

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Ingegneria Industriale
Relazione finale di Ingegneria Meccanica

«Sviluppo del progetto di una trasmissione di potenza ad ingranaggi mediante analisi agli elementi finiti»

Tutor Universitario: Prof. Giovanni Meneghetti

Laureando: Matteo Cadamuro

Padova, 15/11/2024

Sviluppo del progetto di una trasmissione di potenza ad ingranaggi
mediante analisi agli elementi finiti
Matteo Cadamuro



Scopo della relazione

- Ipotizzando l'albero intermedio «0» già completato a livello progettuale, dimensionare gli alberi di ingresso e uscita del riduttore.
- Modellazione al CAD 3D del complessivo del riduttore, compresi gli elementi unificati, di chiusura (carter e flange) e fissaggio.
- A partire dal modello 3D, ricavarne il corrispettivo disegno esecutivo
- Analisi agli elementi finiti 'FEM' del solo albero intermedio per estrapolarne i dati relativi a:

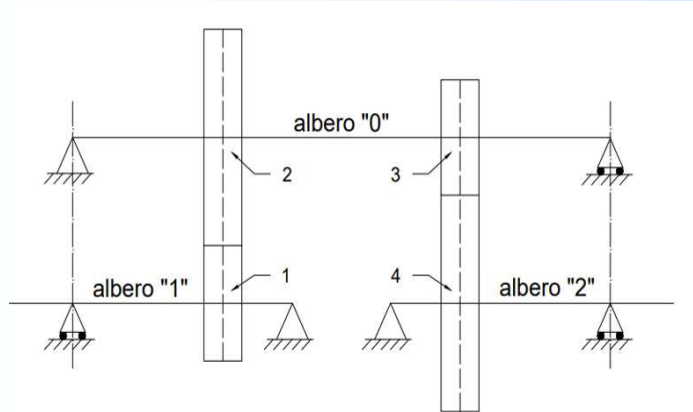
- a) Freccie lungo l'asse, specie in corrispondenza dell'applicazione delle forze;
- b) Rotazioni lungo l'asse, specie in corrispondenza del piano medio dei cuscinetti;

Questi verranno poi confrontati con i valori ricavati nel progetto d'anno.

Diversamente dal progetto d'anno, la relazione verterà sull'ottenimento di un componente completo e pronto all'utilizzo sul campo.

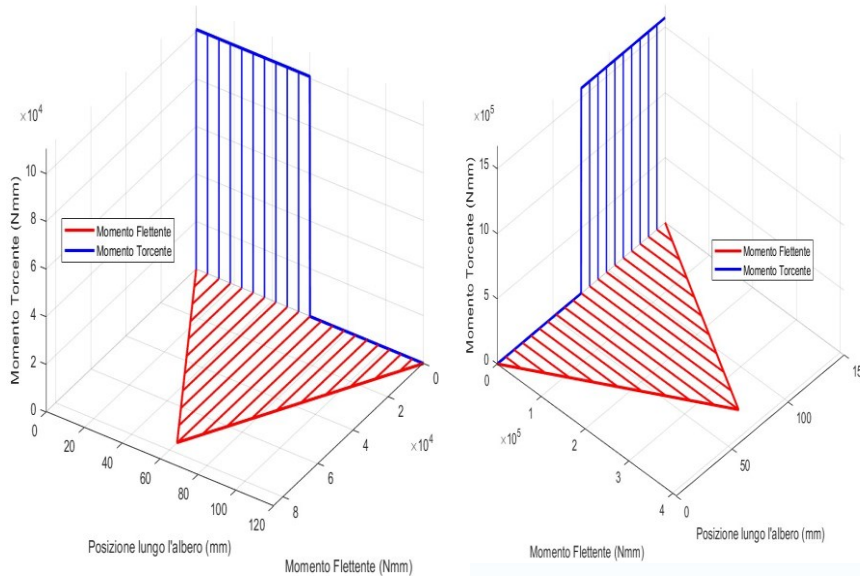


Organizzazione del progetto



La relazione finale si divide in 5 capitoli, in cui il primo è strettamente legato alla determinazione dei dati progettuali:

- 1) Dati di progetto;
- 2) Progettazione albero di ingresso '1';
- 3) Progettazione albero di uscita '2';
- 4) Analisi agli elementi finiti (FEM) dell'albero intermedio '0';
- 5) Complessivo del riduttore, compreso il 3D Cad.



Calcoli e grafici delle sollecitazioni eseguiti con Matlab;

Modellazione 3D e analisi FEM eseguiti con SolidWorks.

L'inventiva progettuale è stata volutamente orientata verso la realizzazione di un componente che, pur garantendo le necessarie funzionalità e affidabilità, risultasse il più economico possibile

Sviluppo del progetto di una trasmissione di potenza ad ingranaggi
mediante analisi agli elementi finiti
Matteo Cadamuro

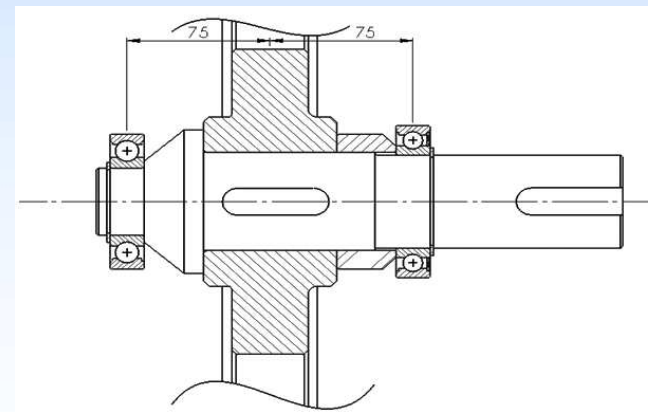
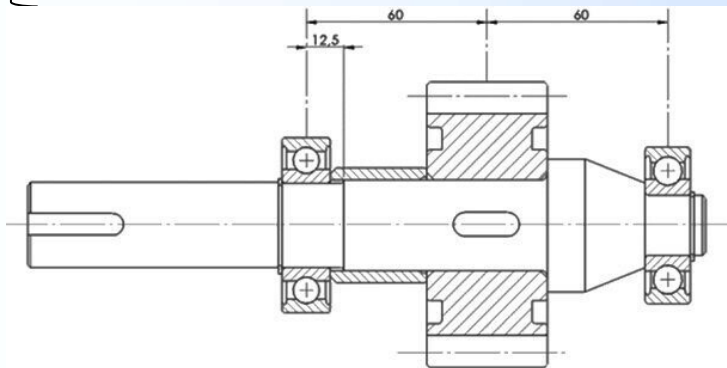


Capitoli 2 e 3

- La progettazione degli alberi di ingresso e uscita viene svolta allo stesso modo, pur ricordando che l'albero di ingresso è inteso come 'snello' e quello di uscita 'tozzo';
- Dopo aver determinato il diametro resistente nella sezione più sollecitata staticamente in base al materiale scelto (C60 bonificato UNI 7874):
 - Scegliere i cuscinetti dal catalogo SKF affinché $C \geq C_{richiesto}$;
 - Scegliere le linguette e verificarle a taglio e pressione ammissibile da UNI 6604;
 - Verifiche statiche: $x, d \longrightarrow M_f, M_t \longrightarrow \sigma_f, \tau_{Mt} \longrightarrow \sigma_{id} \longrightarrow v_s$;
 - Verifiche a fatica: $x, d, D, r \longrightarrow K_{t_n}, K_d, K_l \longrightarrow (a, q, K_f) \longrightarrow \sigma_{a, \infty}^* -1 \longrightarrow v_f$;
 - Verifiche a deformabilità:

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

$\varphi_s, \varphi_d \leq \varphi_{lim} = (0,0333 \div 0,1667)$ gradi (4 cuscinetti a sfere per i 2 alberi)



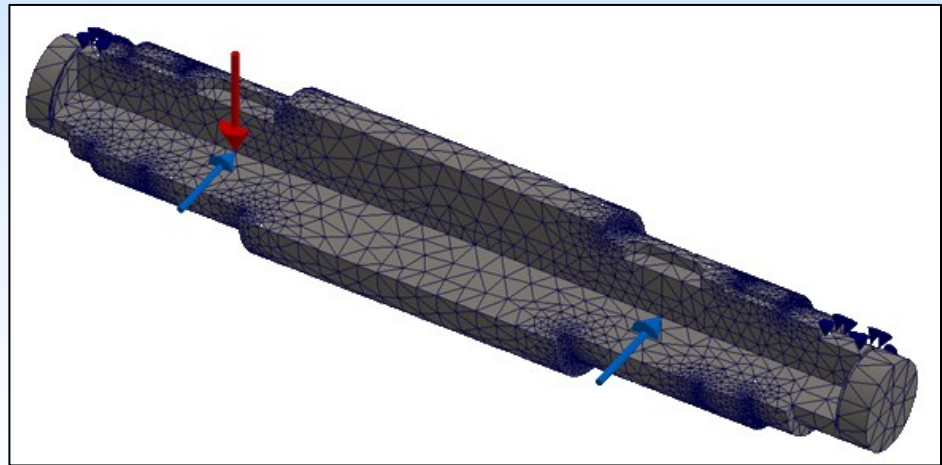
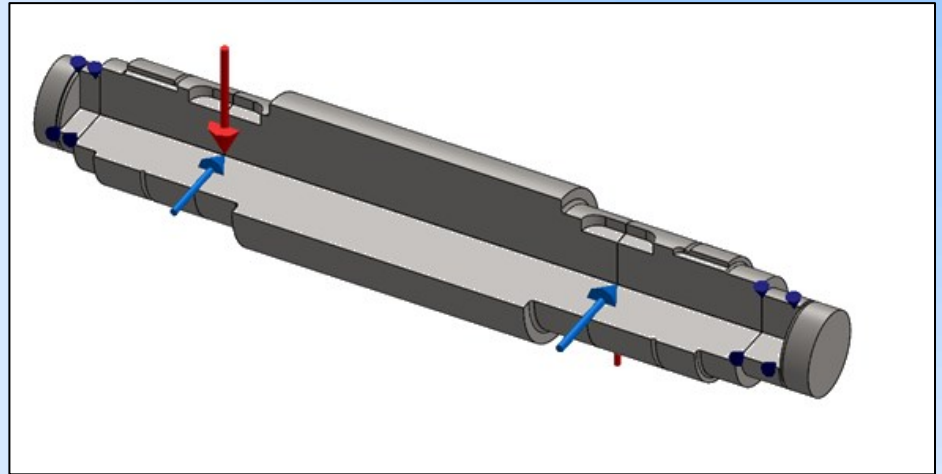
Sviluppo del progetto di una trasmissione di potenza ad ingranaggi
mediante analisi agli elementi finiti
Matteo Cadamuro



Capitolo 4

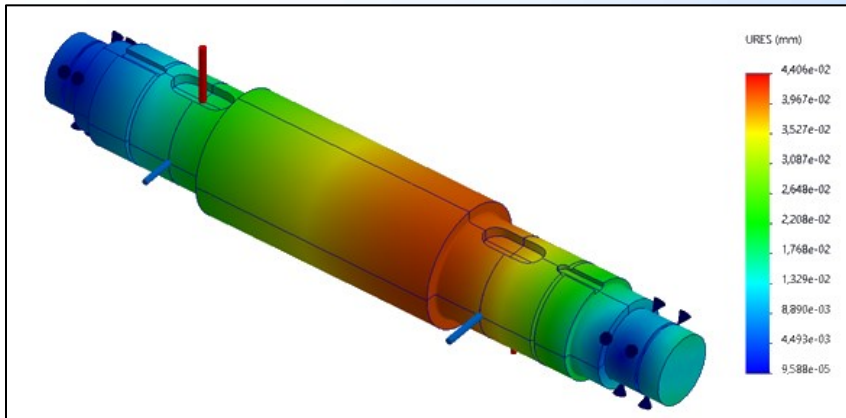
Preparazione dello studio

- Dopo aver modellato opportunamente in 3D l'albero di rinvio, si esegue la sua preparazione per l'esecuzione dello studio FEM.
- Si definiscono il materiale, tipologia e disposizione di vincoli e carichi, oltre alla configurazione dell'analisi con meshatura impostata dall'utente.



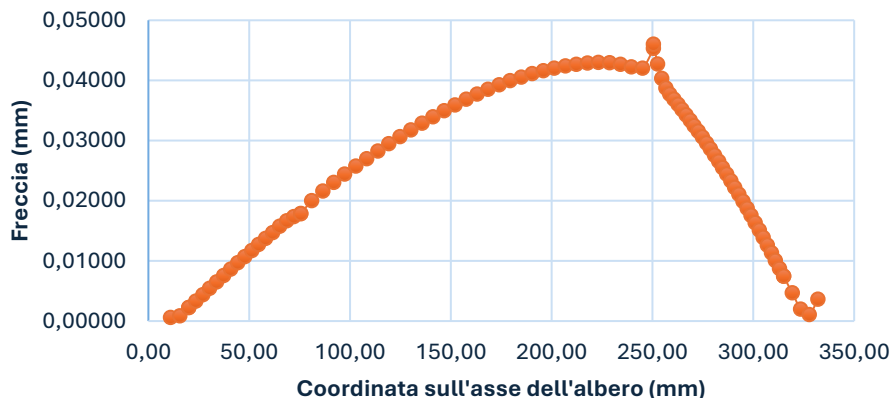
Capitolo 4

Esecuzione dello studio e raccolta dati

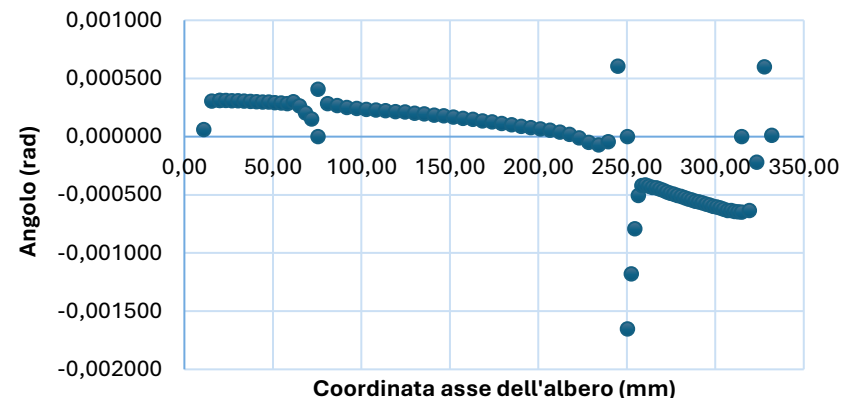


- L'esecuzione dello studio si preoccupa di calcolare anche tensioni e deformazioni, ma per il calcolo delle frecce e rotazioni ci servono gli spostamenti (a lato)

Deformazione



Rotazione

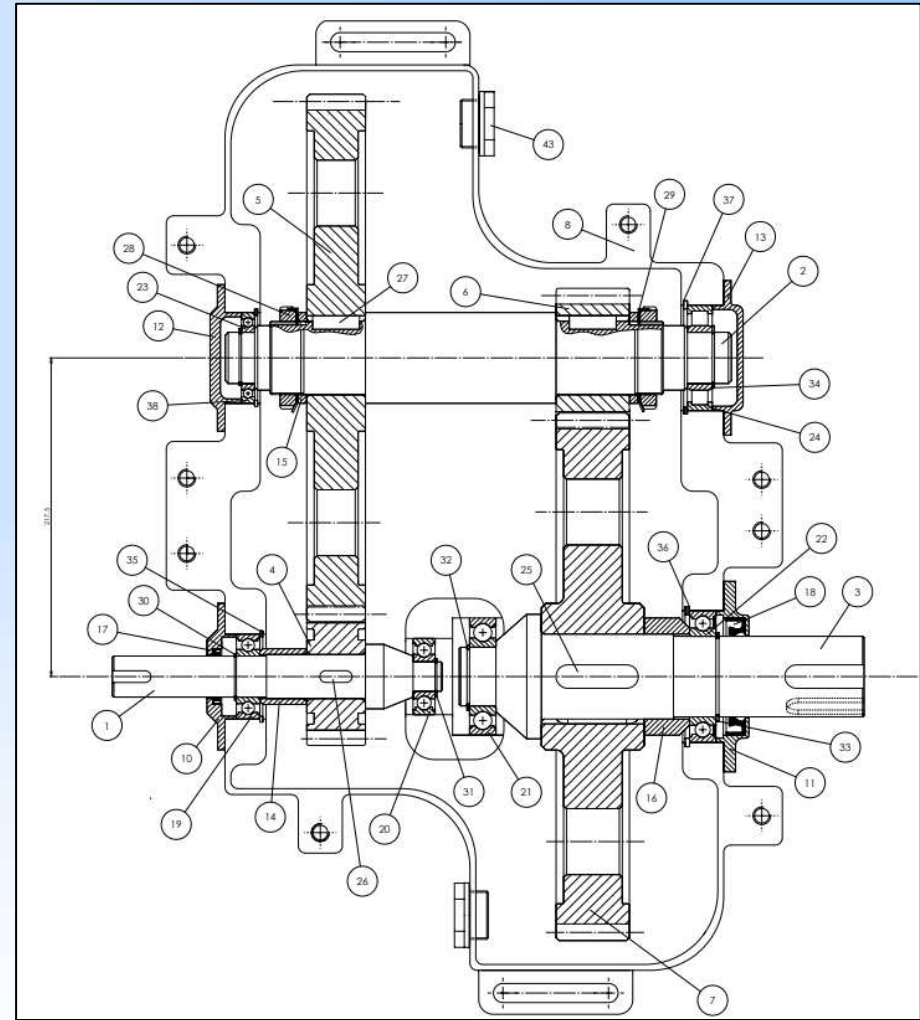
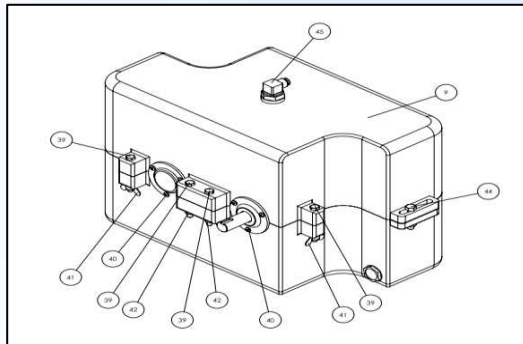
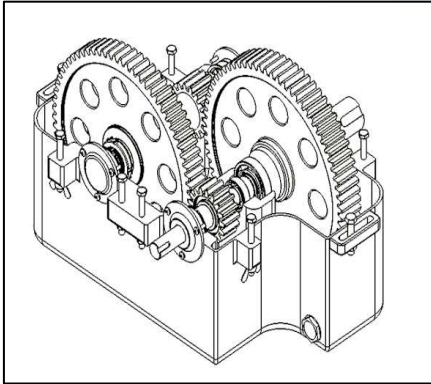


Sviluppo del progetto di una trasmissione di potenza ad ingranaggi
mediante analisi agli elementi finiti
Matteo Cadamuro



Capitolo 5

- Una volta eseguito l'assieme con tutti i componenti si è passati alla stesura del disegno esecutivo d'assieme finale su SolidWorks.



Sviluppo del progetto di una trasmissione di potenza ad ingranaggi
mediante analisi agli elementi finiti
Matteo Cadamuro



Risultati ottenuti

Sezione	v_s	Sezione	v_σ
A-A	10,81	B-B	23,45
B-B	12,4	C-C	4,59
C-C	11,7	D-D	7,31
D-D	26,79	E-E	13,56
E-E	42,37		

Albero '1'

$$f = 0,0124 \text{ mm} \leq f_{lim} = 0,127 \text{ mm}$$

$$\varphi_s = 0,018^\circ \leq 0,033^\circ$$

$$|\varphi_d| = 0,018^\circ \leq 0,033^\circ$$

Sezione	v_s	Sezione	v_σ
A-A	74,35	A-A	18,69
B-B	51	B-B	10,02
C-C	6,93	C-C	6,49
D-D	6,09	D-D	27,36
E-E	5,16		

Albero '2'

$$f = 0,0068 \text{ mm} \leq f_{lim} = 0,127 \text{ mm}$$

$$\varphi_s = 0,0076^\circ \leq 0,033^\circ$$

$$|\varphi_d| = 0,0076^\circ \leq 0,033^\circ$$

Comparativa FEM - Analitico

Frecce e rotazioni	Calcoli analitici	Analisi FEM	Differenza percentuale
f_2	0,0262 mm	0,01791 mm	-31,64 %
f_3	0,0459 mm	0,04583 mm	-0,152 %
φ_s	$4,48 \cdot 10^{-4}$ rad	$3,09 \cdot 10^{-4}$ rad	-31,03 %
φ_d	$-7,17 \cdot 10^{-4}$ rad	$-6,49 \cdot 10^{-4}$ rad	-9,48 %



Conclusioni

- Le verifiche condotte durante questo studio sono state eseguite con un elevato grado di precisione, portando a risultati significativi e rassicuranti riguardo al progetto del riduttore. In particolare, i coefficienti di sicurezza, sia in condizioni statiche che a fatica, hanno superato ampiamente il valore limite stabilito in fase di progetto, rispettivamente per l'albero di ingresso e uscita. Questo indica che il riduttore è progettato per resistere a carichi ben superiori a quelli previsti, garantendo un'ampia sicurezza operativa, oltre al fattore di servizio scelto all'inizio.
- Inoltre, le deformazioni misurate sono risultate inferiori al limite critico di 0,127 mm, dimostrando che il progetto non solo soddisfa, ma eccede le specifiche tecniche richieste in termini di rigidità strutturale.
- Un'analisi comparativa tra i risultati ottenuti tramite calcoli analitici e quelli derivanti dall'analisi FEM eseguita con SolidWorks ha evidenziato un'alta coerenza tra i due metodi. Tuttavia, è emerso che i calcoli analitici tendono a produrre valori superiori rispetto all'analisi numerica. Questo suggerisce che il metodo analitico è intrinsecamente più conservativo, offrendo margini di sicurezza aggiuntivi.
- Il progetto è rimasto fedele a un approccio orientato alla facilità di realizzazione e alla convenienza economica, dimostrando che è possibile coniugare elevate performance con costi contenuti. Notare che il cuscinetto che funge da cerniera per gli alberi di ingresso e uscita è posizionato verso l'esterno, in modo tale da rimuovere gli elementi di fissaggio direttamente dall'esterno e rendere più agevole la manutenzione e l'ispezione

Sviluppo del progetto di una trasmissione di potenza ad ingranaggi
mediante analisi agli elementi finiti
Matteo Cadamuro

