DIAGRAMMI TERMODINAMICI – VAPORI SATURI.

Esercizio 1

Una portata di vapor d'acqua defluisce attraverso una valvola di laminazione a valle della quale si stabilisce una pressione di 0.5 bar. Le condizioni del vapore a monte della valvola sono: $p_1 = 16$ bar e $x_1 = 0.9$.

Determinare:

1) Lo stato finale del vapore;
2) La variazione di entropia.

1) Dalla lettura del diagramma di Mollier, noti p_1 e x_1, si ricavano le altre grandezze di stato:

$$h_1 \cong 2600 \ \text{kJ/kg}$$
$$t_1 \cong 200\ ^{o}\text{C}$$
$$s_1 \cong 6 \ \text{kJ/kgK}$$
$$v_1 \cong 0.12 \ \text{m}^3\text{/kg}$$

Essendo la laminazione un processo isoentalpico:

$$h_2 = h_1 \cong 2600 \ \text{kJ/kg}$$

Dalla lettura del diagramma di Mollier (intersezione della isobara a $p_2 = 0.5 \text{ bar} \equiv 0.05 \text{ Mpa}$ con l'isoentalpica passante per il punto 1):

$$t_2 \cong 85\ ^{o}\text{C}$$
$$x_2 \cong 0.98$$
$$s_2 \cong 7.5 \ \text{kJ/kgK}$$
$$v_2 \cong 3 \ \text{m}^3\text{/kg}$$

2) La variazione di entropia è data da:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = 7.5 - 6 = 1.5 \text{ kJ/kgK}$$

che è, ovviamente, positiva, trattandosi di un processo irreversibile.

Esercizio 2

Per produrre vapore saturo secco a p = 40 bar si utilizza una portata d'acqua $\dot{V} = 0.0017\ \text{m}^3/\text{s}$ che, alla stessa pressione e ad una temperatura di 15 ^{o}C, fluisce in un tubo di diametro $d = 36$ mm. Trascurando le eventuali variazioni di energia potenziale, calcolare il flusso termico necessario.

Dal primo principio per sistemi aperti stazionari e deflusso monodimensionale, si ha:

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

In tale caso, poiché il passaggio di fase liquido-vapore può comportare notevoli variazioni di volume specifico e quindi di velocità, non è lecito trascurare le variazioni di energia cinetica.

I) Essendo l'acqua incomprimibile, ed essendo il calore specifico costante:

$$h_e \cong c\, t_e = 4.187 \cdot 15 \cong 62.8 \;\; \text{kJ/kg}$$

$$v_e \cong 1\times 10^{-3} \;\; \text{m}^3/\text{kg}$$

L'area della sezione di passaggio è data da:

$$A = \frac{\pi\, d^2}{4} = \frac{\pi \cdot \left(36\times10^{-3}\right)^2}{4} \cong 1.02\times10^{-3}\ \text{m}^2$$

e quindi:

$$w_e = \frac{\dot{V}_e}{A} = \frac{0.0017}{1.02\times10^{-3}} = 1.67\ \text{m/s}$$

II) Dall'intersezione, sul diagramma di Mollier, della curva limite superiore (vapore saturo secco: x = 1) con l'isobara $p = 40$ bar $= 4$ Mpa:

$$h_u \cong 2810 \;\; \text{kJ/kg}$$

$$v_u \cong 0.05 \;\; \text{m}^3/\text{kg}$$

e quindi:

$$\dot{m} = \cos t = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{w \cdot A}{v}$$

$$\frac{w_e}{v_e} = \frac{w_u}{v_u} \rightarrow w_u = w_e \frac{v_u}{v_e} = 1.67 \cdot \frac{0.05}{1.02\times10^{-3}} = 81.9\ \text{m/s}$$

$$q = 1.7\left[\left(2810 - 62.8\right) + \frac{81.9^2 - 1.67^2}{2}\right] \cong 10.4\times10^3\ \text{kJ} = 10.4\ \text{MJ}$$

Esercizio 3

Un recipiente chiuso di volume $V = 5000$ litri contiene 25 kg di vapore saturo alla temperatura $t_i = 60\ ^\circ\text{C}$.

Il sistema viene riscaldato fino alla temperatura $t_f = 150\ ^\circ\text{C}$.

Determinare:

a) La massa del liquido e del vapore in ciascuno dei due stati;

b) La quantità di calore fornita al sistema;

c) A quale temperatura si dovrebbe portare il sistema per avere vapore saturo secco.

a)
$$v = \frac{V}{m} = \frac{5}{25} = 0.2\ \text{m}^3/\text{kg}$$

$$v = \left(1 - x_i\right) v_{l_i} + x_i\, v_{v_i} \quad \rightarrow \quad x_i = \frac{v - v_{l_i}}{v_{v_i} - v_{l_i}}$$

dove:

$$v_{l_i} \cong 1\times10^{-3}\ m^3/kg$$

e, dal diagramma di Mollier (intersezione dell'isoterma $t_i = 60\ ^oC$ con la curva limite superiore):

$$v_{v_i} \cong 8\ kg/m^3$$

da cui:

$$x_i = \frac{0.2-1\times10^{-3}}{8-1\times10^{-3}} \cong 0.025$$

$$m_{l_i} = (1-x_i)M = 24.375\ kg$$

$$m_{v_i} = x_i\ M = 0.625\ kg$$

Per determinare il titolo, e la composizione della miscela, nello stato finale si procede in modo analogo, osservando che:

$$v_{l_f} \cong v_{l_i} \cong 1\times10^{-3}\ m^3/kg$$

e, dal diagramma di Mollier:

$$v_{l_f} \cong 0.4\ m^3/kg$$

da cui:

$$x_f = \frac{v-v_{l_f}}{v_{v_f}-v_{l_f}} = \frac{0.2-1\times10^{-3}}{0.4-1\times10^{-3}} \cong 0.5$$

$$m_{l_f} = (1-x_f)M = 12.5\ kg$$

$$m_{v_f} = x_f\ M = 12.5\ kg$$

b) Trattandosi di un sistema chiuso, per il quale il lavoro è nullo, si ha:

$$\hat{Q}_{if} = m(u_f - u_i)$$

dove:

$$u = (1 - x)\ u_l + x\ u_v \qquad \text{con} \qquad u_l \cong c\ t$$

e, per il vapore:

$$u_v = h_v - p \cdot v_v$$

Dal diagramma di Mollier:

$$h_{v_i} \cong 2600\ kJ/kg \rightarrow u_{v_i} = 2600 - \frac{8\cdot0.02\times10^6}{10^3} = 2440\ kJ/kg$$

$$h_{v_u} \cong 2750\ kJ/kg \rightarrow u_{v_f} = 2750 - \frac{0.4\cdot0.5\times10^6}{10^3} = 2550\ kJ/kg$$

$$u_i = (1 - 0.025)\cdot 60 \cdot 4.187 + 0.025 \cdot 2440 \cong 306\ \ kJ/kg$$

$$u_f = (1 - 0.5)\cdot 150 \cdot 4.187 + 0.5 \cdot 2550 \cong 1590\ \ kJ/kg$$

Quindi:

$$Q_{if} = 25(1590 - 306) = 32.1\times10^3\ kJ$$

c) Alla temperatura di saturazione corrispondente a $v_v = v = 0.2\ m^3/kg$

Dal diagramma di Mollier – intersezione della isocora $v = 0.2\ m^3/kg$ con la curva limite superiore – si ha:

$$t \cong 180\ ^oC$$