

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale***  
***ANALISI FEM DI UN RIDUTTORE AD INGRANAGGI***  
***MEDIANTE SOLIDWORKS SIMULATION***

Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Andrea Sartore*

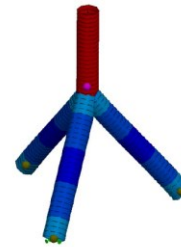
Padova, 13/03/2023

## Obiettivi:

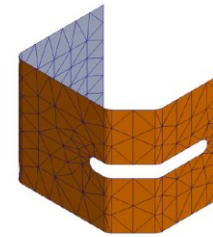
1. Verifiche a fatica flessionale mediante il calcolo del  $K_t$  (da analisi FEM) nelle tre sezioni critiche dell'albero intermedio
2. Verifiche a deformabilità flessionale mediante il calcolo di spostamenti e rotazioni (ottenuti da tre modelli diversi) dell'albero intermedio

## Fasi di lavoro:

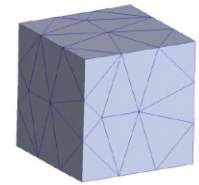
1. Introduzione sul metodo degli elementi finiti
2. Addestramento a Solidworks Simulation:
  - a) Telaio piano
  - b) Piastra forata
3. Albero intermedio del riduttore:
  - a) Calcolo del  $K_t$  da analisi FEM
  - b) Verifiche a deformabilità



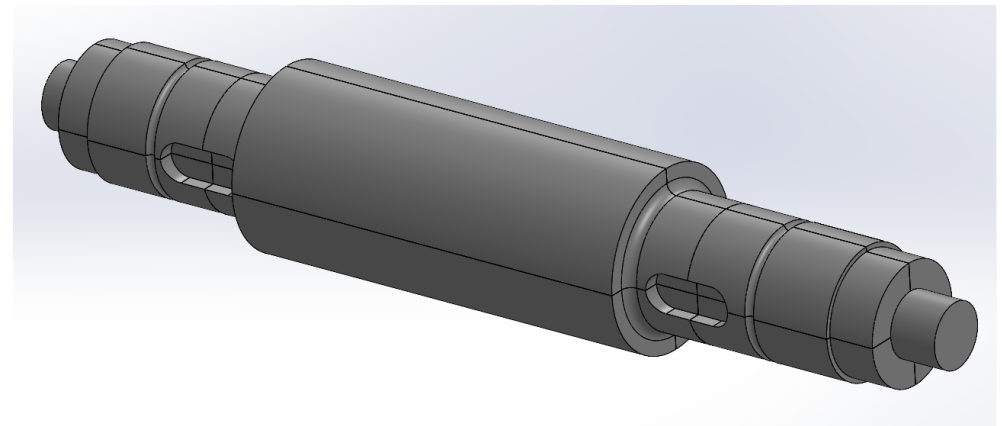
Trave



Shell

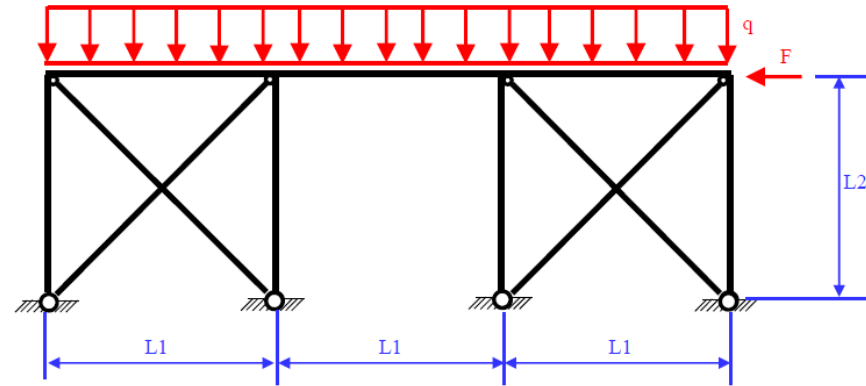


Solida



## Obiettivo:

Determinazione della struttura deformata, delle reazioni vincolari e dei diagrammi delle sollecitazioni. Esecuzione finale della verifica strutturale.



### DATI

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

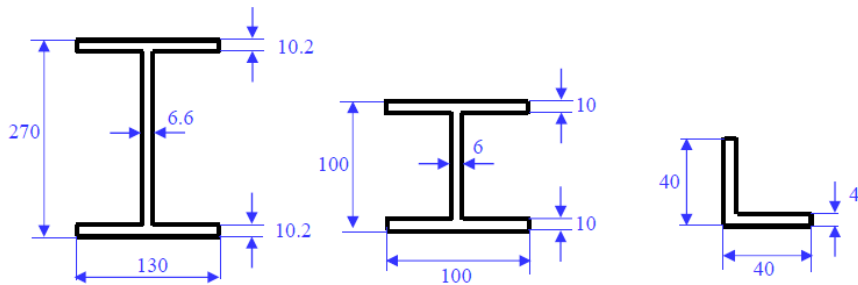
### MATERIALE

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

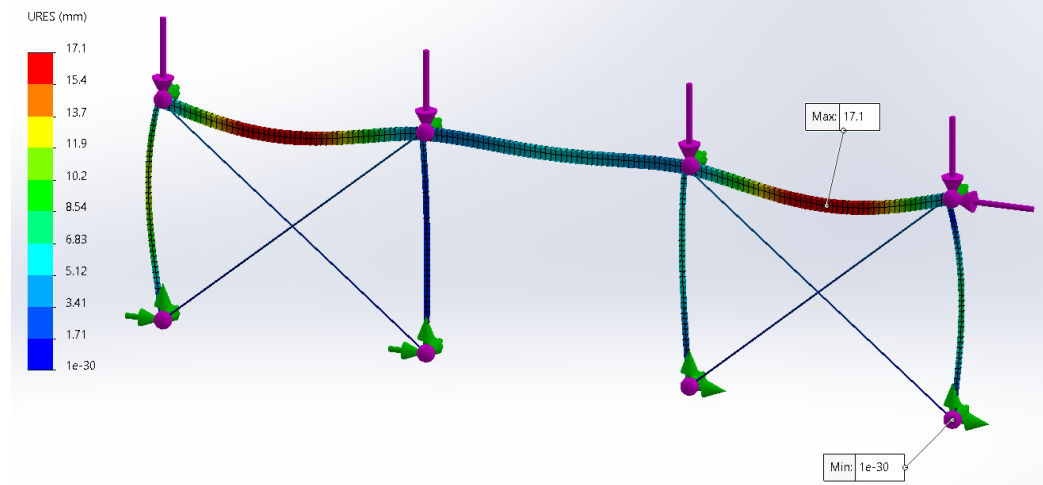


Corrente superiore: IPE 270

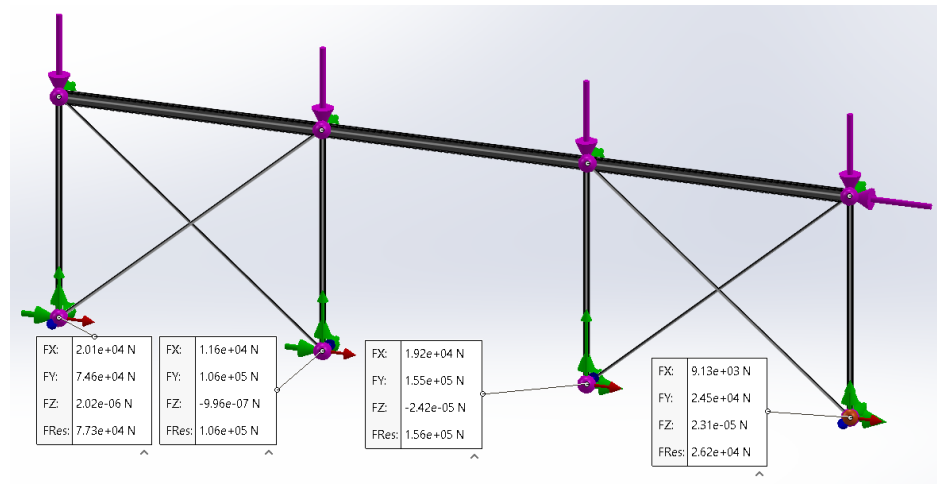
Colonne: HE 100 B

Controventi: L 40x4

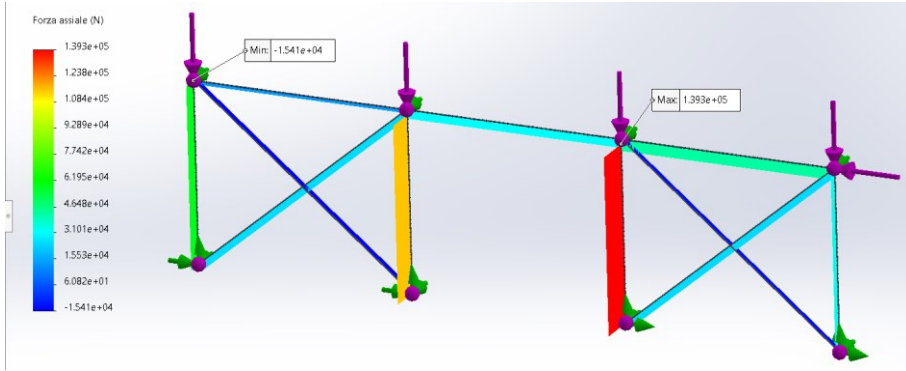
*Schema della struttura e dei carichi applicati*



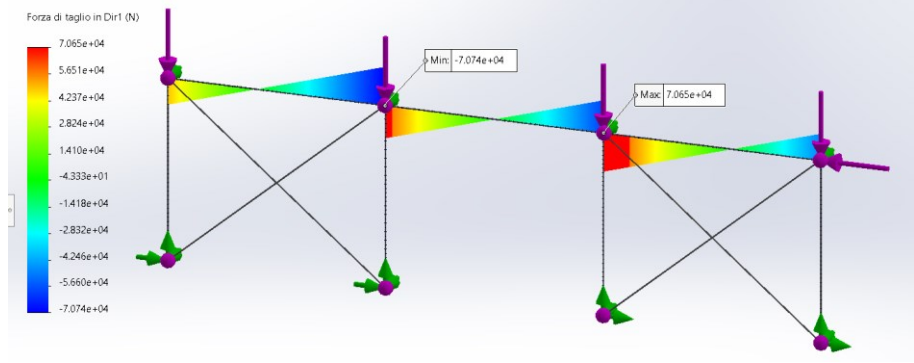
*Grafico dello spostamento (in alto) e reazioni vincolari (in basso)*



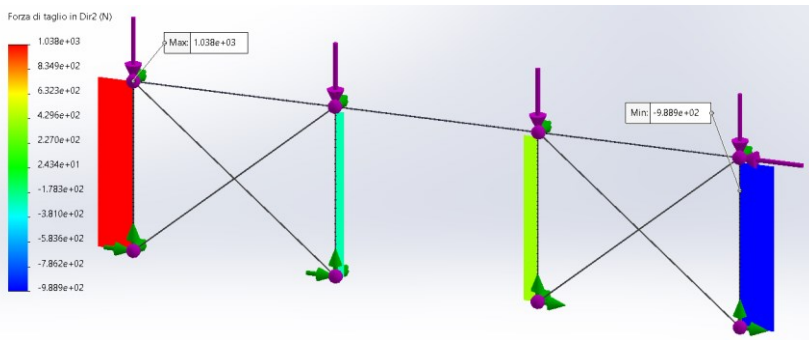
**Sforzo normale N**



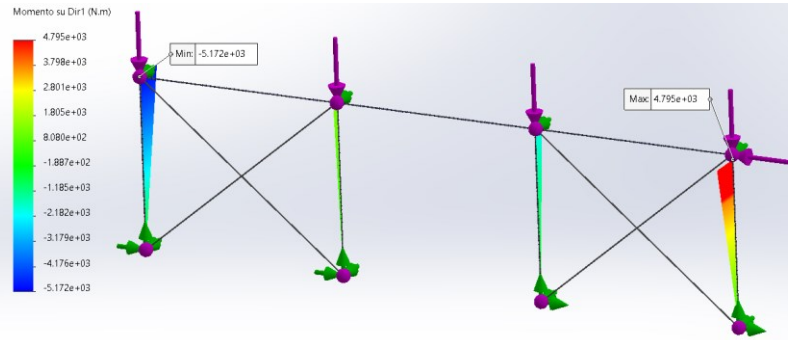
**Sforzo di taglio T (Dir1)**



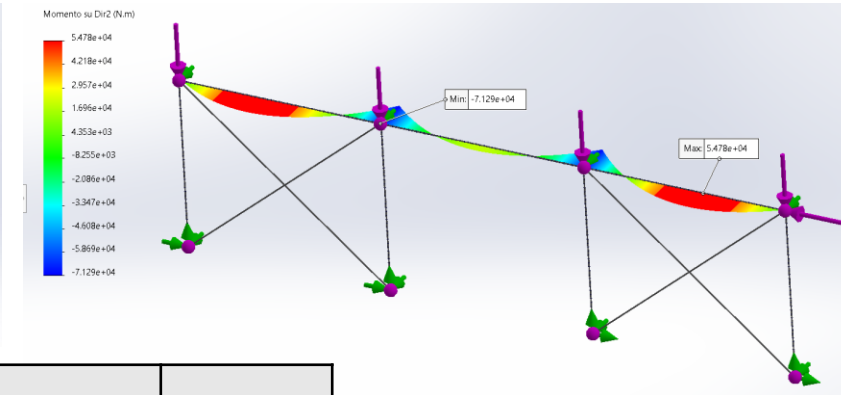
**Sforzo di taglio T (Dir2)**



**Momento flettente M<sub>f</sub> (Dir1)**



**Momento flettente M<sub>f</sub> (Dir2)**

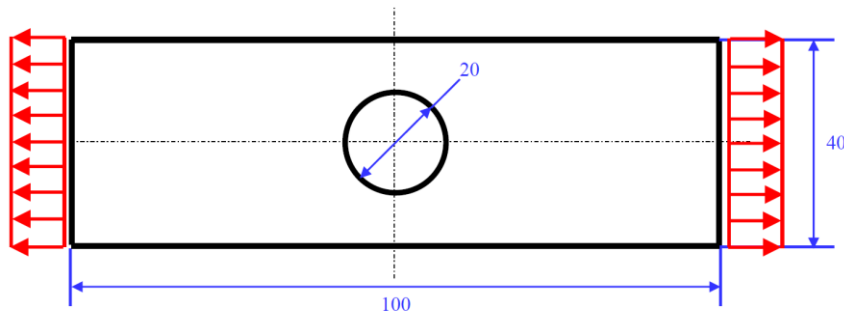


**Verifiche strutturali  
del corrente  
superiore (IPE 270)**

Posizione	N [N]	M <sub>f</sub> [Nmm]	$\sigma_{xx}(N)$ [MPa]	$\sigma_{xx}(M_f)$ [MPa]	$\sigma_{xx,tot}$ [MPa]	$ \sigma_{xx,tot}  \leq  \sigma_{amm} ?$	Verifica superata?
1	$1,289 \cdot 10^4$	$5,461 \cdot 10^7$	3,00	138,25	141,25	$141,25 \leq 190$	Si
2	$1,289 \cdot 10^4$	$-7,129 \cdot 10^7$	3,00	-180,48	-177,48	$-177,48 \leq 190$	Si
3	$3,169 \cdot 10^4$	$-7,051 \cdot 10^7$	7,37	-178,5	-171,13	$-171,13 \leq 190$	Si
4	$4,220 \cdot 10^4$	$5,478 \cdot 10^7$	9,82	138,68	148,5	$148,50 \leq 190$	Si

## Obiettivo:

Determinazione del  $K_{tg}$  supponendo una sollecitazione di trazione pari ad 1 MPa.



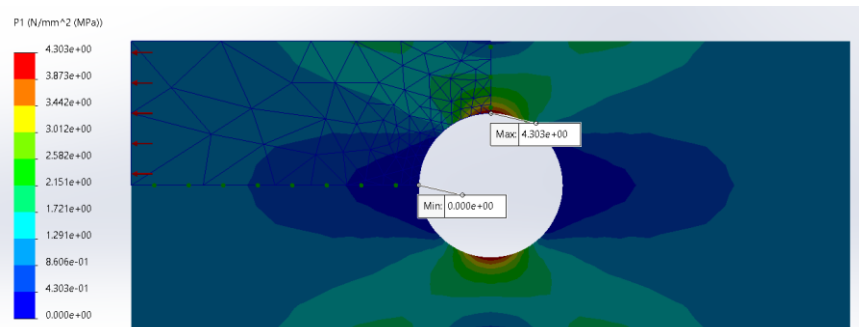
### DATI

Spessore piastra = 1 mm

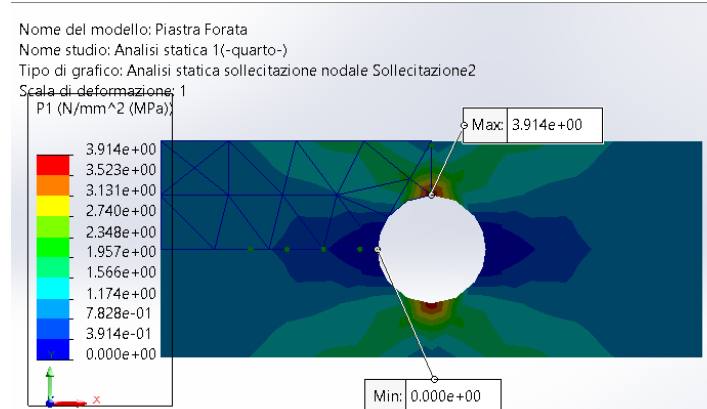
### MATERIALE

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

*Schema della piastra e del carico di trazione applicato*

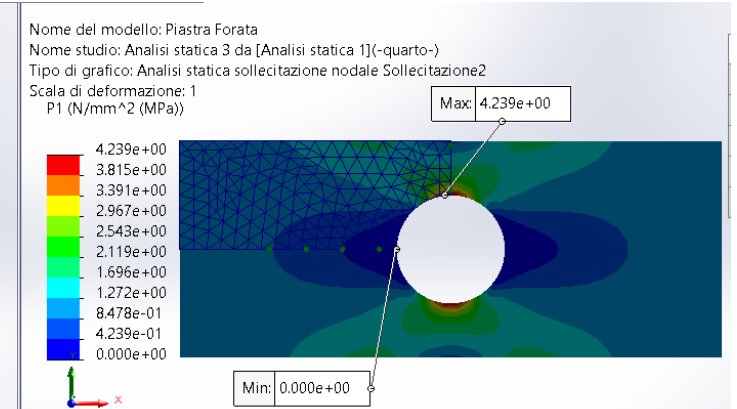


*Analisi FEM con controllo mesh*



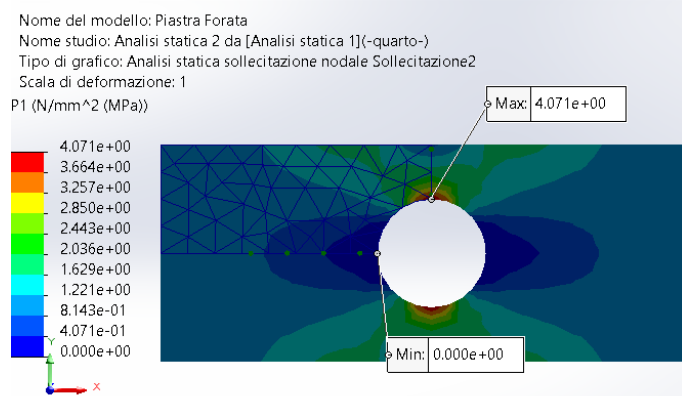
nal Product. Solo per uso didattico.

\*Anteriore



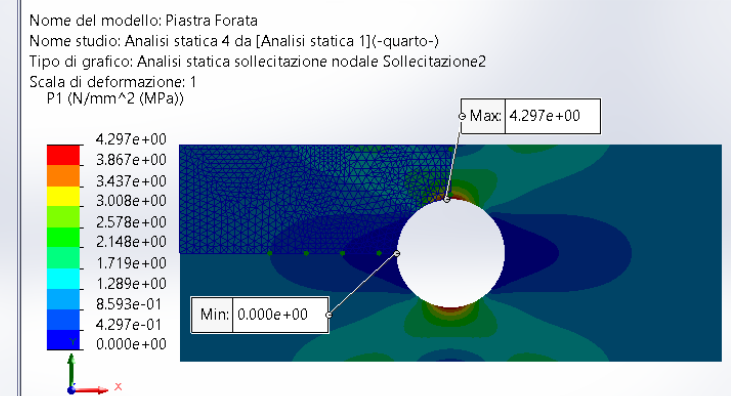
SOLIDWORKS Educational Product. Solo per uso didattico.

\*Anteriore



nal Product. Solo per uso didattico.

\*Anteriore



SOLIDWORKS Educational Product. Solo per uso didattico.

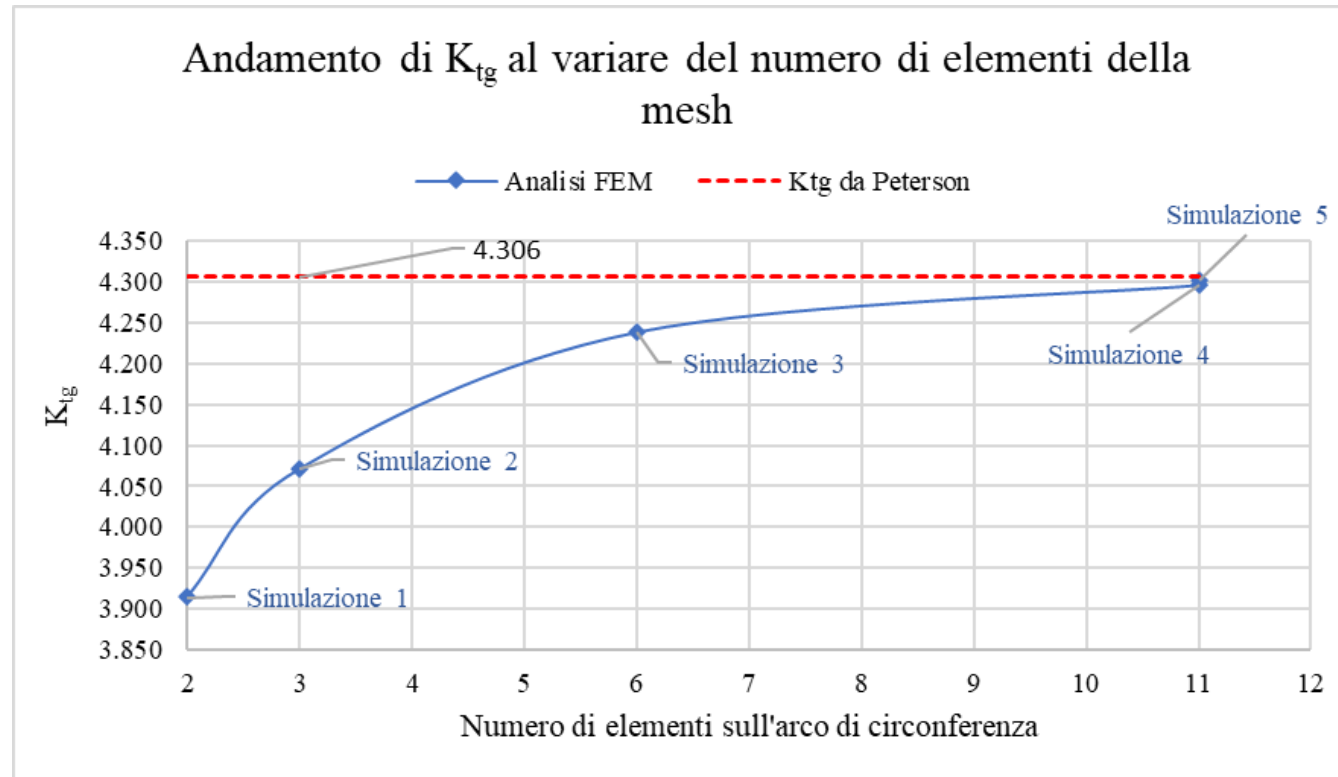
\*Anteriore

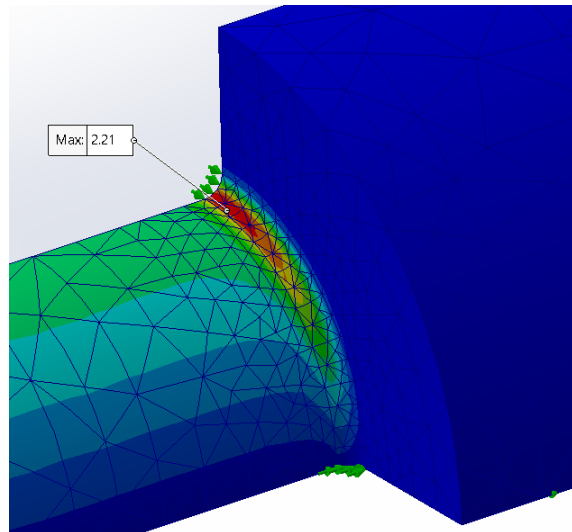
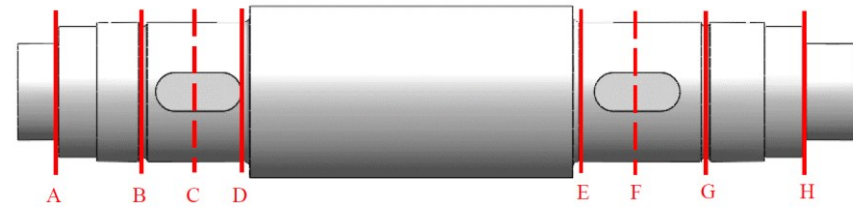
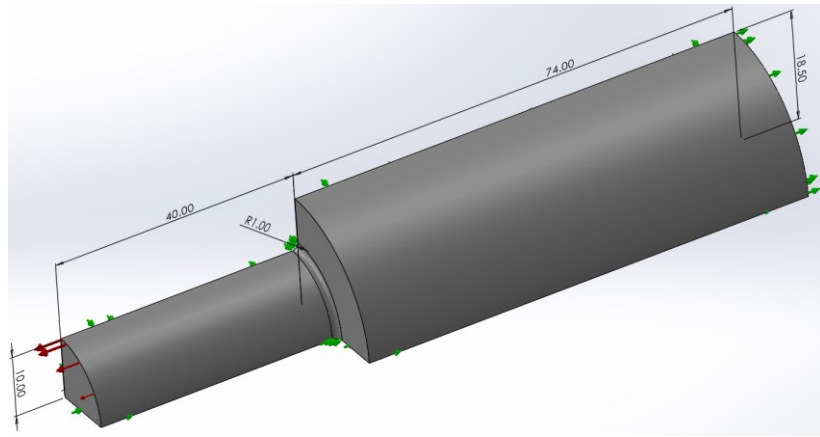
*Confronto tra le quattro analisi FEM senza controllo mesh*

converge se  $\Delta \leq 3\%$

accettabile se  $\Delta \leq 10\%$

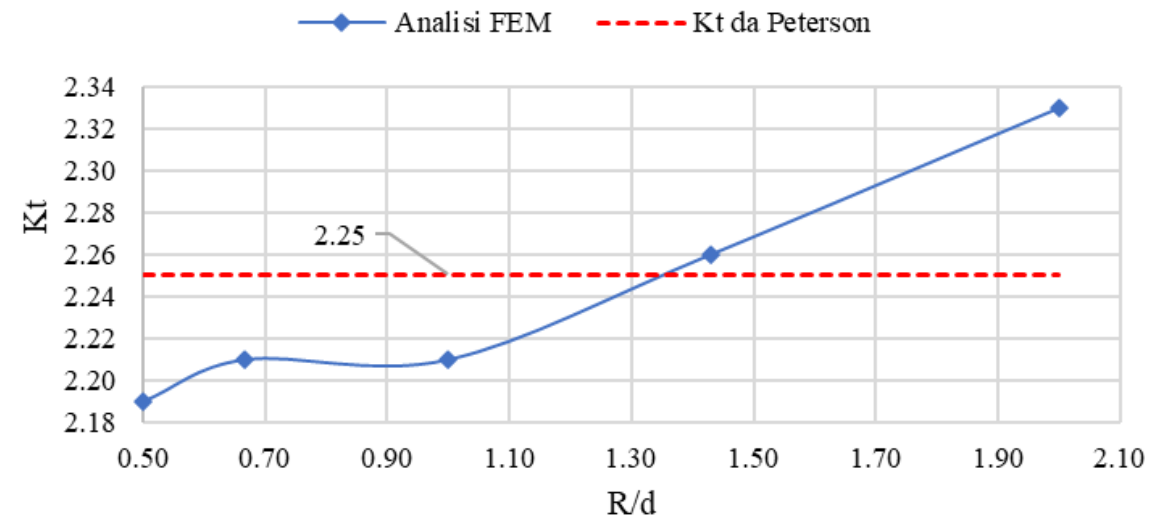
Analisi statica	1	2	3	4	5
$K_{tgFEM}$	3.914	4.071	4.239	4.297	4.303
Differenza %	4.01	4.13	1.37	0.14	
Converge?	No	No	Sì	Sì	
$K_{tgPET}$	4.306				
Deviazione %	/	/	-1.56	-0.21	-0.07
Accettabile?	/	/	Sì	Sì	Sì

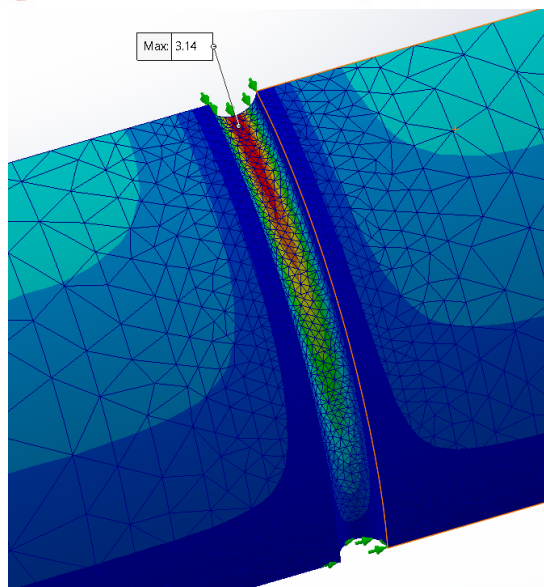
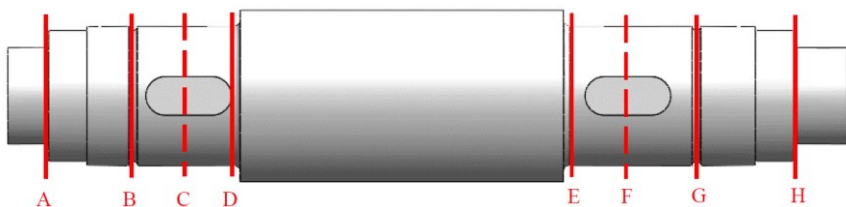
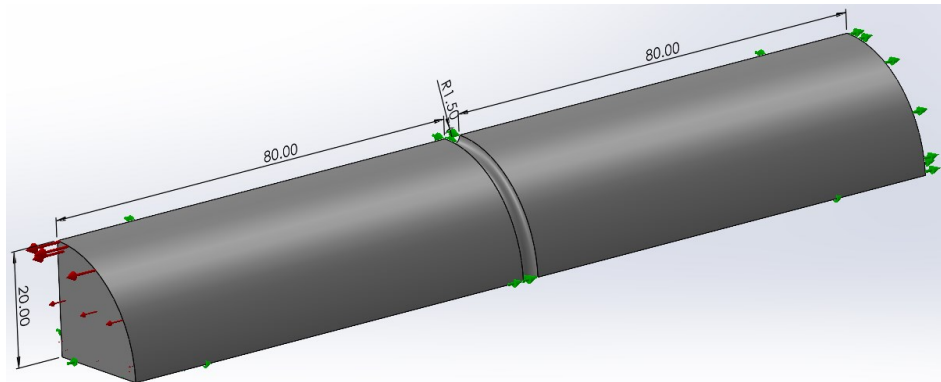




Analisi statica	1	2	3	4	5
$K_{tFEM}$	2.19	2.21	2.21	2.26	2.33
Differenza %	0.91	0.00	2.26	3.10	
Converge?	Sì	Sì	Sì	No	
$K_{tPET}$	2.25				
Deviazione %	-2.68	-1.79	-1.79	0.43	/
Accettabile?	Sì	Sì	Sì	Sì	/
$K_{tANALITICO}$	2.61				

Andamento del  $K_t$  in funzione di  $R/d$  - Sezione A

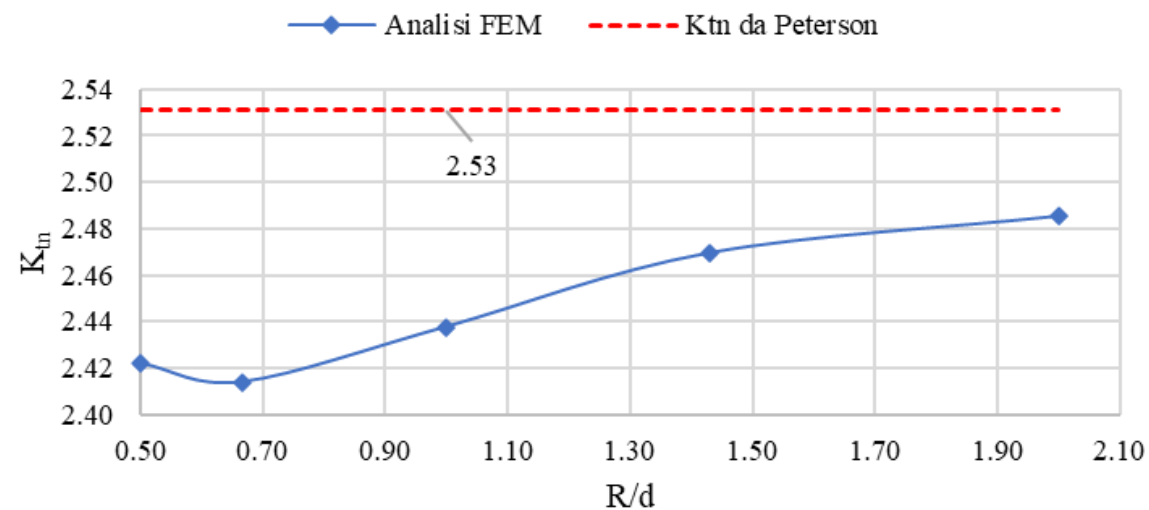




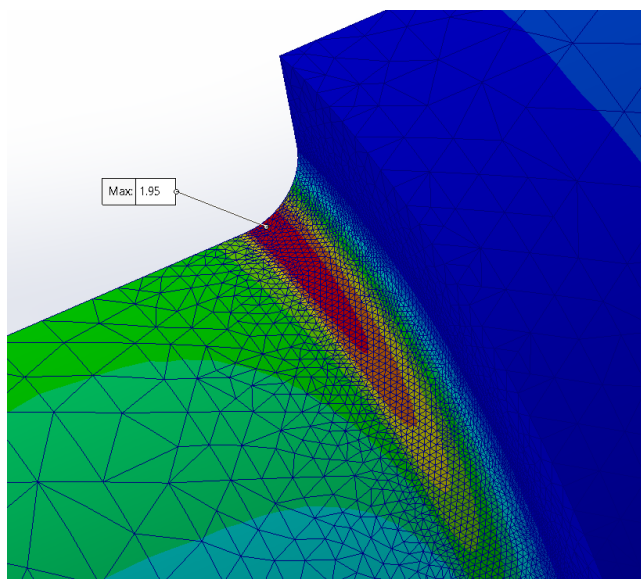
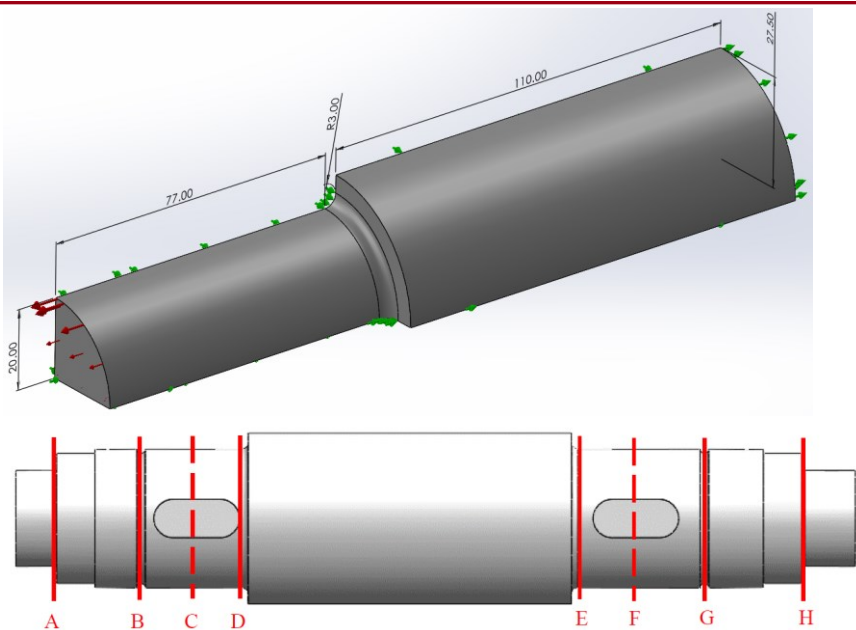
$$K_{tn} = K_{tg} \frac{d^3}{D^3}$$

Analisi statica	1	2	3	4	5
$K_{tgFEM}$	3.06	3.05	3.08	3.12	3.14
$K_{tnFEM}$	2.42	2.41	2.44	2.47	2.49
Differenza %	-0.33	0.98	1.30	0.64	
Converge?	Sì	Sì	Sì	Sì	
$K_{tnPET}$	2.53				
Deviazione %	-4.31	-4.63	-3.69	-2.44	-1.81
Verifica	Sì	Sì	Sì	Sì	Sì
$K_{tnANALITICO}$	2.43				

Andamento del  $K_t$  in funzione di  $R/d$  - Sezione B

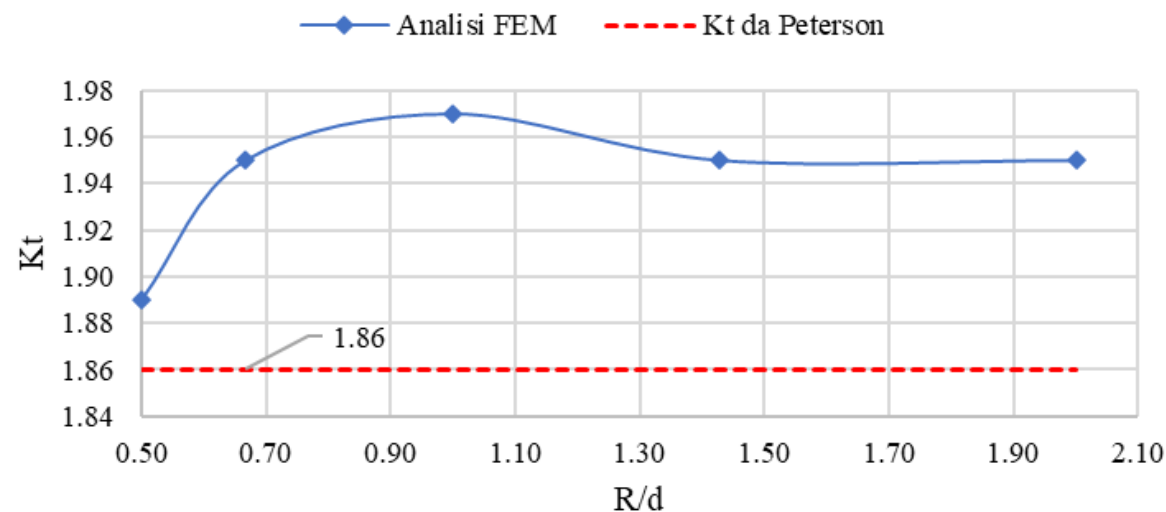




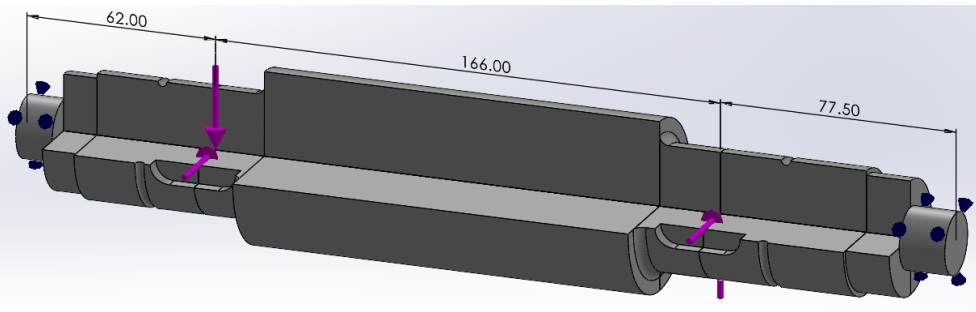


Analisi statica	1	2	3	4	5
$K_{tFEM}$	1.89	1.95	1.97	1.95	1.95
Differenza %	3.17	1.03	-1.02	0.00	
Converge?	No	Sì	Sì	Sì	Sì
$K_{tPET}$	1.86				
Deviazione %	/	4.89	5.96	4.89	4.89
Accettabile?	/	Sì	Sì	Sì	Sì
$K_{tANALITICO}$	2.03				

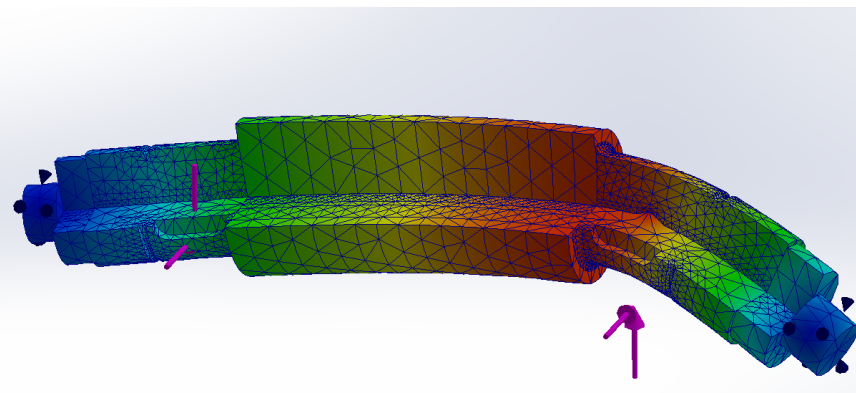
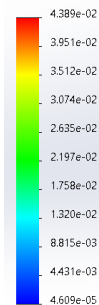
Andamento del  $K_t$  in funzione di  $R/d$  - Sezione D



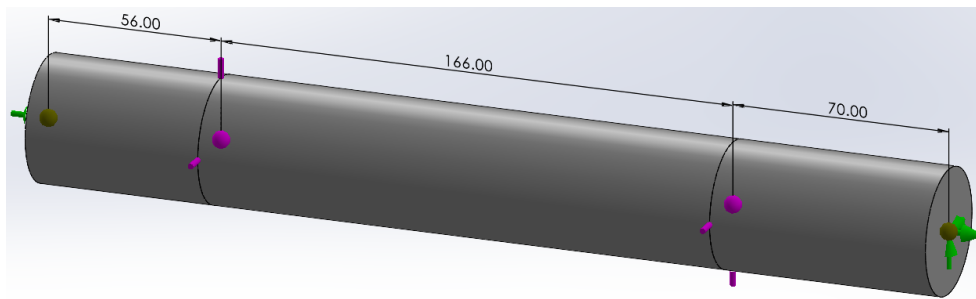
## a) Modello solido tridimensionale



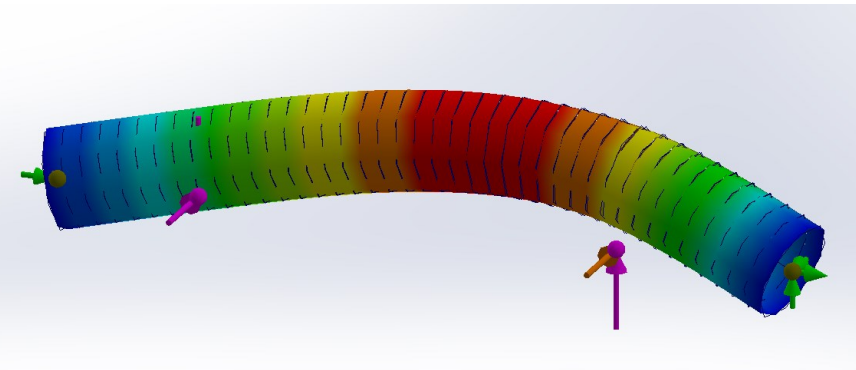
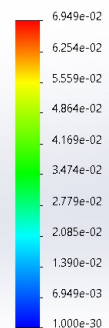
URES (mm)



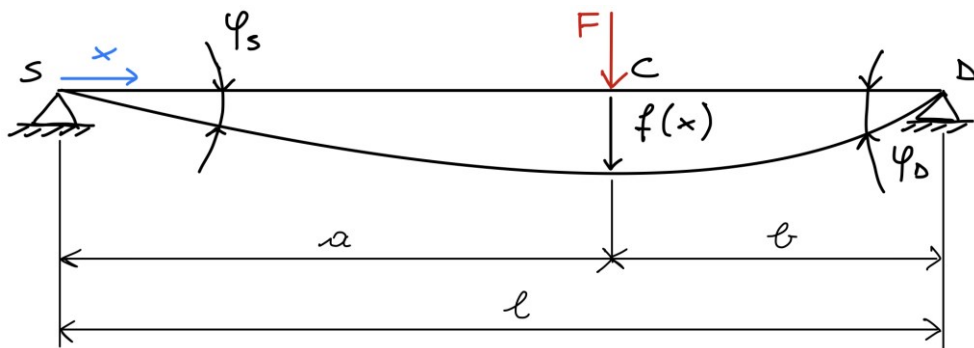
## b) Modello trave monodimensionale



URES (mm)



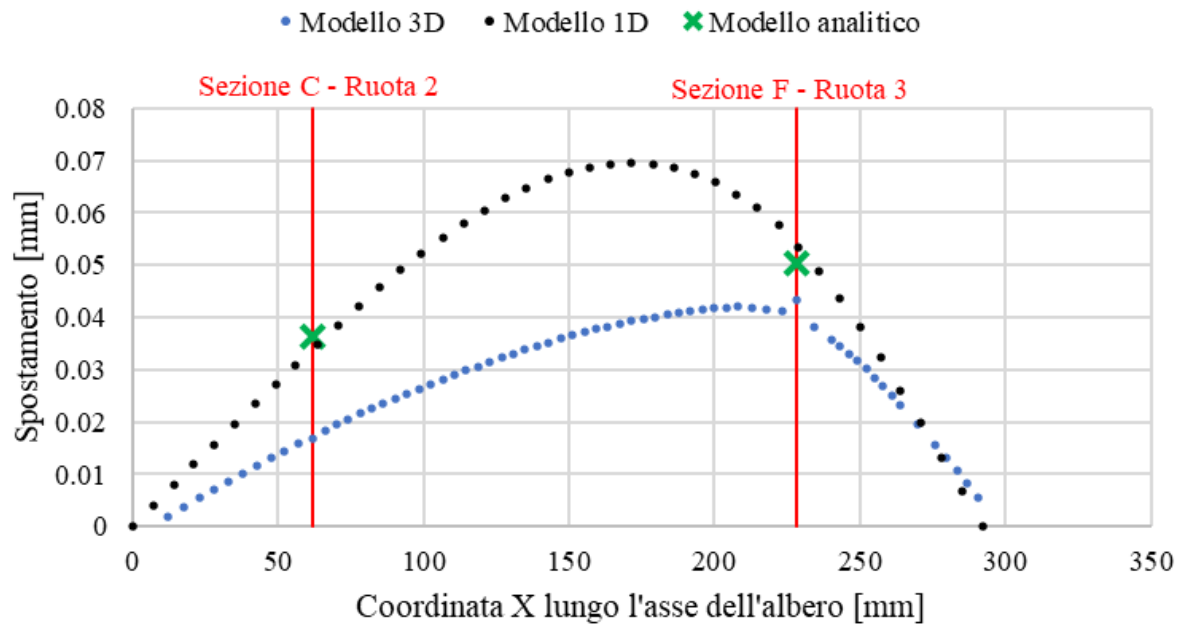
## c) Modello analitico



$$f(x) = \frac{F \cdot a^2 \cdot b^2}{6 \cdot E \cdot J_{eq} \cdot l} \left( 2 \frac{x}{a} + \frac{x}{b} - \frac{x^3}{a^2 \cdot b} \right)$$

$$\varphi_s = \frac{F \cdot b \cdot (l^2 - b^2)}{6 \cdot E \cdot J_{eq} \cdot l} \quad \varphi_d = -\frac{F \cdot a \cdot (l^2 - a^2)}{6 \cdot E \cdot J_{eq} \cdot l}$$

Andamento della freccia dell'asse dell'albero



$$f \leq f_{lim} = 0,127 \text{ mm}$$

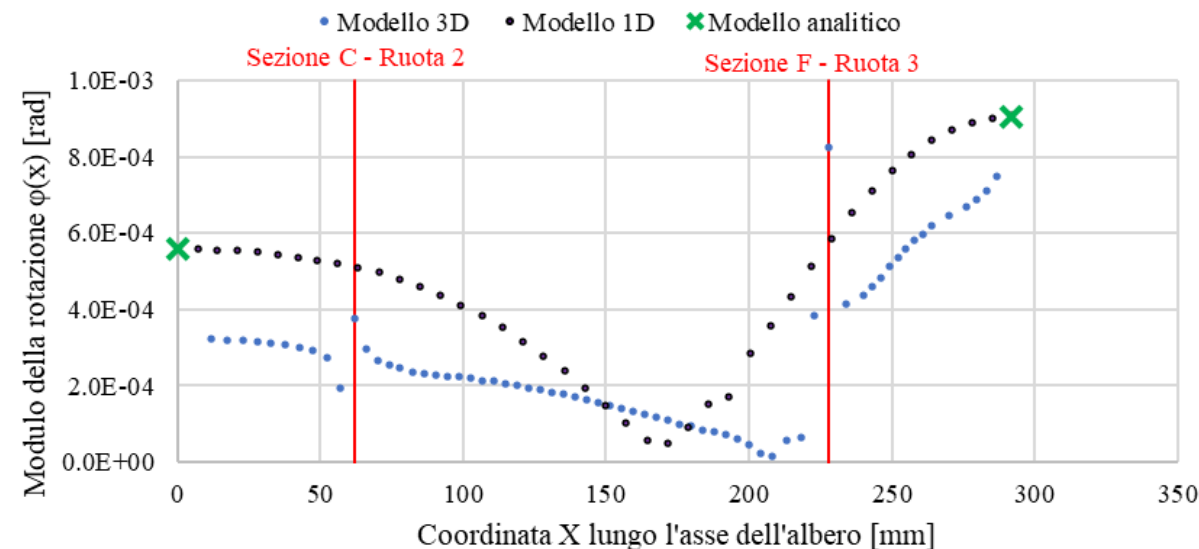
da normativa ASME

da normativa ASME

$$\varphi_s \leq \varphi_{slim} = 10' = 0,00291 \text{ rad}$$

$$\varphi_d \leq \varphi_{dlim} = 4' = 0,00116 \text{ rad}$$

Andamento dell'angolo d'inclinazione dell'asse dell'albero



**Verifiche a fatica flessionale mediante il calcolo del  $K_t$  nelle tre sezioni critiche dell'albero intermedio**

Sezione	A	B	D
$K_{tFEM}$	2.19	2.42	1.95
$K_{tPET}$	2.25	2.53	1.86
Deviazione %	-2.68	-4.31	4.89

**Verifiche a deformabilità mediante il calcolo di spostamenti e rotazioni dell'albero intermedio**

Modello	Freccia $f_2$ sezione C [mm]	Freccia $f_3$ sezione F [mm]	Rotazione $\varphi_s$ [rad]	Rotazione $\varphi_d$ [rad]
Tridimensionale	0,01681	0,04326	0,000378	0,000823
Monodimensionale	0,03484	0,05343	0,000559	0,000910
Analitico	0,03636	0,05027	0,000559	0,000905