

4. Macchine termodinamiche.

- 4.1. *[base]* Determinare il rendimento termodinamico di una macchina termica motrice che opera reversibilmente tra due serbatoi di calore rispettivamente a temperatura $T_C = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $T_F = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$[\eta_{rev} = 0.423]$$

- 4.2. *[base]* Una macchina termodinamica motrice interagisce con due sorgenti a temperatura costante ($T_C = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $T_F = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) cedendo $Q_F = 4800\text{ MJ}$ alla sorgente inferiore e con una entropia prodotta per irreversibilità pari a 2920 kJ/K . Si chiede di valutare:

- Il lavoro prodotto dalla macchina.
- Il rendimento di secondo principio dalla macchina termodinamica.

$$[L^{\rightarrow} = 10311\text{ MJ}; \eta_{II} = 0.923]$$

- 4.3. *[base]* Determinare il rendimento termodinamico ed il rendimento di secondo principio di una macchina termica motrice che prelevando una quantità di calore $Q_C = 200\text{ kJ}$ da un serbatoio di calore a temperatura $T_C = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ produce lavoro interagendo con un secondo serbatoio di calore a temperatura $T_F = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una generazione di entropia per irreversibilità pari a $S_{irr} = 0,18\text{ kJ/K}$.

$$[L^{\rightarrow} = 69.7\text{ kJ}; \eta_{II} = 0.586]$$

- 4.4. *[intermedio]* Per raffreddare una massa di aria (gas ideale con $M_m = 29\text{ kg/kmol}$) pari a 1000 kg dalla temperatura iniziale pari a $T_i = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ alla temperatura finale $T_f = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, in un sistema a volume costante, viene utilizzata una macchina termodinamica frigorifera. Questa assorbe energia elettrica (pari a $L_{el} = 1500\text{ kJ}$) da un serbatoio di lavoro e cede energia termica ad una sorgente di calore alla temperatura $T_C = 30^{\circ}\text{C}$. Determinare:

- L'energia termica prelevata dalla massa di aria e l'energia ceduta alla sorgente superiore.
- L'efficienza frigorifera della macchina.
- L'entropia prodotta per irreversibilità dalla macchina termodinamica.

$$[Q_A^{\leftarrow} = -11467.6\text{ kJ}; \varepsilon_F = 7.65; S_{irr} = 2.27\text{ kJ/K}]$$

4.5. *[avanzato]* Una macchina motrice reversibile utilizza come sorgente termica superiore un serbatoio a temperatura costante di $T_C = 400\text{ }^\circ\text{C}$ e come sorgente termica inferiore un deposito a massa finita pari a $M = 2000\text{ kg}$ di acqua allo stato liquido che viene riscaldata dalla temperatura di 15°C alla temperatura di 45°C .

- Caso a. Nelle ipotesi che l'acqua si comporti come un liquido perfetto ($c = 4186\text{ J/kgK}$) e le due sorgenti termiche scambino calore esclusivamente con la macchina ciclica, calcolare il lavoro che si potrebbe ottenere dalla macchina ed il rendimento termodinamico.
- Caso b. Calcolare il rendimento di secondo principio e confrontarlo con quanto ottenibile nel caso in cui le sorgenti siano due serbatoi isotermini a temperature $T_C = 400\text{ }^\circ\text{C}$ e $T_F = 15\text{ }^\circ\text{C}$ e vengano scambiate le medesime quantità di calore con le sorgenti (Q_C e Q_F) del Caso a.

$$[L_{\max,A}^{\rightarrow} = 307\text{ MJ}; \eta_{I,A} = 0.55; \eta_{II,A} = 1; \eta_{II,B} = 0.96]$$

4.6. *[intermedio]* Una pompa di calore viene utilizzata per riscaldare una massa $M = 1000\text{ kg}$ di un fluido incompressibile perfetto con $c = 3\text{ kJ/kgK}$, dalla temperatura $T_1 = 70\text{ }^\circ\text{C}$ alla temperatura $T_2 = 80\text{ }^\circ\text{C}$. La pompa di calore utilizza come sorgente inferiore una sorgente di calore a temperatura $T_F = 20\text{ }^\circ\text{C}$. Determinare il lavoro assorbito da una pompa di calore che opera reversibilmente e la sua efficienza. Determinare poi il lavoro che occorrerebbe fornire in più ad una pompa di calore reale operante con efficienza pari a 2,5.

$$[L_{rev}^{\leftarrow} = 4.74\text{ MJ}; \varepsilon_{F,rev} = 6.33; L^{\leftarrow} - L_{rev}^{\leftarrow} = 7.26\text{ MJ}]$$

4.7. *[base]* Una ipotetica macchina termodinamica motrice è costituita da un insieme di 3 sorgenti di calore a temperatura costante ($T_1 = 800\text{ }^\circ\text{C}$, $T_2 = 400\text{ }^\circ\text{C}$, $T_3 = -50\text{ }^\circ\text{C}$), da un serbatoio di lavoro e da una macchina ciclica che interagisce con le diverse sorgenti e il serbatoio stesso. Nell'ipotesi che dalla sorgente di calore 1 venisse prelevata una quantità di calore $Q_1 = 4500\text{ MJ}$, la produzione di lavoro fosse $L = 3500\text{ MJ}$, che la quantità di calore prelevata alla sorgente di calore 3 fosse $Q_3 = 500\text{ MJ}$, determinare se la macchina in questione opera in modo reversibile, irreversibile o è impossibile che sia realizzata.

[impossibile]

4.8. *[intermedio]* In un capannone industriale, con un volume di 4000 m^3 , l'aria ha una temperatura di $14\text{ }^\circ\text{C}$ ed una pressione di 1 atm . Il capannone, supposto termicamente isolato verso l'esterno ed a volume costante, viene riscaldato sino alla temperatura di $25\text{ }^\circ\text{C}$ con l'impiego di una pompa di calore con efficienza pari a 10. La pompa opera utilizzando una sorgente fredda alla temperatura costante di $10\text{ }^\circ\text{C}$. Determinare il lavoro necessario per eseguire il riscaldamento e l'entropia prodotta per irreversibilità.

$$[L^{\leftarrow} = 3.88\text{ MJ}; S_{irr} = 9.64\text{ kJ/K}]$$

- 4.9.** *[intermedio]* Si vuole sfruttare l'energia posseduta da una massa M di rocce calde, alla temperatura T_{C1} , con l'impiego di una macchina motrice reversibile che opera in contatto con una sorgente di calore a temperatura costante T_F . Determinare il lavoro estraibile durante il raffreddamento delle rocce dalla temperatura T_{C1} alla temperatura finale T_{C2} , e il rendimento del processo. Sono noti: $M = 800 \text{ kg}$, $T_{C1} = 220 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{C2} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_F = 285.15 \text{ K}$ e $c_{\text{rocce}} = 0.215 \text{ kcal/kgK}$.

$$[L_{rev}^{\rightarrow} = 29.15 \text{ MJ}; \eta_{rev} = 0.337]$$

- 4.10.** *[avanzato]* Una macchina motrice reversibile opera fra una sorgente di calore a temperatura costante $T_C = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ e una sorgente di calore a massa finita $M = 1000 \text{ kg}$ di acqua a pressione $P_{F1} = 1 \text{ bar}$ e temperatura $T_{F1} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$. Determinare il lavoro compiuto dalla macchina termodinamica se la sorgente fredda viene portata a temperatura $T_{F2} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ a pressione costante. In prima approssimazione si assuma trascurabile il lavoro compiuto dalla sorgente di calore fredda (la variazione di volume si assuma trascurabile). Determinare inoltre il rendimento termodinamico medio del processo, quello a inizio processo e quello a fine processo. Mettere in evidenza come il rendimento medio si collochi in un intervallo compreso fra gli altri due. Sono dati l'entalpia di transizione di fase da liquido a solido allo stato triplo per l'acqua ($h_{\text{ist}} = -333 \text{ kJ/kg}$) e il calore specifico del ghiaccio $c_g = 2.093 \text{ kJ/kgK}$. Utilizzare le tabelle di saturazione dell'acqua ove necessario.

$$[L_{rev}^{\rightarrow} = 1673.22 \text{ MJ}; \eta_i = 0.8; \eta_f = 0.77; \bar{\eta} = 0.785]$$