

**ARGOMENTO** Albero di trasmissione, ruote dentate, perni, sistemi di calettamento

**RIFERIMENTO** Volume 2, Capitoli 11 e 12; Volume 3, Capitoli 5, 6 e 8

*Il candidato svolga la prima parte della prova e risponda a due dei quesiti proposti nella seconda parte.*

### PRIMA PARTE

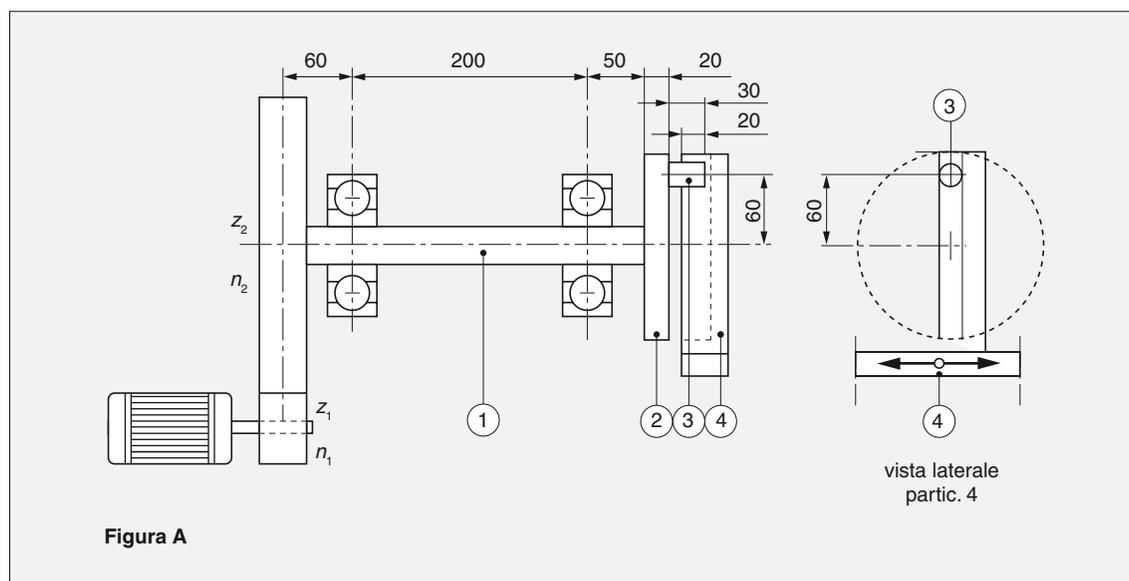
Un motore elettrico (figura A) aziona, tramite una coppia di ruote dentate cilindriche a denti diritti, un albero di trasmissione (1) alla cui estremità opposta risulta calettato un disco (2), il quale nella parte esterna porta un perno (3). Il perno scorre all'interno di una scanalatura praticata sul particolare (4), per la trasformazione del moto rotatorio dell'albero nel moto alternativo dello stesso particolare (4).

Si considerino i seguenti elementi di calcolo:

- potenza del motore elettrico:  $P = 4 \text{ kW}$ ;
- numero di giri del motore elettrico:  $n_1 = 1000 \text{ giri/min}$ ;
- numero di giri dell'albero di trasmissione (1):  $n_2 = 250 \text{ giri/min}$ .

Il candidato, accompagnando il calcolo con considerazioni tecniche congrue e coerenti, dopo aver scelto un acciaio per le ruote dentate e per il perno, e aver fissato con motivati criteri ogni altro parametro o elemento di calcolo eventualmente mancante e necessario:

- dimensioni la coppia di ruote dentate cilindriche a denti diritti;
- dimensioni il diametro del perno (3), in corrispondenza del punto morto superiore.



DIDATTICA SU MISURA

Soluzioni delle prove d'esame

### SECONDA PARTE

- 1) Il candidato, in riferimento all'elaborato scritto, esegua, in corrispondenza della prima ruota dentata, il dimensionamento dell'albero, realizzato in acciaio C40 e sollecitato solo a torsione, il dimensionamento della linguetta di calettamento e determini il diametro definitivo dell'albero stesso, tenuto conto della maggiorazione per la presenza della linguetta.
- 2) Il candidato definisca quale organo viene calettato sull'albero di un motore a benzina per rendere più uniforme il moto rotatorio, quali i principali parametri per il dimensionamento e i principali elementi costruttivi.
- 3) Il candidato, in riferimento alla trasmissione di potenza tra due alberi paralleli, descriva sinteticamente le diverse tipologie in funzione dei principali parametri (potenza, distanza ecc.). Per ogni tipologia ne enunci preghi e difetti, corredando le affermazioni con esempi applicativi.
- 4) Il candidato, in base alle proprie conoscenze e competenze, descriva sinteticamente le principali differenze tra il ciclo Otto e il ciclo Diesel, le principali differenze dei rispettivi motori e le loro principali applicazioni debitamente motivate.

## Svolgimento della prima parte

**Dimensionamento delle ruote dentate.** Calcoliamo anzitutto il rapporto di trasmissione:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1000}{250} = 4$$

Calcoliamo poi il momento da trasmettere con le due ruote dentate, partendo dalla potenza del motore elettrico moltiplicata per un fattore di esercizio pari a 1,4 (servizio continuo senza o con lieve sovraccarico, tab. 61, pag. 701 del *Manuale*):

$$P_{\text{calc}} = 1,4 \cdot 50 = 5,6 \text{ kW}$$

$$M_t = 9549,3 \cdot \frac{5,6}{1000} \cong 53,48 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Calcoliamo il valore del modulo delle due ruote dentate con il metodo di Lewis, dopo aver scelto come materiale un acciaio al nichel (38 Ni Cr Mo 4) che ha carico di rottura  $1000 \text{ N/mm}^2$  e durezza Brinnell  $320 \text{ daN/mm}^2$ .

Assumiamo  $\lambda = 12$  e  $z_1$  (numero dei denti della ruota conduttrice) = 18; il coefficiente di Lewis è uguale a 0,308. Si ipotizza una velocità periferica di primo tentativo pari a 3 m/s, si assume un coefficiente di sicurezza  $a = 6$  e si calcola il valore della tensione ammissibile:

$$\sigma_{am} = \frac{\sigma_r}{a} \cdot \frac{3}{3+v} = \frac{1000}{6} \cdot \frac{3}{3+3} \cong 83,3 \text{ N/mm}^2$$

Con la formula di Lewis si calcola il modulo:

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot M_t}{\lambda \cdot z \cdot y \cdot \sigma_{am}}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 53\,480}{12 \cdot 18 \cdot 0,308 \cdot 83,3}} \cong 2,68 \text{ mm}$$

che arrotondiamo a 3 mm.

Si verifica che la velocità è di 2,83 m/s, molto vicina a quella ipotizzata di primo tentativo.

Si verifica però anche che il modulo 3 non soddisfa la verifica a usura, e che occorre adottare un modulo di 4 mm.

Le caratteristiche delle due ruote dentate sono quindi:

$$\text{Ruota conduttrice: } \begin{cases} m = 4 \text{ mm} & b = \lambda \cdot m = 48 \text{ mm} \\ z_1 = 18 & d_{p1} = 72 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{Ruota condotta: } \begin{cases} m = 4 \text{ mm} & b = \lambda \cdot m = 48 \text{ mm} \\ z_1 = 72 & d_{p1} = 288 \text{ mm} \end{cases}$$

**Dimensionamento del perno.** Il momento trasmesso all'albero di trasmissione (e quindi al disco 2) è:

$$M_{t2} = M_{t1} \cdot i = 53,48 \cdot 4 = 213,9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Con riferimento alla figura A, la forza trasmessa al perno nella posizione di PMS è:

$$F = \frac{M_{t2}}{r} = \frac{213\,900}{60} \cong 3565 \text{ N}$$

Il perno è una trave incastrata, lunga 30 mm, che agisce sul particolare (4) per un tratto lungo 20 mm, probabilmente con un carico uniformemente distribuito; ma ipotizzando per sicurezza che la forza  $F$  agisca all'estremità del perno, il momento flettente massimo all'incastro è

$$M_f = 3565 \cdot 30 \cong 106\,950 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Scegliendo per il perno un acciaio temperato che abbia un carico di rottura simile a quello delle ruote ( $\sigma_r = 1000 \text{ N/mm}^2$ ) e assumendo un coefficiente di sicurezza  $a = 9$ , si ha:

$$\sigma_{am} = \frac{1000}{9} \cong 111 \text{ N/mm}^2$$

$$W_f = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 = \frac{M_f}{\sigma_{am}} = \frac{106\,950}{111} \cong 962,6 \text{ mm}^3$$

da cui segue:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \cdot W_f} = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \cdot 962,6} \cong 21,4 \text{ mm}$$

che arrotondiamo a 22 mm.

Considerando poi che la lunghezza utile di contatto è di 20 mm, verifichiamo la pressione massima di contatto, che è

$$p = \frac{F}{L \cdot d} = \frac{3565}{20 \cdot 22} \cong 8,1 \text{ N/mm}^2$$

compatibile con l'utilizzo e il materiale previsti.

### Svolgimento della seconda parte

**Quesito 1.** Il quesito richiede il dimensionamento della sede della ruota dentata motrice, per la quale abbiamo già calcolato il momento torcente trasmesso,  $M_t \cong 53,48 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

Il testo assegna già il materiale dell'albero (C40), per cui possiamo assumere un carico di rottura  $\sigma_r = 650 \text{ N/mm}^2$ .

Assumendo un coefficiente di sicurezza  $a = 9$  si ha:

$$\sigma_{am} = \frac{650}{9} \cong 72,2 \text{ N/mm}^2 \quad \text{e} \quad \tau_{am} = \frac{\sigma_{am}}{\sqrt{3}} \cong 41,7 \text{ N/mm}^2$$

Il diametro minimo dell'albero è quindi:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 53\,480}{\pi \cdot 41,7}} \cong 18,7 \text{ mm}$$

che arrotondiamo a 19 mm.

Per un diametro compreso tra 22 e 30 mm si deve assumere una linguetta  $8 \times 7 \text{ mm}$ , che necessita di una cava sull'albero profonda  $t_1 = 4 \text{ mm}$ . Quindi occorre un diametro maggiorato pari a 23 mm, che rientra appunto tra 22 e 30 mm.

La lunghezza minima della linguetta si determina considerando che essa è sollecitata a taglio sulla sezione media  $b \times l$ ; la sollecitazione media unitaria di taglio vale approssimativamente:

$$\tau_m = \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot b \cdot l}$$

Quindi, assumendo un valore di  $\tau_{am}$  pari a  $30 \text{ N/mm}^2$ , si determina il valore di  $l$ :

$$l = \frac{2 \cdot M_t}{\tau_{am} \cdot d \cdot b} = \frac{2 \cdot 53\,480}{30 \cdot 23 \cdot 8} \cong 19,4 \text{ mm}$$

Si adotterà quindi la lunghezza unificata di 20 mm, compatibile con la larghezza della ruota dentata.

La designazione della linguetta è: Linguetta UNI 6604-B  $8 \times 7 \times 20$ .

Lo svolgimento dei quesiti 2, 3 e 4 è puramente teorico.