

**ARGOMENTO** Verifica di alberi, ruote dentate, scelta di cuscinetti a rotolamento

**RIFERIMENTO** Volume 2, Capitolo 12; Volume 3, Capitoli 5 e 6

Nel disegno allegato (figura A) è rappresentato un albero che trasmette una potenza di 100 kW alla velocità angolare di 1450 giri/min. La ruota dentata calettata su di esso per mezzo del profilo scanalato a profili cilindrici (UNI 8953-8×46×54T), presenta le seguenti caratteristiche geometriche:

- numero dei denti  $z = 17$ ;
- modulo  $m = 5$  mm;
- angolo di pressione  $\theta = 20^\circ$ ;
- larghezza della fascia dentata  $b = 50$  mm.

L'albero alla sua estremità è dotato di un ulteriore profilo scanalato (UNI 8953-8×42×48T) destinato ad accogliere la flangia di un giunto.

Il candidato, in base alle conoscenze acquisite durante il percorso formativo, tenendo conto dei dati indicati e completati dalle sue opportune assunzioni, esegua:

- la verifica di stabilità dell'albero e della ruota dentata, scegliendo opportunamente i materiali;
- la scelta dei cuscinetti fissando un obiettivo di durata di 8000 ore;
- il disegno costruttivo dell'albero, completo di quote, tolleranze (geometriche e dimensionali) e gradi di rugosità.

Inoltre, facendo riferimento a un determinato numero dei pezzi da produrre, definisca il ciclo di lavorazione dell'albero, mettendo in evidenza le sequenze delle operazioni di produzione e di collaudo, il grezzo di partenza, le macchine, gli utensili, i parametri di taglio e i trattamenti termici.

Le dimensioni non indicate si ricavano dal disegno.

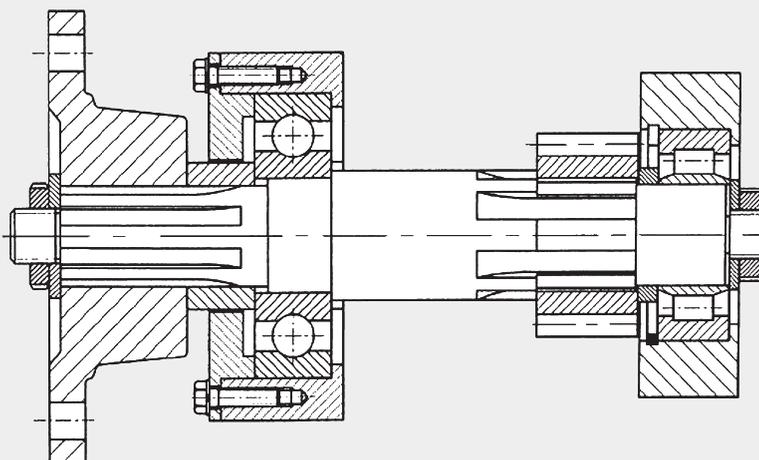


Figura A

Partendo dalla larghezza della ruota dentata (che è un dato del problema, 50 mm) e ipotizzando che il disegno allegato sia in scala, si calcola (figura B) che la mezzeria della ruota dista 55 mm dall'appoggio B e 149 mm dall'appoggio A, come indicato nello schema di figura C.

### Verifica dell'albero

Per la sua verifica l'albero viene schematizzato come una trave tra due appoggi, sollecitata da un momento torcente  $M_t$  e dalla forza  $F$  trasmessa all'albero stesso dalla ruota dentata.

Calcoliamo il momento torcente sapendo dal testo la velocità di rotazione dell'albero (1450 giri/min) e la potenza trasmessa (100 kW):

$$M_t = 9549,3 \cdot \frac{100}{1450} \approx 658,6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Per calcolare la forza  $F$  occorre calcolare il diametro primitivo della ruota dentata, ricavabile dai dati del testo:

$$d_{p1} = m \cdot z = 5 \cdot 17 = 85 \text{ mm}$$

Il raggio primitivo è quindi  $r_{p1} = 42,5 \text{ mm}$ .

La forza tangenziale che agisce sulla ruota è:

$$F_t = \frac{M_t}{r_{p1}} = \frac{658\,600}{42,5} \approx 15\,496 \text{ N}$$

e la forza che agisce sull'albero:

$$F = \frac{F_t}{\cos \theta} = \frac{15\,496}{\cos 20^\circ} \approx 16\,490 \text{ N}$$

Si determinano quindi facilmente le reazioni vincolari:

$$R_A = \frac{16\,490 \cdot 55}{(149 + 55)} \approx 4446 \text{ N}$$

e quindi

$$R_B = 12\,044 \text{ N}$$

Il massimo del momento flettente si ha nella sezione  $C$ , in corrispondenza della mezziera della ruota dentata, e vale:

$$M_{fC} = 4446 \cdot 149 \approx 662\,450 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Quindi in corrispondenza del profilo scanalato UNI 8953-8×42×48 (zona giunto, diametro dell'albero 42 mm) l'albero si verifica solo a torsione, mentre in corrispondenza del profilo scanalato UNI 8953-8×46×54 (zona ruota dentata, diametro dell'albero 46 mm) va verificato tenendo conto di un momento flettente ideale pari a:

$$M_{f(id)} = \sqrt{M_{fC}^2 + 0,75 \cdot M_t^2} = \sqrt{662\,450^2 + 0,75 \cdot 658\,600^2} \approx 874\,150 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Nel primo caso abbiamo una sollecitazione

$$\tau = \frac{16}{\pi} \cdot \frac{M_t}{d^3} = \frac{16}{\pi} \cdot \frac{658\,600}{42^3} \approx 45,2 \text{ N/mm}^2$$

per cui  $\tau_{am}$  deve essere superiore a  $45,2 \text{ N/mm}^2$ , e  $\sigma_{am}$  superiore a

$$45,2 \cdot \sqrt{3} \approx 78,4 \text{ N/mm}^2$$

Nel secondo caso, invece, abbiamo una sollecitazione;

$$\sigma = \frac{32}{\pi} \cdot \frac{M_t}{d^3} = \frac{32}{\pi} \cdot \frac{874\,150}{46^3} \approx 91,5 \text{ N/mm}^2$$

Comanda quindi, per la scelta del materiale dell'albero, la sezione in corrispondenza della ruota dentata. Assunto un coefficiente di sicurezza pari a 9, si dovrà scegliere un materiale che abbia una  $\sigma_r$  pari almeno a  $820 \text{ N/mm}^2$ . Si vede a pag. 391 del Manuale, tab. 48, che, per barre di diametro tra 40 e 100 mm, come nel nostro caso, si può scegliere come materiale un acciaio 42CrMo4.

### Verifica della ruota dentata

Poiché il testo non dà il rapporto di trasmissione, non è possibile verificare la ruota a usura, come sarebbe opportuno, ma si potrà fare unicamente una verifica a flessione. Si userà quindi la formula

$$m = G \cdot \sqrt[3]{\frac{M}{f_v \cdot \sigma_{am} \cdot \lambda}}$$

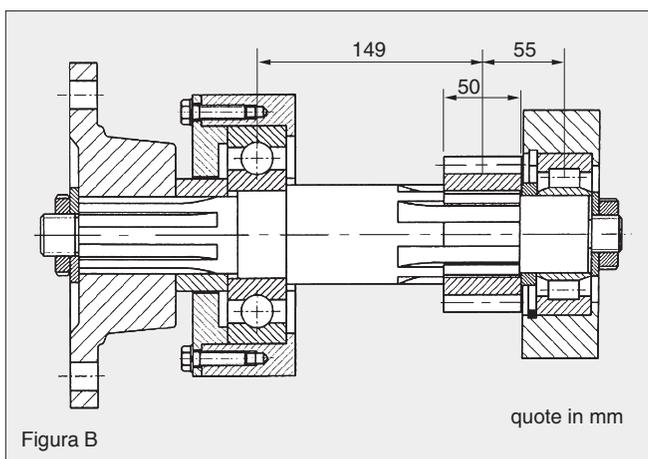


Figura B

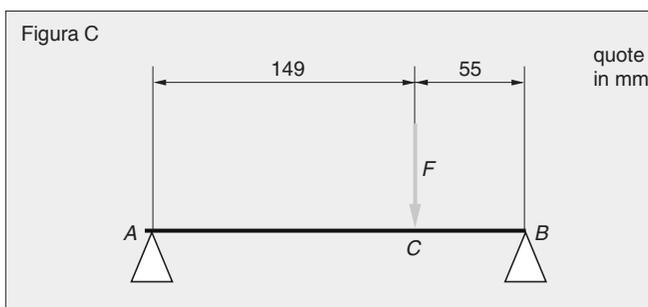


Figura C

La velocità per calcolare  $f_v$  è:

$$v = \omega \cdot r_{p1} = \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot r_{p1} = \frac{2\pi \cdot 1450}{60} \cdot 42,5 \cong 6450 \text{ mm/s} = 6,45 \text{ m/s}$$

Quindi

$$f_v = 0,85 - 0,02 \cdot 6,45 = 0,72$$

$\lambda = 10$  è valutabile conoscendo il modulo (5 mm) e la larghezza della ruota (50 mm).  $M$  è già stato calcolato (658 600 N · mm).  $G$  si può valutare dal Manuale ed è pari a 0,62.

Si ha quindi:

$$\sigma_{am} = G^3 \cdot \frac{M}{f_v \cdot m^3 \cdot \lambda} = 0,62^3 \cdot \frac{658\,600}{0,72 \cdot 5^3 \cdot 10} \cong 174 \text{ N/mm}^2$$

Pertanto si dovrà scegliere, come indicato nel Manuale o nella tabella 12.4 del volume 2, un acciaio legato al nichel.

### Cuscinetti a rotolamento

Si scelgono in base alla durata prevista, che in questo caso è di 8000 ore.

Abbiamo già calcolato che il cuscinetto a rulli è soggetto a un carico  $R_B = 12\,044$  N, mentre il cuscinetto a sfere è sottoposto a un carico  $R_A = 4446$  N.

In entrambi i casi, essendo  $n = 1450$  giri/min, la durata in milioni di giri si calcola con la formula (6.22) del volume 3:

$$L = \frac{60 \cdot n \cdot L_h}{1\,000\,000} = \frac{60 \cdot 1450 \cdot 8000}{1\,000\,000} = 696$$

I cuscinetti devono avere un coefficiente di carico dinamico, secondo la relazione (6.21), pari a:

$$C = F \cdot L^{1/p}$$

dove  $p = 3$  per cuscinetti a sfera e  $p = 10/3$  per cuscinetti a rulli.

Per il cuscinetto a sfere:

$$C = F \cdot L^{1/p} = 4446 \cdot 696^{1/3} \cong 39\,400 \text{ N}$$

Per il cuscinetto a rulli:

$$C = F \cdot L^{1/p} = 12\,044 \cdot 696^{3/10} \cong 85\,816 \text{ N}$$

Per il cuscinetto a sfere, in base al Manuale (tab. 39, pag. 680), si sceglie un cuscinetto della serie 03, con coefficiente di carico  $C = 41\,000$  N, di diametro  $d = 40$  mm. Disponendo di un catalogo SKF si vede che l'appellativo del cuscinetto è 6308. I suoi dati principali, che per inciso si possono ritrovare anche nel volume 3 alla tabella 6.4, sono:

$$C = 41\,000 \text{ N} \quad d = 40 \text{ mm} \quad D = 90 \text{ mm} \quad B = 23 \text{ mm}$$

La velocità massima (se lubrificato con olio) è  $n = 9000$  giri/min.

Per il cuscinetto a rulli si sceglie un cuscinetto della serie 03, con coefficiente di carico  $C = 99\,000$  N, di diametro  $d = 45$  mm. I suoi dati principali, che si ritrovano o su un catalogo SKF o nel volume 3 alla tabella 6.10, sono:

$$C = 99\,000 \text{ N} \quad d = 45 \text{ mm} \quad D = 100 \text{ mm} \quad B = 25 \text{ mm}$$

La velocità massima (se lubrificato con olio) è  $n = 7500$  giri/min.

Per quanto riguarda disegno costruttivo e ciclo di lavorazione dell'albero si rimanda ad altre discipline di studio.