

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

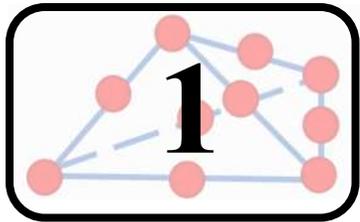
Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: Gusella Giacomo

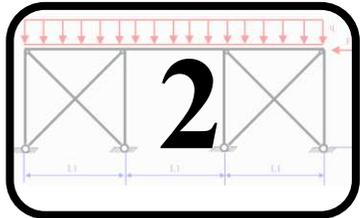
Padova, 09/07/2024

- 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

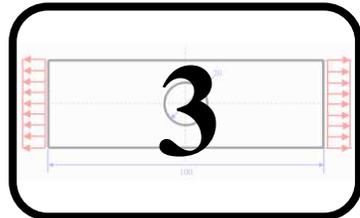
Lo studio si struttura lungo cinque fasi e fonda i suoi obiettivi primari nell'applicazione del software Solidworks[®] Simulations a casi reali di analisi agli elementi finiti.



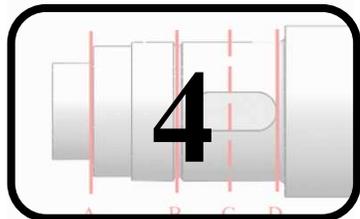
- Introduzione
- Breve studio del metodo utilizzato
- Assunzione delle ipotesi preliminari



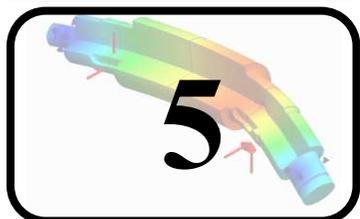
- Addestramento all'utilizzo del software - telaio piano
- Analisi di sollecitazione
- Verifica strutturale



- 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.

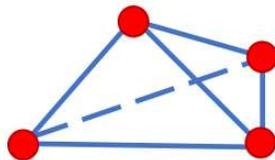
TEORIA DI BASE

NODO

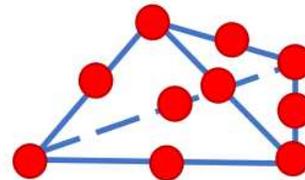


ELEMENTO

1° ORDINE

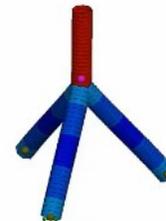


2° ORDINE

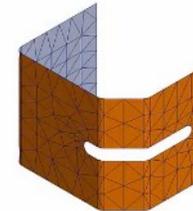


MESH

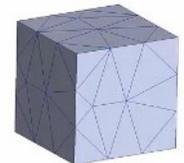
TRAVE



SHELL



SOLIDA



DEFINIZIONE

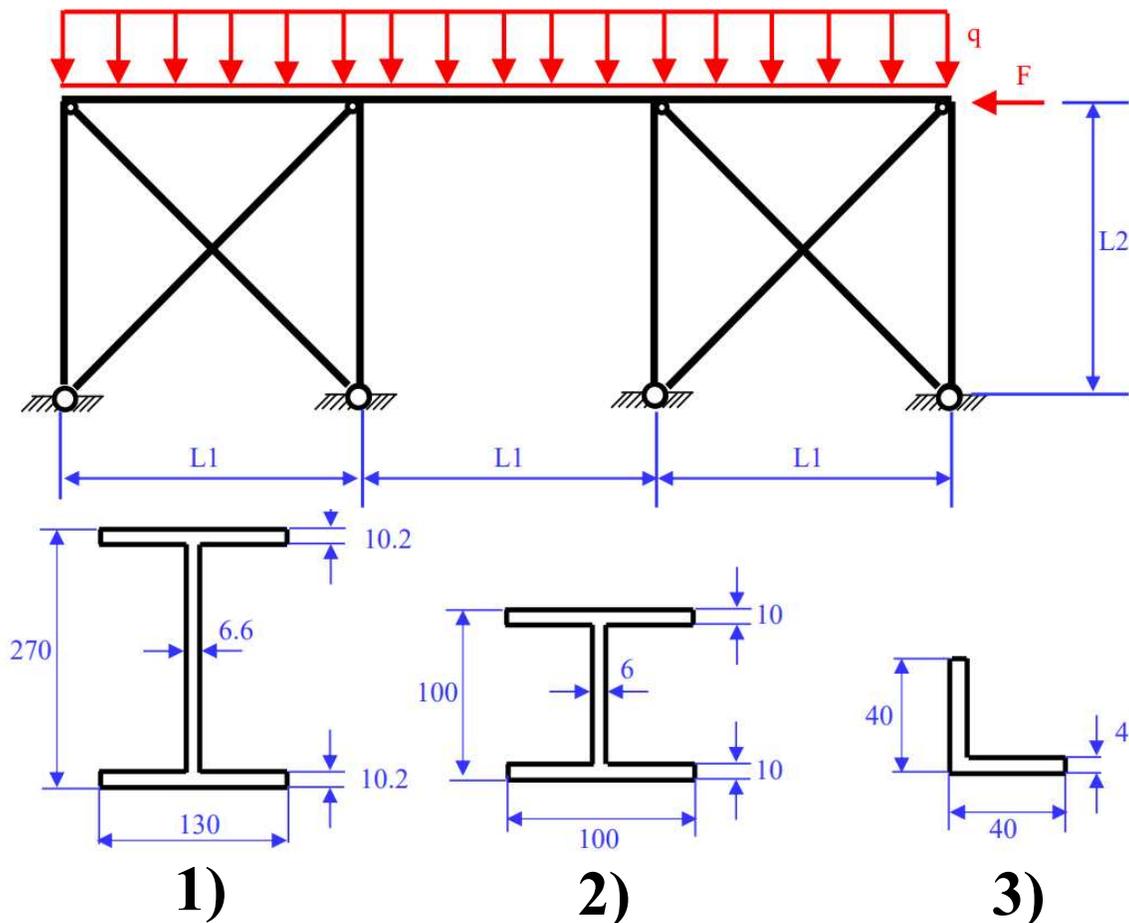
Il metodo dell'analisi agli elementi finiti (FEM, dall'inglese *Finite Element Method*), si tratta di una tecnica numerica molto potente, atta a cercare soluzioni approssimate di problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali, riducendo queste ultime a un sistema di equazioni algebriche.

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)

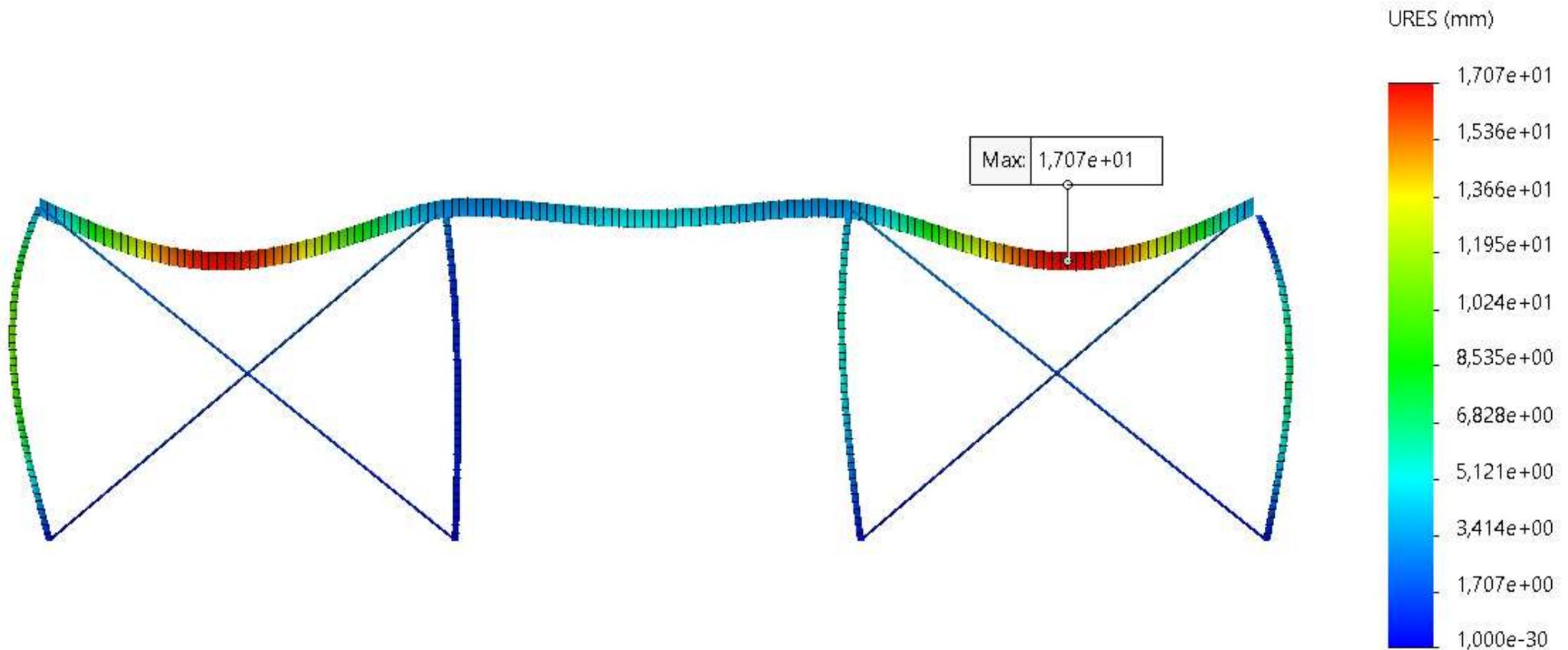
- $\sigma_{adm} = 190 \text{ MPa}$
- $E = 206000 \text{ MPa}$
- $\nu = 0,3$

SEZIONI

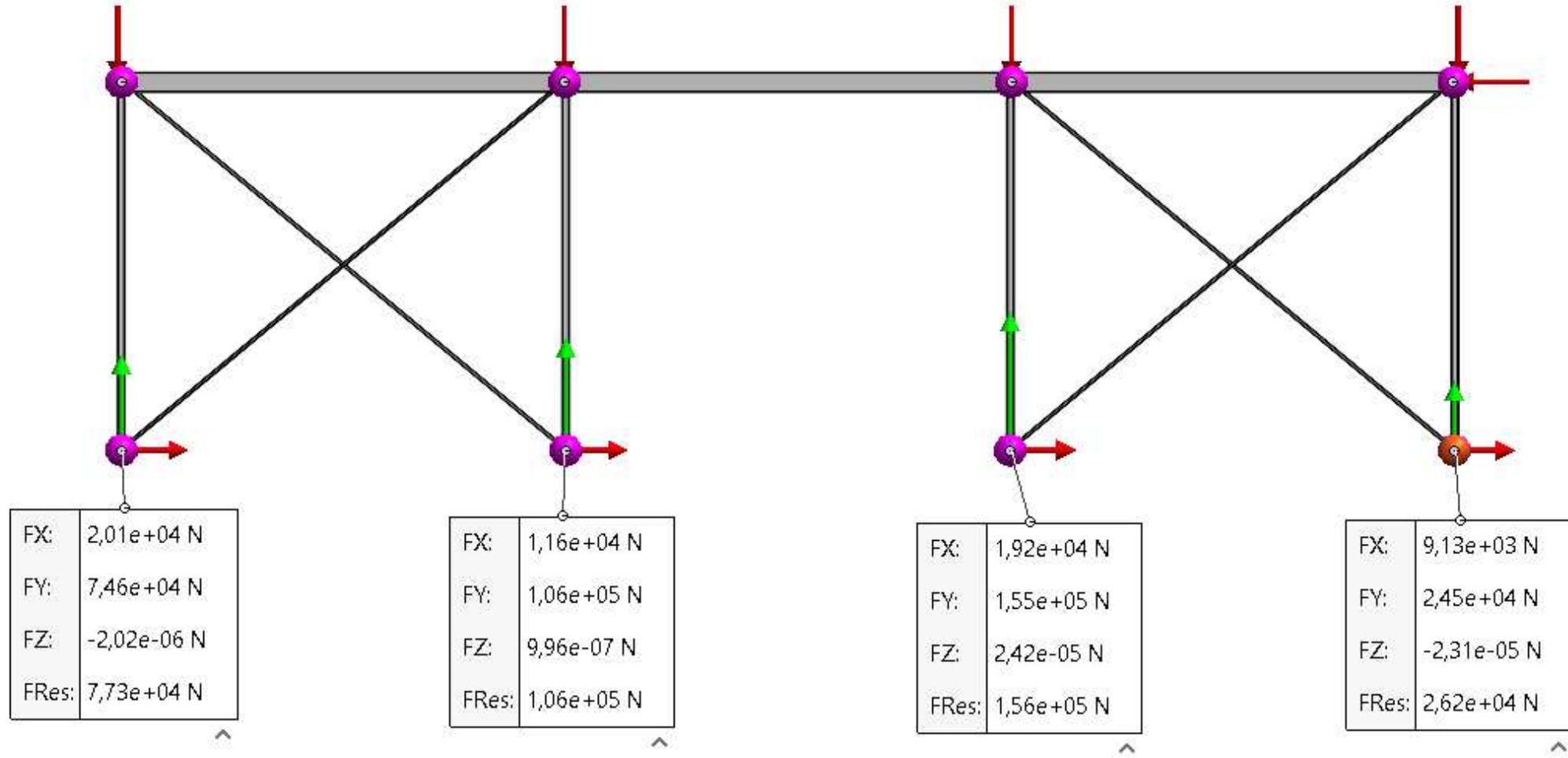
- | | | |
|----|--------------------|-----------|
| 1) | Corrente superiore | IPE 270 |
| 2) | Colonne | HEB 100 B |
| 3) | Controventi | L 40x4 |

STUDIO DELLA DEFORMATA

SPOSTAMENTO AI NODI

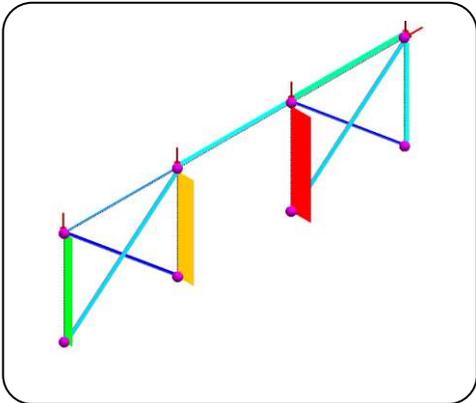


REAZIONI VINCOLARI



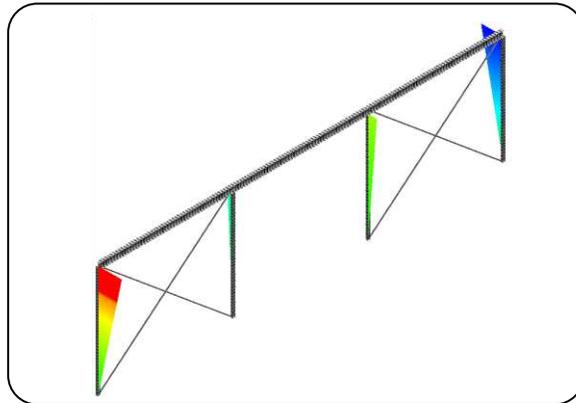
DIAGRAMMI DI SOLLECITAZIONE

SFORZO NORMALE



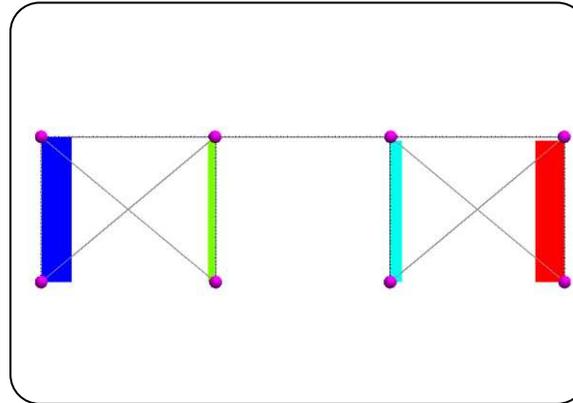
MOMENTO FLETTENTE

COLONNE

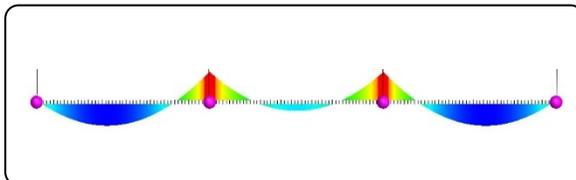


FORZA DI TAGLIO

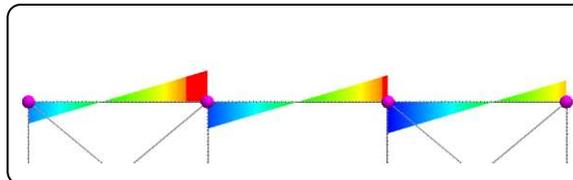
COLONNE



CORRENTE SUPERIORE



CORRENTE SUPERIORE



VERIFICHE STRUTTURALI

TENSIONE EQUIVALENTE MASSIMA

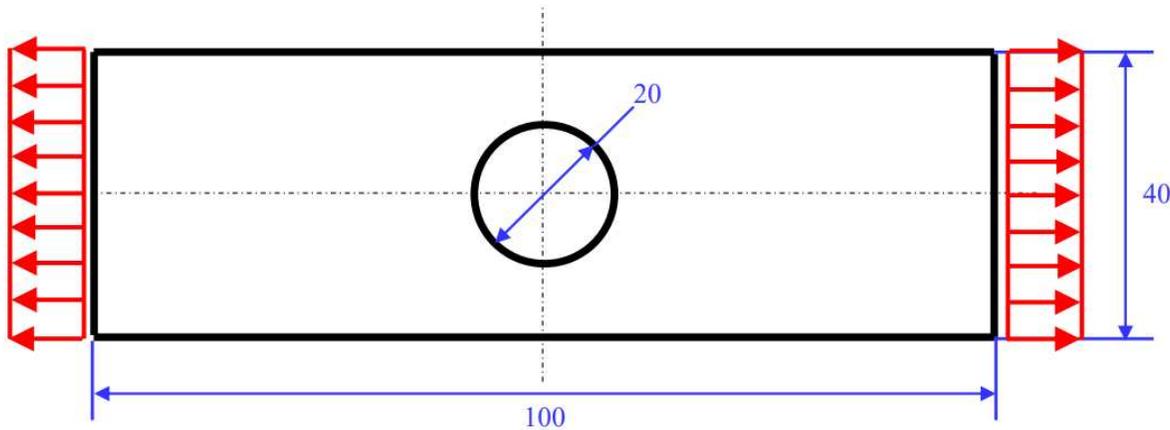
Colonne
 $\sigma_{eq} = 89,76 \text{ MPa}$

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

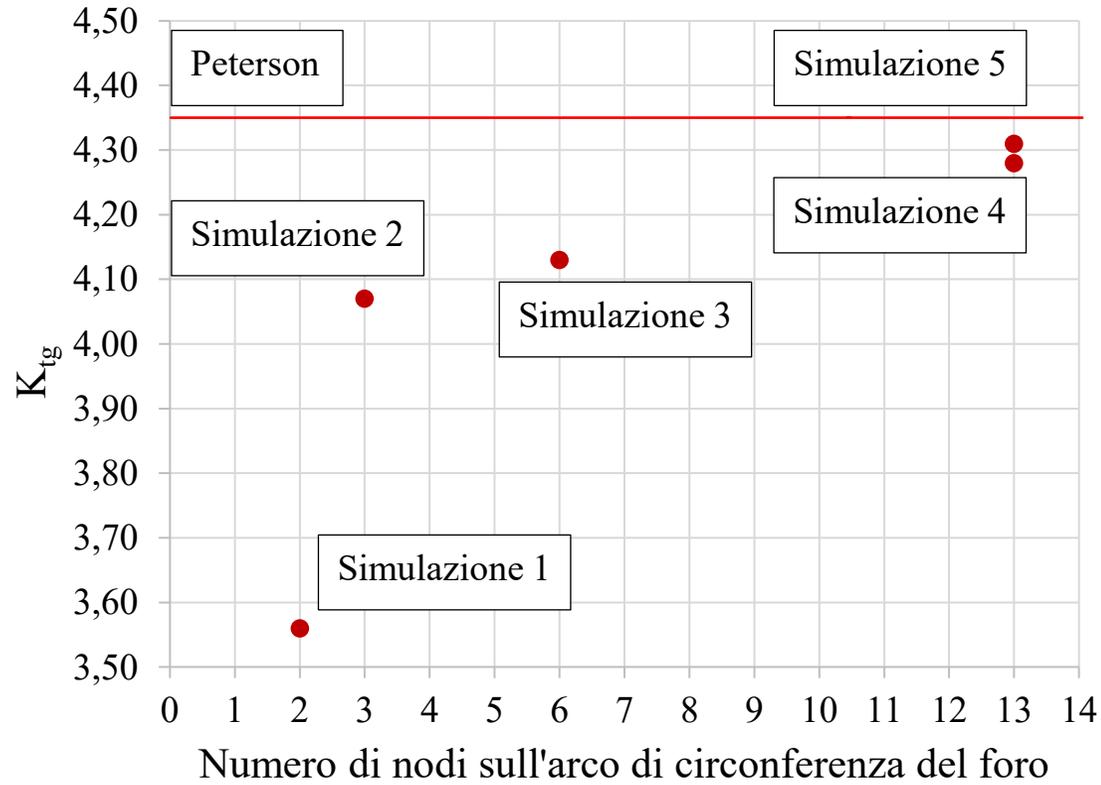
MATERIALE (FE360)

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

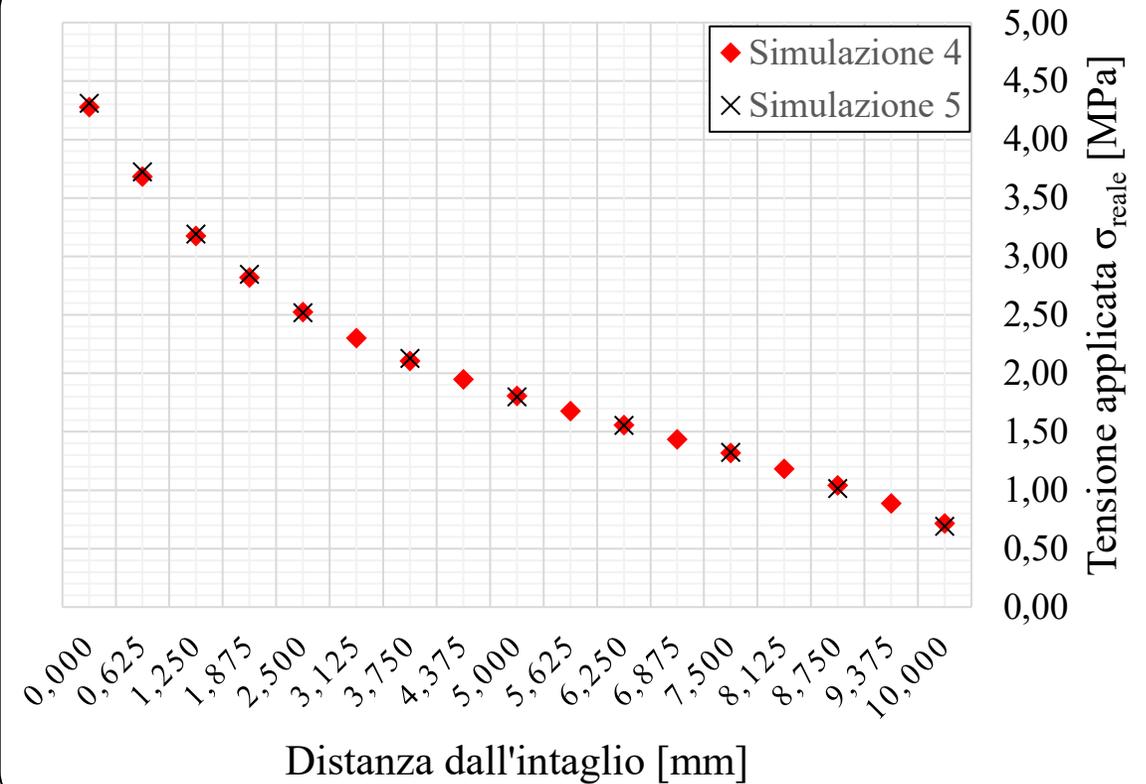
Analisi statica	Dimensione max elemento	Nodi totali	Elementi totali
Analisi statica 1	10 mm	60	23
Analisi statica 2	5 mm	196	85
Analisi statica 3	2,5 mm	663	306
Analisi statica 4	1,2 mm	2966	1433
Analisi statica 5	10 mm	381	172

ANALISI DEI RISULTATI

K_{TG} FUNZIONE DEL NUMERO DI ELEMENTI

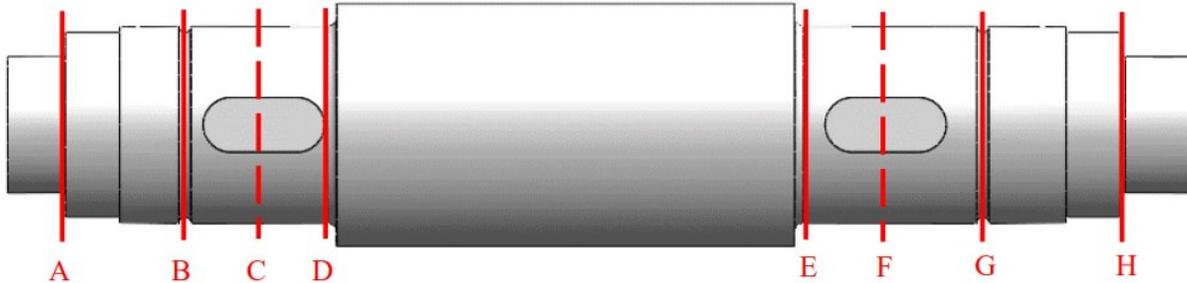


σ_{reale} FUNZIONE DELLA DISTANZA DALL'INTAGLIO



PRESENTAZIONE CASO STUDIO

FIGURA



SEZIONI STUDIATE

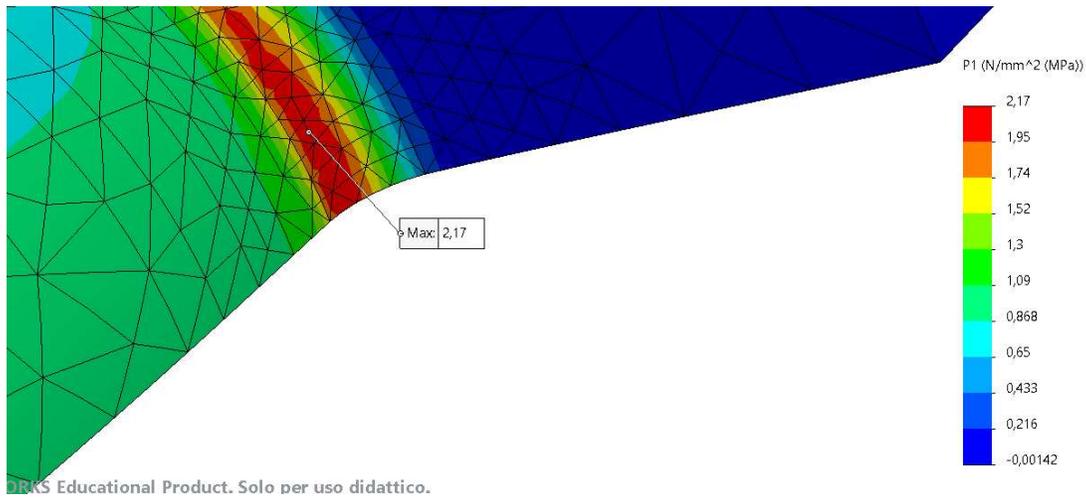
- Sezione A – spallamento del cuscinetto sinistro
- Sezione B – Gola di scarico filettatura di sinistra
- Sezione D – spallamento della ruota dentata sx

MATERIALE (30NiCrMo12)

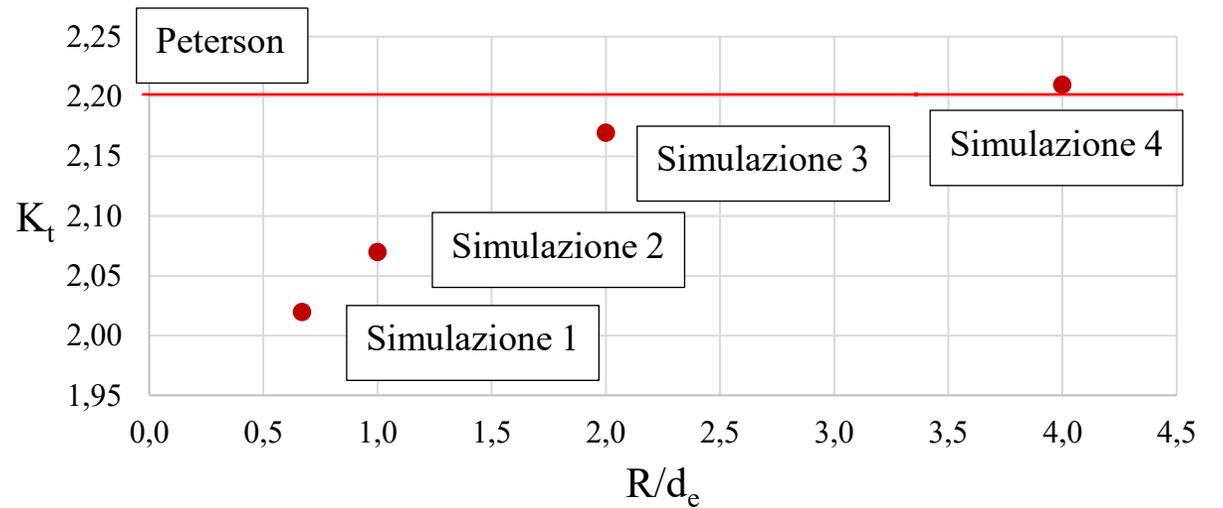
- $\sigma_R = 930$ MPa
- $\sigma_S = 735$ MPa
- $E = 206000$ MPa
- $\nu = 0,3$

SEZIONE A – Spallamento del cuscinetto sinistro

FIGURA



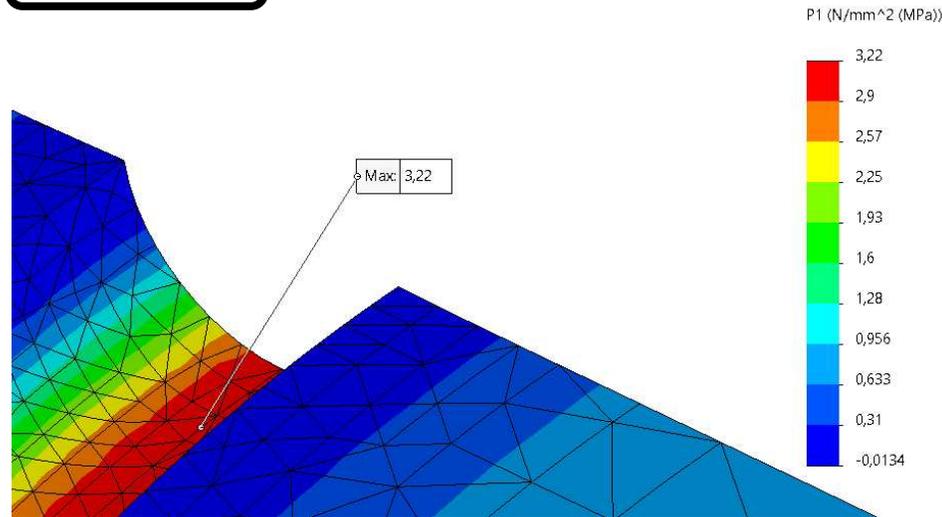
K_T FUNZIONE DEL RAPPORTO R/d_e



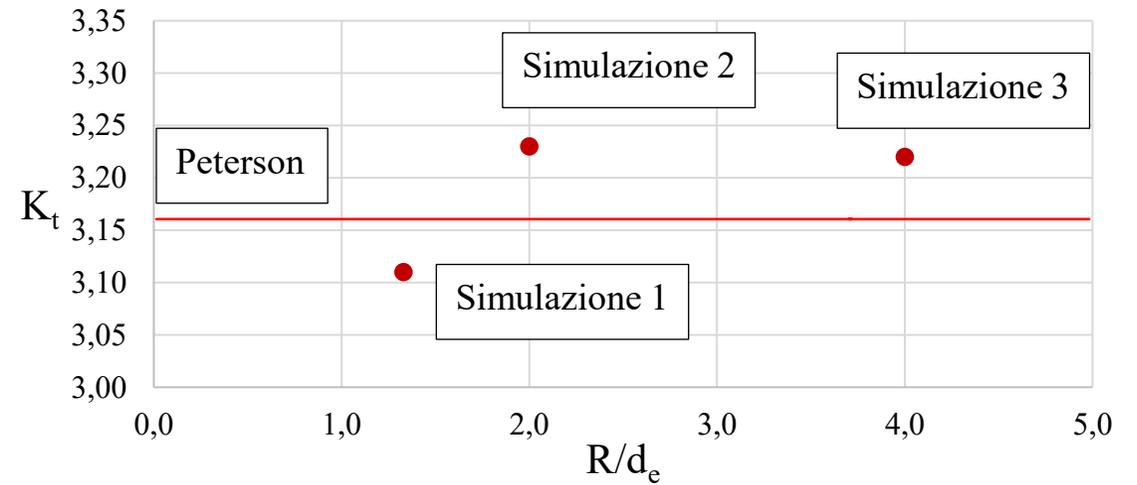
Analisi statica	Dimensione max elemento d_e	K_t calcolato	$\frac{R(=1\text{mm})}{d_e[\text{mm}]}$	Convergenza del K_t
Analisi statica 1	1,50 mm	2,02	0,67	//
Analisi statica 2	1,00 mm	2,07	1,00	15,1 %
Analisi statica 3	0,50 mm	2,17	2,00	10,0 %
Analisi statica 4	0,25 mm	2,21	4,00	2,0 %

SEZIONE B – Gola di scarico filettatura di sinistra

FIGURA



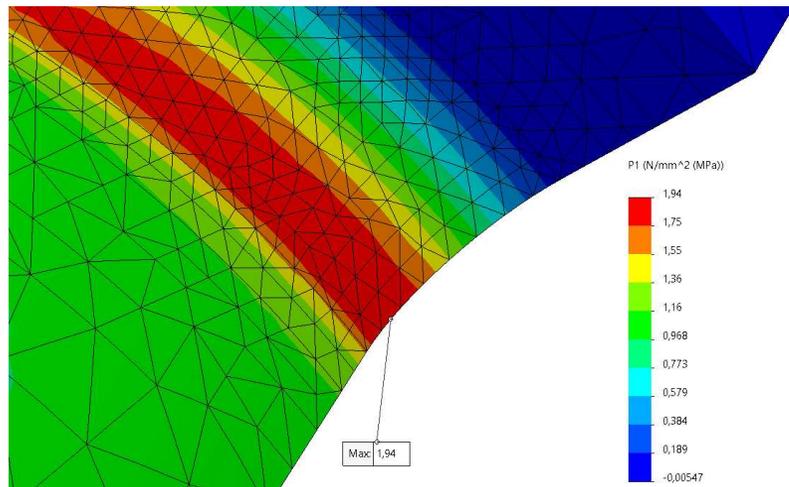
K_T FUNZIONE DEL RAPPORTO R/d_e



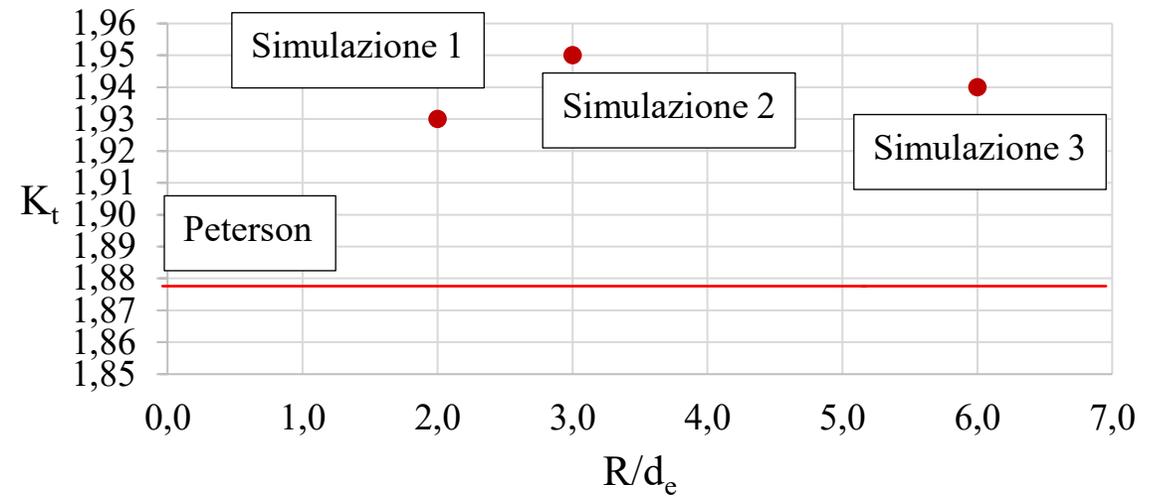
Analisi statica	Dimensione max elemento d_e	K_t calcolato	$\frac{R(=2\text{mm})}{d_e[\text{mm}]}$	Convergenza del K_t
Analisi statica 1	1,50 mm	3,11	1,33	//
Analisi statica 2	1,00 mm	3,23	2,00	17,9%
Analisi statica 3	0,50 mm	3,22	4,00	0,5%

SEZIONE D – Spallamento della ruota dentata sinistra

FIGURA



K_t FUNZIONE DEL RAPPORTO R/d_e

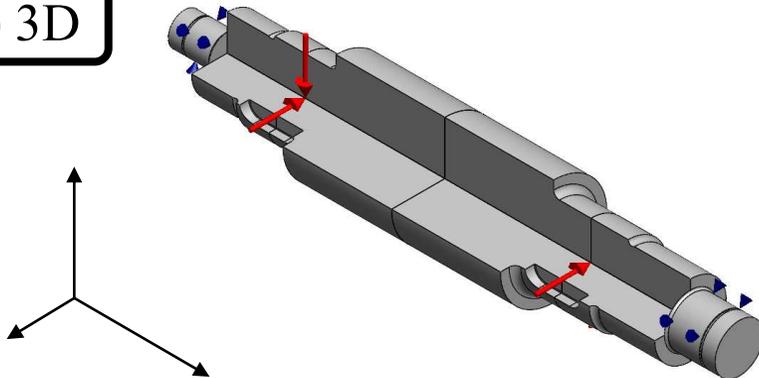


Analisi statica	Dimensione max elemento d_e	K_t calcolato	$\frac{R(=3\text{mm})}{d_e[\text{mm}]}$	Convergenza del K_t
Analisi statica 1	1,50 mm	1,93	2,00	//
Analisi statica 2	1,00 mm	1,95	3,00	2,00%
Analisi statica 3	0,50 mm	1,94	6,00	0,03%

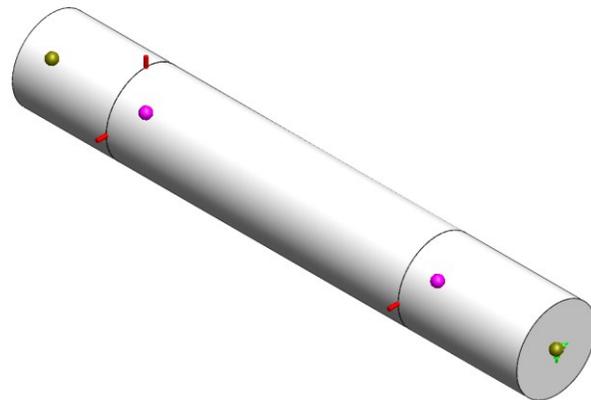
PRESENTAZIONE CASO STUDIO

FIGURA

MODELLO 3D



MODELLO 1D



CARICHI APPLICATI

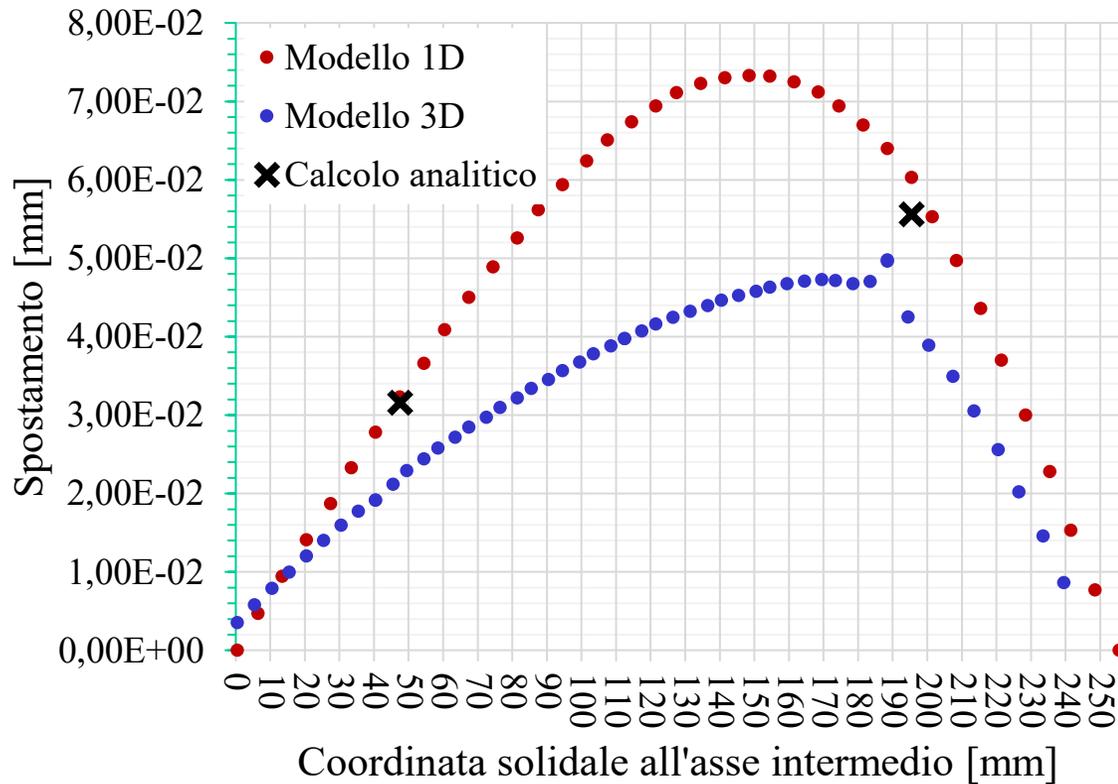
FORZA [N]	Ruota sx	Ruota dx
Tangenziale	-1630 N	8312 N
Radiale	-593 N	-3025 N

MATERIALE (30NiCrMo12)

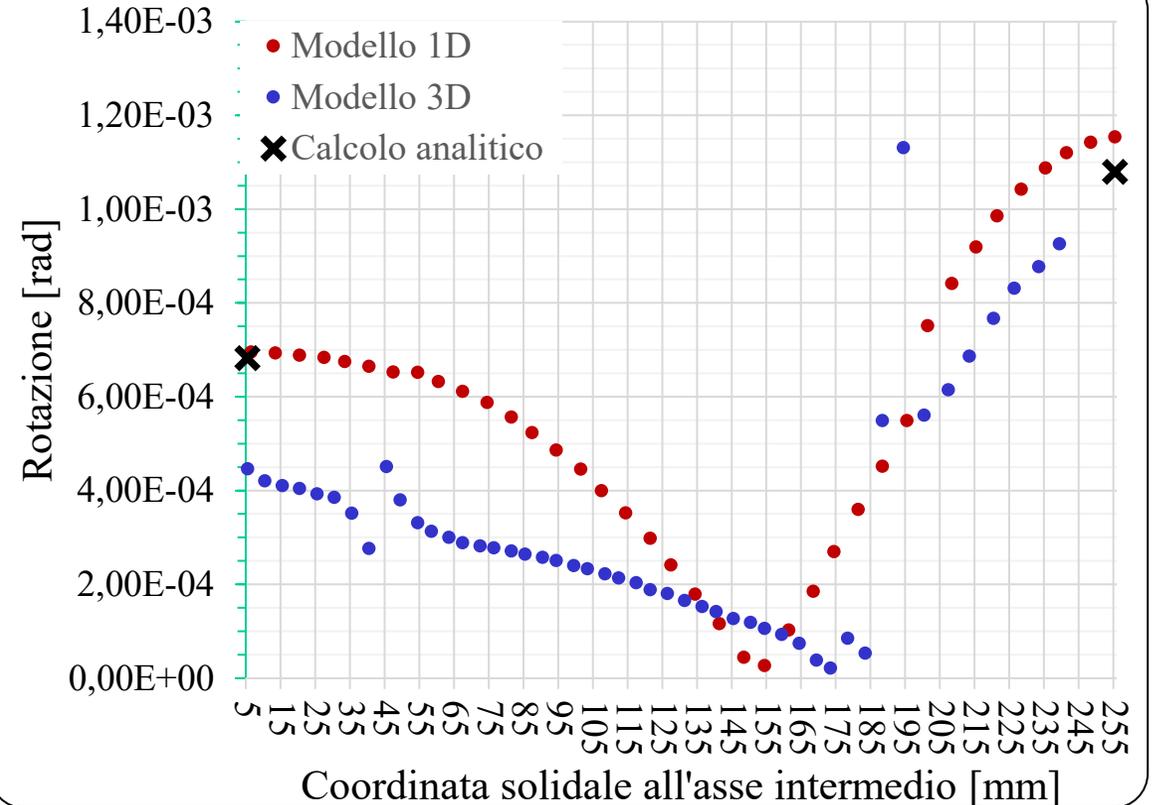
- $\sigma_R = 930 \text{ MPa}$
- $\sigma_S = 735 \text{ MPa}$
- $E = 206000 \text{ MPa}$
- $\nu = 0,3$

CONFRONTO DEI RISULTATI

SPOSTAMENTI LUNGO L'ASSE



ROTAZIONI



ANALISI DEI RISULTATI

ROTAZIONI E FRECCE CALCOLATE

		SINISTRA	DESTRA
MODELLO 3D	FRECCE (ruote)	$f_2 \text{ [mm]} = 1,92 \cdot 10^{-2}$	$f_3 \text{ [mm]} = 4,97 \cdot 10^{-2}$
	ROTAZIONI (cuscinetti)	$\Phi_S \text{ [rad]} = 4,20 \cdot 10^{-4}$	$\varphi_D \text{ [rad]} = 9,26 \cdot 10^{-4}$
MODELLO 1D	FRECCE (ruote)	$f_2 \text{ [mm]} = 3,23 \cdot 10^{-2}$	$f_3 \text{ [mm]} = 6,03 \cdot 10^{-2}$
	ROTAZIONI (cuscinetti)	$\varphi_3 \text{ [rad]} = 6,96 \cdot 10^{-4}$	$\varphi_3 \text{ [rad]} = 1,15 \cdot 10^{-3}$
CALCOLO ANALITICO	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
FRECCE (ruote)	$f_2 \text{ [mm]} = 1,23 \cdot 10^{-1}$	$f_3 \text{ [mm]} = 1,23 \cdot 10^{-1}$
ROTAZIONI (cuscinetti)	$\Phi_S \text{ [rad]} = 2,91 \cdot 10^{-3}$	$\varphi_D \text{ [rad]} = 1,16 \cdot 10^{-3}$