

Esercizi

Secondo Principio della Termodinamica

Si ricorda che negli esercizi seguenti, il simbolo T_H corrisponde alla temperatura della sorgente calda (nelle slide delle lezioni T_2), mentre T_C corrisponde alla temperatura della sorgente fredda (nelle slide delle lezioni T_1)

Esercizio 1 – Ciclo di Carnot

Un ciclo di Carnot scambia energia tra due sorgenti che si trovano rispettivamente alla temperatura di $800\text{ }^\circ\text{C}$ (T_H) e $100\text{ }^\circ\text{C}$ (T_C) assorbendo dalla sorgente calda 1000 kJ (Q_H). Determinare:

- il rendimento del ciclo
- il lavoro prodotto dal ciclo L
- il calore ceduto alla sorgente fredda Q_C

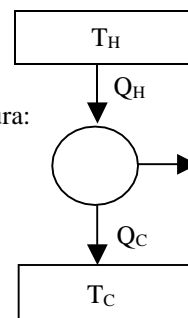
Svolgimento

Riportiamo a fianco lo schema del ciclo

Prima di procedere nei calcoli è opportuno uniformare le unità di misura:

$$T_H = 800\text{ }^\circ\text{C} + 273 = 1073\text{ K}$$

$$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C} + 273 = 373\text{ K}$$



Il rendimento della macchina che opera secondo un ciclo di Carnot (macchina ideale) può essere calcolato in funzione delle temperature delle due sorgenti:

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{T_H - T_C}{T_H} = \frac{1073 - 373}{1073} = 0,65$$

Il rendimento della macchina che opera secondo un ciclo di Carnot (macchina ideale) può essere calcolato in funzione delle temperature delle due sorgenti:

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{T_H - T_C}{T_H} = \frac{1073 - 373}{1073} = 0,65$$

Il lavoro prodotto vale pertanto: $L = Q_H \cdot \eta = 1000 \cdot 0,65 = 650 \text{ kJ}$

Il calore ceduto alla sorgente fredda vale: $Q_C = Q_H - L = 1000 - 650 = 350 \text{ kJ}$

Il calore ceduto alla sorgente fredda vale: $Q_C = Q_H - L = 1000 - 650 = 350 \text{ kJ}$

Esercizio 2 – Macchina termica

Una macchina termica assorbe 7 kWh (Q_H) da una sorgente a 550 °C e cede 5,5 kWh (Q_C) all'ambiente che si trova alla temperatura di 0 °C. Supponendo che durante la trasformazione le temperature delle due sorgenti rimangano costanti, calcolare:

- a) il lavoro teorico perduto rispetto ad un ciclo di Carnot che opera tra le stesse temperature

Svolgimento

Il lavoro della macchina termica reale è ricavato da:

$$L = Q_H - Q_C = 7 - 5,5 = 1,5 \text{ kWh}$$

Se la macchina funzionasse secondo un ciclo ideale (macchina di Carnot), il rendimento della stessa potrebbe essere calcolato in funzione delle temperature delle due sorgenti:

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{T_H - T_C}{T_H} = \frac{(550 + 273) - (0 + 273)}{(550 + 273)} = 0,668$$

Il lavoro generato dalla macchina nelle condizioni ideali (ciclo di Carnot) sarebbe pertanto pari a:

$$L_{\text{car cot}} = Q_H \cdot \eta = 7 \cdot 0,668 = 4,67 \text{ kJ}$$

Il lavoro teorico perduto dalla macchina è uguale alla differenza tra i due lavori:

$$\Delta L = L_{\text{carnot}} - L = 4,67 - 1,5 = 3,17 \text{ kWh}$$

Esercizio 3 – Ciclo di Carnot

Una macchina di Carnot (motore termico), avente la sorgente a bassa temperatura a 10°C (T_C), ha un rendimento del 20%. Calcolate:

- a) la temperatura T della sorgente calda

Svolgimento

Si trasforma innanzi tutto T_C da gradi centigradi a Kelvin: $T_C = 10 \text{ °C} + 273 = 283 \text{ K}$

Dalla equazione del rendimento di una macchina ideale in funzione delle temperature alle quali opera:

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{T_H - T_C}{T_H} \text{ si esplicita la temperatura incognita: } T_H = \frac{T_C}{1 - \eta} = \frac{283}{1 - 0,2} \cong 353 \text{ K}$$

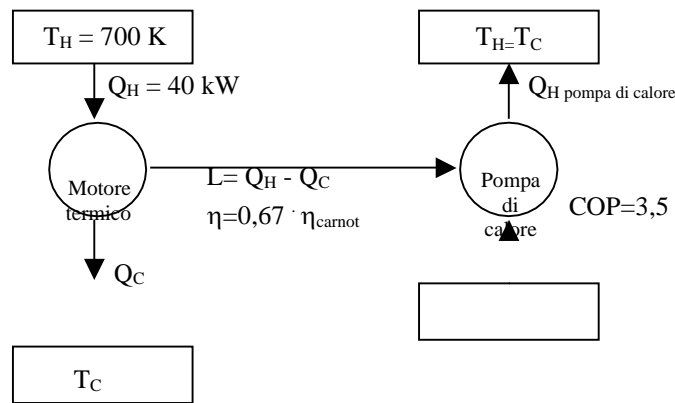
Esercizio 4 – Motore termico, rendimento

Un motore termico con rendimento meccanico 0,25 aziona una pompa di calore con COP uguale a 3,5, che fornisce calore alla temperatura T_C . Sapendo che il motore assorbe una potenza termica pari a 40 kW alla temperatura $T_H = 700$ °C, e che il suo rendimento è pari al 67% del rendimento di un ciclo di Carnot che opera alle stesse temperature, calcolate:

- il valore della temperatura T_C K
- la quantità totale di calore prodotta alla temperatura T_C (dal motore termico e dalla pompa di calore) in 7 ore di funzionamento del sistema kWh

Svolgimento

Lo schema del sistema proposto è illustrato in figura. Il lavoro meccanico fornito dal motore termico aziona direttamente il compressore della pompa di calore. Si noti come la temperatura del serbatoio caldo della pompa di calore T_H corrisponda alla temperatura al valore della temperatura del serbatoio freddo del motore termico T_C . Motore termico e pompa di calore sono due sistemi che lavorano su due serbatoi di calore differenti separati. L'unico elemento che lega le due macchine è il fatto che il lavoro meccanico dell'una (motore termico) diventa in pratica il lavoro entrante dell'altra (pompa di calore)



Se il rendimento del motore è pari a 0,25, e se questo è pari al 67% di quello di un ciclo di Carnot che opera alle stesse temperature, è possibile ricavare il valore del rendimento di Carnot che vale:

$$\eta_{\text{carnot}} = \eta / 0,67 = 0,25 / 0,67 = 0,373$$

Dalla equazione del rendimento di una macchina ideale in funzione delle temperature alle quali opera:

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{T_H - T_C}{T_H} \quad \text{si esplicita la temperatura incognita: } T_C = T_H - (\eta_{\text{carnot}} \cdot T_H) = 700 - (0,373 \cdot 700) \cong 439 \text{ K}$$

La potenza termica totale prodotta alla temperatura T_C corrisponde alla somma tra il calore ceduto dal motore termico al suo serbatoio freddo ed il calore ceduto dalla pompa di calore al suo serbatoio caldo (entrambi i serbatoi, per convenzione adottata, si trovano infatti alla temperatura T_C).

Potenza termica ceduta dal motore termico:

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_H - \dot{L} = \dot{Q}_H - (\dot{Q}_H \cdot \eta) = 40 - (40 \cdot 0,25) = 30 \text{ kW}$$

Potenza termica ceduta dalla pompa di calore:

$$\dot{Q}_{\text{H pompa di calore}} = \dot{L} \cdot \text{COP} = (40 \cdot 0,25) \cdot 3,5 = 35 \text{ kW}$$

La quantità totale di calore prodotta alla temperatura T_C (dal motore termico e dalla pompa di calore) in 7 ore di funzionamento del sistema vale pertanto: $(30 + 35) \cdot 7 = 455 \text{ kWh}$

