

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale

***«Verifiche strutturali agli elementi finiti degli
elementi costruttivi di un riduttore ad ingranaggi»***

Tutor universitario: Prof. Meneghetti Giovanni

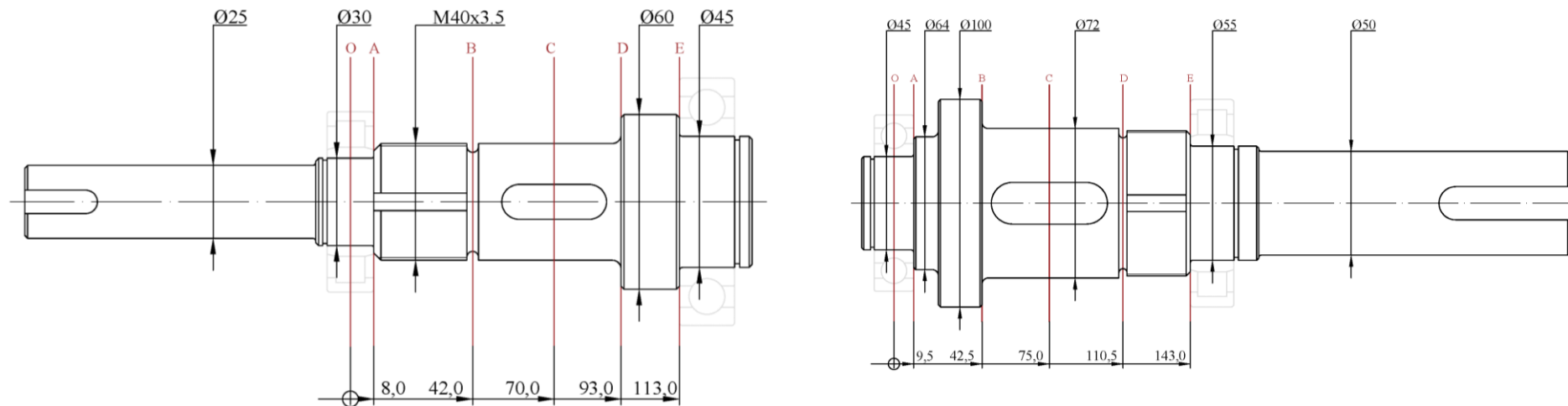
Laureando: *Schiavo Alessandro – 1189417*

Padova 22/09/2023

Completamento del progetto del corso di Costruzione di Macchine 1

1. dimensionamento e verifica analitica degli alberi di ingresso e uscita [calcoli carta e penna, Excel®]
2. modellazione completa dei componenti della macchina [CAD DS Solidworks®]
3. analisi agli elementi finiti delle sezioni di intaglio degli alberi per determinare i coefficienti di concentrazione delle tensioni K_t [CAE DS Solidworks Simulation®]
4. analisi agli elementi finiti degli alberi per determinare le frecce di deformazione

- Materiale: acciaio da bonifica 39NiCrMo3
- Scelta cuscinetti: coefficiente di carico $C_{min} = P \cdot (L_{10})^{1/p}$ come da manuale SKF®
- Dimensionamento e verifica linguette come da UNI 6604: $L = \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot t_1 \cdot P_{amm}}$, $\tau = \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot b \cdot l}$
- Verifica statica: calcolo delle tensioni σ_{Mf} , τ_{Mt} , $\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{Mf}^2 + \tau_{Mt}^2}$, $\nu = \frac{\sigma_s}{\sigma_{id}} > 1,6$
- Verifica a fatica: determinazione dei coefficienti K_{tn} , K_f , K_d , K_l , quindi $\sigma_{a,\infty,-1}^*$ e $\nu = \frac{\sigma_{a,\infty,-1}^*}{\sigma_{a,0}} > 1,6$
- Verifica a deformazione: freccia limite consigliata minore di $f_l = 0,127 \text{ mm}$ come da normative ASME, rotazioni ammissibili dai cuscinetti da manuale SKF®



Verifica statica			
Albero ingresso		Albero uscita	
Sezione	v	Sezione	v
A	16,0	A	111,1
B	20,2	B	272,6
C	28,1	C	57,7
D	62,1	D	11,5
E	432,3	E	6,7

Verifica a fatica			
Albero ingresso		Albero uscita	
Sezione	v_{σ}	Sezione	v_{σ}
A	32,5	A	21,9
B	7,4	B	52,3
C	8,9	C	11,5
D	14,6	D	13,0
E	88,1	E	36,6

Verifica a deformabilità			
Albero ingresso		Albero uscita	
Tipo	valore	tipo	Valore
$f_{l/2}$	$5,83 \cdot 10^{-3}$ mm	$f_{l/2}$	$3,00 \cdot 10^{-3}$ mm
φ_A	$1,33 \cdot 10^{-4}$ rad	φ_A	$6,01 \cdot 10^{-5}$ rad
φ_B	$1,33 \cdot 10^{-4}$ rad	φ_B	$6,01 \cdot 10^{-5}$ rad

- Valore limite verifiche statiche e a fatica: $v_{\min} > 1,6$

- Valore limite di deformabilità: $f < 0,127 \text{ mm}$

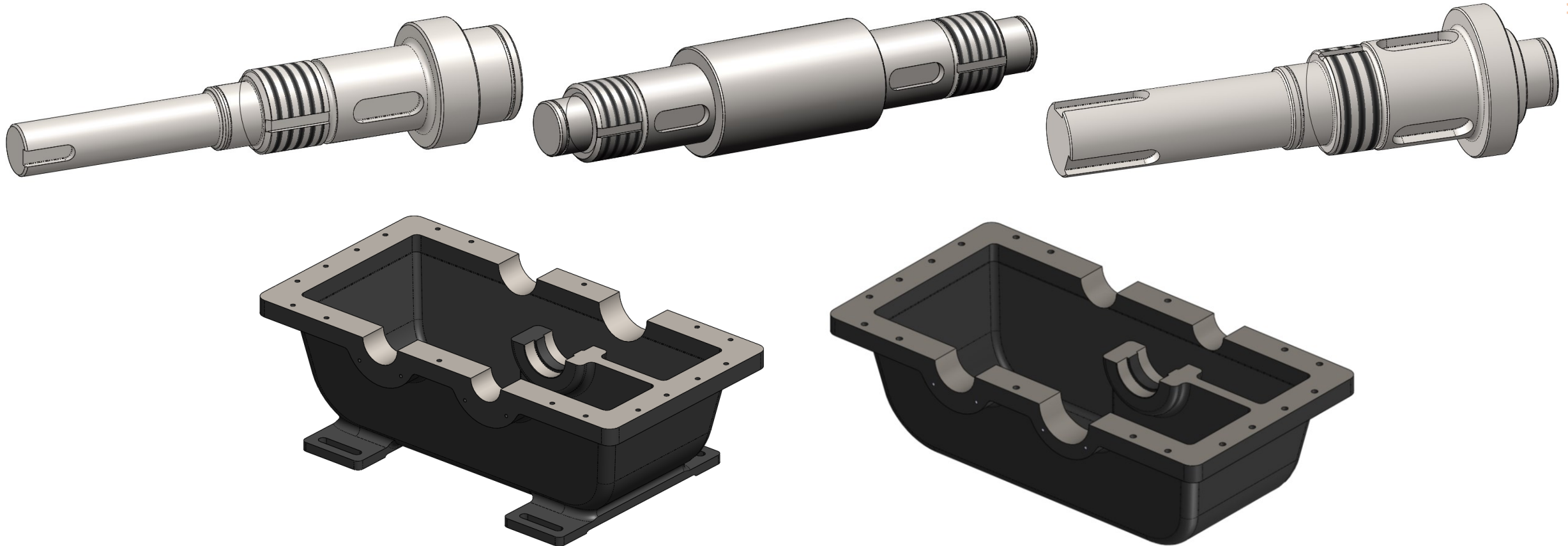
$$\varphi < 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

[cuscinetti a rulli]

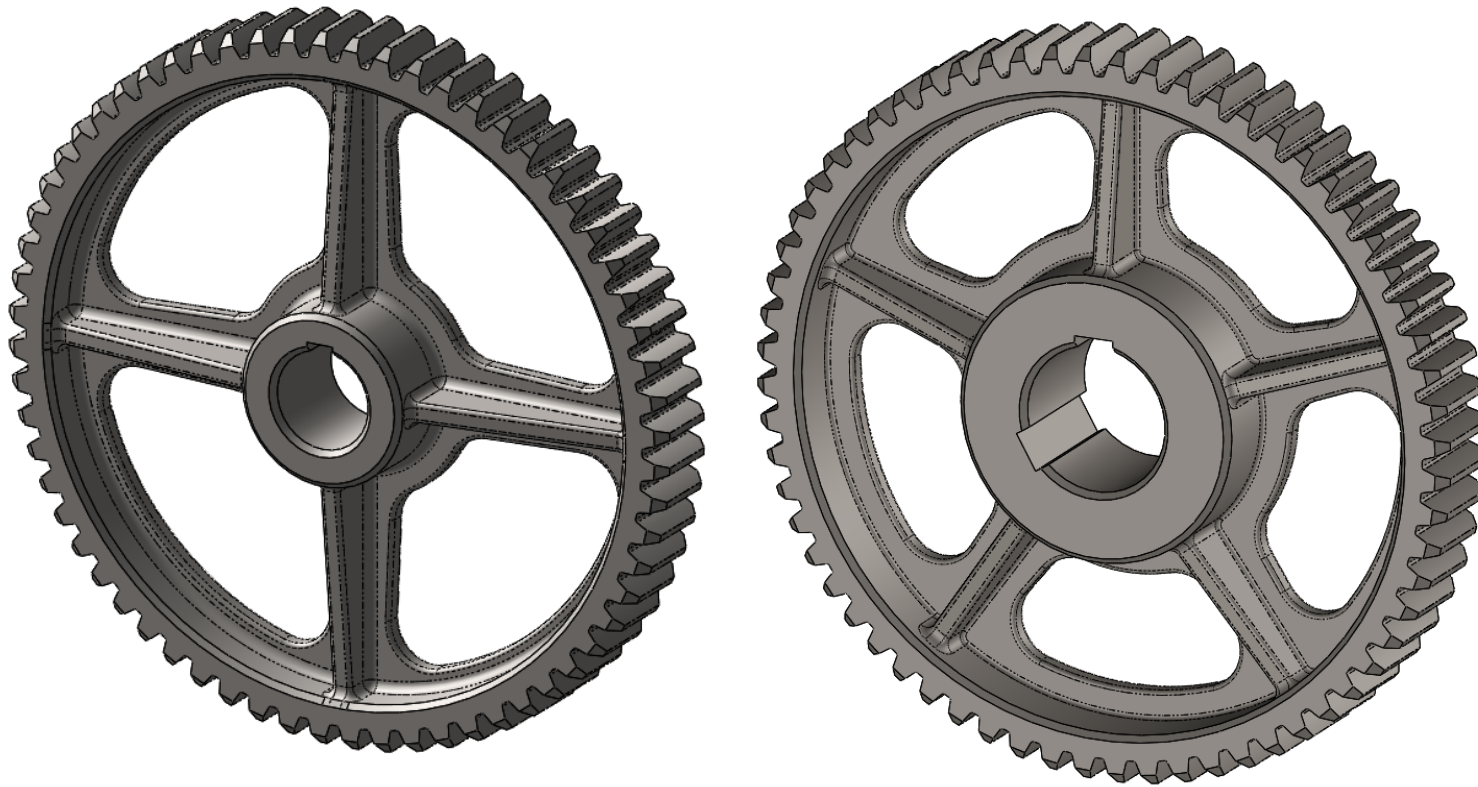
$$\varphi < 2,91 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

[cuscinetti a sfere]

- Modellazione di alberi, cassa e flange
- Inserimento da Toolbox o importati da librerie online di linguette, ghiera, cuscinetti e seeger



Alleggerimento delle corone dentate seguendo le geometrie consigliate nel testo reperito in biblioteca DII
«Disegno di costruzioni meccaniche 2, Tab II.180 pag 322» autori Straneo, Consorti,



Ruota 2

Massa: da 32,3 Kg a 11,3 Kg

Inerzia: da $5,066 \cdot 10^8 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$ a $2,201 \cdot 10^8 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$

« -65,1% massa, -56,6% inerzia »

Ruota 4

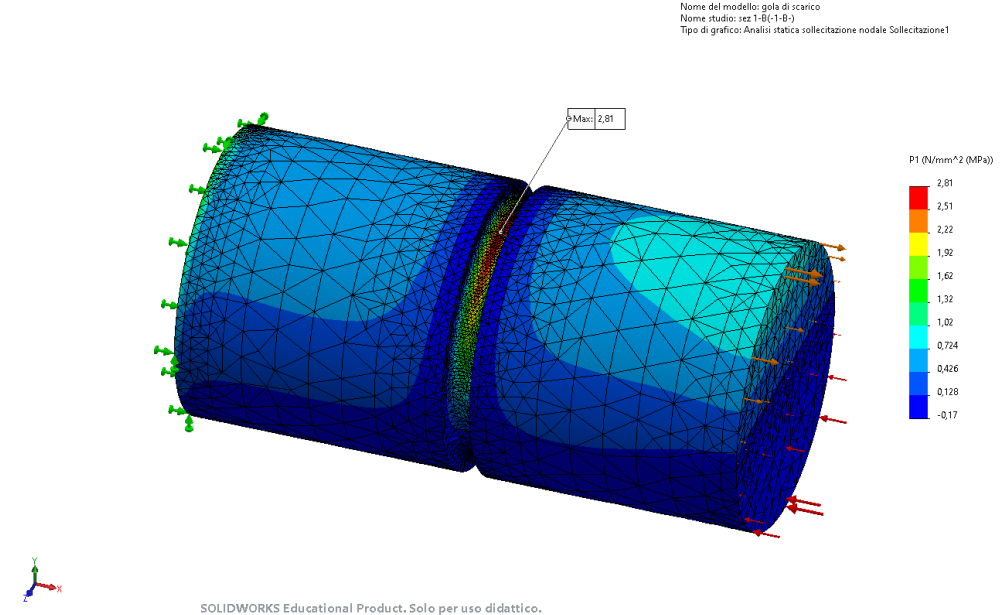
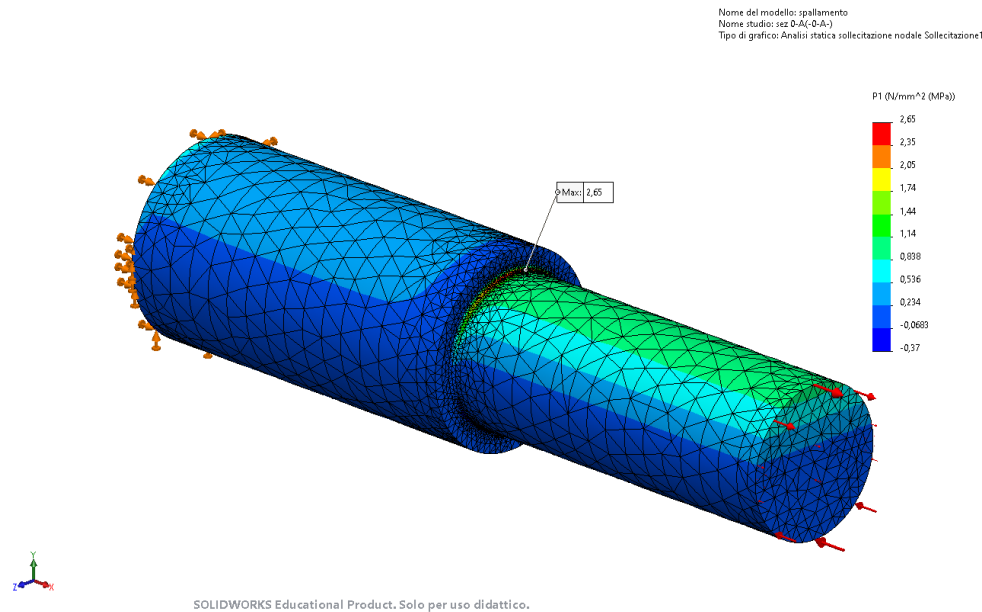
Massa: da 37,6 Kg a 16,6 Kg

Inerzia: da $5,805 \cdot 10^8 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$ a $2,704 \cdot 10^8 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$

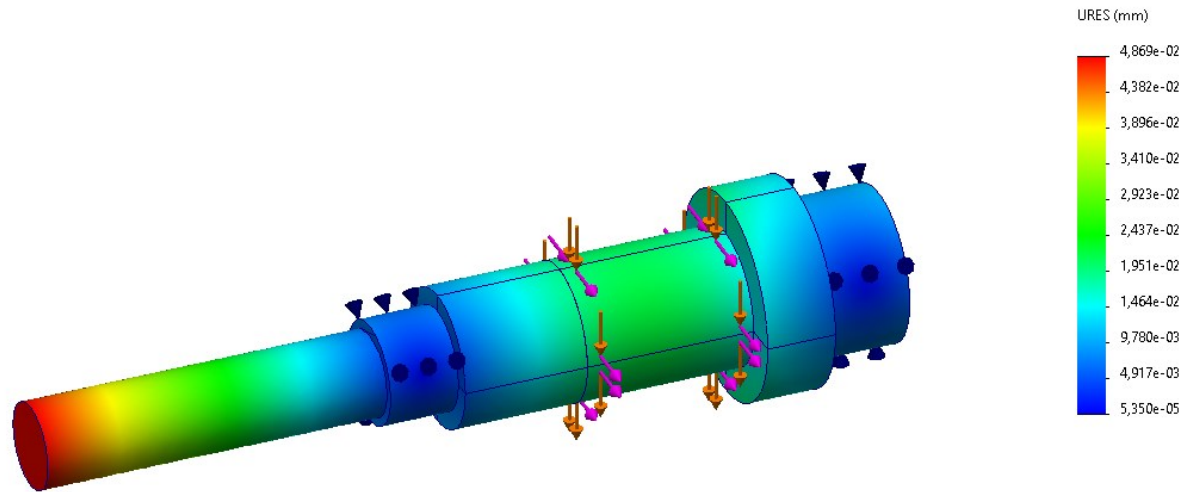
« -55,8% massa, -53,4% inerzia »

Materiale: 40NiCrMo4

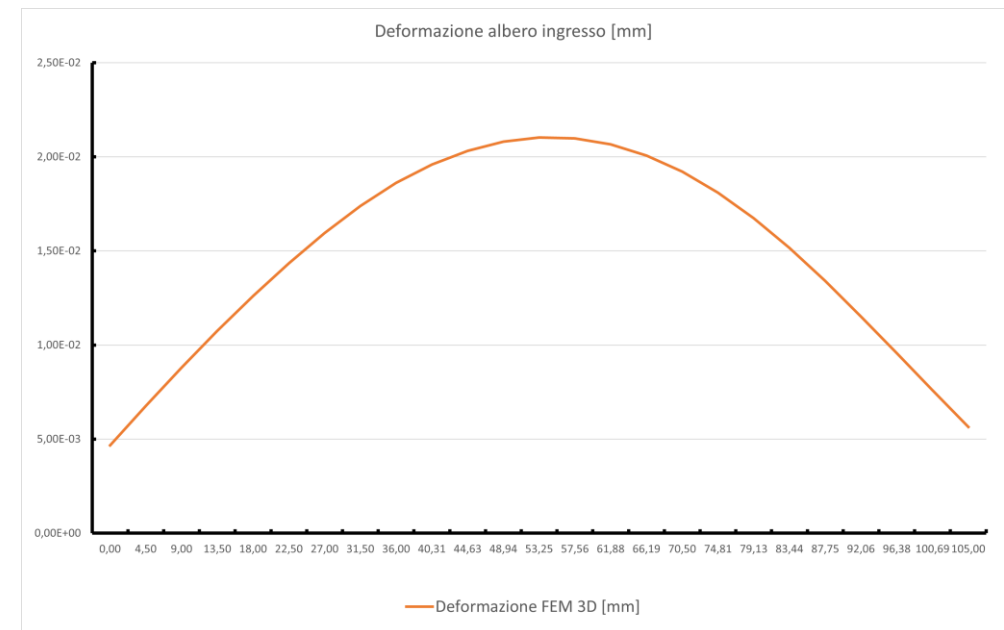
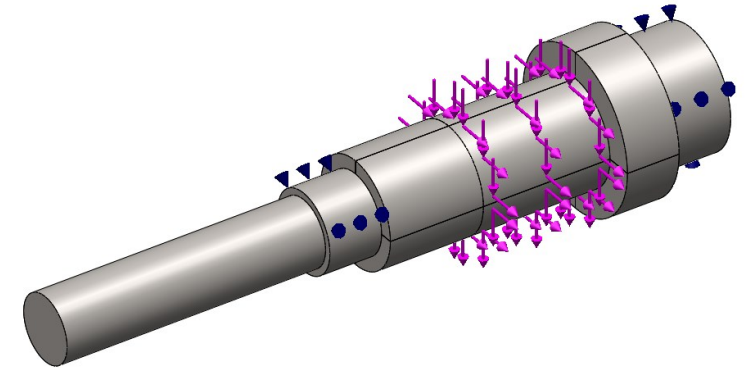
- Realizzazione di modelli parametrici con tutte le configurazioni
- Applicazione carico distribuito a simulare distribuzione secondo legge di Navier « a farfalla » di massimo 1MPa
- Il valore di picco corrisponde al coefficiente di concentrazione delle tensioni K_t
- Differenza media tra coefficienti stimati da grafici Peterson e risultati FEM < 8%, max = 15,1%



- Analisi degli alberi come corpi solidi, forze di ingranamento applicate come carichi distribuiti
- Vincolo «supporto per cuscinetti»
- Deformazioni e rotazioni ottenute da FEM maggiori dei valori analitici
- Risultati ottenuti comunque inferiori ai valori limite



Es Albero ingresso: deformazione massima: $2,10 \cdot 10^{-2}$ mm < 0,127 mm
 rotazioni: $4,63 \cdot 10^{-4}$ rad < $1,16 \cdot 10^{-3}$ rad [cuscinetto a rulli]
 rotazioni: $4,54 \cdot 10^{-4}$ rad < $2,91 \cdot 10^{-3}$ rad [cuscinetto a sfere]



- Ridotta differenza media nei risultati delle singole sezioni; errore massimo per raccordi di raggio piccolo, con mesh di dimensioni comparabili rispetto il raccordo
- Grande differenza tra risultati analitici e risultati da FEM delle deformazioni:
 - Formula analitica adatta per travi snelle, bassa affidabilità per alberi più tozzi
 - Vincoli cuscinetto sono considerati sia cedevoli che orientabili

Verifica a deformabilità					
Albero ingresso		Albero rinvio		Albero uscita	
Tipo	valore	tipo	Valore	tipo	Valore
$f_{l/2}$	$2,10 \cdot 10^{-2}$ mm	f_{max}	$6,77 \cdot 10^{-2}$ mm	$f_{l/2}$	$1,79 \cdot 10^{-2}$ mm
φ_A	$4,63 \cdot 10^{-4}$ rad	φ_A	$1,47 \cdot 10^{-3}$ rad	φ_A	$3,33 \cdot 10^{-4}$ rad
φ_B	$4,54 \cdot 10^{-4}$ rad	φ_B	$2,29 \cdot 10^{-3}$ rad	φ_B	$3,13 \cdot 10^{-4}$ rad

