

## Esame 1999

Di un motore Diesel quadricilindrico a quattro tempi sono noti i seguenti dati:

- rapporto corsa/diametro:  $C/D = 1,6$ ;
- velocità media degli stantuffi:  $v_m = 3,86$  m/s;
- velocità di rotazione:  $n = 290$  giri/min;
- pressione massima sul cilindro:  $p = 80$  daN/cm<sup>2</sup>.

Il candidato, assumendo con opportuno criterio ogni altro dato occorrente, esegua il proporzionamento della biella a sezione circolare uniforme, cava, con rapporto tra i diametri pari a 0,4 e di lunghezza  $\ell = 0,9$  m. Determinare inoltre la potenza e il consumo orario del motore.

Soluzione

### a - Grandezze relative alla geometria del motore

Dall'espressione della velocità media:

$$v_m = \frac{c \cdot n}{30}$$

si ricava il valore della corsa:

$$C = 30 \cdot \frac{v_m}{n} = 30 \cdot \frac{3,86}{290} = 0,3993 \text{ m} \approx 400 \text{ mm}$$

Dal rapporto noto  $C/D$  si ricava l'alesaggio:

$$D = \frac{C}{1,6} = \frac{400}{1,6} = 250 \text{ mm}$$

L'area della sezione di un cilindro risulta pertanto:

$$A_c = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = \pi \cdot \frac{250^2}{4} = 49\,087 \text{ mm}^2 \approx 491 \text{ cm}^2$$

La cilindrata di un cilindro è:

$$V_1 = A_c \cdot C = 491 \cdot 40 = 19\,640 \text{ cm}^3$$

e la cilindrata totale:

$$V = 4 \cdot V_1 = 4 \cdot 19\,640 = 78\,560 \text{ cm}^3$$

### b - Scelta del materiale

Si adotta un acciaio da bonifica C 40 UNI 7874. Dalla [tabella 4.II](#) si ricava un carico di rottura  $R = 645$  N/mm<sup>2</sup>. Con un grado di sicurezza rispetto

alla rottura  $n_R = 6,45$ , che rientra tra i valori consigliati ( $n_r = 5 \div 10$ ), la tensione ammissibile risulta  $\sigma_{adm} = 100$  N/mm<sup>2</sup>.

### c - Scelta del tipo di sezione

Il tipo di sezione è un dato del problema. Le caratteristiche geometriche della sezione, circolare cava con rapporto di cavità  $\chi = 0,4$  in funzione del diametro esterno incognito  $d_e$  sono:

$$I = \frac{\pi}{64} d_e^4 = (1 - \chi^4) = 0,048 \cdot d_e^4$$

$$A = \frac{\pi}{4} d_e^2 = (1 - \chi^2) = 0,660 \cdot d_e^2$$

$$i = \frac{d_e}{4} \sqrt{1 - \chi^2} = 0,269 \cdot d_e$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot \frac{d_{e1}}{d_{e2}}$$

### d - Primo dimensionamento

Si effettua con la relazione:

$$I_1 = \mu \cdot \frac{F_{\max} \cdot \ell_c^2}{\pi^2 \cdot E}$$

nella quale si pone:

$$\mu = 20$$

$$F_{\max} = p_{\max} \cdot A_c = 800 \cdot 491 = 392\,800 \text{ N}$$

$$\ell_c = \beta \ell = 0,90 \text{ m} = 900 \text{ mm}$$

$$E = 205\,000 \text{ N/mm}^2$$

Sostituendo nell'espressione di  $I_1$ , risulta:

$$I_1 = 20 \cdot \frac{392\,800 \cdot 900^2}{\pi^2 \cdot 205\,000} = 3\,145\,089 \text{ mm}^4$$

e quindi:

$$d_{e1} = \sqrt[4]{\frac{3 \cdot 145 \cdot 089}{0,048}} \approx 90 \text{ mm}$$
$$d_{i1} = 0,4 \cdot d_{e1} = 36 \text{ mm}$$

### e - Verifica e proporzionamento definitivo

Dalle relazioni esposte al punto C si ricava:

$$i_1 = 0,269 \cdot d_{e1} = 0,269 \cdot 90 = 24,21$$
$$\lambda_1 = \frac{\ell_c}{i_1} = \frac{900}{24,21} = 37,17$$

Assunto un grado di sicurezza al carico di punta  $\nu = 3$ , dalla relazione:

$$\alpha = \frac{\nu \cdot \sigma_{adm}}{\pi^2 \cdot E}$$

si ricava:

$$\alpha = \frac{3 \cdot 100}{\pi^2 \cdot 205 \cdot 000} = 0,00015$$
$$1 + \alpha \lambda_1^2 = 1 + 0,00015 \cdot 37,17^2 = 1,207$$
$$\sigma_{amp} = \frac{100}{1,207} = 83 \text{ N/mm}^2$$

Essendo:

$$A_1 = 0,660 \cdot 90^2 = 5 \cdot 346 \text{ mm}^2$$

il massimo carico sopportabile è:

$$N_p = \sigma_{amp} \cdot A_1 = 83 \cdot 5 \cdot 346 = 443 \cdot 718 > F_{max}$$

Si prova con un diametro:  $d_{e2} = 86 \text{ mm}$ .

Si ottiene:

$$A_2 = 0,660 \cdot 86^2 = 4 \cdot 881 \text{ mm}^2$$
$$\lambda_2 = 37,17 \cdot \frac{90}{86} = 38,9$$
$$1 + \alpha \lambda_2^2 = 1 + 0,00015 \cdot 41,82^2 = 1,227$$
$$\sigma_{amp} = \frac{100}{1,227} = 81,50 \text{ N/mm}^2$$
$$N_p = 81,50 \cdot 4 \cdot 881 = 397 \cdot 801 \text{ N}$$

Poiché è  $N_p = 1,012 \cdot F_{max}$  il calcolo si può ritenere concluso. La sezione della biella avrà perciò le dimensioni:

$$d_e = 86 \text{ mm}$$
$$d_i = 0,4 \cdot d_e = 34 \text{ mm}$$

### f - Potenza del motore

Si può calcolare usando la relazione:

$$P = F_m \cdot v_m$$

nella quale  $F_m$  è la forza media. Poiché una sola delle quattro corse è attiva, la forza media vale:

$$F_m = 0,5 \cdot F_{max} = 0,5 \cdot 392 \cdot 800 = 196 \cdot 400 \text{ N}$$

Pertanto:

$$P = 196 \cdot 400 \cdot 3,86 = 758 \cdot 104 \text{ W} \approx 758 \text{ kW}$$

### g - Consumo orario

Si ottiene uguagliando il lavoro  $L$  compiuto dal motore in un'ora all'energia  $E$  fornita dal combustibile. Il lavoro orario è dato da:

$$L = P \cdot t = 758 \cdot 3 \cdot 600 = 2 \cdot 728 \cdot 800 \text{ kJ}$$

L'energia fornita dal combustibile è data dall'espressione:

$$E = C_h H_i \eta$$

nella quale:

$C_h$  = consumo orario (kg/h)

$H_i$  = potere calorifico inferiore del gasolio

$\eta = \eta_\ell \cdot \eta_c \cdot \eta_v \cdot \eta_m$  = rendimento totale del motore

Dal *Manuale di Meccanica* si ricava:

$$H_i = 42 \cdot 400 \text{ kJ/kg}$$

Per i rendimenti parziali si può fissare:

- rendimento del ciclo termodinamico limite:  $\eta_\ell = 0,46$
- rendimento per gas incombusti:  $\eta_c = 0,95$
- rendimento volumetrico (Diesel lento):  $\eta_v = 0,85$
- rendimento meccanico (Diesel lento):  $\eta_m = 0,70$

$$\eta = 0,46 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,70 = 0,26$$

Sostituendo i valori trovati nella relazione

$$L = E$$

si ha:

$$2 \cdot 728 \cdot 800 = C_h \cdot 42 \cdot 400 \cdot 0,26$$

e quindi il consumo orario risulta:

$$C_h = \frac{2 \cdot 728 \cdot 800}{42 \cdot 400 \cdot 0,26} = 247,5 \text{ kg/h}$$