

### Esercizio 1

In un impianto di condizionamento estivo una portata  $\dot{m}_{ar}$  di aria esterna alla temperatura  $t_e$  ed umidità relativa  $\varphi_e$  viene miscelata con una portata  $(\dot{m}_a - \dot{m}_{ar})$  di aria ricircolata nelle condizioni  $t_a = 25^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_a = 60\%$ . La portata risultante subisce un raffreddamento con deumidificazione passando attraverso una batteria fredda mantenuta alla temperatura  $t_s = 10^\circ\text{C}$  ed uscendo con una umidità relativa  $\varphi_1$ . Si chiede:

1. Il tracciamento delle trasformazioni nel diagramma Carrier allegato e in un diagramma  $h-x$  di Mollier;
2. La temperatura  $t_M$ , l'entalpia  $h_M$  e l'umidità specifica  $x_M$  dopo la miscelazione;
3. La portata di acqua asportata dalla batteria fredda  $\dot{m}_l$ ;
4. Il flusso termico  $q_f$  assorbito dalla batteria fredda;
5. Il flusso termico sensibile  $q_s$  e latente  $q_\lambda$  alla batteria fredda;
6. Rispondere al punto 2 senza far uso del diagramma allegato, ma utilizzando le relazioni termodinamiche dell'aria umida.

La pressione di saturazione dell'aria si ricavi utilizzando la formula:

$$p_s(t) = 611,85 \exp\left(\frac{17,502 \cdot t}{240,9 + t}\right)$$

tema	$\dot{m}_{ar}$ kg/h	$\dot{m}_{ar}$ kg/h	$t_e$ °C	$\varphi_e$ %	$\varphi_1$ %
A	2000	1000	30	50	90
B	2500	1500	30	70	80

$$c_{pa} = 1,006 \text{ kJ/(kg K)}, \quad c_{pv} = 1,875 \text{ kJ/(kg K)}, \quad r_0 = 2501 \text{ kJ/kg}$$

### Esercizio 2

Un tubo in polietilene del diametro interno  $d_i$  ed esterno  $d_e$  e conducibilità termica  $\lambda_p = 0,35 \text{ W/(m K)}$  è rivestito da uno strato  $s_{is} = 20 \text{ mm}$  di isolante avente conducibilità termica  $\lambda_{is} = 0,04 \text{ W/(m K)}$ . All'interno del tubo scorre acqua alla temperatura  $t_i = 10^\circ\text{C}$  con coefficiente di scambio termico  $\alpha_i$  ed è posto in un ambiente alla temperatura  $t_e$  e tra la superficie esterna dell'isolante e l'aria ambiente si abbia un coefficiente di scambio termico  $\alpha_e$ . Per evitare problemi di condensazione si desidera mantenere vincolata la temperatura sulla superficie esterna dell'isolante  $t_3$ . In queste condizioni si chiede di determinare:

1. Il flusso termico per unità di lunghezza scambiato con l'ambiente  $q'$ ;
2. Il valore della temperatura esterna  $t_e$ ;
3. la temperatura all'interfaccia tra tubo ed isolante  $t_2$ ;
4. Il coefficiente globale di scambio termico riferito alla superficie interna  $U_i$ .

tema	$d_i$ mm	$d_e$ mm	$\alpha_i$ W/(m² K)	$\alpha_e$ W/(m² K)	$t_3$ °C
A	26	32	2000	10	18
B	20,4	25	2500	10	19

## Termodinamica applicata

Direttamente con le formule

$$p_{sa} = 3,172 \text{E}+3 \text{ Pa} , \quad p_{sE} = 4,25 \text{E}+03 \text{ Pa}$$

$$x_a = 0,622 \frac{\varphi p_{sa}}{101325 - \varphi p_{sa}} = 0,01191 \text{ kg}_v / \text{kg}_a$$

$$h_a = c_{pa} t_a + x_a \cdot (c_{pv} t_a + r_0) = 55,48 \text{ kJ/kg}$$

$$x_E = 0,01332 \text{ kg}_a / \text{kg}_v , \quad h_E = 64,25 \text{ kJ/kg}$$

$$x_M = \frac{(\dot{m}_a - \dot{m}_{ar}) \cdot x_a + \dot{m}_{ar} \cdot x_E}{\dot{m}_a} = 0,0126 \text{ kg}_v / \text{kg}_a$$

$$h_M = \frac{(\dot{m}_a - \dot{m}_{ar}) \cdot h_a + \dot{m}_{ar} \cdot h_E}{\dot{m}_a} = 59,87 \text{ kJ/kg}$$

$$t_M = \frac{(\dot{m}_a - \dot{m}_{ar}) \cdot t_a + \dot{m}_{ar} \cdot t_E}{\dot{m}_a} = 27,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Il punto 1 lo trovo intersecando la congiungente il punto M ed S, situato sulla curva di saturazione per  $t=10 \text{ } ^\circ\text{C}$ , con la curva a umidità relativa  $\varphi_1$

$$h_1 = 37 \text{ J/kg} , \quad x_1 = 0,008 \text{ kg}_v / \text{kg}_a$$

$$\dot{m}_l = \dot{m}_a \cdot (x_M - x_1) = 0,002564 \text{ kg/s}$$

$$|q_f| = \dot{m}_a \cdot (h_M - h_1) - \dot{m}_l \cdot 4.187 t_s = 12,69 \text{ kW}$$

$$h_3 = 47 \text{ kJ/kg} , \quad x_3 = x_1 , \quad t_3 = t_M$$

$$q_s = \dot{m}_a \cdot (h_3 - h_1) = 5,56 \text{ kW}$$

$$q_\lambda = \dot{m}_a \cdot (h_M - h_3) = 7,15 \text{ kW}$$

## Trasmissione del calore

$$R'_t = \frac{1}{2\pi \lambda_c} \ln\left(\frac{d_e}{d_i}\right) = 0,09442 \text{ m K/W}$$

$$R'_{is} = \frac{1}{2\pi \lambda_{is}} \ln\left[\frac{(d_e + 2 \cdot s_i)}{d_e}\right] = 3,227 \text{ m K/W}$$

$$R'_i = \frac{1}{\pi d_i \alpha_i} = 6,121 \cdot 10^{-3} \text{ m K/W}$$

$$R'_e = \frac{1}{\pi d_e \alpha_e} = 0,9947 \text{ m K/W}$$

$$R'_{\text{int}} = R'_i + R'_t + R'_{is} + R'_e = 3,327 \text{ m K/W}$$

$$q' = \frac{q}{L} = \frac{t_3 - t_i}{R'_{\text{int}}} = 2,404 \text{ W/m}$$

$$t_e = t_3 + q' \cdot R'_{est} = 20,39 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = t_3 - q' \cdot R'_{is} = 10,24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U_i = \left[ \pi d_i \cdot (R'_i + R'_t + R'_{is} + R'_e) \right]^{-1} = 3,248 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$