RISOLUZIONI problemi cap.7

7.1
(a) La potenza termica totale ceduta da questo impianto motore è

$$\dot{Q}_i = 145 + 8 = 153 \text{ GJ/h}$$

Quindi la potenza netta prodotta dall'impianto diventa

$$\dot{L}_{n,u} = \dot{Q}_s - \dot{Q}_i = 280 - 153 = 127 \text{ GJ/h} = \mathbf{35.3\ MW}$$

(b) Il rendimento termico dell'impianto, determinato in base alla sua definizione, è

$$\eta_t = \frac{\dot{L}_{n,u}}{\dot{Q}_s} = \frac{127 \text{ GJ/h}}{280 \text{ GJ/h}} = 0.454 = \mathbf{45.4\%}$$

7.2
Questo motore automobilistico converte in lavoro il 22% dell'energia chimica rilasciata durante il processo di combustione. La quantità di energia che si deve fornire nell'unità di tempo per produrre in uscita una potenza di 90 W, determinata in base alla definizione di rendimento termico, è

$$\dot{Q}_s = \frac{\dot{L}_{n,u}}{\eta_t} = \frac{90 \text{ kJ/s}}{0.28} = 321.4 \text{ kJ/s}$$

Per fornire questa quantità di energia nell'unità di tempo, il motore deve bruciare nell'unità di tempo una quantità di combustibile data da

$$\dot{m} = \frac{321.4 \text{ kJ/s}}{44{,}000 \text{ kJ/kg}} = 7.31 \times 10^{-3} \text{ kg/s} = \mathbf{7.31\ g/s}$$

poiché la combustione di 1 kg di combustibile rilascia 44 000 kJ di energia termica.

7.3
La potenza termica fornita a questo impianto motore è

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_{carb} u_{carb} = (60{,}000 \text{ kg/h})(30{,}000 \text{ kJ/kg}) = 1.8 \times 10^9 \text{ kJ/h} = 500 \text{ MW}$$

Quindi il rendimento termico dell'impianto diventa

$$\eta_t = \frac{\dot{L}_{n,u}}{\dot{Q}_s} = \frac{150 \text{ MW}}{500 \text{ MW}} = 0.300 = \mathbf{30.0\%}$$

7.4
La portata massica del combustibile consumato dal motore è

$$\dot{m}_{\text{comb}} = \left(\rho \dot{V}\right)_{\text{comb}} = (0.8\ \text{kg/L})(20\ \text{L/h}) = 16\ \text{kg/h}$$

La potenza termica fornita all'automobile è

$$\dot{Q}_{\text{s}} = \dot{m}_{\text{carb}} u_{\text{carb}} = (16\ \text{kg/h})(44{,}000\ \text{kJ/kg}) = 704{,}000\ \text{kJ/h} = 195.6\ \text{kW}$$

Quindi il rendimento termico dell'automobile diventa

$$\eta_{\text{t}} = \frac{\dot{L}_{\text{n, u}}}{\dot{Q}_{\text{s}}} = \frac{60\ \text{kW}}{195.6\ \text{kW}} = 0.307 = \mathbf{30.7\%}$$

7.5
(a) In base alla definizione di coefficiente di prestazione (COP), la potenza fornita al frigorifero è

$$\dot{L}_{\text{n, e}} = \frac{\dot{Q}_{\text{i}}}{COP_{\text{F}}} = \frac{90\ \text{kJ/min}}{1.8} = 50\ \text{kJ/min} = \mathbf{0.83\ kW}$$

(b) La potenza termica ceduta alla cucina, determinata in base all'equazione di conservazione dell'energia, è

$$\dot{Q}_{\text{s}} = \dot{Q}_{\text{i}} + \dot{L}_{\text{n, e}} = 90 + 50 = \mathbf{140\ kJ/min}$$

7.6
(a) Il coefficiente di prestazione (COP) del condizionatore d'aria (o del frigorifero) è, in base alla definizione,

$$COP_{\text{F}} = \frac{\dot{Q}_{\text{i}}}{\dot{L}_{\text{n, e}}} = \frac{750\ \text{kJ/min}}{6\ \text{kW}}\left(\frac{1\ \text{kW}}{60\ \text{kJ/min}}\right) = \mathbf{2.08}$$

(b) La potenza termica ceduta all'esterno, determinata con l'equazione di conservazione dell'energia, è

$$\dot{Q}_{\text{s}} = \dot{Q}_{\text{i}} + \dot{L}_{\text{n, e}} = (750\ \text{kJ/min}) + (6)(60\ \text{kJ/min}) = \mathbf{1110\ kJ/min}$$

7.7
La quantità totale di calore che deve essere sottratta dai cocomeri è

$$Q_i = (mc\Delta T)_{cocomeri} = 5 \times (10\text{ kg})(4.2\text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C})(20-8)^\circ\text{C} = 2520\text{ kJ}$$

La potenza termica sottratta da questo frigorifero è

$$\dot{Q}_i = (COP_F)(L_{n,e}) = (2.5)(0.45\text{ kW}) = 1.125\text{ kW}$$

Cioè, questo frigorifero è capace di sottrarre 1,125 kJ di calore al secondo. Perciò, l'intervallo di tempo che impiega per sottrarre 2520 kJ di calore è

$$\Delta t = \frac{Q_i}{\dot{Q}_i} = \frac{2520\text{ kJ}}{1.125\text{ kJ/s}} = 2240\text{ s} = \mathbf{37.3\text{ min}}$$

Questa risposta è ottimistica perché durante il processo di raffreddamento l'ambiente refrigerato riceverà dall'aria ambiente una certa quantità di calore, che aumenterà il carico di lavoro. Perciò, il frigorifero impiegherà in realtà più tempo per raffreddare i cocomeri.

7.8
La quantità di calore che i riscaldatori a resistenza elettrica forniscono a una casa è uguale alla quantità di energia elettrica che assorbono. Perciò, per ottenere lo stesso effetto scaldante, la casa deve ricevere 1200 kWh di energia. Una pompa di calore che fornisca questa quantità di calore utilizzerà una quantità di energia elettrica data da

$$L_{n,e} = \frac{Q_s}{COP_{PdC}} = \frac{1200\text{ kWh}}{2.4} = \mathbf{500\text{ kWh}}$$

(b) La potenza termica ricevuta dall'aria esterna è, in base al principio di conservazione dell'energia,

(700 kWh)(0.085€ / kWh)= € 59.5

7.9
(a) La potenza consumata da questa pompa di calore può essere determinata dalla definizione di coefficiente di prestazione,

$$L_{n,e} = \frac{\dot{Q}_s}{COP_{PdC}} = \frac{75{,}000\text{ kJ/h}}{1.8} = 41{,}667\text{ kJ/h} = \mathbf{11.57\text{ kW}}$$

(b) La potenza termica ricevuta dall'aria esterna è, in base al principio di conservazione dell'energia,

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_s - \dot{L}_{n,e} = (75{,}000 - 41{,}667 \text{ kJ/h}) = \mathbf{33{,}333 \text{ kJ/h}}$$

7.10
(a) Il rendimento termico di un motore termico di Carnot dipende dalla temperatura della sorgente termica e da quella del pozzo termico ed è dato da

$$\eta_{t,C} = 1 - \frac{T_i}{T_s} = 1 - \frac{300 \text{ K}}{1000 \text{ K}} = 0.70 \quad \text{o} \quad \mathbf{70\%}$$

(b) La potenza prodotta da questo motore termico, determinata in base alla definizione di rendimento termico, è

$$\dot{L}_{n,u} = \eta_t \dot{Q}_s = (0.70)(800 \text{ kJ/min}) = 560 \text{ kJ/min} = \mathbf{9.33 \text{ kW}}$$

7.11
(a) Per i dispositivi ciclici reversibili abbiamo

$$\left(\frac{Q_s}{Q}\right)_{rev} = \left(\frac{T_s}{T_i}\right)$$

Perciò, la temperatura T_s della sorgente deve essere

$$T_s = \left(\frac{Q_s}{Q_i}\right)_{rev} T_i = \left(\frac{500 \text{ kJ}}{200 \text{ kJ}}\right)(290 \text{ K}) = \mathbf{725 \text{ K}}$$

(b) Il rendimento termico di un motore termico di Carnot dipende soltanto dalla temperatura della sorgente termica e da quella del pozzo termico ed è dato da

$$\eta_{t,C} = 1 - \frac{T_i}{T_s} = 1 - \frac{290 \text{ K}}{725 \text{ K}} = 0.60 \quad \text{o} \quad \mathbf{60\%}$$

7.12
Un impianto motore ha rendimento massimo se opera secondo un ciclo di Carnot reversibile. Il rendimento in tale caso è legato alle temperature della sorgente calda e della sorgente fredda

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C} = 1 - \frac{20 + 273}{140 + 273} = 0.291 = 29.1\%$$

7.13
Il coefficiente di prestazione (COP) di un frigorifero (macchina frigorifera) di Carnot dipende soltanto dai limiti di temperatura nel ciclo ed è dato da

$$COP_{F,C} = \frac{1}{(T_s / T_i) - 1} = \frac{1}{(25 + 273\text{ K})/(3 + 273\text{ K}) - 1} = 12.6$$

La potenza termica sottratta dall'ambiente refrigerato, determinata in base alla definizione del coefficiente di prestazione (COP) di una macchina frigorifera, è

$$\dot{Q}_i = COP_F \times L_{n,e} = (12.6)(2\text{ kW}) = 25.2\text{ kW} = \mathbf{1512\ kJ / min}$$

7.14
(a) La potenza termica sottratta dall'ambiente refrigerato, determinata in base alla definizione del COP di una macchina frigorifera, è

$$\dot{Q}_i = COP_F \times L_{n,e} = (4.5)(0.5\text{ kW}) = 2.25\text{ kW} = \mathbf{135\ kJ / min}$$

(b) La temperatura dell'ambiente refrigerato, L_i, determinata mediante l'equazione del coefficiente di prestazione (COP) per una macchina frigorifera di Carnot, è

$$COP_{F,rev} = \frac{1}{(T_s / T_i) - 1} \longrightarrow 4.5 = \frac{1}{(25 + 273\text{ K})/T_i - 1}$$

da cui

$$T_i = 243.8\text{ K} = \mathbf{-29.2°C}$$

7.15
La potenza che si deve fornire a un sistema di condizionamento dell'aria sarà minima quando il condizionatore d'aria funziona in modo reversibile. Il coefficiente di prestazione (COP) di un condizionatore d'aria (o di un frigorifero) reversibile dipende soltanto dai limiti di temperatura del ciclo ed è dato da

$$COP_{F,rev} = \frac{1}{(T_s / T_i) - 1} = \frac{1}{(33 + 273\text{ K})/(22 + 273\text{ K}) - 1} = 26.8$$

Il carico frigorifero di questo sistema di condizionamento dell'aria è la somma della potenza termica ricevuta dall'esterno e della potenza termica generata all'interno della casa,

$$COP_{\text{F, rev}} = \frac{1}{(T_s\ / T_i\ ) - 1} = \frac{1}{(33 + 273\ \text{K}) / (22 + 273\ \text{K}) - 1} = 26.8$$

La potenza che si deve fornire a questa macchina frigorifera, determinata in base alla definizione del coefficiente di prestazione (COP) di una macchina frigorifera, è

$$\dot{L}_{\text{n, e}} = \frac{\dot{Q}_i}{COP_{\text{F, max}}} = \frac{720\ \text{kJ / min}}{26.8} = 26.9\ \text{kJ / min} = \mathbf{0.48\ kW}$$

7.16
Se si denota con T_i la temperatura esterna, si può esprimere il carico termico di questa casa come

$$\dot{Q}_s = (5400\ \text{kJ / h} \cdot \text{K})(294 - T_i\ ) = (1.5\ \text{kW / K})(294 - T_i)$$

Il coefficiente di prestazione (COP) di una pompa di calore di Carnot dipende soltanto dai limiti di temperatura del ciclo e può essere espresso come

$$COP_{\text{PdC}} = \frac{1}{1 - (T_i\ / T_s\ )} = \frac{1}{1 - T_i\ / (294\ \text{K})}$$

ossia, come

$$COP_{\text{PdC}} = \frac{\dot{Q}_s}{\dot{L}_{\text{n, e}}} = \frac{(1.5\ \text{kW / K})(294 - T_i\ )}{6\ \text{kW}}$$

Uguagliando le due relazioni e risolvendo rispetto a T_i, otteniamo

$$T_i = 259.7\ \text{K} = \mathbf{-13.3°C}$$

7.17
Il massimo rendimento termico che un motore termico funzionante tra due limiti di temperatura specificati può avere è il rendimento di Carnot, dato da

$$\eta_{\text{t, max}} = \eta_{\text{t, C}} = 1 - \frac{T_i}{T_s} = 1 - \frac{300\ \text{K}}{1173\ \text{K}} = 0.744$$

Quindi la potenza massima fornita da questo motore termico, determinata in base alla definizione di rendimento termico, è

$$\dot{L}_{n,u} = \eta_t \dot{Q}_s = (0.744)(800 \text{ kJ/min}) = 595.2 \text{ kJ/min}$$

che è anche la potenza fornita al frigorifero, $\dot{L}_{n,e}$.

La potenza termica sottratta dall'ambiente refrigerato sarà massima se si usa un frigorifero (macchina frigorifera) di Carnot. Il COP del frigorifero di Carnot è

$$COP_{F,rev} = \frac{1}{(T_s / T_i) - 1} = \frac{1}{(27 + 273 \text{ K})/(-5 + 273 \text{ K}) - 1} = 8.37$$

Quindi, la potenza termica sottratta dall'ambiente refrigerato diventa

$$\dot{Q}_{i,F} = (COP_{F,rev})(\dot{L}_{n,e}) = (8.37)(595.2 \text{ kJ/min}) = \mathbf{4982 \text{ kJ/min}}$$

(b) La potenza termica totale ceduta all'aria ambiente è la somma della potenza termica ceduta dal motore termico ($\dot{Q}_{i,MT}$) e della potenza termica ceduta all'aria ambiente dal frigorifero ($\dot{Q}_{s,F}$),

$$\dot{Q}_{i,MT} = \dot{Q}_{s,F} - \dot{L}_{n,u} = 800 - 595.2 = 204.8 \text{ kJ/min}$$
$$\dot{Q}_{s,F} = \dot{Q}_{i,F} - \dot{L}_{n,e} = 4982 - 595.2 = 5577.2 \text{ kJ/min}$$

e

$$\dot{Q}_{ambiente} = \dot{Q}_{i,MT} + \dot{Q}_{s,F} = 204.8 + 5577.2 = \mathbf{5782 \text{ kJ/min}}$$

7.18
La casa cede all'esterno una potenza termica

$$\dot{Q}_{ceduta} = 40{,}000 \text{ kJ/h} = 11.11 \text{ kJ/s}$$

La potenza termica fornita dalla pompa di calore è

$$\dot{Q}_s = (COP_{PdC})(\dot{L}_{n,e}) = (2.4)(8 \text{ kW}) = 19.2 \text{ kW}$$

Cioè, questa pompa di calore è in grado di fornire una potenza termica di 19,2 kJ/s. Assumendo come sistema (un sistema chiuso) la casa, possiamo scrivere l'equazione del primo principio come

$$Q - L^{\nearrow 0} = \Delta U + \Delta E_c{}^{\nearrow 0} + \Delta E_p{}^{\nearrow 0}$$

$$\dot{Q}_n \ \Delta t = mc_v(T_2 - T_1)$$

$$(19.2 - 11.11 \text{ kJ/s})\Delta t = (2000 \text{ kg})(0.718 \text{ kJ/kg}\cdot°\text{C})(22-3)°\text{C}$$

Risolvendo rispetto a Δt, troviamo che la temperatura della casa impiega un intervallo di tempo

$$\Delta t = 3373 \text{ s} = \mathbf{0.937\ h}$$

per salire a 22 °C.

7.19
Questa turbina a gas converte in lavoro il 17% dell'energia chimica rilasciata durante il processo di combustione. La potenza che si deve fornire alla turbina per produrre una potenza di 6000 kW, determinata in base alla definizione di rendimento termico, è

$$\dot{Q}_s = \frac{\dot{L}_{n,u}}{\eta_t} = \frac{6{,}000 \text{ kJ,s}}{0.17} = 35{,}294 \text{ kJ/s}$$

Per fornire questa potenza, il motore deve bruciare combustibile a una portata massica

$$\dot{m} = \frac{35{,}294 \text{ kJ/s}}{46{,}000 \text{ kJ/kg}} = 0.767 \text{ kg/s}$$

poiché vengono rilasciati 46 000 kJ di energia termica per ogni kilogrammo di combustibile bruciato. Quindi la portata volumetrica del combustibile diventa

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0.767 \text{ kg/s}}{0.8 \text{ kg/L}} = \mathbf{0.959\ L/s}$$

7.20
Il carico frigorifero di questo sistema di condizionamento dell'aria è la somma della potenza termica ricevuta dall'esterno e della potenza termica generata nella casa dalle persone, dagli apparecchi di illuminazione e dagli elettrodomestici:

$$\dot{Q}_i = 20{,}000 + 8{,}000 = 28{,}000 \text{ kJ/h}$$

In base alla definizione del coefficiente di prestazione (COP), la potenza che si deve fornire al sistema di condizionamento dell'aria è

$$\dot{L}_{n,e} = \frac{\dot{Q}_i}{COP_F} = \frac{28{,}000 \text{ kJ/h}}{2.5}\left(\frac{1 \text{ kW}}{3600 \text{ kJ/h}}\right) = \mathbf{3.11\ kW}$$