

## Capitolo 2

## CICLI TERMODINAMICI

## SOLUZIONE ESERCIZI PROPOSTI (Vedi testo pag. 41 ÷ 43)

## ESERCIZIO 1

Con i dati del problema, ciclo Otto ad aria standard, considerando  $R = 0,287 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{K}$ , calcolo il volume  $V_1$

$$V_1 = \frac{R T_1}{P_1} = \frac{0,287 \cdot 320}{100} = 0,918 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

Conoscendo il rapporto di compressione calcolo il volume  $V_2$

$$V_2 = \frac{V_1}{r} = \frac{0,918}{8} = 0,115 \text{ m}^3 / \text{Kg}$$

Nella trasformazione adiabatica (1 – 2) calcolo la pressione  $P_2$

$$P_2 = P_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k = P_1 r^k = 100 \cdot 8^{1,4} = 1838 \text{ KPa}$$

Quindi posso calcolare la temperatura  $T_2$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{R} = \frac{1838 \cdot 0,115}{0,287} = 736 \text{ }^\circ\text{K}$$

Conoscendo il calore fornito  $Q_1$ , posso calcolare la **temperatura  $T_3$**

$$Q_1 = C_v (T_3 - T_2) \quad \rightarrow \quad T_3 = T_2 + \frac{Q_1}{C_v} = 736 + \frac{1100}{0,717} = 2270 \text{ }^\circ\text{K}$$

Dato che  $V_3$  è uguale a  $V_2$ , posso calcolare la **pressione  $P_3$**

$$P_3 = \frac{R T_3}{V_3} = \frac{0,287 \cdot 2270}{0,115} = 5666 \text{ KPa}$$

Ora calcolo il **rendimento del ciclo**

$$\eta = 1 - \left( \frac{1}{r} \right)^{k-1} = 1 - \frac{1}{8^{0,4}} = 0,56$$

## ESERCIZIO 2

Con i dati del problema, ipotizzando  $k = 1,4$  calcolo il **rendimento del ciclo**

$$\eta = 1 - \left( \frac{1}{r} \right)^{k-1} = 1 - \frac{1}{8^{0,4}} = 0,56$$

$T_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C} = 333 \text{ }^\circ\text{K}$ , nella trasformazione adiabatica (1 – 2) calcolo la temperatura  $T_2$

$$T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = T_1 r^{k-1} = 333 \cdot 8^{0,4} = 765 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_3 = T_2 + 1800 = 765 + 1800 = 2565 \text{ }^\circ\text{K}$$

Ora nella trasformazione adiabatica (3 – 4) calcolo la temperatura  $T_4$

$$T_4 = T_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = T_3 \frac{1}{r^{k-1}} = 2565 \frac{1}{8^{0,4}} = 1116 \text{ } ^\circ\text{K}$$

### ESERCIZIO 3

Temperatura  $T_3 = 1390 \text{ } ^\circ\text{C} = 1663 \text{ } ^\circ\text{K}$  e temperatura  $T_1 = 15 \text{ } ^\circ\text{C} = 288 \text{ } ^\circ\text{K}$

Conoscendo il calore fornito  $Q_1$ , posso calcolare la temperatura  $T_2$

$$Q_1 = C_v (T_3 - T_2) \rightarrow T_2 = T_3 - \frac{Q_1}{C_v} = 1663 - \frac{795}{0,717} = 554 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Nella trasformazione adiabatica isoentropica (1 – 2) calcolo il rapporto di compressione  $r$

$$r = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{k-1}} = \left( \frac{554}{288} \right)^{\frac{1}{1,4-1}} = 5,1$$

Ora calcolo il rendimento del ciclo

$$\eta = 1 - \left( \frac{1}{r} \right)^{k-1} = 1 - \frac{1}{5,1^{0,4}} = 0,48$$

Posso ora calcolare il rapporto tra le pressioni massima e minima

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{T_3}{T_2} \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k = \frac{1663}{554} 5,1^{1,4} = 29$$

### ESERCIZIO 4

Motore a ciclo Otto, con i dati del problema inizio calcolando il volume  $V_1$

$$V_1 = V_2 + c = 200 + 1000 = 1200 \text{ cm}^3 = 0,0012 \text{ m}^3$$

Sapendo che  $T_1 = 50 \text{ } ^\circ\text{C} = 323 \text{ } ^\circ\text{K}$ , calcolo la massa della miscela aspirata  $m_1$

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{92,4 \cdot 0,0012}{0,274 \cdot 323} = 0,00128 \text{ Kg}$$

Calcolo la massa dei fumi espulsi  $m_0$

$$m_0 = \frac{P_0 V_0}{R T_0} = \frac{98,1 \cdot 0,0002}{0,274 \cdot 323} = 0,00022 \text{ Kg}$$

Per cui la massa della miscela utile alla combustione risulta  $m = m_1 - m_0 = 0,00128 - 0,00022 = 0,00106 \text{ Kg}$

Calcolo il rapporto di compressione  $r$

$$r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1200}{200} = 6$$

Nella trasformazione adiabatica (1 – 2) con  $k = 1,35$  calcolo la pressione  $P_2$  e la temperatura  $T_2$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = r^k \rightarrow P_2 = P_1 r^k = 94,2 \cdot 6^{1,35} = 1058 \text{ kPa}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r^{k-1} \rightarrow T_2 = T_1 r^{k-1} = 323 \cdot 6^{0,35} = 604 \text{ °K}$$

Nella trasformazione isocora (2 – 3), il calore somministrato  $Q_1 = m \cdot c_v = 0,00106 \cdot 1862 = 1,973 \text{ KJ}$

Quindi posso calcolare la temperatura  $T_3$  e la pressione  $P_3$

$$Q_1 = C_v (T_3 - T_2) \rightarrow T_3 = T_2 + \frac{Q_1}{m C_v} = 604 + \frac{1,973}{0,00106 \cdot 0,83} = 2846 \text{ °K}$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} \rightarrow P_3 = P_2 \frac{T_3}{T_2} = 1058 \frac{2846}{604} = 4985 \text{ kPa}$$

Dal punto 3 in poi il fluido cambia le sue proprietà dato che è stata modificata la sua composizione chimica, posso ora calcolare la temperatura  $T_4$  e la pressione  $P_4$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{k-1} = \left(\frac{1200}{200}\right)^{0,35} = 1,87 \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{1,87} = \frac{2846}{1,87} = 1522 \text{ °K}$$

$$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^k = \left(\frac{1200}{200}\right)^{1,32} = 11,2 \rightarrow P_4 = \frac{P_3}{11,2} = \frac{4985}{11,2} = 445 \text{ kPa}$$

Calcolo ora il calore ceduto nella trasformazione isocora (4 – 1)

$$Q_2 = m_1 C_v (T_1 - T_4) = 0,00128 \cdot 0,83 (323 - 1522) = -1,27 \text{ kJ}$$

Calcolo il **lavoro**  $L = Q_1 - |Q_2| = 1,973 - 1,27 = 0,7 \text{ kJ}$

Rendimento reale del ciclo

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{0,7}{1,973} = 0,35$$

Rendimento teorico del ciclo

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{k-1} = 1 - \frac{1}{6^{0,35}} = 0,46$$

Come si vede il rendimento teorico del ciclo risulta maggiore di quello reale in quanto non si tiene conto che nel cilindro vi è una massa inattiva  $m_0$

Il motore sviluppa un lavoro di 0,7 kJ/ciclo, che vengono prodotti ogni 2 giri di manovella, quindi sapendo che  $n = 4000 \text{ g/min} = 66,7 \text{ g/sec}$ , posso calcolare la **potenza sviluppata**

$$W = L \frac{n}{2} = 0,7 \frac{66,7}{2} = 23,4 \text{ kW}$$

## ESERCIZIO 5

Ciclo Otto, con i dati del problema, ipotizzando  $k = 1,4$  calcolo il **rendimento**:

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{k-1} = 1 - \frac{1}{6^{0,4}} = 0,51$$

Sapendo che  $T_1 = 50 \text{ °C} = 313 \text{ °K}$ , nella trasformazione adiabatica (1 – 2) la temperatura  $T_2$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r^{k-1} \rightarrow T_2 = T_1 r^{k-1} = 313 \cdot 6^{0,4} = 641 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Posso ora calcolare la temperatura  $T_3$

$$T_3 - T_2 = 1600 \text{ } ^\circ\text{C} = 1600 \text{ } ^\circ\text{K} \rightarrow T_3 = T_2 + 1600 = 641 + 1600 = 2241 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Nella trasformazione adiabatica (3 – 4) calcolo la **temperatura  $T_4$**

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{k-1} \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{r^{k-1}} = \frac{2241}{6^{0,4}} = 1094 \text{ } ^\circ\text{K}$$

### ESERCIZIO 6

Ciclo Diesel, con i dati del problema, ipotizzando  $k = 1,4$  e conoscendo il rapporto di compressione  $r$  e il rapporto di combustione  $b$ , posso calcolare il **rendimento del ciclo**:

$$\eta = 1 - \frac{b^k - 1}{k(b-1)} \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-k} = 1 - \frac{2,8^{1,4} - 1}{1,4(2,8 - 1)} \frac{1}{20^{0,4}} = 0,61$$

Sapendo che  $T_1 = 15 \text{ } ^\circ\text{C} = 288 \text{ } ^\circ\text{K}$ , nella trasformazione adiabatica (1 – 2) posso calcolare la temperatura  $T_2$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r^{k-1} \rightarrow T_2 = T_1 r^{k-1} = 288 \cdot 20^{0,4} = 954 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Dal rapporto di combustione, calcolo la **temperatura  $T_3$**

$$b = \frac{T_3}{T_2} \rightarrow T_3 = b T_2 = 2,8 \cdot 954 = 2671 \text{ } ^\circ\text{K}$$

### ESERCIZIO 7

Ciclo Diesel, con i dati del problema, trasformo le temperature in gradi Kelvin:

$T_1 = 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 303 \text{ } ^\circ\text{K}$  ;  $T_2 = 400 \text{ } ^\circ\text{C} = 673 \text{ } ^\circ\text{K}$  ;  $T_3 = 1700 \text{ } ^\circ\text{C} = 1973 \text{ } ^\circ\text{K}$

Calcolo il rapporto di combustione

$$b = \frac{T_3}{T_2} = \frac{1973}{673} = 2,93$$

Nella trasformazione adiabatica (1 – 2) con  $k = 1,4$  posso calcolare il rapporto di compressione  $r$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r^{k-1} \rightarrow r = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{k-1}} = \left(\frac{673}{303}\right)^{\frac{1}{1,4-1}} = 7,35$$

Ora posso calcolare il **rendimento del ciclo**:

$$\eta = 1 - \frac{b^k - 1}{k(b-1)} \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-k} = 1 - \frac{2,93^{1,4} - 1}{1,4(2,93 - 1)} \frac{1}{7,35^{0,4}} = 0,41$$

### ESERCIZIO 8

Ciclo Diesel, con i dati del problema, calcolo il volume  $V_1$

$$V_1 = \frac{R T_1}{P_1} = \frac{0,287 \cdot 320}{100} = 0,918 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Conoscendo il rapporto di compressione, calcolo il volume  $V_2$

$$r = \frac{V_1}{V_2} \rightarrow V_2 = \frac{V_1}{r} = \frac{0,918}{18} = 0,051 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Nella trasformazione adiabatica (1 – 2) con  $k = 1,4$  posso calcolare la temperatura  $T_2$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r^{k-1} \rightarrow T_2 = T_1 r^{k-1} = 320 \cdot 18^{0,4} = 1017 \text{ }^\circ\text{K}$$

Nella trasformazione isobara (2 – 3) conoscendo il calore fornito  $Q_1$  e dato che per l'aria  $C_p = 1,025 \text{ kJ/Kg }^\circ\text{K}$ , posso calcolare la **temperatura  $T_3$**

$$Q_1 = C_p (T_3 - T_2) \rightarrow T_3 = T_2 + \frac{Q_1}{C_p} = 1017 + \frac{1100}{1,025} = 2090 \text{ }^\circ\text{K}$$

Calcolo ora la pressione  $P_3$

$$P_3 = P_2 = \frac{R T_2}{V_2} = \frac{0,287 \cdot 1017}{0,051} = 5723 \text{ KPa}$$

Calcolo il rapporto di combustione  $b$

$$b = \frac{T_3}{T_2} = \frac{2090}{1017} = 2,055$$

Ora posso calcolare il **rendimento del ciclo**:

$$\eta = 1 - \frac{b^k - 1}{k(b-1)} \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-k} = 1 - \frac{2,055^{1,4} - 1}{1,4(2,055 - 1)} \frac{1}{18^{0,4}} = 0,62$$

## ESERCIZIO 9

Ciclo Diesel, con i dati del problema, nella trasformazione adiabatica (1 – 2) utilizzando  $k = 1,4$  e  $T_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C} = 288 \text{ }^\circ\text{K}$  posso calcolare la **temperatura  $T_2$**

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r^{k-1} \rightarrow T_2 = T_1 r^{k-1} = 288 \cdot 19^{0,4} = 935 \text{ }^\circ\text{K}$$

Nella trasformazione isobara (2 – 3) conoscendo il calore fornito  $Q_1$  e dato che per l'aria  $C_p = 1,025 \text{ kJ/Kg }^\circ\text{K}$ , posso calcolare la **temperatura  $T_3$**

$$Q_1 = C_p (T_3 - T_2) \rightarrow T_3 = T_2 + \frac{Q_1}{C_p} = 935 + \frac{1500}{1,025} = 2398 \text{ }^\circ\text{K}$$

Calcolo il rapporto di combustione  $b$

$$b = \frac{T_3}{T_2} = \frac{2398}{935} = 2,56$$

Ora posso calcolare il **rendimento del ciclo**:

$$\eta = 1 - \frac{b^k - 1}{k(b-1)} \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-k} = 1 - \frac{2,56^{1,4} - 1}{1,4(2,56 - 1)} \frac{1}{19^{0,4}} = 0,61$$

## ESERCIZIO 10

Con i dati del problema, ciclo Brayton, posso calcolare subito il **rapporto di compressione**:

$$r = \frac{P_2}{P_1} = \frac{500}{100} = 5$$

Calcolo ora la temperatura  $T_2$

$$\frac{T_2}{T_1} = r^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_2 = T_1 r^{\frac{k-1}{k}} = 288 \cdot 5^{0,286} = 456 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Analogamente nella adiabatica (3 – 4) calcolo la temperatura  $T_4$

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

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

$$L_c = C_p (T_2 - T_1) = 1,005 (456 - 288) = 168 \text{ kJ/Kg}$$

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:

$$Q_1 = C_p (T_3 - T_2) = 1,005 (1170 - 456) = 717 \text{ kJ/Kg}$$

Ora posso calcolare il **rendimento** del ciclo

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{266}{717} = 0,37$$

## ESERCIZIO 11

Con i dati del problema, ciclo Brayton, per l'aria  $k = 1,4$  quindi il **rendimento** risulta:

$$\eta_{aria} = 1 - \frac{1}{r^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{4^{0,286}} = 0,327$$

Per l'elio  $k = 1,667$  quindi il **rendimento** risulta:

$$\eta_{elio} = 1 - \frac{1}{r^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{4^{0,4}} = 0,425$$

Per il propano  $k = 1,126$  quindi il **rendimento** risulta:

$$\eta_{propano} = 1 - \frac{1}{r^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{4^{0,112}} = 0,143$$

## ESERCIZIO 12

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  $T_2$

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

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

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

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  $T_4$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{\left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{1200}{5,8^{0,286}} = 725 \text{ °K}$$

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

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

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

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

Calcolo il **lavoro prodotto dalla turbina**:

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

Calcolo il **calore somministrato**:

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

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

Ora posso calcolare il **rendimento** del ciclo

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

## ESERCIZIO 13

Con i dati del problema, ciclo Brayton,  $T_1 = 27 \text{ °C} = 300 \text{ °K}$  e  $T_3 = 770 \text{ °C} = 1043 \text{ °K}$ , calcolo la temperatura  $T_2$

$$\frac{T_2}{T_1} = r^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_2 = T_1 r^{\frac{k-1}{k}} = 300 \cdot 11^{0,286} = 596 \text{ }^\circ\text{K}$$

Calcolo la temperatura  $T_4$

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

Ora posso calcolare il **lavoro del ciclo**:

$$L = L_t - L_c = C_p [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] = 1,005 (1043 - 525 - 596 + 300) = \mathbf{223,1 \text{ kJ/Kg}}$$

Calcolo il calore somministrato:

$$Q_1 = C_p (T_3 - T_2) = 1,005 (1043 - 596) = 449 \text{ kJ/Kg}$$

Ora posso calcolare il **rendimento** del ciclo

$$\eta = \frac{L}{Q_1} = \frac{223,1}{449} = \mathbf{0,497}$$

#### ESERCIZIO 14

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 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  $T_4$

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

Calcolo il **lavoro richiesto dal compressore**

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

Calcolo il **lavoro prodotto dalla turbina**:

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

Calcolo il calore somministrato:

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

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

Ora posso calcolare il **rendimento** del ciclo



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

---

Maurizio