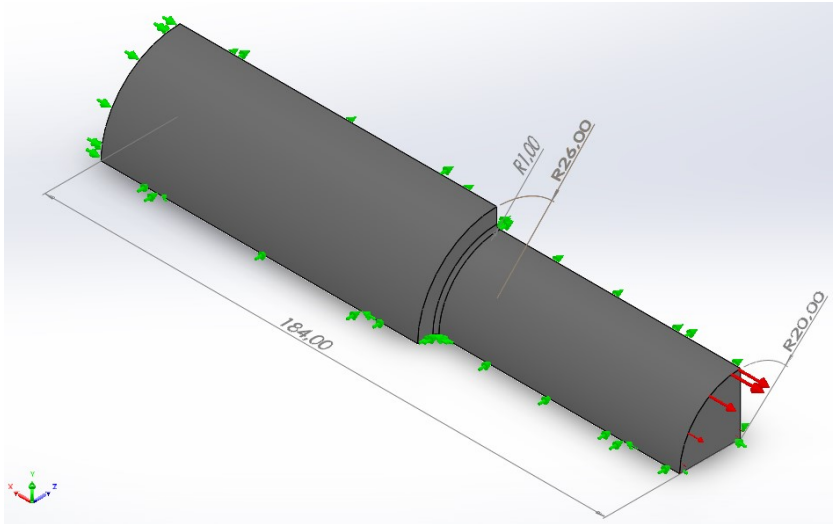
Grafico sollecitazione normale zona gola di scarico.



Andamento K_t in funzione del rapporto R/d , variazione percentuale rispetto K_t Peterson.

	Analisi 1	Analisi 2	Analisi 3
Dimensione elemento	1,5 mm	0,8 mm	0,5 mm
K_t	2,70	2,57	2,63
$\Delta\%$	/	-4,81%	+2,33%
K_t Peterson	2,62	2,62	2,62

K_t e $\Delta K_t\%$ ottenuti in funzione dell'affinamento del controllo mesh.



Modello 3D spallamento ruota dentata sinistra con quote, vincoli e carichi.

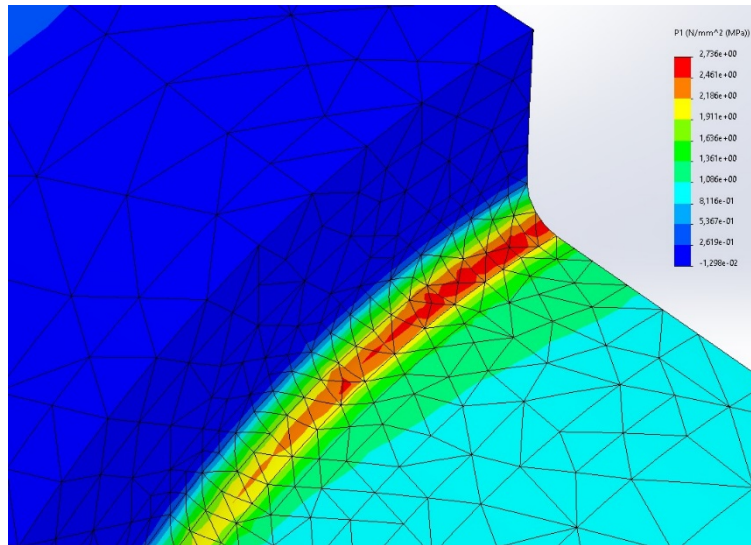
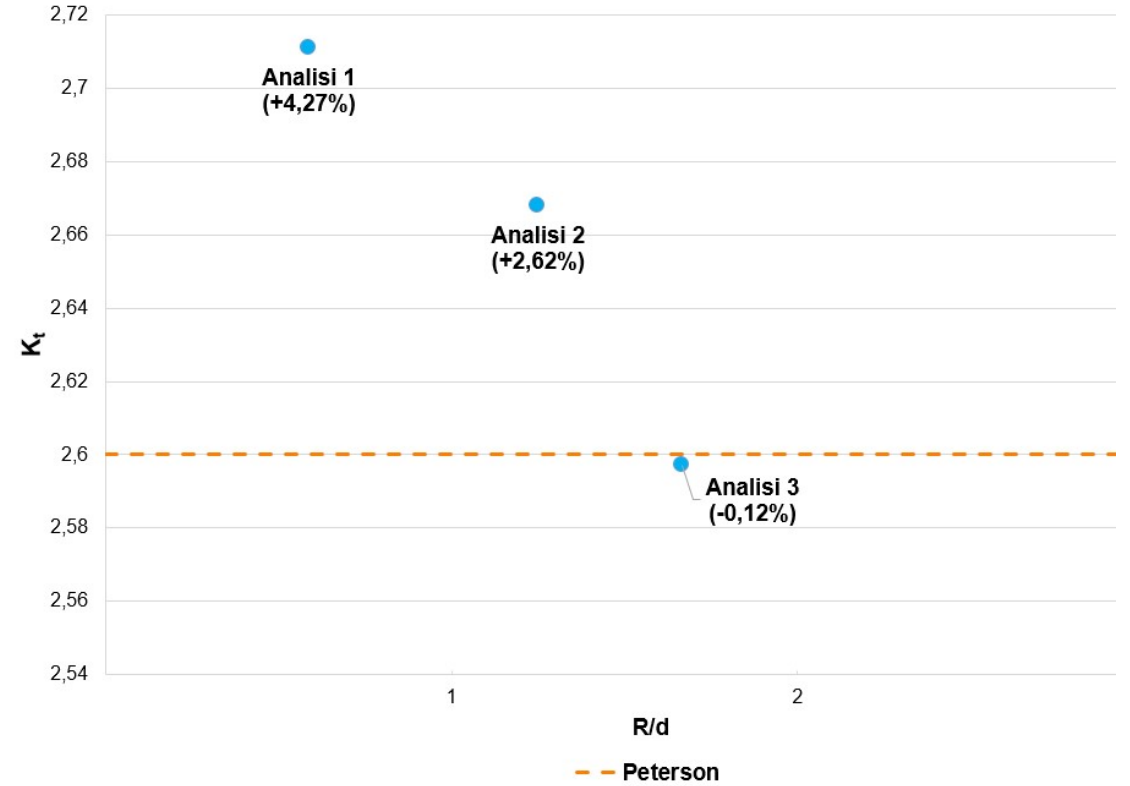


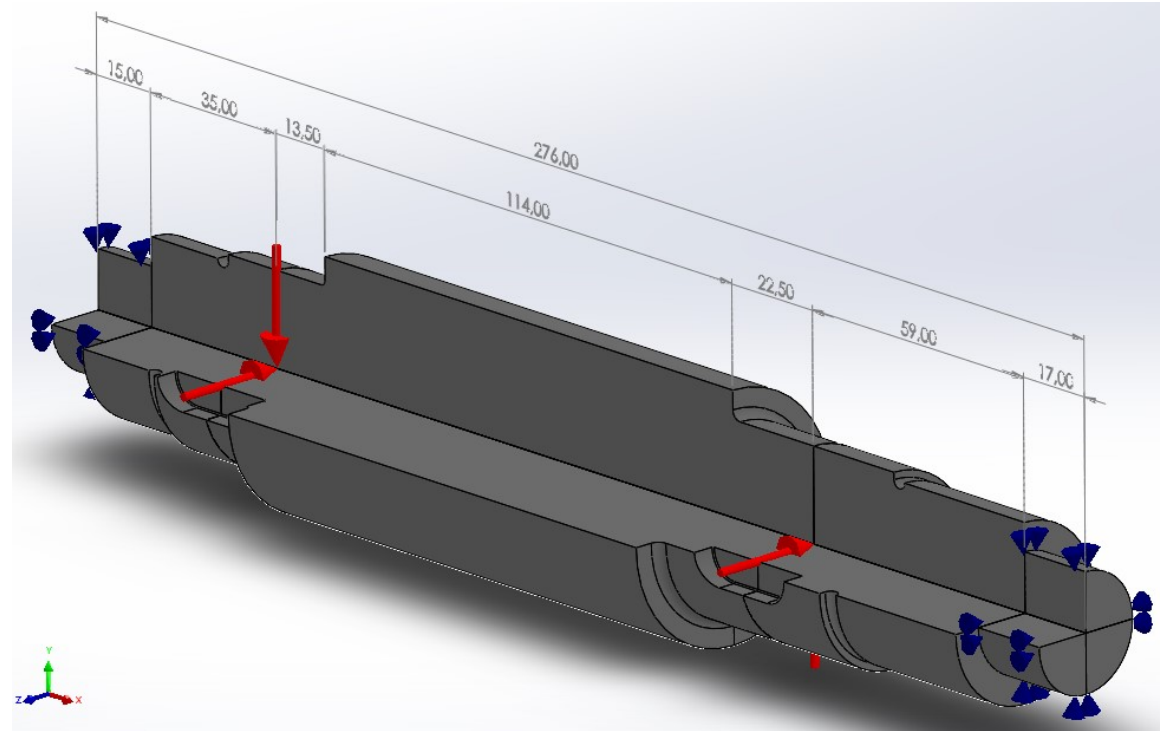
Grafico sollecitazione normale zona spallamento.



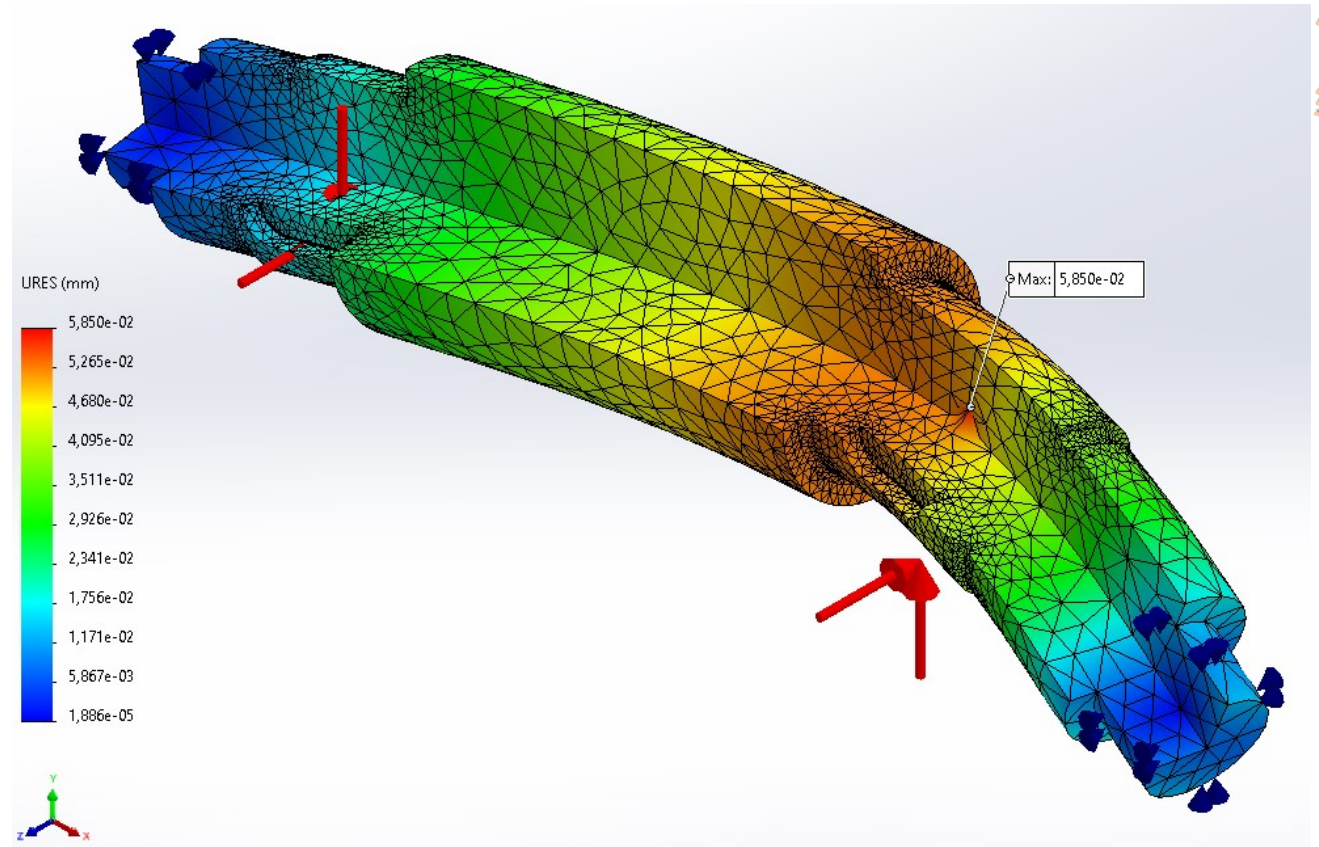
Andamento K_t in funzione del rapporto R/d , variazione percentuale rispetto K_t Peterson.

	Analisi 1	Analisi 2	Analisi 3
Dimensione elemento	1,7 mm	0,8 mm	0,6 mm
K_t	2,711	2,668	2,597
$\Delta\%$	/	-1,58%	-2,66%
K_t Peterson	2,60	2,60	2,60

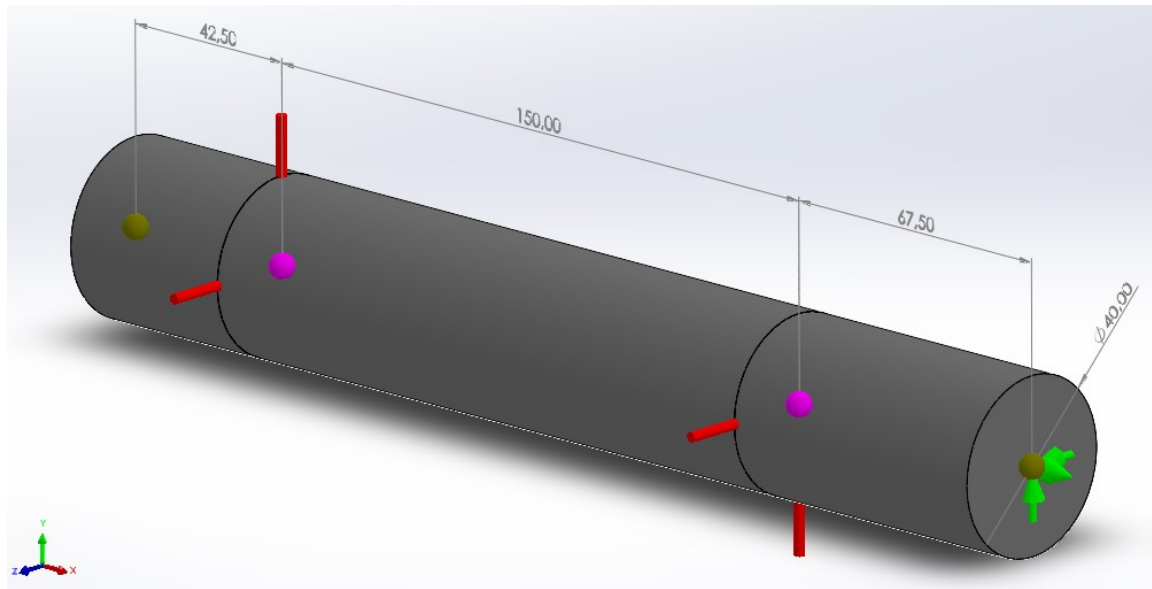
K_t e $\Delta K_t\%$ ottenuti in funzione dell'affinamento del controllo mesh.



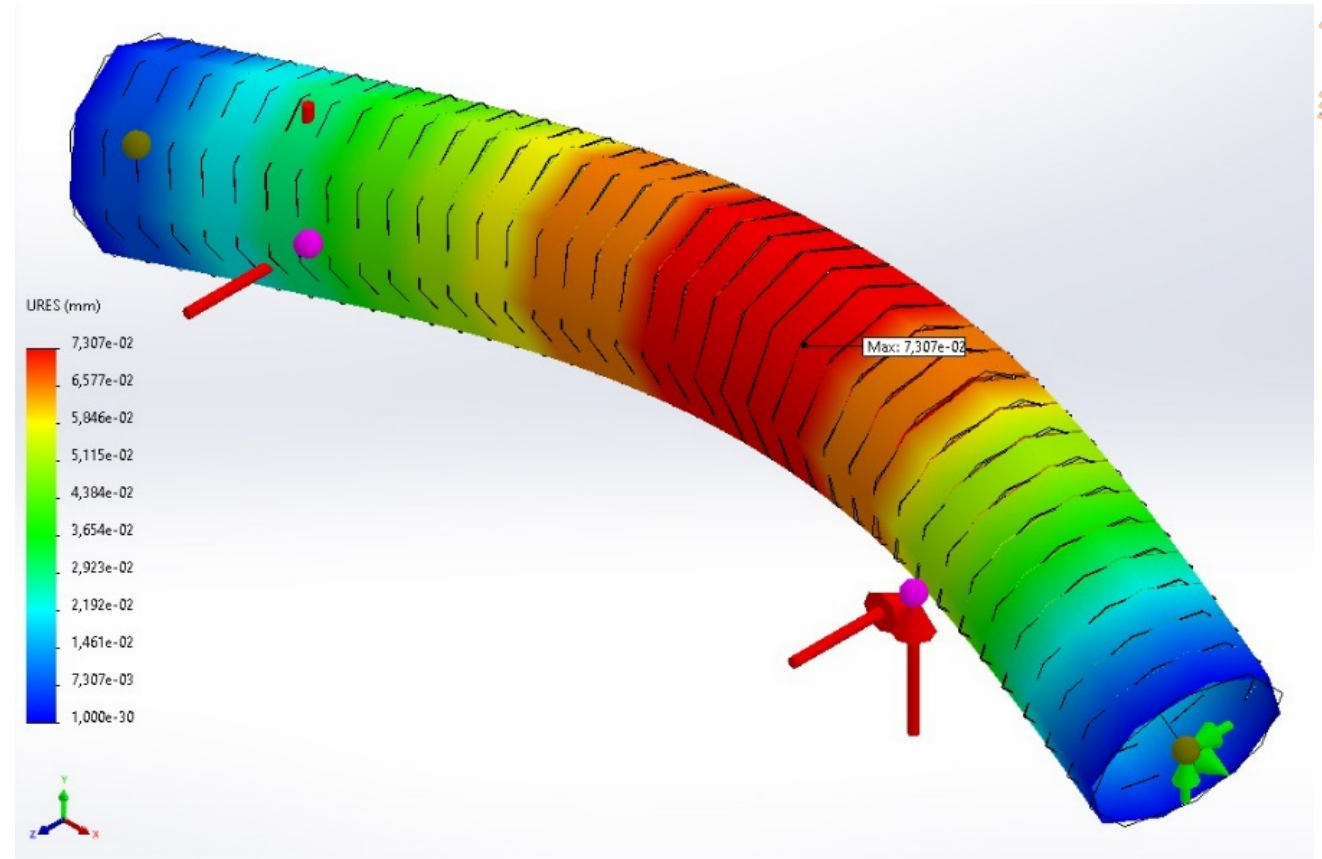
Modello 3D albero intermedio con quote, vincoli e carichi.



Deformata modello albero intermedio, rappresentazione grafica spostamento nodale, scala 521,677.



Modello trave albero intermedio con quote, vincoli e carichi.



Deformata modello trave albero intermedio, rappresentazione grafica spostamento nodale, scala 401,285.

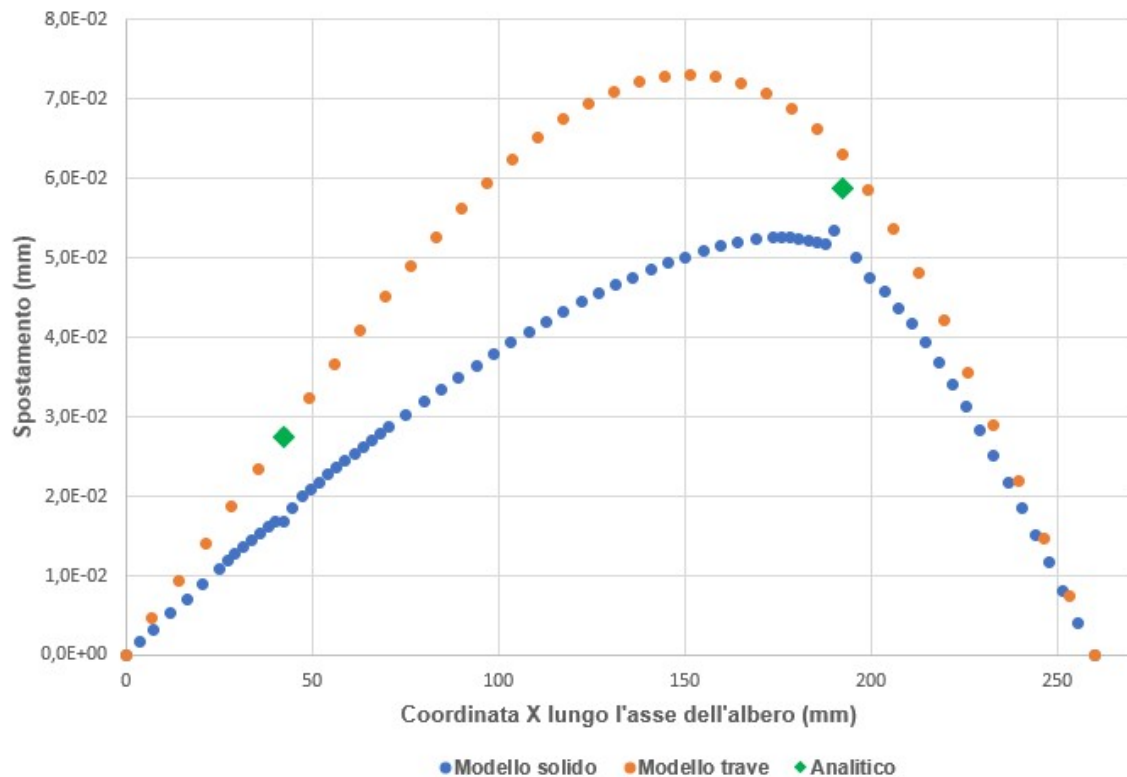


Grafico freccia asse albero, funzione coordinata X, due modelli FEM utilizzati, confronto con valori analitici.

	Freccia f_2	Freccia f_3
Modello solido	$1,676 \cdot 10^{-2}$ mm	$5,850 \cdot 10^{-2}$ mm
$\Delta\%_{\text{Analitico}}$	-39,14 %	-0,26 %
Modello trave	$2,795 \cdot 10^{-2}$ mm	$6,304 \cdot 10^{-2}$ mm
$\Delta\%_{\text{Analitico}}$	+1,49 %	+7,49 %
Analitico	$2,754 \cdot 10^{-2}$ mm	$5,865 \cdot 10^{-2}$ mm

Freccie ruote dentate modelli FEM, variazioni percentuali rispetto valori analitici.

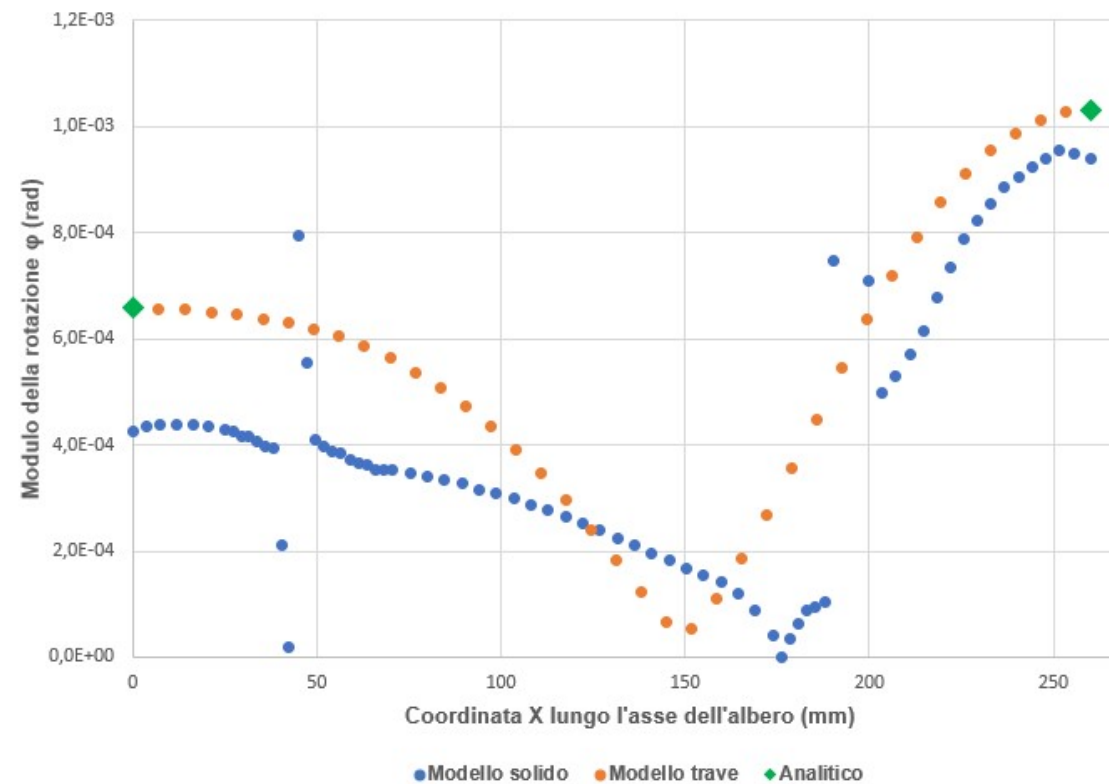


Grafico modulo rotazione φ asse albero, funzione coordinata X, due modelli FEM utilizzati, confronto con valori analitici.

	Rotazione φ_s	Rotazione φ_d
Modello solido	$4,347 \cdot 10^{-4}$ rad	$9,394 \cdot 10^{-4}$ rad
$\Delta\%_{\text{Analitico}}$	-33,91 %	-8,97 %
Modello trave	$6,577 \cdot 10^{-4}$ rad	$1,032 \cdot 10^{-3}$ rad
$\Delta\%_{\text{Analitico}}$	0 %	0 %
Analitico	$6,577 \cdot 10^{-4}$ rad	$1,032 \cdot 10^{-3}$ rad

Rotazioni cuscinetti modelli FEM, variazioni percentuali rispetto valori analitici.

Valutazione stato tensionale nei punti di concentrazione delle tensioni:

	Spallamento cuscinetto sinistro	Gola di scarico filettatura sinistra	Spallamento ruota dentata sinistra
K_t FEM	2,317	2,630	2,597
K_t Peterson	2,31	2,62	2,60

Valutazione stato di deformazione dell'albero:

	Freccia f_2 (mm)	Freccia f_3 (mm)	Rotazione φ_s (rad)	Rotazione φ_d (rad)
Modello solido	$1,676 \cdot 10^{-2}$	$5,850 \cdot 10^{-2}$	$4,347 \cdot 10^{-4}$	$9,394 \cdot 10^{-4}$
Modello trave	$2,795 \cdot 10^{-2}$	$6,304 \cdot 10^{-2}$	$6,577 \cdot 10^{-4}$	$1,032 \cdot 10^{-3}$
Analitico	$2,754 \cdot 10^{-2}$	$5,865 \cdot 10^{-2}$	$6,577 \cdot 10^{-4}$	$1,032 \cdot 10^{-3}$

 **Confermata validità risultati ottenuti.**