

### Problema 2.3.2.2

Una portata di  $3,00 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$  di aria umida, inizialmente alla temperatura di  $32,0^\circ\text{C}$  con umidità relativa del 60% viene raffreddata e deumidificata. La temperatura in uscita è di  $10,0^\circ\text{C}$  ed il grado igrometrico del 100%

Nell'ipotesi in cui il sistema sia in regime permanente, si calcolino la potenza termica sottratta (potenza frigorifera) e la portata di acqua in uscita, ipotizzando che essa sia alla stessa temperatura dell'aria.

#### DATI

$$\dot{V}_1 = 3,00 \cdot 10^4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 8,33 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$T_1 = 32,0^\circ\text{C}$$

$$\Phi_1 = 60\%$$

$$T_2 = 10,0^\circ\text{C}$$

$$\Phi_2 = 100\%$$

#### INCOGNITE

$$\dot{Q}$$

$$\dot{m}_w$$

#### SOLUZIONE

Dal diagramma psicrometrico, una volta individuati i punti rappresentativi degli stati termodinamici 1 e 2, possono essere letti i valori delle seguenti proprietà:

$$\omega_1 = 18,1 \text{ g/kg}$$

$$v_1 = 0,899 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_1 = 78,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\omega_2 = 7,7 \text{ g/kg}$$

$$h_2 = 29,3 \text{ kJ/kg}$$

Il bilancio di massa riferito all'aria secca fornisce:

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

$$\text{con } \dot{m}_a = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{8,33}{0,899} = 9,26 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Dal bilancio di massa riferito all'acqua si ottiene:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot (\omega_1 - \omega_2)$$

E dunque:

$$\dot{m}_w = 9,26 \cdot (18,1 - 7,7) \cdot 10^{-3} = 96,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Il bilancio di energia per il trattamento di raffreddamento con deumidificazione fornisce:

$$|\dot{Q}| = \dot{m}_a (h_1 - h_2) - \dot{m}_w h_w$$

Nell'ipotesi assunta in cui la portata d'acqua liquida in uscita abbia la stessa temperatura dell'aria in uscita, si può valutare l'entalpia  $h_w$  dalla tabella 1.1, leggendo il valore di entalpia di liquido saturo alla temperatura d'uscita, in questo caso  $T_w = T_2 = 10,0^\circ\text{C}$ :

$$h_w = h_1(T = 10^\circ\text{C}) = 42,03 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

In alternativa è possibile calcolare l'entalpia mediante la relazione valida per la fase liquida, considerando lo stato di riferimento a  $0^\circ\text{C}$ :

$$h_w = c \cdot (T_w - T_0) = 4,2 \cdot 10 = 42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

essendo  $c = 4,2 \text{ kJ/kgK}$  il calore specifico dell'acqua in fase liquida, ricavabile dalla tabella 1.6.

Si ha quindi:

$$|\dot{Q}| = 9,26 \cdot (78,5 - 29,3) - 96,3 \cdot 10^{-3} \cdot 42 = 451,5 \text{ kW}$$

La pendenza di questa trasformazione di raffreddamento con deumidificazione è pari a:

$$\frac{\Delta h}{\Delta \omega} = \frac{|\dot{Q}|}{\dot{m}_w} + h_w = \frac{451,5}{96,3 \cdot 10^{-3}} + 42 = 4,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 4,7 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}$$

Congiungendo il polo del goniometro del diagramma psicrometrico (Fig. 2.3.2.2.1) con il punto corrispondente al valore del  $\Delta h/\Delta \omega$  sopra ricavato, letto sulla scala esterna, si ottiene un segmento che fornisce la direzione della trasformazione: la parallela a tale direzione condotta per il punto 1 rappresenta la congiungente dei punti rappresentativi degli stati termodinamici d'ingresso e d'uscita, e quindi passa per il punto 2, posto sulla curva di saturazione con temperatura di bulbo asciutto pari a  $10,0^\circ\text{C}$ .

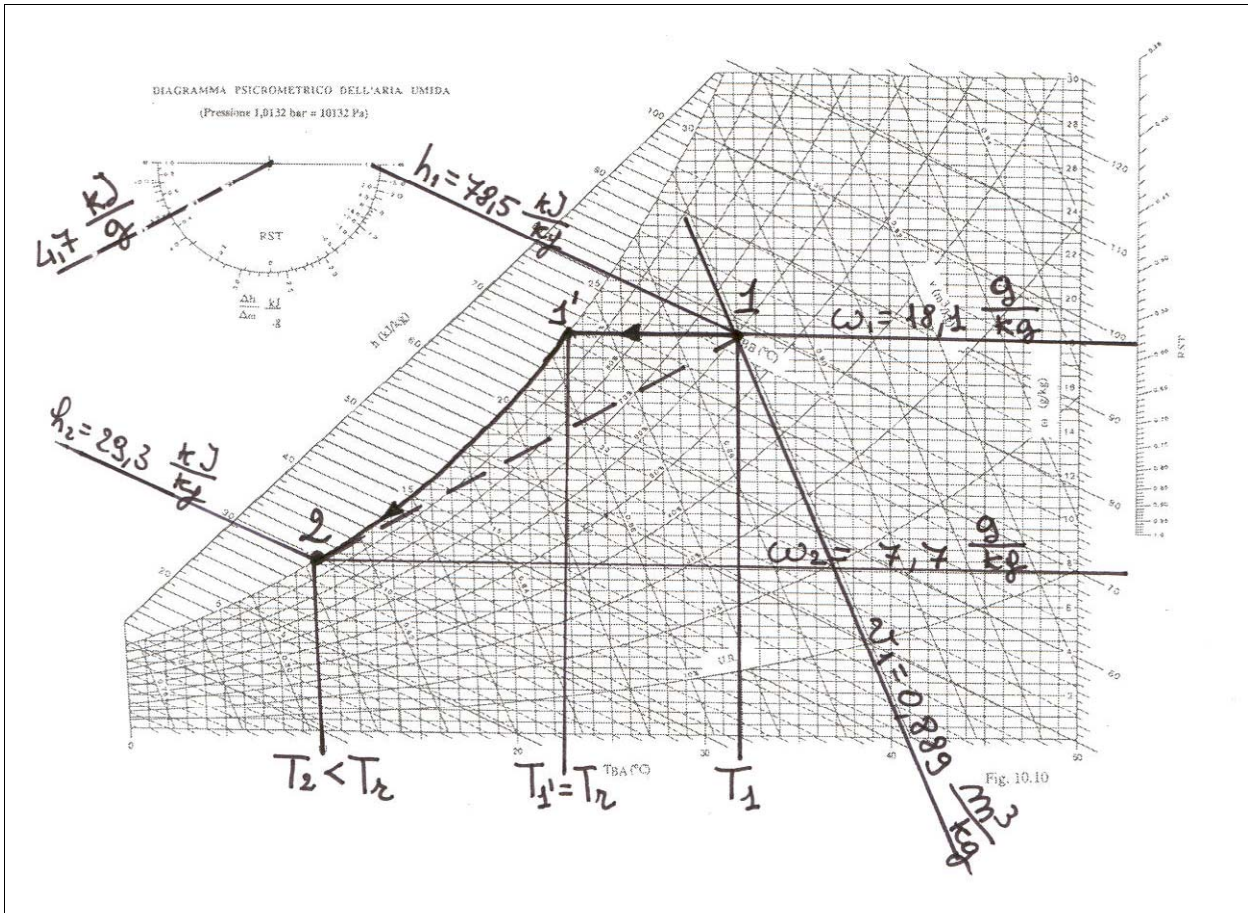


Fig.2.3.2.2.1

### Problema 2.3.2.3

Una portata di  $7,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$  di aria umida, inizialmente alla temperatura di  $25,0^\circ\text{C}$  con umidità relativa del 70% viene inviata ad una unità di trattamento in cui subisce un raffreddamento con deumidificazione, ed un postriscaldamento. La temperatura in uscita è di  $20,0^\circ\text{C}$  con grado igrometrico del 40%.

Nell'ipotesi di regime stazionario, si calcolino:

- la potenza frigorifera necessaria al raffreddamento con deumidificazione;
- la portata d'acqua condensata, nell'ipotesi che questa sia alla temperatura dell'aria umida nelle condizioni di saturazione precedenti al postriscaldamento;
- la potenza termica necessaria al postriscaldamento.

#### DATI

$$\dot{V}_1 = 7,5 \cdot 10^3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 2,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$T_1 = 25,0^\circ\text{C}$$

$$\Phi_1 = 70\%$$

$$T_2 = 20^\circ\text{C}$$

$$\Phi_2 = 40\%$$

#### INCOGNITE

$$\dot{Q}$$

$$\dot{m}_w$$

$$\dot{Q}_{pr}$$

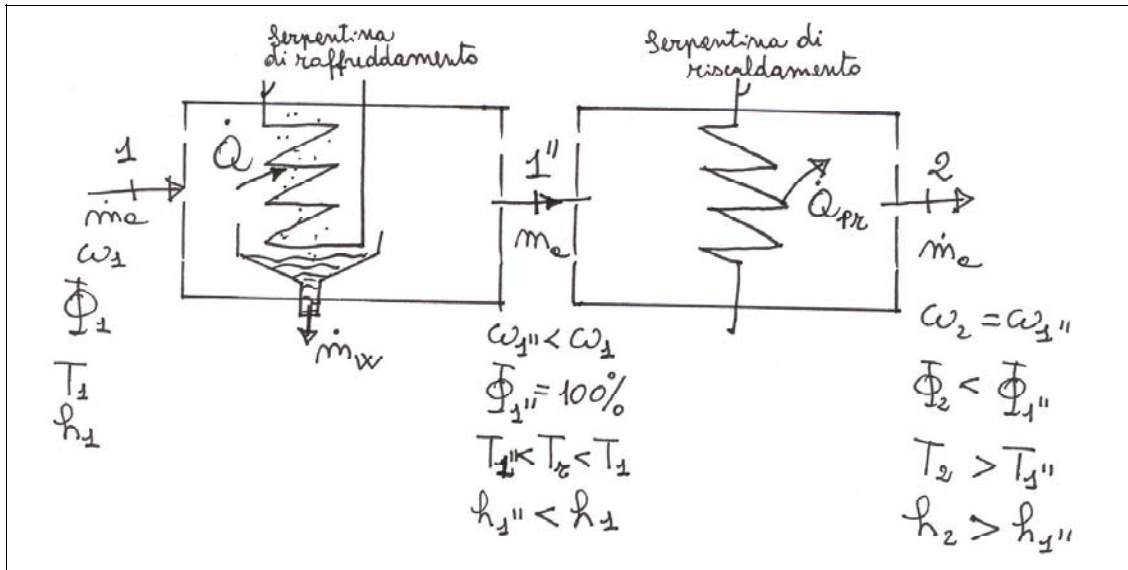


Fig.2.3.2.3.1

**SOLUZIONE**

In Fig.2.3.2.3.1 è riportato uno schema delle batterie di raffreddamento e deumidificazione e postriscaldamento. Sul diagramma psicrometrico (Fig.2.3.2.3.2) sono individuati i punti rappresentativi degli stati termodinamici d'ingresso ed uscita dalla batteria in cui avviene il raffreddamento con deumidificazione (trasformazione 1-1''):

$$\begin{aligned} \omega_1 &= 14 \text{ g/kg} & v_1 &= 0,863 \text{ m}^3/\text{kg} & h_1 &= 60,9 \text{ kJ/kg} \\ \omega_{1''} &= 5,75 \text{ g/kg} & T_{1''} &= 5,8^\circ\text{C} & h_{1''} &= 20,8 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

*Trasformazione di raffreddamento con deumidificazione (1 — 1' — 1'')*:

I bilanci di massa relativi all'aria secca ed all'acqua forniscono:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{a1} &= \dot{m}_{a1''} = \dot{m}_a \\ \dot{m}_a &= \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{2,1}{0,863} = 2,43 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \cdot (\omega_1 - \omega_{1''}) = 2,43 \cdot (14,0 - 5,75) \cdot 10^{-3} = 20,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

La potenza frigorifera necessaria al raffreddamento con deumidificazione si calcola mediante l'equazione di bilancio di energia sullo stesso sistema:

$$|\dot{Q}| = \dot{m}_a (h_1 - h_{1''}) - \dot{m}_w h_w$$

L'entalpia  $h_w$  è pari a:

$$h_w = c \cdot (T_w - T_0) = 4,2 \cdot 5,8 = 24,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

avendo posto  $T_w = T_{1''}$ .

