

## Capitolo 2

## MOTORI TURBOELICA

## SOLUZIONE ESERCIZI PROPOSTI (Vedi testo pag. 85 ÷ 86)

## ESERCIZIO 1

In base alla quota di volo  $Z = 19680 \text{ ft} = 19680 \cdot 0,3048 = 5998 \text{ m}$ , calcolo subito la pressione  $P_1$  e la temperatura  $T_1$

$$P_1 = P_0 (1 - 0,0000226 Z)^{5,256} = 101325 (1 - 0,0000226 \cdot 5998)^{5,256} = 47120 \text{ N/m}^2$$

$$T_1 = T_0 - 0,0065 Z = 288 - 0,0065 \cdot 5998 = 249 \text{ }^\circ\text{K}$$

Con i dati del problema, ciclo Brayton, conoscendo il rapporto di compressione, posso calcolare  $P_2$  e  $T_2$

$$r = \frac{P_2}{P_1} \quad \rightarrow \quad P_2 = r P_1 = 12 \cdot 47120 = 565440 \text{ N/m}^2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = r^{\frac{k-1}{k}} \quad \rightarrow \quad T_2 = T_1 r^{\frac{k-1}{k}} = 249 \cdot 12^{0,286} = 507 \text{ }^\circ\text{K}$$

Analogamente nella adiabatica (3 – 4) calcolo la temperatura  $T_3$

$$\frac{T_3}{T_4} = r^{\frac{k-1}{k}} \quad \rightarrow \quad T_3 = T_4 r^{\frac{k-1}{k}} = 1400 \cdot 12^{0,286} = 2849 \text{ }^\circ\text{K}$$

Assumo il calore specifico a pressione costante  $C_p = 1,005 \text{ kJ/Kg}$  e calcolo il **lavoro del compressore**:

$$L_c = C_p (T_2 - T_1) = 1,005 (507 - 249) = \mathbf{259 \text{ kJ/Kg}}$$

Calcolo il **lavoro della turbina**:

$$L_t = C_p (T_3 - T_4) = 1,005 (2849 - 1400) = \mathbf{1456 \text{ kJ/Kg}}$$

Quindi il lavoro del ciclo  $L = L_t - L_c = 1456 - 259 = 1200 \text{ kJ/Kg}$

Calcolo il calore somministrato:

$$Q_1 = C_p (T_3 - T_2) = 1,005 (2849 - 507) = 2354 \text{ kJ/Kg}$$

Ora posso calcolare il **rendimento** del ciclo

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{1200}{2354} = \mathbf{0,51}$$

Conoscendo la velocità di volo  $V = 350 \text{ Kts} = 350 \cdot 1,852/3,6 = 180 \text{ m/s}$ , posso calcolare la spinta del getto di gas in uscita dal turboelica:

$$T = m_g (V_u - V) = 2 (250 - 180) = 140 \text{ N}$$

Quindi posso calcolare la **potenza equivalente**:

$$W_{eq} = \eta_e \eta_r W_m + T V = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 895000 + 140 \cdot 180 = 709875 \text{ W} = \mathbf{710 \text{ kW}}$$

## ESERCIZIO 2

Con i dati del problema, ciclo Brayton, calcolo il **rapporto di compressione**:

$$r = \frac{P_2}{P_1} = \frac{500000}{100000} = 5$$

Conoscendo  $T_1 = 12\text{ }^\circ\text{C} = 285\text{ }^\circ\text{K}$ , calcolo le temperature  $T_2$  e  $T_4$

$$\frac{T_2}{T_1} = r^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_2 = T_1 r^{\frac{k-1}{k}} = 285 \cdot 5^{0,286} = 451\text{ }^\circ\text{K}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = r^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{r^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{1170}{5^{0,286}} = 738\text{ }^\circ\text{K}$$

Assumo il calore specifico a pressione costante  $C_p = 1,005\text{ kJ/Kg}$  e calcolo il **lavoro del compressore**:

$$L_c = C_p (T_2 - T_1) = 1,005 (451 - 285) = 168\text{ kJ/Kg}$$

Calcolo il **lavoro della turbina**:

$$L_t = C_p (T_3 - T_4) = 1,005 (1170 - 738) = 434\text{ kJ/Kg}$$

Quindi il **lavoro del ciclo**  $L = L_t - L_c = 434 - 168 = 266\text{ kJ/Kg}$

Calcolo il calore somministrato:

$$Q_1 = C_p (T_3 - T_2) = 1,005 (1170 - 451) = 722\text{ kJ/Kg}$$

Ora posso calcolare il **rendimento** del ciclo

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{266}{722} = 0,367$$

## ESERCIZIO 3

Con i dati del problema, ciclo Brayton, assumendo  $P_1 = 100\text{ kPa}$ , calcolo la pressione  $P_2$

$$r = \frac{P_2}{P_1} \rightarrow P_2 = r P_1 = 6 \cdot 100 = 600\text{ kPa}$$

Calcolo la temperatura  $T_2$

$$\frac{T_2}{T_1} = r^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_2 = T_1 r^{\frac{k-1}{k}} = 300 \cdot 6^{0,286} = 501\text{ }^\circ\text{K}$$

Conoscendo il rendimento del compressore calcolo  $T_{2x}$

$$\eta_c = \frac{T_2 - T_1}{T_{2x} - T_1} \rightarrow T_{2x} = \frac{T_2 - T_1}{\eta_c} + T_1 = \frac{501 - 300}{0,65} + 300 = 610\text{ }^\circ\text{K}$$

Conoscendo la caduta di pressione tra compressore e turbina, calcolo la pressione  $P_3$

$$\Delta P = P_2 - P_3 \rightarrow P_3 = P_2 - \Delta P = 600 - 20 = 580\text{ kPa}$$

Dato che  $P_4 = P_1$  posso calcolare, dalla trasformazione isoentropica (3 – 4), la temperatura  $T_4$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{\left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{1200}{\left(\frac{580}{100}\right)^{\frac{k-1}{k}}} = 725\text{ }^\circ\text{K}$$

Conoscendo il rendimento della turbina calcolo  $T_{4x}$

$$\eta_t = \frac{T_3 - T_{4x}}{T_3 - T_4} \rightarrow T_{4x} = T_3 - \eta_t (T_3 - T_4) = 1200 - 0,8 (1200 - 725) = 820 \text{ }^\circ\text{K}$$

Assumo il calore specifico a pressione costante  $C_p = 1,025 \text{ kJ/Kg}$  e calcolo il **lavoro richiesto dal compressore**

$$L_c = C_p (T_2 - T_1) = 1,025 (610 - 300) = 317 \text{ kJ/Kg}$$

Calcolo il **lavoro prodotto dalla turbina**:

$$L_t = C_p (T_3 - T_4) = 1,025 (1200 - 820) = 390 \text{ kJ/Kg}$$

Calcolo il **calore somministrato**:

$$Q_1 = C_p (T_3 - T_2) = 1,025 (1200 - 610) = 604 \text{ kJ/Kg}$$

Il lavoro del ciclo è  $L = L_t - L_c = 390 - 317 = 73 \text{ kJ/Kg}$

Ora posso calcolare il **rendimento** del ciclo

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{73}{604} = 0,12$$

#### ESERCIZIO 4

Con i dati del problema, ciclo Brayton, calcolo le temperature  $T_2$  e  $T_4$

$$\frac{T_2}{T_1} = r^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_2 = T_1 r^{\frac{k-1}{k}} = 300 \cdot 11^{0,286} = 595 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = r^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{r^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{1043}{11^{0,286}} = 525 \text{ }^\circ\text{K}$$

Calcolo il lavoro del compressore:

$$L_c = C_p (T_2 - T_1) = 1,005 (595 - 300) = 296 \text{ kJ/Kg}$$

Calcolo il lavoro della turbina:

$$L_t = C_p (T_3 - T_4) = 1,005 (1043 - 525) = 520 \text{ kJ/Kg}$$

Quindi il **lavoro del ciclo**  $L = L_t - L_c = 520 - 296 = 224 \text{ kJ/Kg}$

Calcolo il calore somministrato:

$$Q_1 = C_p (T_3 - T_2) = 1,005 (1043 - 595) = 450 \text{ kJ/Kg}$$

Ora posso calcolare il **rendimento** del ciclo

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{224}{450} = 0,497$$

#### ESERCIZIO 5

Con i dati del problema, ciclo Brayton, conoscendo il rapporto di compressione, posso calcolare  $P_2$  e  $T_2$

$$r = \frac{P_2}{P_1} \quad \rightarrow \quad P_2 = r P_1 = 6 \cdot 101325 = 607950 \text{ N/m}^2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = r^{\frac{k-1}{k}} \quad \rightarrow \quad T_2 = T_1 r^{\frac{k-1}{k}} = 300 \cdot 6^{0,286} = 501 \text{ }^\circ\text{K}$$

Analogamente nella adiabatica (3 – 4) calcolo la temperatura  $T_3$

$$\frac{T_3}{T_4} = r^{\frac{k-1}{k}} \quad \rightarrow \quad T_3 = \frac{T_4}{r^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{1200}{6^{0,286}} = 719 \text{ }^\circ\text{K}$$

Calcolo il **lavoro del compressore**:

$$L_c = C_p (T_2 - T_1) = 1,025 (501 - 300) = 206 \text{ kJ/Kg}$$

Calcolo il **lavoro della turbina**:

$$L_t = C_p (T_3 - T_4) = 1,025 (1200 - 719) = 493 \text{ kJ/Kg}$$

Quindi il lavoro del ciclo  $L = L_t - L_c = 493 - 206 = 287 \text{ kJ/Kg}$

Calcolo il calore somministrato:

$$Q_1 = C_p (T_3 - T_2) = 1,025 (1200 - 501) = 716 \text{ kJ/Kg}$$

Ora posso calcolare il **rendimento** del ciclo

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{287}{716} = 0,4$$

## FORMULARIO ESSENZIALE

### MOTORI TURBOELICA

Definizioni	Formule
<p><b>Turboelica (ciclo Brayton)</b></p> <p>Il <b>rendimento del turboelica</b> si calcola in questo modo.</p> <p>Tenendo conto del <b>rapporto di compressione</b> (<math>P_2 / P_1</math>) e dell'esponente della trasformazione adiabatica (<math>k</math>)</p> <p>Lavoro <b>assorbito dal compressore</b> (<math>L_c</math>)</p> <p>Lavoro <b>fornito dalla turbina</b> (<math>L_t</math>)</p> <p><b>Potenza del motore</b> (<math>W_m</math>), <b>Potenza del getto</b> (scarico) (<math>T V</math>)</p> <p><b>Potenza equivalente:</b> Dove (<math>T</math>) è la spinta fornita dal getto e (<math>V</math>) è la velocità di volo, (<math>\eta_e</math>) rendimento elica, (<math>\eta_r</math>) rendimento riduttore.</p>	$\eta = \frac{L}{Q_1} = 1 - \frac{T_4}{T_3}$ $\eta = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}$ $L_c = C_p (T_2 - T_1)$ $L_t = C_p (T_3 - T_4)$ $W_{eq} = \eta_e \eta_r W_m + T V$
<p><b>Parametri di volo</b></p> <p><b>Pressione in entrata</b> nella presa d'aria (in funzione della quota <math>Z</math> in metri), dove <math>P_0 = 101325 \text{ N/m}^2</math></p> <p><b>Temperatura in entrata</b> nella presa d'aria (in funzione della quota <math>Z</math>), dove <math>T_0 = 288 \text{ °K}</math></p> <p><b>Spinta fornita dal getto</b> (scarico), dove (<math>p_g</math>) portata dei gas in uscita, (<math>V_u</math>) velocità di uscita dei gas, (<math>V</math>) velocità di volo.</p>	$P_1 = P_0 (1 - 0,0000226 Z)^{5,256}$ $T_1 = T_0 - 0,0065 Z$ $T = p_g (V_u - V)$

