SOLUZIONI CAPITOLO 6

6.1
(a) Se si assimila l'aria a un gas perfetto, il volume specifico dell'aria è dato da

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{[0.287\ \text{kPa}\cdot\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{K})](473\ \text{K})}{300\ \text{kPa}} = 0.4525\ \text{m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} A_1 V_1 = \frac{1}{0.4525\ \text{m}^3/\text{kg}}(0.008\ \text{m}^2)(30\ \text{m/s}) = \mathbf{0.5304\ kg/s}$$

(b) Usando calori specifici costanti alla temperatura media prevista di 450 K, la temperatura in uscita dell'aria si ricava dall'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario riferita a una massa unitaria,

$$q^{\nearrow 0} - l^{\nearrow 0} = h_2 - h_1 + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2} \longrightarrow 0 = C_{\text{p,med}}\ (T_2 - T_1) + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2}$$

$$0 = [1.02\ \text{kJ/(kg}\cdot\text{K)}](\text{T}_2 - 200^\circ\text{C}) + \frac{(180\ \text{m/s})^2 - (30\ \text{m/s})^2}{2}\left(\frac{1\ \text{kJ/kg}}{1000\ \text{m}^2/\text{s}^2}\right)$$

da cui si ottiene

$$T_2 = \mathbf{184.6°C}$$

(c) Il volume specifico (volume massico) dell'aria all'uscita dell'ugello è

$$v_2 = \frac{RT_2}{p_2} = \frac{0.287\ \text{kPa}\cdot\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{K})](184.6 + 273\ \text{K})}{100\ \text{kPa}} = 1.313\ \text{m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} = \frac{1}{v_2} A_2 \mathbf{V}_2 \longrightarrow 0.5304\ \text{kg/s} = \frac{1}{1.313\ \text{m}^3/\text{kg}} A_2 (180\ \text{m/s})$$

$p_1 = 300$ kPa
$T_1 = 200°C$
$V_1 = 30$ m/s
$A_1 = 80\ \text{cm}^2$

$$A_2 = 0.00387\ \text{m}^2 = \mathbf{38.7\ cm^2}$$

6.2
Se si assimila il CO_2 a un gas perfetto, il volume specifico del CO_2 è dato da

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{[0.1889\ \text{kPa}\cdot\text{m}^3/(\text{kg K})](773\ \text{K})}{100\ \text{kPa}} = 0.146\ \text{m}^3/\text{kg}$$

Perciò,

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} A_1 \mathbf{V}_1 \quad \longrightarrow \quad \mathbf{V}_1 = \frac{\dot{m} v_1}{A_1} = \frac{(6000/3600\ \text{kg/s})(0.146\ \text{m}^3/\text{kg})}{40 \times 10^{-4}\ \text{m}^2} = \mathbf{60.8\ m/s}$$

(b) La temperatura in uscita del CO_2 si ottiene dall'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario,

$$q^{\nearrow 0} - l^{\nearrow 0} = h_2 - h_1 + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2} \quad \longrightarrow \quad 0 = c_p\ (T_2 - T_1) + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2}$$

La temperatura del gas scenderà nell'ugello alquanto al di sotto del valore in entrata di 773 K. Perciò, usiamo un valore del calore specifico a 750 K, che è c_p = 1,148 kJ/(kg · K). Sostituendo, otteniamo la temperatura in uscita del gas

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 - \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2c_p} \\ &= 773\ \text{K} - \frac{(450\ \text{m/s})^2 - (60.8\ \text{m/s})^2}{[2 \times\ 1.148\ \text{kJ/(kg} \cdot \text{k)}]} \left(\frac{1\ \text{kJ/kg}}{1000\ \text{m}^2/\text{s}^2} \right) \\ &= \mathbf{686\ K} \end{aligned}$$

6.3
(a) La temperatura in uscita dell'aria si ottiene dall'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario.

$$q - l^{\nearrow 0} = h_2 - h_1 + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2} + \Delta e_p^{\nearrow 0} \quad \rightarrow \quad q = c_p\ (T_2 - T_1) + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2}$$

Usando un valore del calore specifico c_p = 1,008 kJ/(kg · K) alla temperatura in entrata di 350 K, si ottiene la temperatura in uscita del gas

$$T_2 = T_1 + \frac{q}{c_p} - \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2c_p}$$

$$= 77°\text{C} + \frac{-3.2 \text{ kJ/kg}}{1.008 \text{ kJ/kg.°C}} - \frac{(320 \text{ m/s})^2 - (50 \text{ m/s})^2}{2 \times (1.008 \text{ kJ/kg.°C})}\left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}\right)$$

$$= \mathbf{24.3°C} \quad (= 297.3 \text{ K})$$

(b) L'area d'uscita si ottiene dall'equazione di conservazione della massa,

$$\frac{1}{v_2} A_2 \mathbf{V}_2 = \frac{1}{v_1} A_1 \mathbf{V}_1 \quad \longrightarrow \quad A_2 = \frac{v_2}{v_1} \frac{\mathbf{V}_1}{\mathbf{V}_2} A_1 = \left(\frac{RT_2 / P_2}{RT_1 / P_1}\right) \frac{\mathbf{V}_1}{\mathbf{V}_2} A_1$$

$$A_2 = \frac{(297.3/100)(50 \text{ m/s})}{(350/300)(320 \text{ m/s})}\left(0.01 \text{ m}^2\right) = 39.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = \mathbf{39.7 \text{ cm}^2}$$

6.4

(a) La temperatura in uscita dell'aria si determina con l'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario,

$$q^{\nearrow 0} - l^{\nearrow 0} = h_2 - h_1 + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2} \quad \longrightarrow \quad 0 = c_p (T_2 - T_1) + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2}$$

Usando il valore del calore specifico c_p = 1,029 kJ/(kg · K) alla temperatura in entrata di 500 K, possiamo determinare la temperatura in uscita del gas

$$T_2 = T_1 - \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2\, c_p}$$

$$= 500 \text{ K} - \frac{(380 \text{ m/s})^2 - (120 \text{ m/s})^2}{2 \times (1.029 \text{ kJ/kg.K})}\left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}\right)$$

$$= \mathbf{437 \text{ K}}$$

(c) La pressione in uscita si determina usando l'equazione di conservazione della massa

$$\frac{1}{v_2} A_2 \mathbf{V}_2 = \frac{1}{v_1} A_1 \mathbf{V}_1 \longrightarrow \frac{1}{RT_2/p_2} A_2 \mathbf{V}_2 = \frac{1}{RT_1/p_1} A_1 \mathbf{V}_2$$

Perciò,

$$p_2 = \frac{A_1 T_2 \mathbf{V}_1}{A_2 T_1 \mathbf{V}_2} p_1 = \frac{2}{1} \frac{(437\ \text{K})(120\ \text{m/s})}{(500\ \text{K})(380\ \text{m/s})} (600\ \text{kPa}) = \mathbf{331\ kPa}$$

6.5
(a) La velocità in uscita dell'aria si ottiene con l'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario. Assumendo calori specifici costanti a temperatura ambiente, c_p = 1,005 kJ/(kg · °C), otteniamo

$$\dot{Q} - \dot{L}^{\nearrow 0} = \dot{m}\left(h_2 - h_1 + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2} + \Delta e_p^{\nearrow 0}\right) = \dot{m}\left(c_p(T_2 - T_1) + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2}\right)$$

$$-18\ \text{kJ/s} = (2.5\ \text{kg/s})\left((1.005\ \text{kJ/kg}\cdot°\text{C})(42-27)°\text{C} + \frac{\mathbf{V}_2^2 - (220\ \text{m/s})^2}{2}\left(\frac{1\ \text{kJ/kg}}{1000\ \text{m}^2/\text{s}^2}\right)\right)$$

da cui

$$\mathbf{V_2 = 62.0\ m/s}$$

(b) La pressione in uscita dell'aria si determina mediante l'equazione di conservazione della massa e l'equazione di stato dei gas perfetti,

$$\dot{m} = \frac{1}{v_2} A_2 \mathbf{V}_2 \longrightarrow v_2 = \frac{A_2 \mathbf{V}_2}{\dot{m}} = \frac{(0.04\ \text{m}^2)(62\ \text{m/s})}{2.5\ \text{kg/s}} = 0.992\ \text{m}^3/\text{kg}$$

e

$$p_2 v_2 = RT_2 \longrightarrow p_2 = \frac{RT_2}{v_2} = \frac{(0.287\ \text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K})(315\ \text{K})}{0.992\ \text{m}^3/\text{kg}} = \mathbf{91.1\ kPa}$$

6.6
(a) Assimilando l'aria a un gas perfetto, si trova che il volume specifico dell'aria è

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{(0.287\ \text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K})(773\ \text{K})}{1000\ \text{kPa}} = 0.2219\ \text{m}^3/\text{kg}$$

Perciò,

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1}A_1V_1 = \frac{1}{0.2219\ \text{m}^3/\text{kg}}(0.008\ \text{m}^2)(120\ \text{m/s}) = \mathbf{4.326\ kg/s}$$

(b) Usando calori specifici costanti alla temperatura media (500 °C + 150 °C)/2 = 325 °C = 598 K, la potenza fornita dalla turbina, determinata in base all'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario, è

$$\dot{Q}^{\nearrow 0} - \dot{L} = \dot{m}(h_2 - h_1 + \Delta e_c + \Delta e_p^{\nearrow 0}) \longrightarrow -\dot{W} = \dot{m}\left[c_p(T_2 - T_1) + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2}\right]$$

$$\dot{L} = -(4.326\ \text{kg/s})\left[(1.051\ \text{kJ/kg}\cdot{}^\circ\text{C})(150-500)^\circ\text{C} + \frac{(250\ \text{m/s})^2 - (120\ \text{m/s})^2}{2}\left(\frac{1\ \text{kJ/kg}}{1000\ \text{m}^2/\text{s}^2}\right)\right]$$

$$\dot{L} = \mathbf{1487\ kW}$$

6.7
Assimilando l'aria a un gas perfetto e usando un valore costante del calore specifico c_p = 1,022 kJ/(kg · °C) alla temperatura media di (25 °C + 347 °C)/2 = 186 °C = 459 K, si può determinare la portata massica dell'aria con l'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario,

$$\dot{Q} - \dot{L} = \dot{m}\left(h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + \Delta e_p^{\nearrow 0}\right) = \dot{m}\left[c_p(T_2 - T_1) + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2}\right]$$

$$\left(\frac{-1500}{60}\ \text{kJ/s}\right) - (-250\ \text{kJ/s}) = \dot{m}\left[(1.022\ \text{kJ/kg.}^\circ\text{C})(347-25)^\circ\text{C} + \frac{(90\ \text{m/s})^2 - 0}{2}\left(\frac{1\ \text{kJ/kg}}{1000\ \text{m}^2/\text{s}^2}\right)\right]$$

$$\dot{m} = \mathbf{0.680\ kg/s}$$

6.8
(a) Se si assimila il CO_2 a un gas perfetto, il suo volume specifico è dato da

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{(0.1889\ \text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K})(300\ \text{K})}{100\ \text{kPa}} = 0.5667\ \text{m}^3/\text{kg}$$

Quindi la portata volumetrica è data da

$$\dot{V} = \dot{m}v_1 = (0.5\ \text{kg/s})(0.5667\ \text{m}^3/\text{kg}) = \mathbf{0.283\ m^3/s}$$

(b) Usando un valore costante del calore specifico, c_p = 9,917 kJ/(kg · K), alla temperatura media di (300 K + 430 K)/2 = 375 K, troviamo che la potenza fornita al compressore, determinata mediante l'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario, è

$$\dot{Q}^{\nearrow 0} - \dot{L} = \dot{m}(h_2 - h_1 + \Delta e_c{}^{\nearrow 0} + \Delta e_p{}^{\nearrow 0})$$
$$\dot{L} = -\dot{m}c_p\,(T_2 - T_1) = -(0.5\ \text{kg/s})(0.917\ \text{kJ/kg.K})(450-300)\text{K}$$
$$= \mathbf{-68.8\ kW}$$

6.9
La temperatura del refrigerante prima della laminazione e quella dopo la laminazione sono semplicemente le temperature di saturazione in corrispondenza della pressione in entrata e di quella in uscita. Cioè,

$$T_1 = T_{\text{sat a 800 kPa}} = 31.33°\text{C}$$
$$T_2 = T_{\text{sat a 140 kPa}} = -18.80°\text{C}$$

Perciò, la caduta di temperatura durante la laminazione diventa

$$\Delta T_{\text{cad}} = T_1 - T_2 = 31.33 - (18.80) = \mathbf{50.1°\,C}$$

6.10
La pressione finale del refrigerante è semplicemente la pressione di saturazione alla temperatura finale. Cioè,

$$P_2 = P_{\text{sat a }-20\ °\text{C}} = \mathbf{133\ kPa}$$

6.11
Nelle condizioni specificate l'aria può essere assimilata a un gas perfetto per il quale $h = h(T)$. Durante un processo di laminazione, $h_2 = h_1$, e quindi

$$T_2 = T_1 = \mathbf{30\ °C}$$

6.12
Se si trascurano l'energia cinetica e l'energia potenziale, l'equazione di conservazione dell'energia e l'equazione di conservazione della massa per questo sistema a flusso stazionario a due entrate e una sola uscita si riducono a

massa:

$$\sum \dot{m}_\mathrm{e} = \sum \dot{m}_\mathrm{u} \longrightarrow \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

energia:

$$\dot{Q}^{\nearrow 0} - \dot{L}^{\nearrow 0} = \sum \dot{m}_\mathrm{u} h_\mathrm{u} - \sum \dot{m}_\mathrm{e} h_\mathrm{e} \longrightarrow \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

Formando il sistema delle due equazioni, otteniamo

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3$$

Risolvendo rispetto a $\dot{m}_2$, otteniamo

$$\dot{m}_2 = \frac{h_1 - h_3}{h_3 - h_2} \dot{m}_1 = \frac{c_p (T_1 - T_3)}{c_p (T_3 - T_2)} \dot{m}_1$$

Il calore specifico dell'acqua nell'intervallo di temperatura specificato rimane relativamente costante al valore di circa c_p = 4,18 kJ/(kg · °C) e quindi può essere eliminato nell'equazione precedente. Perciò,

$$\dot{m}_2 = \frac{T_1 - T_3}{T_3 - T_2} \dot{m}_1 = \frac{(20-60)°\mathrm{C}}{(60-90)°\mathrm{C}} (1.8\ \mathrm{kg/s}) = \mathbf{2.4\ kg/s}$$

6.13
Se si trascurano l'energia cinetica e l'energia potenziale, l'equazione di conservazione della massa e l'equazione di conservazione dell'energia per questo sistema a flusso stazionario a due entrate e una sola uscita si riducono a

massa:

$$\sum \dot{m}_\mathrm{e} = \sum \dot{m}_\mathrm{u} \longrightarrow \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = 3\dot{m}_2 \quad \textit{and} \quad \dot{m}_1 = 2\dot{m}_2$$

energia:

$$\dot{Q}^{\nearrow 0} - \dot{L}^{\nearrow 0} = \sum \dot{m}_u h_u - \sum \dot{m}_e h_e \longrightarrow \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

Formando il sistema delle due equazioni, otteniamo

$$2\dot{m}_2 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = 3\dot{m}_2 h_3 \quad or \quad h_3 = (2h_1 + h_2)/3$$

Il calore specifico dell'aria nell'intervallo di temperatura specificato rimane relativamente costante a circa c_p = 1,01 kJ/(kg · °C). Quindi, sostituendo h con $c_p T$ ed eliminando il calore specifico c_p, otteniamo

$$T_3 = \frac{2T_1 + T_2}{3} = \frac{(2 \times 12 + 60)°\mathrm{C}}{3} = \mathbf{28°\,C}$$

6.14
Se si trascurano l'energia cinetica e l'energia potenziale, l'equazione di conservazione della massa e l'equazione di conservazione dell'energia per questo scambiatore di calore possono essere espresse come

massa:

$$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_u \longrightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_{\text{aria}} \quad \text{e} \quad \dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_{\text{acqua}}$$

energia:

$$\dot{Q}^{\nearrow 0} - \dot{L}^{\nearrow 0} = \sum \dot{m}_u h_u - \sum \dot{m}_e h_e \longrightarrow \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4$$

Formando il sistema delle due equazioni, otteniamo

$$\dot{m}_{\text{aria}}(h_2 - h_1) = \dot{m}_{\text{acqua}}(h_3 - h_4)$$

Risolvendo rispetto a $\dot{m}_{\text{aria}}$, otteniamo

$$\dot{m}_{\text{aria}} = \frac{h_3 - h_4}{h_2 - h_1}\dot{m}_{\text{acqua}} \cong \frac{c_{\text{p, acqua}}\,(T_3 - T_4)}{c_{\text{p, aria}}\,(T_2 - T_1)}\dot{m}_{\text{acqua}}$$

Assimiliamo l'aria a un gas perfetto con calori specifici costanti a temperatura ambiente e assumiamo c_p = 1,005 kJ/(kg · °C). Il calore specifico dell'acqua alla temperatura media di (70 °C + 90 °C) = 80 °C è $c_{p,acqua}$ = 4,19 kJ/(kg · °C). Sostituendo, otteniamo

$$\dot{m}_{\text{aria}} = \frac{(4.19 \text{ kJ / kg·°C})(90-70)\text{°C}}{(1.005 \text{ kJ / kg·°C})(47-25)\text{°C}}(8 \text{ kg / min}) = 30.2 \text{ kg / min} = 0.504 \text{ kg / s}$$

Inoltre,

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{(0.287 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3\text{ / kg}\cdot\text{K})(298 \text{ K})}{100 \text{ kPa}} = 0.855 \text{ m}^3\text{ / kg}$$

Perciò,

$$\dot{V}_1 = \dot{m}_a v_1 = (0.504 \text{ kg / s})(0.855 \text{ m}^3\text{ / kg}) = \mathbf{0.431 \text{ m}^3\text{ / s}}$$

6.15
Assimiliamo l'aria a un gas perfetto con calori specifici costanti a temperatura ambiente, c_p = 1,005 kJ/(kg · K) e c_v = 0,718 kJ/(kg · K). La potenza nominale dell'elemento scaldante si determina applicando al condotto l'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario:

$$\dot{Q} - \dot{L}_e - \dot{L}_v = \dot{m}\left(\Delta h + \Delta e_c \nearrow^0 + \Delta e_p \nearrow^0\right)$$

Perciò,

$$\begin{aligned}\dot{L}_e &= \dot{Q} - m c_p \Delta T - \dot{L}_v \\ &= (-0.4 \text{ kJ / s}) - (0.6 \text{ kg / s})(1.005 \text{ kJ / kg·C})(5\text{°C}) - (-0.3 \text{ kW}) \\ &= \mathbf{-3.12 \text{ kW}}\end{aligned}$$

6.16
(a) Assimiliamo l'aria a un gas perfetto con calori specifici costanti a temperatura ambiente, c_p = 1,005 kJ/(kg · °C). La velocità in entrata dell'aria attraverso il condotto è data da

$$\mathbf{V}_1 = \frac{\dot{V}_1}{A_1} = \frac{\dot{V}_1}{\pi r^2} = \frac{0.2 \text{ m}^3\text{ / s}}{\pi(0.1 \text{ m})^2} = \mathbf{6.37 \text{ m / s}}$$

Quindi, la portata massica dell'aria diventa

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{(0.287\ \text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K})(285\ \text{K})}{(105\ \text{kPa})} = 0.779\ \text{m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{0.2\ \text{m}^3/\text{s}}{0.779\ \text{m}^3/\text{kg}} = 0.257\ \text{kg/s}$$

(b) La temperatura in uscita dell'aria si determina applicando al condotto l'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario

$$\dot{Q} - \dot{L}^{\nearrow 0} = \dot{m}\left(\Delta h + \Delta e_c^{\nearrow 0} + \Delta e_p^{\nearrow 0}\right) \longrightarrow \dot{Q} = \dot{m}c_p\ (T_2 - T_1)$$

Perciò,

$$T_2 = T_1 + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}c_p} = 12°\text{C} + \frac{2\ \text{kJ/s}}{(0.257\ \text{kg/s})(1.005\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K})} = \mathbf{19.7°C}$$

6.17
Assimiliamo l'acqua a una sostanza incompressibile con c = 4,18 kJ/(kg · °C). La portata massica dell'acqua attraverso il tubo si ottiene dall'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario,

$$\dot{Q}^{\nearrow 0} - \dot{L} = \dot{m}\left[C(T_2 - T_1) + v\Delta P^{\nearrow 0} + \Delta e_c^{\nearrow 0} + \Delta e_p^{\nearrow 0}\right] \longrightarrow \dot{L} = -\dot{m}C(T_2 - T_1)\ \ 15°\text{C}$$

Perciò,

$$\dot{m} = \frac{-\dot{L}}{C(T_2 - T_1)} = \frac{-(-7\ \text{kJ/s})}{(4.184\ \text{kJ/kg}\cdot°\text{C})(70 - 15)°\text{C}} = \mathbf{0.0304\ kg/s}$$

6.18
(a) Se assimiliamo l'aria a un gas perfetto, possiamo determinare la temperatura in uscita dell'aria con l'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario applicata soltanto all'aria,

$$\dot{Q} - \dot{L}^{\nearrow 0} = \dot{m}_a\left(\Delta h + \Delta e_c^{\nearrow 0} + \Delta e_p^{\nearrow 0}\right)$$

$$3200\ \text{kJ/s} = (800/60\ \text{kg/s})(h_2 - 554.71\ \text{kJ/kg})$$

da cui

$$h_2 = 794.74 \text{ kJ/kg}$$

Consultando la Tabella A.17 troviamo che

$$T_2 = \mathbf{775.2\ K}$$

(b) Se assimiliamo i gas di scarico a un gas perfetto, possiamo determinare la portata massica dei gas di scarico con l'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario applicandola soltanto ai gas di scarico,

$$\dot{Q} - \dot{L}^{\nearrow 0} = \dot{m}_{sc}\left(h_4 - h_3 + \Delta e_c{}^{\nearrow 0} + \Delta e_p{}^{\nearrow 0}\right)$$
$$-3200 \text{ kJ / s} = \dot{m}_{sc}\left(607.02 - 821.95\right) \text{ kJ / kg}$$

Otteniamo

$$\dot{m}_{sc} = \mathbf{14.9\ kg / s}$$

6.19

(a) Assimiliamo l'acqua a una sostanza incompressibile con $\rho = 1000$ kg/m^3 e c = 4,184 kJ/(kg · °C). La portata massica dell'acqua attraverso il tubo è data da

$$\dot{m} = \rho\dot{V}_1 = \left(1000 \text{ kg /m}^3\right)\left(0.030 \text{ m}^3\text{/ min}\right) = 30\ kg \text{ / min}$$

La potenza nominale del riscaldatore si determina con l'equazione di conservazione dell'energia per un sistema a flusso stazionario,

$$\dot{Q}^{\nearrow 0} - \dot{L} = \dot{m}\left[c\left(T_2 - T_1\right) + v\Delta p^{\nearrow 0} + \Delta e_c{}^{\nearrow 0} + \Delta e_p{}^{\nearrow 0}\right]$$

Perciò,

$$\dot{L} = -\dot{m}c\left(T_2 - T_1\right) = \left(30/60 \text{ kg / s}\right)\left(4.184 \text{ kJ / kg·°C}\right)\left(50 - 15\right)\text{°C} = \mathbf{-73.2\ kW}$$

(b)

La velocità media dell'acqua attraverso il tubo è data da

$$\mathbf{V}_1 = \frac{\dot{V}_1}{A_1} = \frac{\dot{V}_1}{\pi r^2} = \frac{0.030\ m^3 \text{ / min}}{\pi\left(0.025\ m\right)^2} = \mathbf{15.3\ m / min}$$

6.20
La densità dell'aria in condizioni esterne medie è

$$\rho_o = \frac{P_o}{RT_o} = \frac{(90 \text{ kPa})}{(0.287 \text{ kPa.m}^3 / \text{kg.K})(-10 + 273.15 \text{ K})} = 1.19 \text{ kg/m}^3$$

Quindi la portata massica dell'aria esterna che si infiltra nella casa è

$$\dot{m}_{\text{aria}} = \rho \dot{V}_{\text{aria}} = (1.19 \text{ kg/m}^3)(0.035 \text{ m}^3/\text{h}) = 0.04165 \text{ kg/s}$$

Dato che l'aria entra a –10 °C ed esce a 22 °C, a questa differenza di temperatura corrisponde una cessione di potenza termica pari a

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{perd, infiltr}} &= \dot{m}_{\text{aria}} c_{\text{p}} (T_{\text{interno}} - T_{\text{esterno}}) \\ &= (0.04165 \text{ kg/s})(1.005 \text{ kJ/kg.°C})[22 - (-10)]\text{°C} = \mathbf{1.34 \text{ kJ/s}}\end{aligned}$$