Primo principio

Esercizio 1

Determinare la variazione di energia interna di un sistema che riceve una quantità di calore di 30 kcal ed, espandendosi, compie un lavoro pari a 6000 kg_f m.

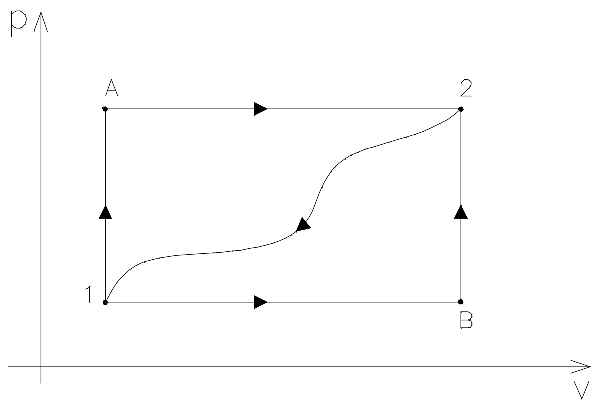
$$U_f - U_i = \hat{Q}_{if} - \hat{L}_{if}$$

In questo caso, sia $\hat{Q}_{if}$ che $\hat{L}_{if}$ sono "positivi", pertanto:

$$U_f - U_i = \Delta U = 30 \cdot 4186 - 6000 \cdot 9.81 = 66.720 \cdot 10^3 \, J = 66.72 \, kJ$$

Esercizio 2

Un sistema passando dallo stato 1 allo stato 2 lungo la trasformazione 1A2 assorbe Q = 50 kcal e fa un lavoro L = 25 kcal. Se invece segue la trasformazione 1B2, è Q = 30 kcal.



a) Quanto vale L lungo la trasformazione 1B2 ?
b) Se L = -15 kcal ritornando da 2 a 1 lungo la linea curva in figura, quanto vale Q per questa trasformazione ?
c) Se U_1 = 5 kcal, quanto vale U_2 ?
d) Se U_B = 27 kcal, quanto vale Q per la trasformazione 1B ? E per B2 ?

Tutte le trasformazioni sono quasi statiche ed il sistema compie solo lavoro di variazione di volume.
<u>Nota</u>: Esprimere tutti i risultati in unità del sistema S.I.

a) Applicando il I° principio alla 1A2:

$$U_2 - U_1 = \hat{Q}_{1A2} - \hat{L}_{1A2} = 50 - 25 = 25 \, kcal = 25 \cdot 4.187 = 104.68 \, kJ$$

Applicando il I° principio alla 1B2:

$$U_2 - U_1 = \hat{Q}_{1B2} - \hat{L}_{1B2}$$ da cui:

$$\hat{L}_{1B2} = \hat{Q}_{1B2} - (U_2 - U_1) = 30 \cdot 4.187 - 104.68$$

$$\hat{L}_{1B2} = 20.93 \, kJ$$

b) Applicando il I° principio alla trasformazione 12 (linea curva) si ha:

$$U_1 - U_2 = -(U_2 - U_1) = \hat{Q}_{21} - \hat{L}_{21}$$ da cui

$$\hat{Q}_{21} = \hat{L}_{21} - (U_2 - U_1) = -15 \cdot 4.187 - 104.68$$

$$\hat{Q}_{21} = -167.5 \, kJ$$

c) $$U_2 - U_1 = 104.68 \, kJ \rightarrow U_2 = 104.68 + (5 \cdot 4.187)$$

$$U_2 = 125.615 \, kJ$$

d) Poiché il sistema compie solo lavoro di variazione di volume:

$$L_{1B2} = \int_{v_1}^{v_2} p\,dv = \int_{v_1}^{v_B} p\,dv + \int_{v_B}^{v_2} p\,dv = \int_{v_1}^{v_B} p\,dv = L_{1B}$$

per il lavoro specifico, mentre per il lavoro totale:

$$\hat{L}_{1B2} = \hat{L}_{1B}$$

Applicando il I° principio all 1B:

$$U_B - U_1 = \hat{Q}_{1B} - \hat{L}_{1B} = \hat{Q}_{1B} - \hat{L}_{1B2}$$

$$\hat{Q}_{1B} = (U_B - U_1) + \hat{L}_{1B2} = (27 \cdot 4.187 - 5 \cdot 4.187) + 20.93 = 113\ \text{kJ}$$

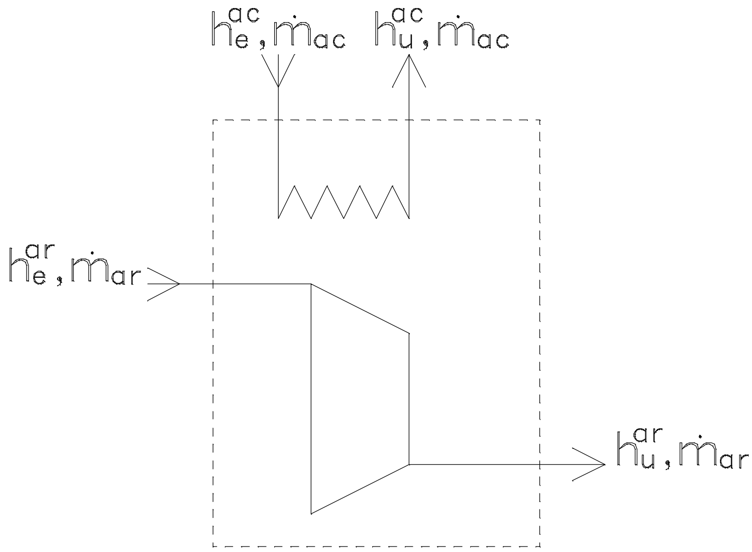
$$\hat{Q}_{B2} = U_2 - U_B = 125.615 - (27 \cdot 4.187) = 12.6\ \text{kJ}$$

Esercizio 3

Un compressore comprime una portata $\dot{V}_{ar} = 100\ ft^3/min$ di aria con volume specifico v = 0.750 m^3/kg. Il flusso di entalpia associato alla portata d'aria tra ingresso ed uscita è di 300 Btu/min. L'acqua di raffreddamento subisce un aumento di entalpia specifica pari a 10 Btu/lb e la sua portata è doppia di quella d'aria, $\dot{m}_{ac} = 2\,\dot{m}_{ar}$.

Trascurando le variazioni di energia potenziale, e supponendo il sistema adiabatico verso l'esterno, determinare la potenza P richiesta dal sistema.

Portata volumetrica	100 ft^3/min	$=100\,\dfrac{0.3048^3}{60}$	= 0.0472 m^3/s
Volume specifico in ingresso	0.750 m^3/kg		=0.750 m^3/kg
Flusso entalpico aria	300 Btu/min	$=300\,\dfrac{1055}{60}$	=5.275 kW
Variazione entalpica refrigerante	10 Btu/lb	$=10\,\dfrac{1055}{0.453}$	=23.290 kJ/kg



Sistema a 2 ingressi e 2 uscite, stazionario; trascurando le variazioni di energia cinetica e potenziale:

$$P = \dot{m}_{ar}\left(h_e^{ar} - h_u^{ar}\right) + \dot{m}_{ac}\left(h_e^{ac} - h_u^{ac}\right)$$

$$\dot{m}_{ar} = \frac{\dot{V}_{ar}}{v_{ar}} = \frac{0.0472}{0.75} = 0.063\ \text{kg}/\text{s}$$

$$\dot{m}_{ac} = 2\dot{m}_{ar} = 0.126\ \text{kg}/\text{s}$$

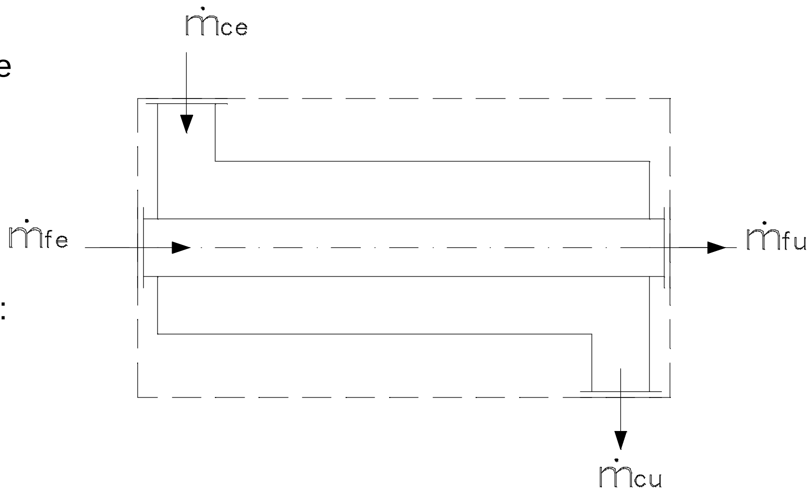
$$P = -5.275 - 0.126 \cdot 23.290 = -8.209\ \text{kW}$$

Esercizio 4 (scambiatore di calore)

Scambiatore acqua –acqua: lato freddo t_{fe} = 15^{o}C, t_{fu} = 20^{o}C, lato caldo t_{ce} = 90^{o}C, t_{cu} = 70^{0}C, portata lato caldo m_c = 50 kg/s. Si calcoli la portata lato freddo.

Sistema a 2 ingressi(fe, ce) e due uscite (fu, cu); dal bilancio entalpico:

$$\sum \dot{m}_e h_e = \sum \dot{m}_u h_u$$



acqua fluido incomprimibile a p = cost:

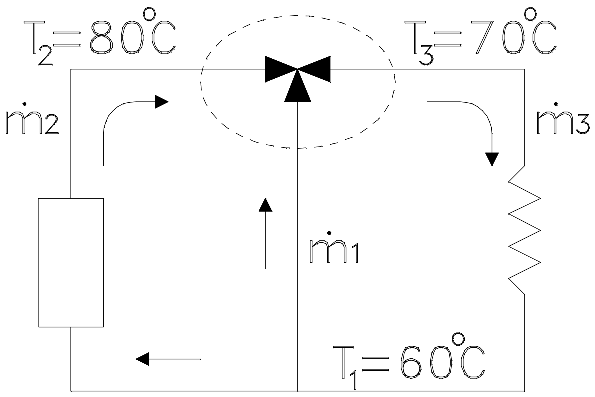
$$h = c\left(T - T_0\right) \rightarrow \dot{m}_c \cdot c \cdot t_{ce} + \dot{m}_f \cdot c \cdot t_{fe} = \dot{m}_c \cdot c \cdot t_{cu} + \dot{m}_f \cdot c \cdot t_{fu}$$

$$\dot{m}_c T_{cu} + \dot{m}_f T_{fu} = \dot{m}_f T_{fe} + \dot{m}_c T_{ce}$$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_c \frac{T_{ce} - T_{cu}}{T_{fu} - T_{fe}} = 200\ \text{kg}/\text{s}$$

Esercizio 5 (regolazione impianto di riscaldamento)

Nell'impianto di figura una serpentina riscalda un ambiente raffreddando una portata d'acqua $\dot{m}_3$ = 2 kg/s da 70°C a 60°C; la caldaia riscalda una portata d'acqua $\dot{m}_2$ dai 60°C ad 80°C; la regolazione è effettuata mediante ricircolo $\dot{m}_1$ di acqua a 60°C che consente di avere t = 70°C a monte della serpentina. Calcolare $\dot{m}_2$ ed $\dot{m}_1$.



Scelto come sistema la valvola a tre vie, delimitata dalla linea tratteggiata, si hanno 2 ingressi ed una uscita. In particolare:

$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$ Dal bilancio delle masse $\rightarrow$ $\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$

Se h = cT ne segue:

$\dot{m}_1 T_1 + \dot{m}_2 T_2 = \dot{m}_3 T_3$ $\dot{m}_1 = \dot{m}_3 - \dot{m}_2$ $\dot{m}_3 T_1 - \dot{m}_2 T_1 + \dot{m}_2 T_2 = \dot{m}_3 T_3$

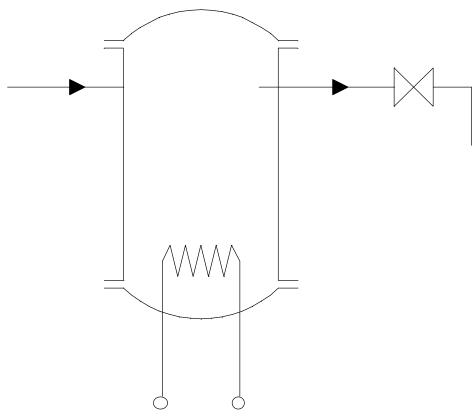
$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \frac{T_3 - T_1}{T_2 - T_1} = 1 \, {}^{kg}\!/_{s}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_3 - \dot{m}_2 = 1 \, {}^{kg}\!/_{s}$$

Esercizio 6

Scaldabagno domestico elettrico, assunto perfettamente isolato.
P = 1.5 kW; V = 80 l

Determinare il tempo necessario per portare l'acqua, inizialmente a 10°C, a 60°C.



Dall'espressione del primo principio per sistemi chiusi , essendo nulle le variazioni di energia cinetica e potenziale e

$U_f - U_i = \hat{Q}_{if} - \hat{L}_{if}$

Essendo l'acqua incomprimibile ed inoltre $\hat{Q}_{if} = 0$, si ha

$$U_f - U_i = M\int_{T_i}^{T_f}(cT)\,dT \cong M\cdot c\cdot(T_f - T_i) = V\cdot r\cdot c\,(T_f - T_i)$$

$\hat{L}_{if} < 0$ (Lavoro fatto “sul sistema”)

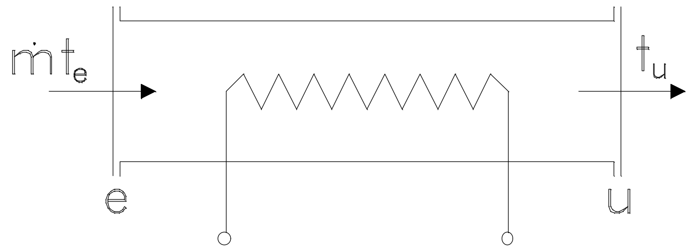
$\hat{L}_{if} = P\cdot\Delta t$ da cui

$$P\cdot\Delta t = V\cdot r\cdot c\,(T_f - T_i) \rightarrow \Delta t = \frac{V\cdot r\cdot c\,(T_f - T_i)}{P}$$

$$\Delta t = \frac{80\cdot 10^{-}\ \cdot 1000\cdot 4187\cdot(60-10)}{1.5\cdot 10^{3}} \cong 11165\ \mathrm{s} \cong 3.1\,\mathrm{h}$$

Esercizio 7

Scaldabagno domestico elettrico “istantaneo”. P’ = 2 kW; Te = 10^{o}C ; tn = 50^{o}C
Determinare la portata massima ipotizzando lo scaldabagno perfettamente isolato termicamente (adiabatico) e trascurando eventuali variazioni di energia cinetica e potenziale.
Dall’espressione del primo principio per sistemi a deflusso monodimensionale stazionario.



$$q - P' = \dot{m}\left[\left(h_u + \frac{w_u^2}{2} + g\,z_u\right) - \left(h_e + \frac{w_e^2}{2} + g\,z_e\right)\right]$$

Poiché il sistema è termicamente isolato e trascurando le eventuali variazioni di energia cinetica e potenziale:

$$-P' = \dot{m}(h_u - h_e)$$

$$(h_u - h_e) = (u_u - u_e) + v(p_u - p_e) = (u_u - u_e)$$

$(p_u - p_e) \cong 0$ da cui

$$-P' = \dot{m}(u_u - u_e) = \dot{m}\int_{t_e}^{t_u} c\cdot dt \cong \dot{m}\cdot c(t_u - t_e)$$

$$\dot{m}_{MAX} = \frac{-P'}{c\cdot(t_u - t_e)} = \frac{2\cdot 10^{3}}{4187\cdot 40} \cong 1.19\cdot 10^{-2}\ \mathrm{kg}/\mathrm{s} \cong 43\ \mathrm{kg}/\mathrm{h}$$

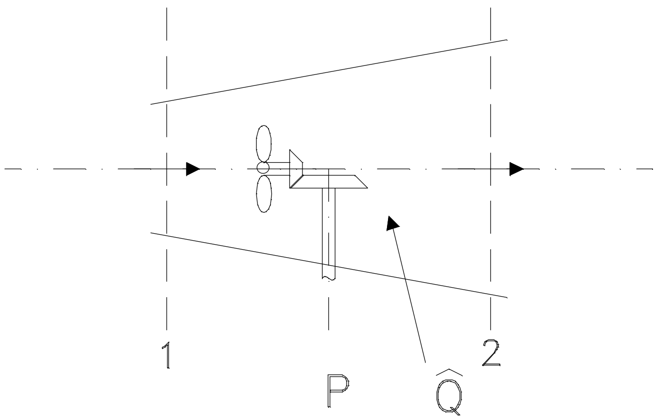
La portata volumetrica è pertanto:

$$\dot{V}_{MAX} = \dot{m}_{MAX}\cdot v = 1.19\cdot 10^{-2}\cdot 10^{-3} = 1.19\cdot 10^{-5}\ \mathrm{m^3}/\mathrm{s} \cong 1.19\cdot 10^{-2}\ \mathrm{l}/\mathrm{s} \cong 43\ \mathrm{l}/\mathrm{h}$$

<u>**Nota**</u>: Tale portata è insufficiente per uso domestico, ad esempio una doccia richiede circa 0.15 l/s = 540 l/h ! da cui la necessità di utilizzare scaldabagni elettrici del tipo ad “accumulo”.

Esercizio 8

Una portata $\dot{m}$ = 500 lb/min di liquido con densità ρ = 1000 kg/m^3 si evolve, con deflusso, attraverso un sistema aperto dalle condizioni di ingresso, caratterizzate da h_1=40 kcal/kg e p_1 = 5 ata a quelle di uscita, caratterizzate da h_2 = 42 kcal/kg e p_2 = 1 ata.



La quota geodetica rimane inalterata, mentre la velocità passa da w_1 = 300 ft/s (all'ingresso) a w_2 = 50 ft/s (all'uscita).

Il sistema scambia lavoro con l'esterno e riceve un flusso termico $\dot{q}$ = 23000 kcal/h.

Si trovi la potenza utile sviluppata dal sistema, nonché quella dissipata dalle forze d'attrito.
Esprimere tutti i dati in unità S.I.

$\dot{m}$ = 500 lb/min $= 500 \dfrac{0.4536}{60} = 3.78$ kg/s

h_1 = 40 kcal/kg $= 40 \times 4.187 = 167.48$ kJ/kg

h_2 = 42 kcal/kg $= 42 \times 4.187 = 175.85$ kJ/kg

p_1 = 5 ata $= 5 \times 0.9806 \times 10^6 = 4.903 \times 10^6$ Pa

p_2 = 1 ata $= 1 \times 0.9806 \times 10^6 = 0.9806 \times 10^6$ Pa

w_1 = 300 ft/s $= 300 \times 0.3048 = 91.44$ m/s

w_2 = 50 ft/s $= 50 \times 0.3048 = 15.24$ m/s

q = 23000 kcal/h $= 23000 \times \dfrac{4.187}{3600} = 26.75$ kW

Dal I^o principio per sistemi monodimensionali in regime stazionario:

$$q - P = \dot{m}\left[\left(h_u + \frac{w_u^2}{2} + g z_u\right) - \left(h_e + \frac{w_e^2}{2} + g z_e\right)\right]$$

$$\left(\; g(z_u - z_e) \cong 0 \;\right)$$

si ha ($e \equiv 1$ ed $u \equiv 2$) :

$$P = q + \dot{m}\left[(h_1 - h_2) + \left(\frac{w_1^2}{2} - \frac{w_2^2}{2}\right)\right]$$

$P = 26.75 \times 10^3 + 3.78 \left[10^3(167.48-175.85)+(91.44^2/2 - 15.24^2/2)\right]$

$P = 26.75 \times 10^3 + 3.78 \left[- 4305.5\right]$

$P = 10475.2\ W = 10.475\ kW$

Dal bilancio dell'energia meccanica per un sistema aperto 1D stazionario:

$$L'_{eu} = L'_{12} = -\int_{p_1}^{p_2} v\ dp - \left|R_{12}^{-}\right| - \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} - g(z_2 - z_1)$$

Si ha, ricordando che:

$$P = \dot{m}\ L'_{12} \qquad \text{e} \qquad P_{diss} = -\dot{m}\left|R_{12}^{-}\right|$$

$$P_{diss} = P + \dot{m}\left[\int_{p_1}^{p_2} v\ dp + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}\right] = P + \dot{m}\left[v(p_2 - p_1) + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}\right]$$

$$P_{diss} = 10.475 \times 10^3 + 3.78\left[\frac{1}{1000}(0.9806 - 4.903) \times 10^6 + \frac{15.24^2 - 91.44^2}{2}\right]$$

$$P_{diss} = 10.475 \times 10^3 + 3.78[-7987] = -19716\ W = 19.715\ kW$$