

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 BISTADIO  
MEDIANTE SOLIDWORKS SIMULATION**

FE analyses of a gearbox for structural assessment

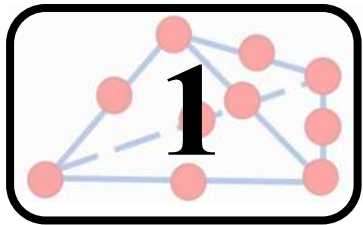
Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: Gusella Giacomo

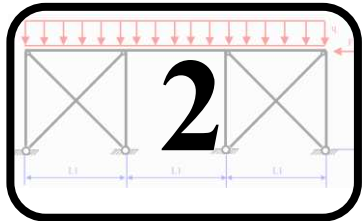
*Padova, 09/07/2024*

- Approfondire l'analisi strutturale di elementi mediante il metodo degli elementi finiti
- Valutare lo stato tensionale e di deformazione di un albero intermedio per un riduttore bistadio ad ingranaggi

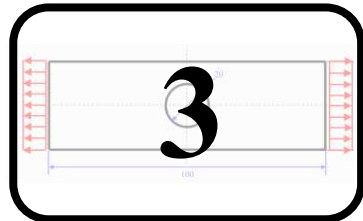
Lo studio si struttura lungo cinque fasi e fonda i suoi obiettivi primari nell'applicazione del software Solidworks® Simulations a casi reali di analisi agli elementi finiti.



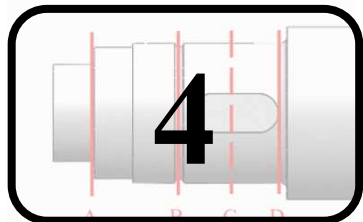
- Introduzione
- Breve studio del metodo utilizzato
- Assunzione delle ipotesi preliminari



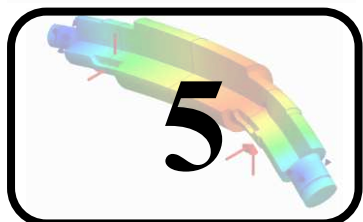
- Addestramento all'utilizzo del software - telaio piano
- Analisi di sollecitazione
- Verifica strutturale



- Addestramento all'utilizzo del software - piastra forata
- Determinazione fattore teorico di concentrazione delle tensioni  $K_{tg}$
- Confronto dei risultati



- Studio albero intermedio riduttore
- Calcolo di  $K_t$  su sezioni critiche specifiche
- Confronto dei risultati



- Verifica a deformabilità flessionale dell'albero intermedio
- Confronto dei risultati dei modelli con quelli analitici
- Confronto di due diversi modelli FEM: 3D ed 1D

## DEFINIZIONE

Il metodo dell'analisi agli elementi finiti (FEM, dall'inglese *Finite Element Method*), si tratta di una tecnica numerica molto potente, atta a cercare soluzioni approssimate di problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali, riducendo queste ultime a un sistema di equazioni algebriche.

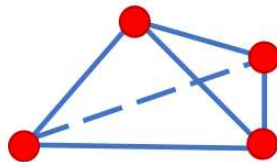
## TEORIA DI BASE

### NODO

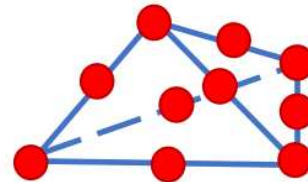


### ELEMENTO

#### 1° ORDINE

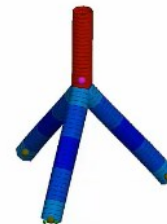


#### 2° ORDINE

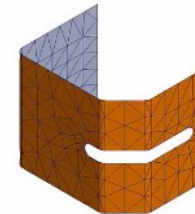


### MESH

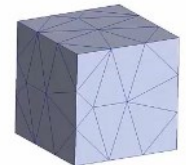
#### TRAVE



#### SHELL



#### SOLIDA



## DEFINIZIONE

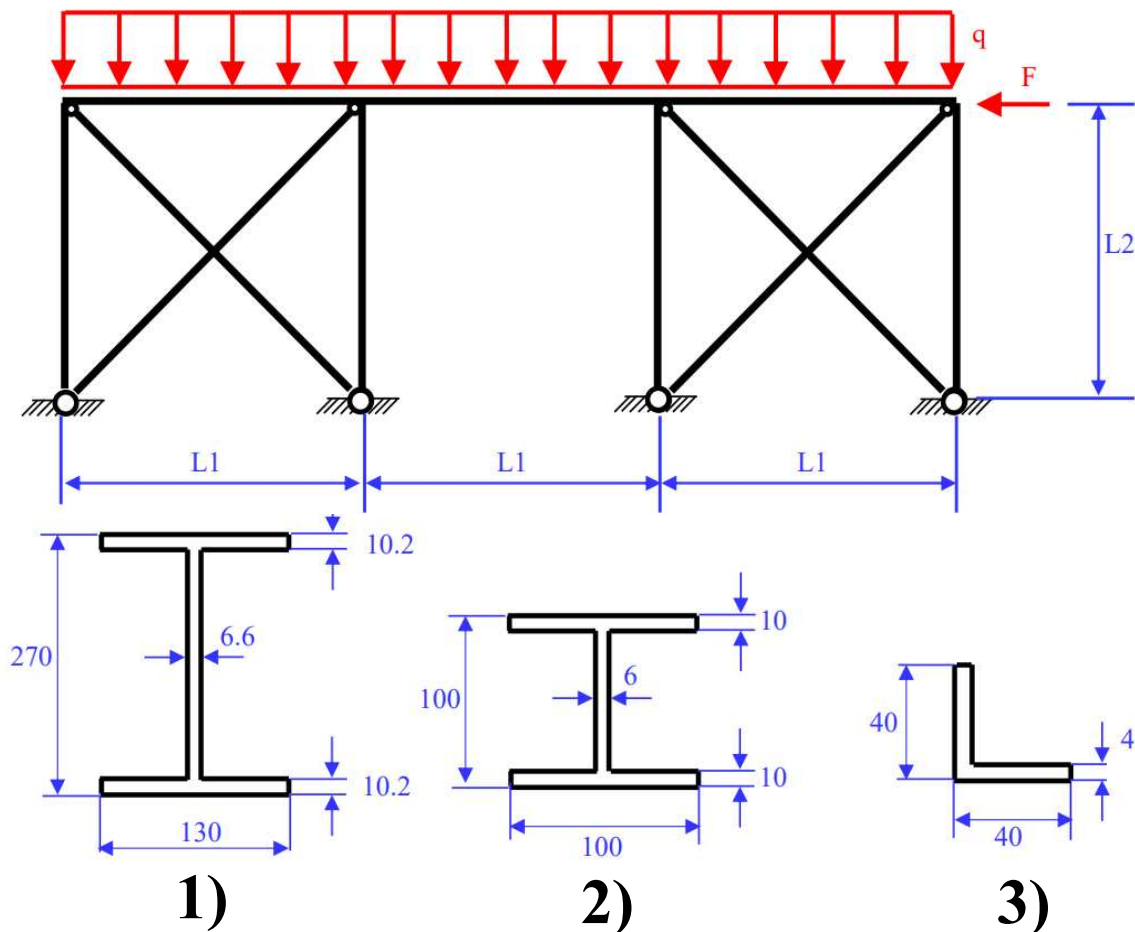
Il metodo dell'analisi agli elementi finiti (FEM, dall'inglese *Finite Element Method*), si tratta di una tecnica numerica molto potente, atta a cercare soluzioni approssimate di problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali, riducendo queste ultime a un sistema di equazioni algebriche.

## IPOTESI PRELIMINARI

- Carichi costanti nel tempo
- Risposta del materiale elastica lineare
- Non sarà considerata eventuale isteresi o plasticizzazione del materiale
- Piccoli spostamenti

## PRESENTAZIONE CASO STUDIO

### FIGURA



### CARICHI E PARAMETRI GEOMETRICI

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

### MATERIALE (FE430)

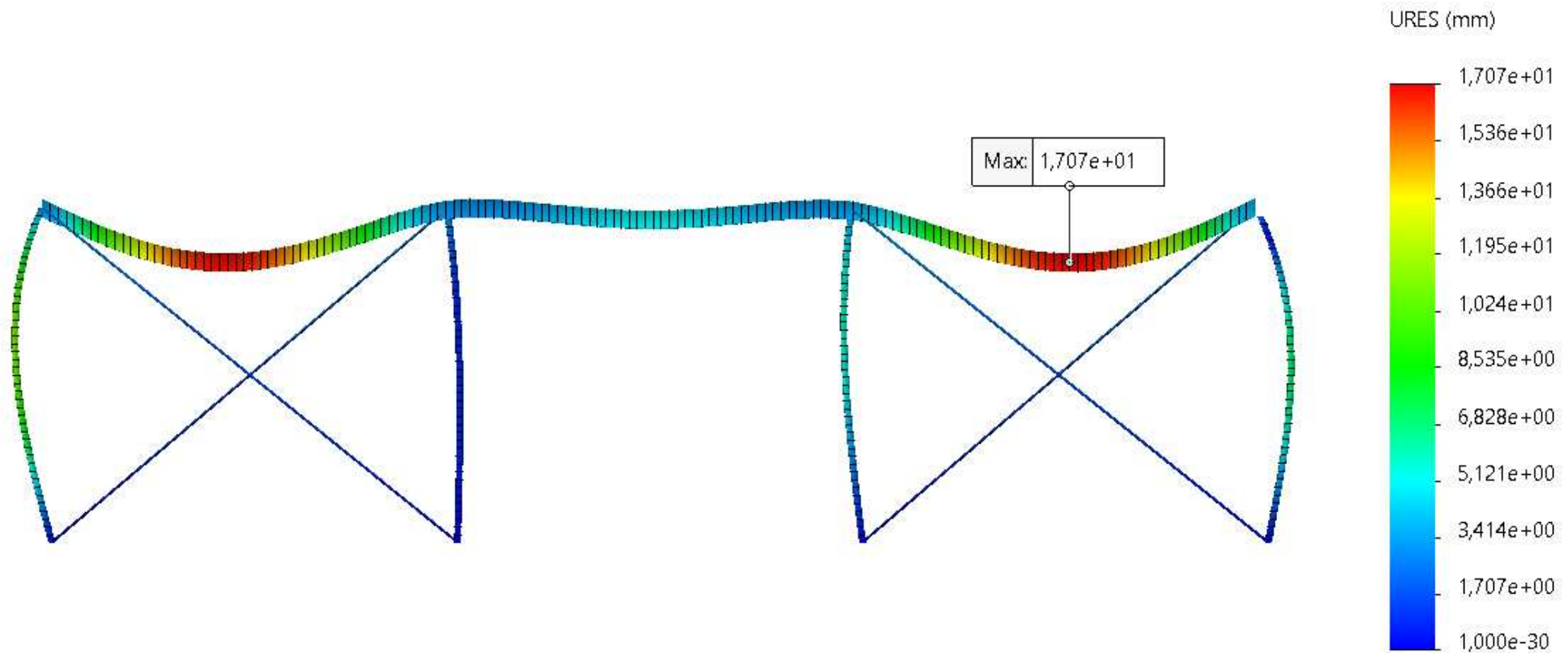
- $\sigma_{adm} = 190 \text{ MPa}$
- $E = 206000 \text{ MPa}$
- $\nu = 0,3$

### SEZIONI

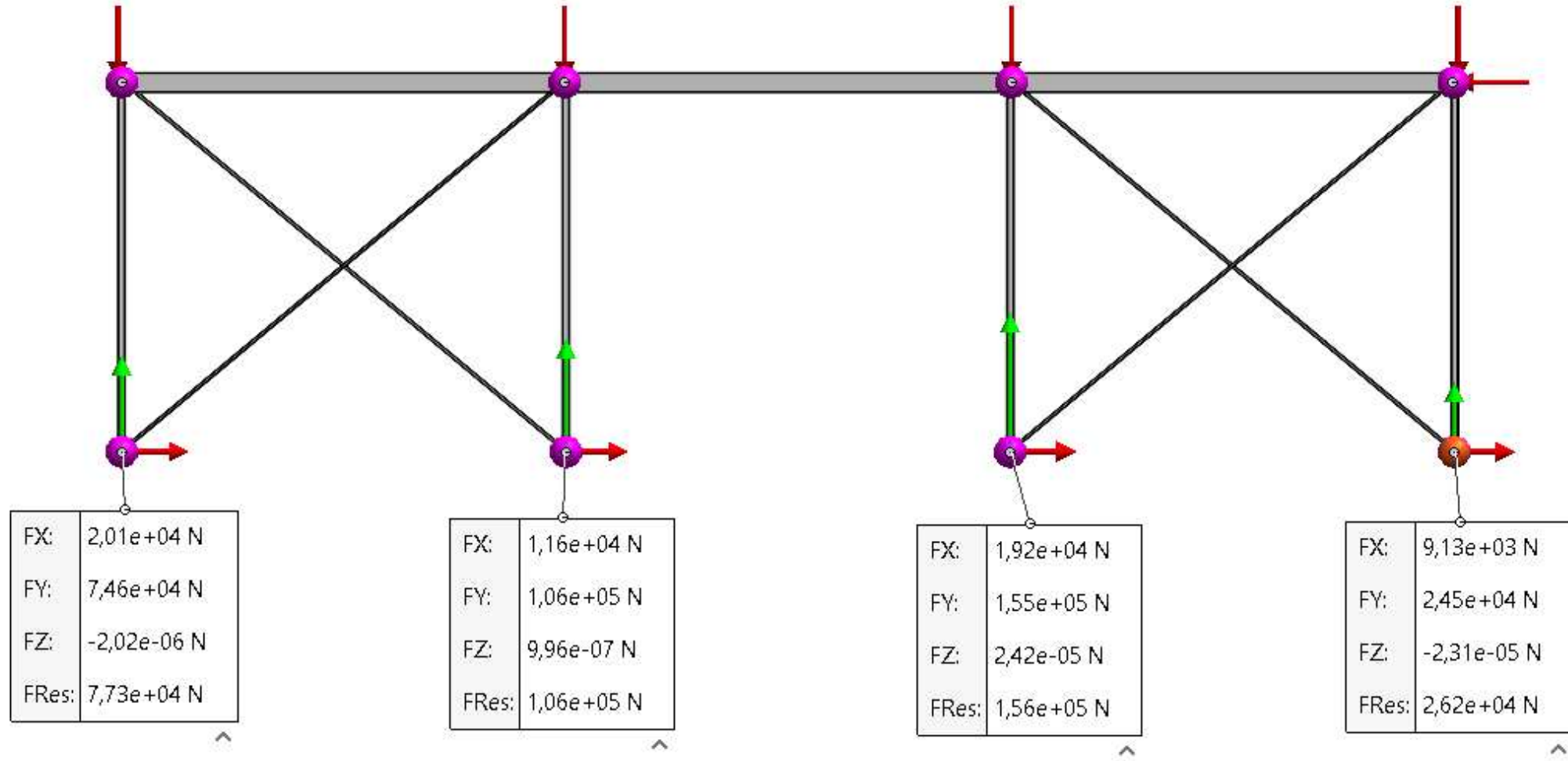
- |    |                    |           |
|----|--------------------|-----------|
| 1) | Corrente superiore | IPE 270   |
| 2) | Colonne            | HEB 100 B |
| 3) | Controventi        | L 40x4    |

## STUDIO DELLA DEFORMATA

### SPOSTAMENTO AI NODI



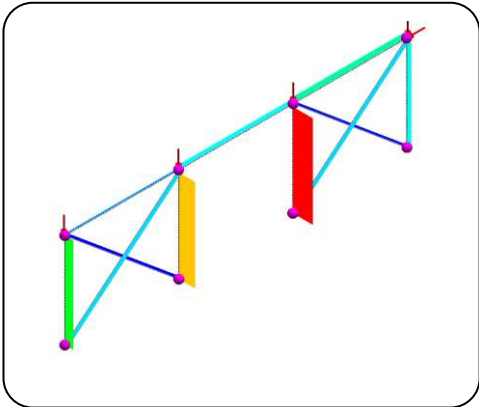
## REAZIONI VINCOLARI





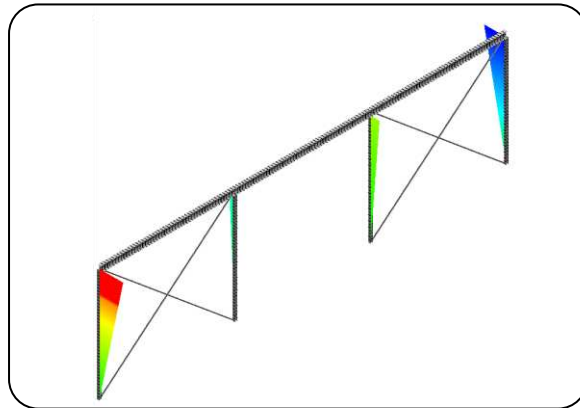
## DIAGRAMMI DI SOLLECITAZIONE

### SFORZO NORMALE



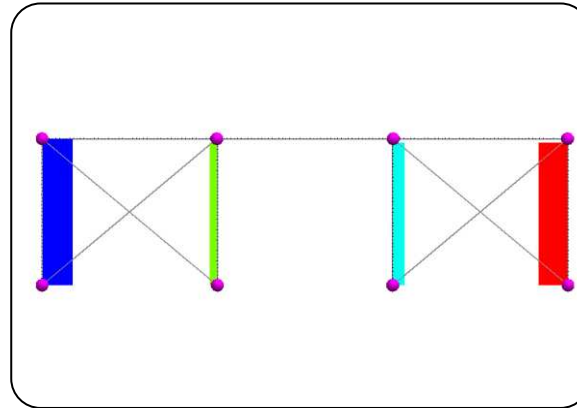
### MOMENTO FLETTENTE

#### COLONNE

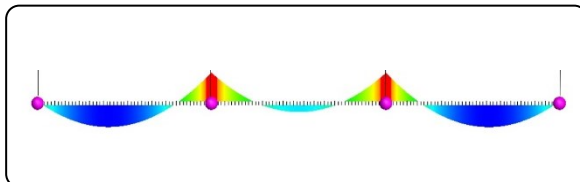


### FORZA DI TAGLIO

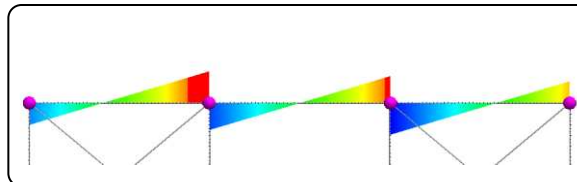
#### COLONNE



#### CORRENTE SUPERIORE



#### CORRENTE SUPERIORE



### VERIFICHE STRUTTURALI

#### TENSIONE EQUIVALENTE MASSIMA

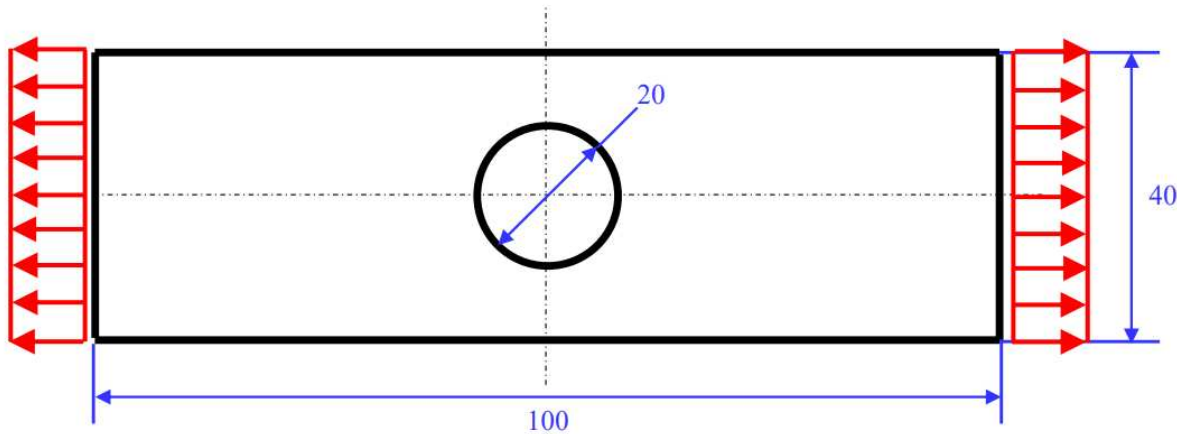
**Colonne**  
 $\sigma_{eq} = 89,76 \text{ MPa}$

**Corrente superiore**  
 $\sigma_{eq} = 81,58 \text{ MPa}$

**Controventi**  
 $\sigma_{eq} = 177,97 \text{ MPa}$

## PRESENTAZIONE CASO STUDIO

### FIGURA



### CARICHI E PARAMETRI GEOMETRICI

- $\sigma_{ng} = 1 \text{ MPa}$
- spessore = 1 mm

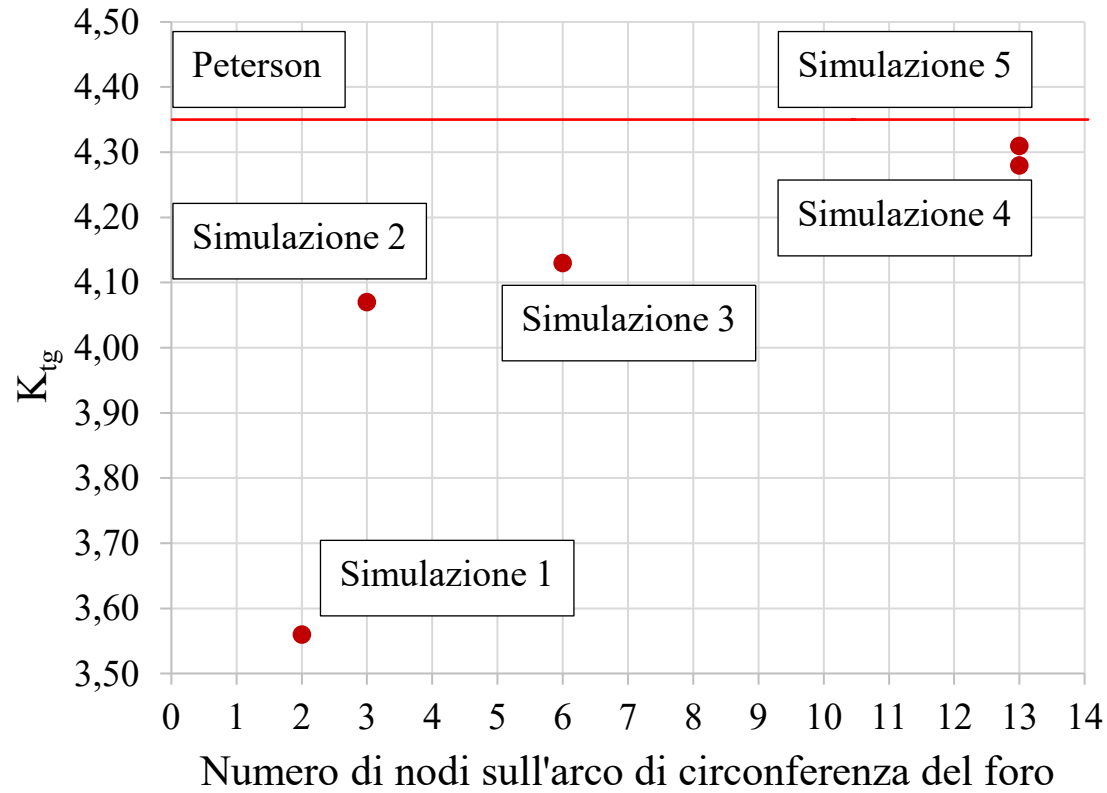
### MATERIALE (FE360)

- $\sigma_R = 360 \text{ MPa}$
- $E = 206000 \text{ MPa}$
- $\nu = 0,3$

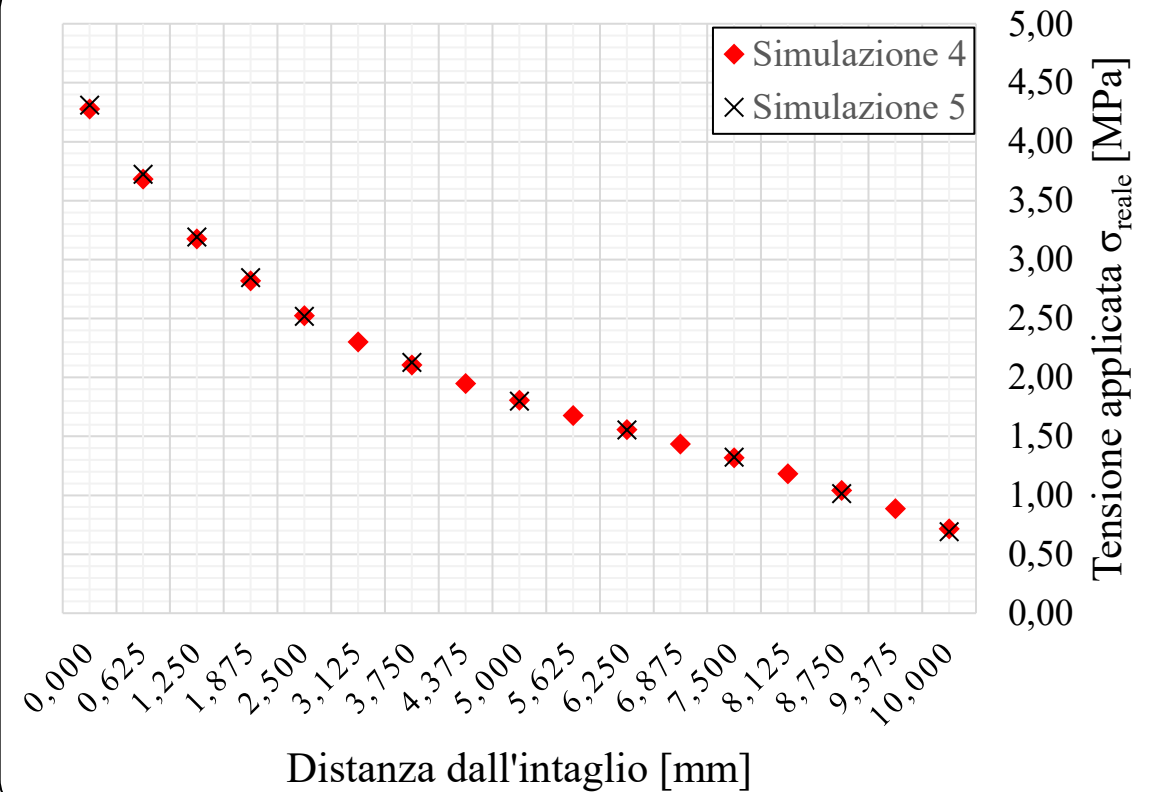
Analisi statica	Dimensione max elemento	Nodi totali	Elementi totali
Analisi statica 1	10 mm	60	23
Analisi statica 2	5 mm	196	85
Analisi statica 3	2,5 mm	663	306
Analisi statica 4	1,2 mm	2966	1433
Analisi statica 5	10 mm	381	172

## ANALISI DEI RISULTATI

**$K_{TG}$  FUNZIONE DEL NUMERO DI ELEMENTI**

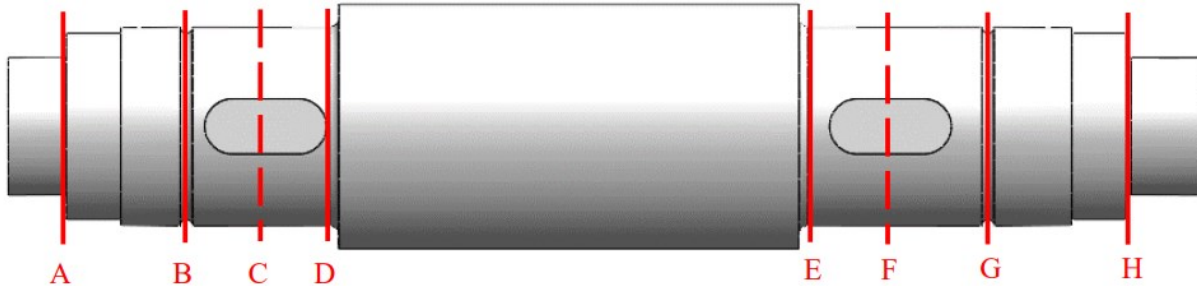


**$\sigma_{reale}$  FUNZIONE DELLA DISTANZA DALL'INTAGLIO**



## PRESENTAZIONE CASO STUDIO

### FIGURA



### SEZIONI STUDIATE

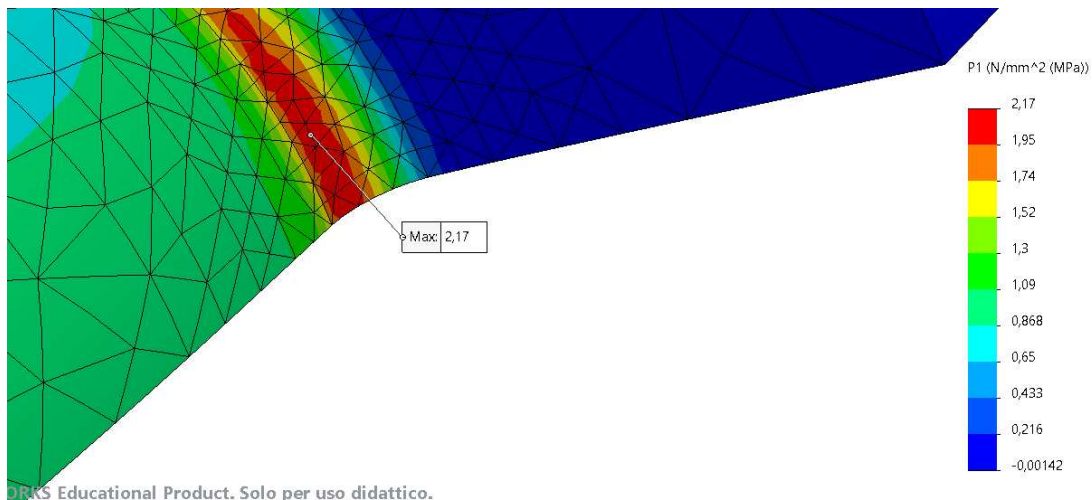
- Sezione A – spallamento del cuscinetto sinistro
- Sezione B – Gola di scarico filettatura di sinistra
- Sezione D – spallamento della ruota dentata sx

### MATERIALE (30NiCrMo12)

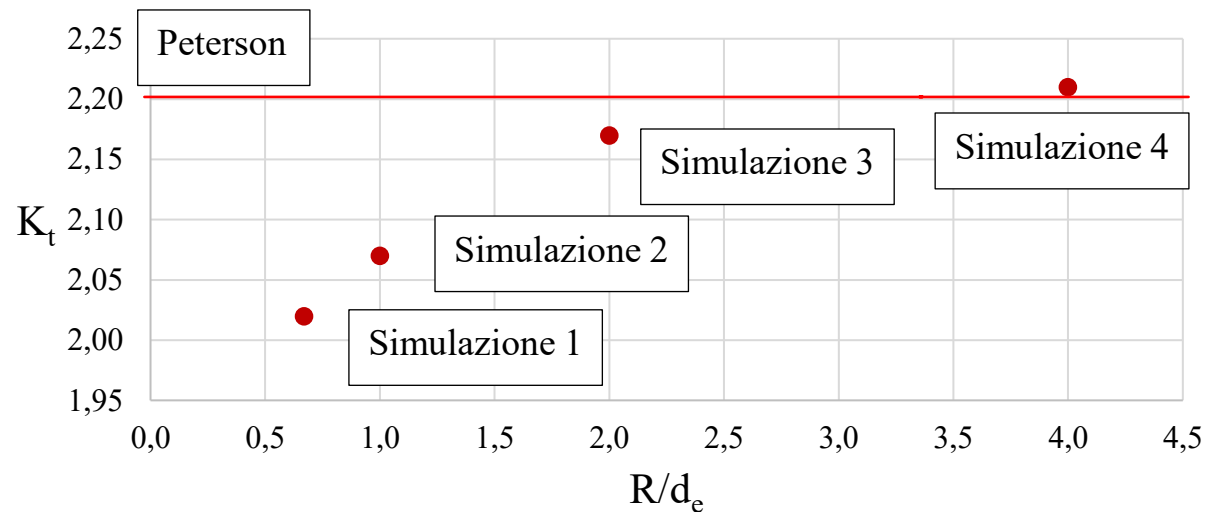
- $\sigma_R = 930$  MPa
- $\sigma_S = 735$  MPa
- $E = 206000$  MPa
- $\nu = 0,3$

## SEZIONE A – Spallamento del cuscinetto sinistro

**FIGURA**



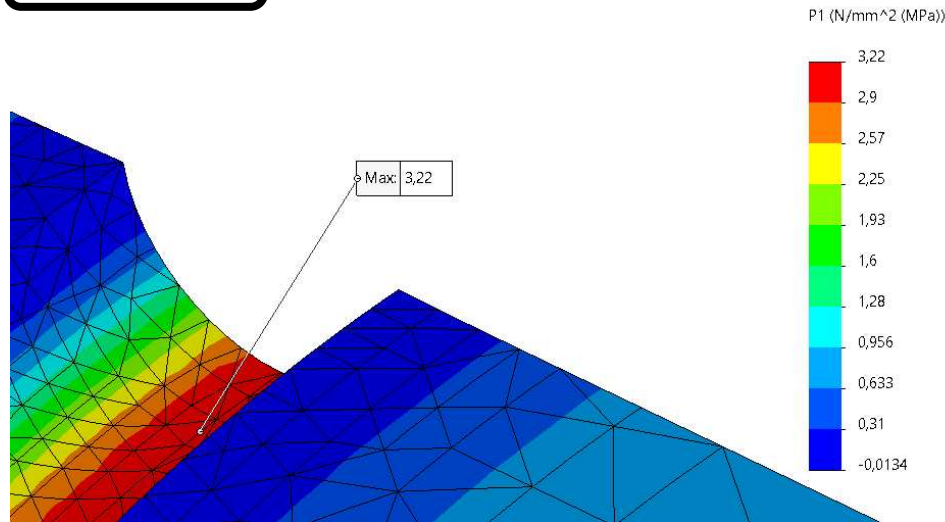
## $K_T$ FUNZIONE DEL RAPPORTO $R/d_e$



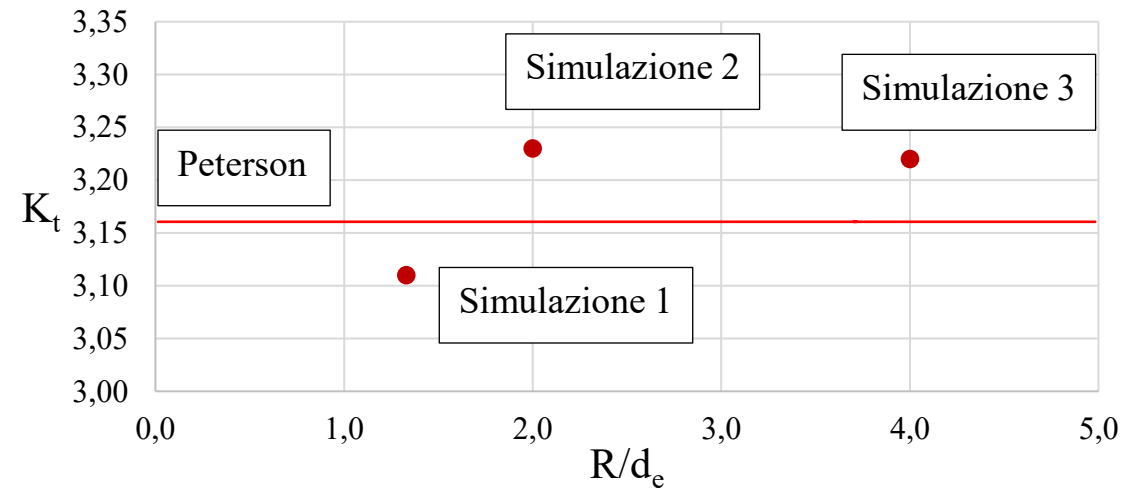
Analisi statica	Dimensione max elemento $d_e$	$K_t$ calcolato	$\frac{R(=1\text{mm})}{d_e[\text{mm}]}$	Convergenza del $K_t$
Analisi statica 1	1,50 mm	2,02	0,67	//
Analisi statica 2	1,00 mm	2,07	1,00	15,1 %
Analisi statica 3	0,50 mm	2,17	2,00	10,0 %
Analisi statica 4	0,25 mm	2,21	4,00	2,0 %

**SEZIONE B – Gola di scarico filettatura di sinistra**

**FIGURA**



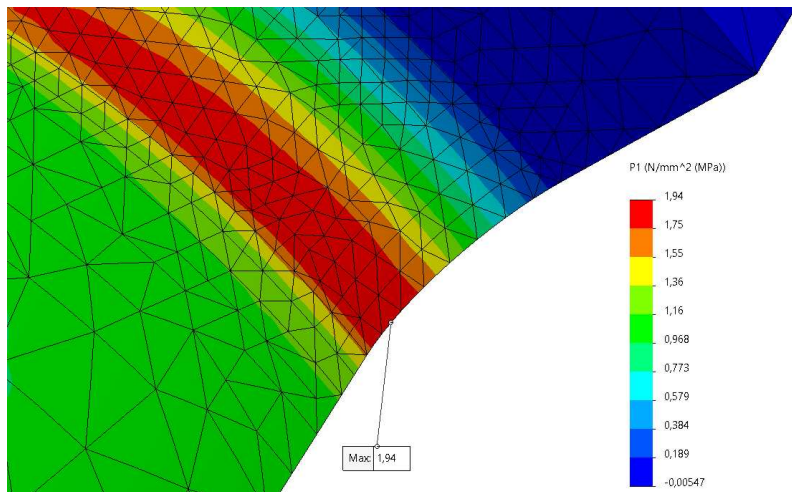
**$K_t$  FUNZIONE DEL RAPPORTO  $R/d_e$**



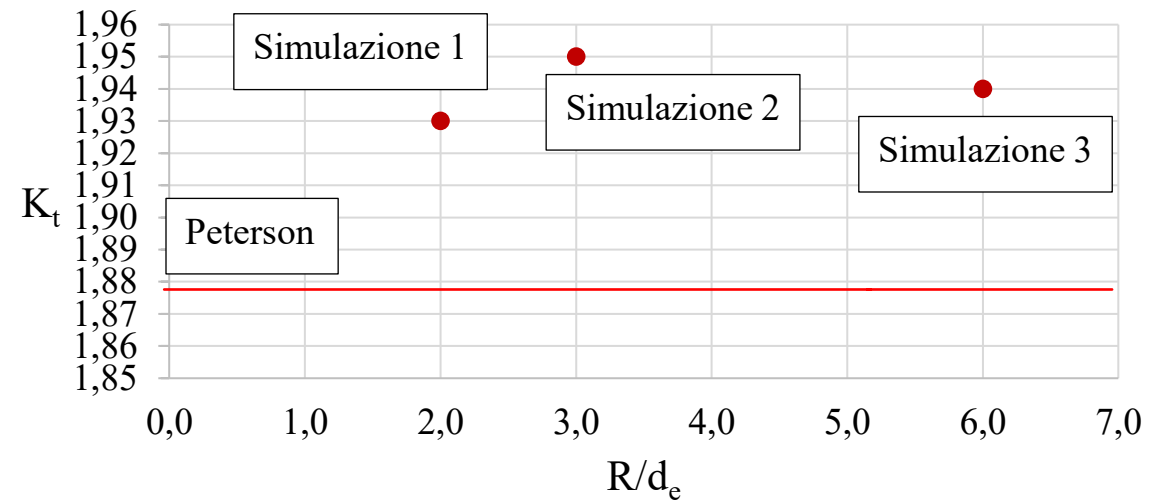
Analisi statica	Dimensione max elemento $d_e$	$K_t$ calcolato	$\frac{R(=2\text{mm})}{d_e[\text{mm}]}$	Convergenza del $K_t$
<b>Analisi statica 1</b>	1,50 mm	3,11	1,33	//
<b>Analisi statica 2</b>	1,00 mm	3,23	2,00	17,9%
<b>Analisi statica 3</b>	0,50 mm	3,22	4,00	0,5%

**SEZIONE D – Spallamento della ruota dentata sinistra**

**FIGURA**



**$K_t$  FUNZIONE DEL RAPPORTO  $R/d_e$**

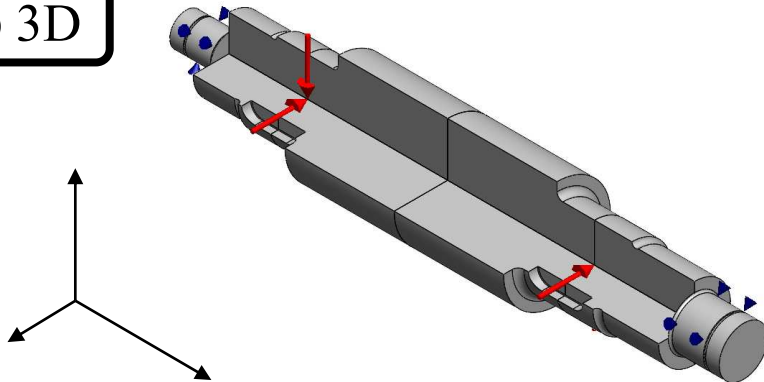


Analisi statica	Dimensione max elemento $d_e$	$K_t$ calcolato	$\frac{R(=3\text{mm})}{d_e[\text{mm}]}$	Convergenza del $K_t$
<b>Analisi statica 1</b>	1,50 mm	1,93	2,00	//
<b>Analisi statica 2</b>	1,00 mm	1,95	3,00	2,00%
<b>Analisi statica 3</b>	0,50 mm	1,94	6,00	0,03%

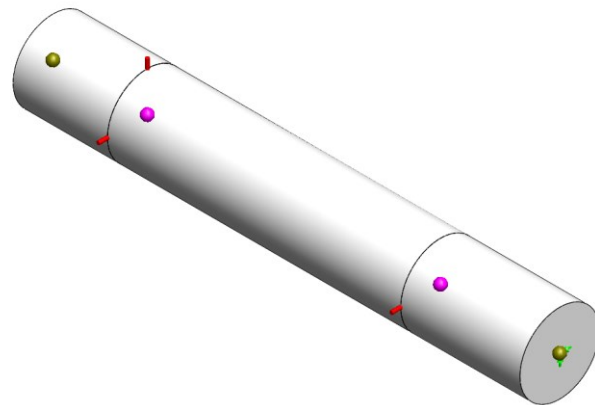
## PRESENTAZIONE CASO STUDIO

### FIGURA

#### MODELLO 3D



#### MODELLO 1D



### CARICHI APPLICATI

FORZA [N]	Ruota sx	Ruota dx
Tangenziale	-1630 N	8312 N
Radiale	-593 N	-3025 N

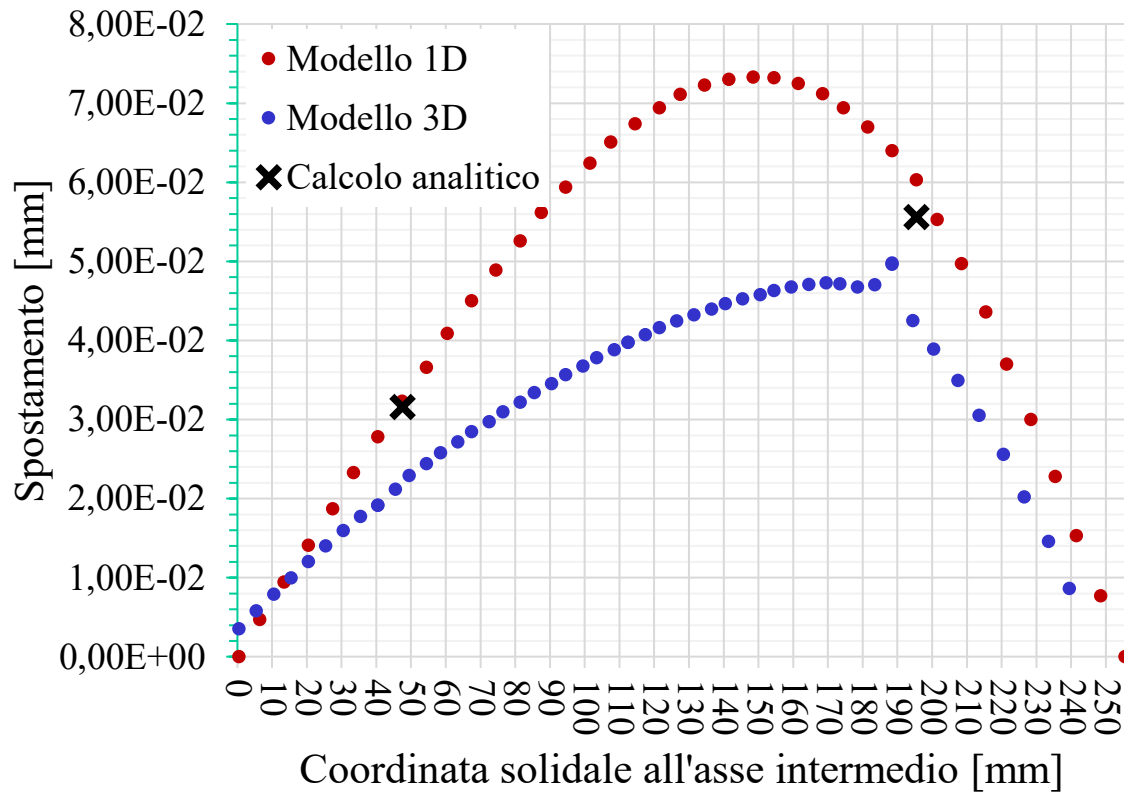
### MATERIALE (30NiCrMo12)

- $\sigma_R = 930 \text{ MPa}$
- $\sigma_S = 735 \text{ MPa}$
- $E = 206000 \text{ MPa}$
- $\nu = 0,3$

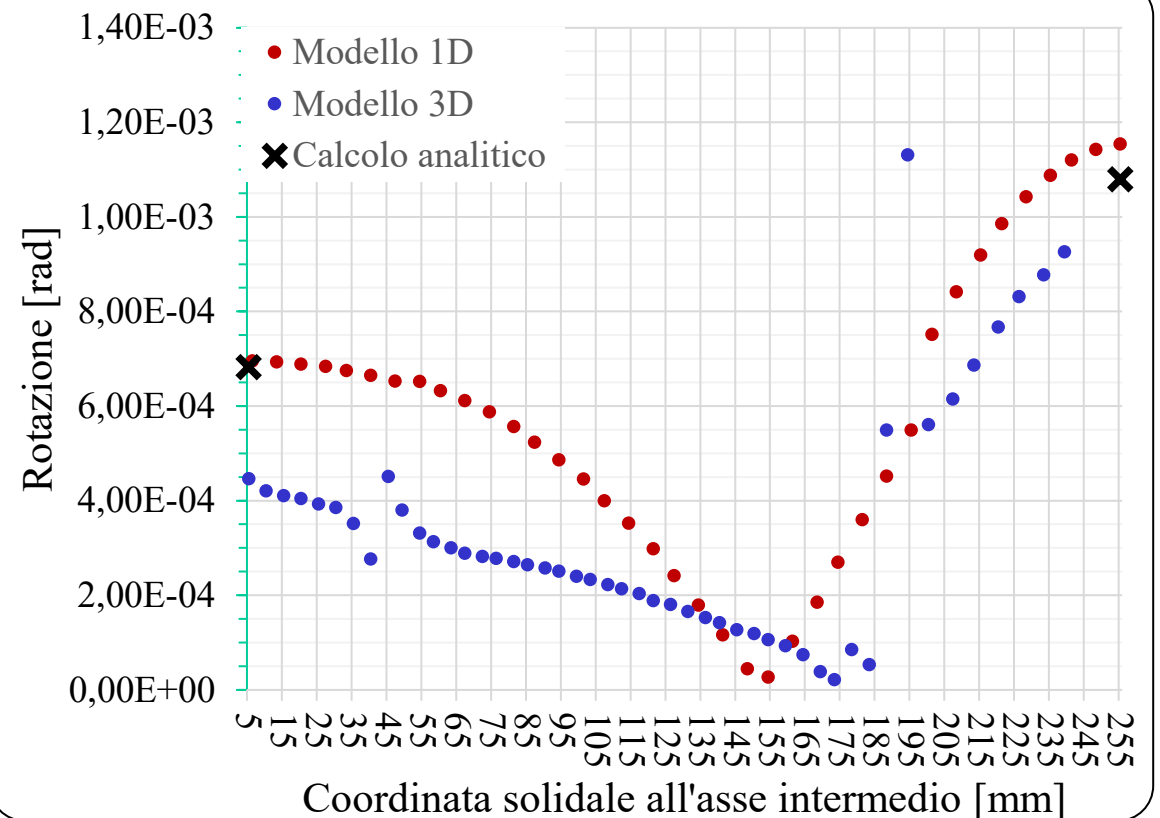


## CONFRONTO DEI RISULTATI

### SPOSTAMENTI LUNGO L'ASSE



### ROTAZIONI



## ANALISI DEI RISULTATI

### ROTAZIONI E FRECCE CALCOLATE

		SINISTRA	DESTRA
<b>MODELLO 3D</b>	FRECCE (ruote)	$f_2 \text{ [mm]} = 1,92 \cdot 10^{-2}$	$f_3 \text{ [mm]} = 4,97 \cdot 10^{-2}$
	ROTAZIONI (cuscinetti)	$\Phi_S \text{ [rad]} = 4,20 \cdot 10^{-4}$	$\varphi_D \text{ [rad]} = 9,26 \cdot 10^{-4}$
<b>MODELLO 1D</b>	FRECCE (ruote)	$f_2 \text{ [mm]} = 3,23 \cdot 10^{-2}$	$f_3 \text{ [mm]} = 6,03 \cdot 10^{-2}$
	ROTAZIONI (cuscinetti)	$\varphi_3 \text{ [rad]} = 6,96 \cdot 10^{-4}$	$\varphi_3 \text{ [rad]} = 1,15 \cdot 10^{-3}$
<b>CALCOLO ANALITICO</b>	FRECCE (ruote)	$f_2 \text{ [mm]} = 3,16 \cdot 10^{-2}$	$f_3 \text{ [mm]} = 5,56 \cdot 10^{-2}$
	ROTAZIONI (cuscinetti)	$\varphi_3 \text{ [rad]} = 6,82 \cdot 10^{-4}$	$\varphi_3 \text{ [rad]} = 1,08 \cdot 10^{-4}$

### VALORI LIMITE

	SINISTRA	DESTRA
<b>FRECCE (ruote)</b>	$f_2 \text{ [mm]} = 1,23 \cdot 10^{-1}$	$f_3 \text{ [mm]} = 1,23 \cdot 10^{-1}$
<b>ROTAZIONI (cuscinetti)</b>	$\Phi_S \text{ [rad]} = 2,91 \cdot 10^{-3}$	$\varphi_D \text{ [rad]} = 1,16 \cdot 10^{-3}$