

## A) ESERCIZI SVOLTI CON RISULTATI

### ESERCIZIO 1

Una portata di 4592.80 m<sup>3</sup>/h di aria umida a  $T_{ba} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  e U.R. = 18 % si mescola adiabaticamente con una seconda portata di 1.27 kg/s di aria umida a  $T_{ba} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$  e U.R. = 29 %.

Dopo aver calcolato lo stato termodinamico del punto di miscela (Punto C), supporre che tale portata sia umidificata ad acqua liquida fino alla curva di saturazione (punto D) e poi riscaldata fino ad una temperatura finale di 20 °C (punto E).

#### Calcolare:

1. in forma di tabella, le proprietà termodinamiche in ogni punto ( $T$ ,  $\omega$ ,  $\Phi$ ,  $h$ ,  $v$ );
2. le portate massicce in ogni punto;
3. la portata d'acqua necessaria per la umidificazione isoentalpica fino a saturazione;
4. la potenza termica per il processo di riscaldamento.

### RISPOSTE

#### Quesiti 1 e 2

(in verde i dati assegnati)

	$T_{ba}$	$\omega$	$\Phi$	$h$	$v$	$\dot{m}$	$\dot{V}$
	$^{\circ}\text{C}$	g/kg	%	kJ/kg	m <sup>3</sup> /kg	kg/s	m <sup>3</sup> /h
A	10.0	1.36	18.0	13.47	0.804	1.587	4592.8
B	33.0	9.09	29.0	56.44	0.880	1.270	4023.6
C	20.3	4.80	32.5	32.58	0.838	2.857	8616.6
D	11.4	8.38	100	32.58	0.817	2.857	8403.5
E	20.0	8.38	57.6	41.37	0.842	2.857	8657.4

#### Quesiti 3

Portata d'acqua di umidificazione = 10.22 g/s = 36.82 kg/h.

#### Quesito 4

Potenza termica per il processo di riscaldamento = 25.06 kW

## ESERCIZIO 2

Una portata d'aria umida (punto A) di  $415 \text{ m}^3/\text{h}$  (temperatura =  $43 \text{ }^\circ\text{C}$ , umidità specifica =  $23.0 \text{ g/kg}$ ) si mescola adiabaticamente con una portata (punto B) di  $231 \text{ m}^3/\text{h}$  (entalpia =  $38.1 \text{ kJ/kg}$ , umidità specifica =  $3.5 \text{ g/kg}$ ).

Dopo aver calcolato lo stato termodinamico del punto di miscela (Punto M), supporre che la portata risultante dal mescolamento sia raffreddata fino alla curva di saturazione (punto C) e raffreddata e deumidificata (punto C'), fino ad una condizione di uscita con temperatura =  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , umidità relativa = 100%.

L'aria nelle condizioni C' subisce poi un processo di semplice riscaldamento, fino ad una temperatura finale (punto D), pari a  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Calcolare:

1. in forma di tabella, le proprietà termodinamiche in ogni punto ( $T$ ,  $\omega$ ,  $\Phi$ ,  $h$ ,  $v$ );
2. le portate massiche in ogni punto, in  $\text{kg/s}$ ;
3. la potenza termica per il processo di raffreddamento (considerando anche quella necessaria per la condensazione del vapore d'acqua), totale, sensibile e latente, espressa in  $\text{kW}$ ;
4. la portata d'acqua condensata in  $\text{g/s}$ ;
5. la potenza termica fornita per il riscaldamento in  $\text{kW}$ .

**Quesiti 1 e 2**

in verde i dati assegnati

	$T_{ba}$	$\omega$	$\Phi$	$h$	$v$	$\dot{m}$	$\dot{V}$
	$^\circ\text{C}$	$\text{g/kg}$	%	$\text{kJ/kg}$	$\text{m}^3/\text{kg}$	$\text{kg/s}$	$\text{m}^3/\text{h}$
A	43.0	23.0	41.8	102.51	0.929	0.124	415
B	29.0	3.50	14.1	38.10	0.861	0.075	231
M	37.9	15.7	37.9	78.37	0.903	0.199	
C	21.0	15.7	100	60.94	0.854	0.199	
C'	10.0	7.63	100	29.26	0.812	0.199	
D	24.0	7.63	41.1	43.52	0.852	0.199	

**Quesiti 3**

Potenza termica sottratta =  $9.71 \text{ kW}$  (=  $9.77 \text{ kW}$ , trascurando l'acqua di condensa). Potenza termica sensibile sottratta =  $5.55 \text{ kW}$ , latente sottratta =  $4.01 \text{ kW}$ .

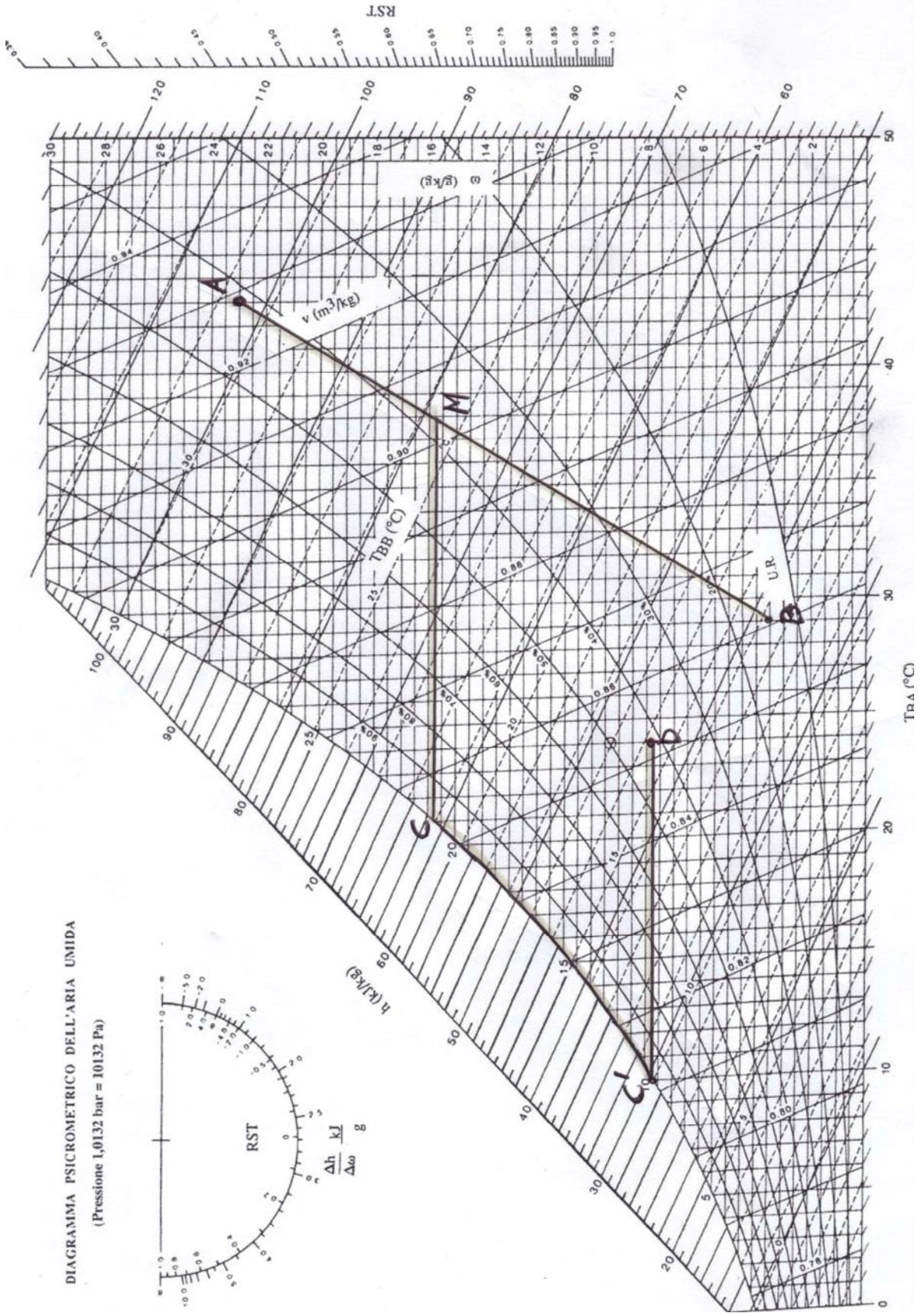
**Quesito 4**

Portata di acqua condensata =  $1.60 \text{ g/s}$  =  $5.77 \text{ kg/h}$ .

**Quesito 5**

Potenza termica fornita =  $2.84 \text{ kW}$ .

DIAGRAMMA PSICROMETRICO DELL'ARIA UMIDA  
(Pressione 1,0132 bar = 10132 Pa)



### ESERCIZIO 3

Una portata d'aria umida (punto A) di  $5866.8 \text{ m}^3/\text{h}$  (temperatura =  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , entalpia specifica =  $58 \text{ kJ/kg}$ ) si mescola adiabaticamente con una seconda portata (punto B) (entalpia =  $97 \text{ kJ/kg}$ , umidità specifica =  $75 \%$ ). La portata massica complessiva in uscita dal mescolatore è pari a  $2.70 \text{ kg/s}$ .

Dopo aver calcolato lo stato termodinamico del punto di miscela (Punto M), supporre che tale portata sia raffreddata e deumidificata mediante passaggio attraverso una batteria fredda, che sottrae (trascurando l'aliquota energetica dell'acqua di condensa,  $75 \text{ kW}$ ), con un fattore di by-pass pari a  $0.267$ .

In seguito, la portata d'aria è riscaldata da una batteria calda, che fornisce alla corrente  $64 \text{ kW}$ .

Calcolare:

1. in forma di tabella, le proprietà termodinamiche in ogni punto ( $T$ ,  $\omega$ ,  $\Phi$ ,  $h$ ,  $v$ );
2. le portate massiche in ogni punto;
3. le aliquote sensibile e latente sottratte dalla batteria fredda ( $Q_{BF-s}$  e  $Q_{BF-l}$ );
4. lo stato d'uscita e portata volumetrica che lo caratterizza.

### RISULTATI

Quesiti 1 e 2

in verde i dati assegnati

	$T_{ba}$	$\omega$	$\Phi$	$h$	$v$	$\dot{m}$	$\dot{V}$
A	25.0	12.9	65.0	58.0	0.862	1.89	5866.8
B	33.5	24.7	75.0	97.0	0.90	0.81	2633.9
M	27.6	16.5	70.8	69.7	0.875	2.70	8500.8
C	15.5	10.45	95.0	42.0	0.832	2.70	
D	38.7	10.45	24.5	65.7	0.90	2.70	

Quesito 3: potenza termica per il processo di riscaldamento

$$Q^{\text{punto}} = 4.39 \text{ kW}$$

Quesito 4 = portata di vapore per l'umidificazione voluta

$$m_{\text{umidificazione}} = 1.61 \text{ g/s}$$

Quesito 5 = portata volumetrica in uscita in  $\text{m}^3/\text{h}$

$$V^{\text{punto}} = 1186 \text{ m}^3/\text{h}.$$

## ESERCIZIO 4

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  $10,0^\circ\text{C}$ .

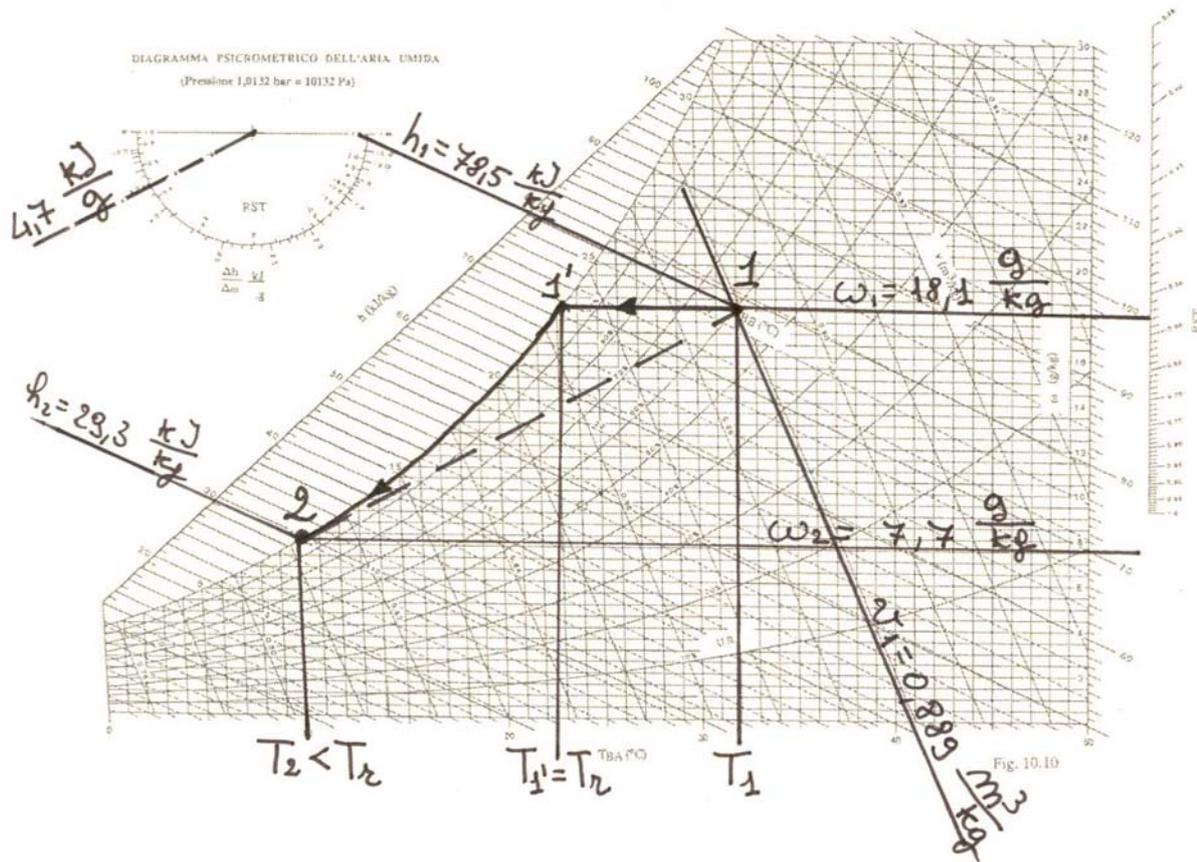


Figura 2.3.2.2.1

## ESERCIZIO 5

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

$$\dot{Q}$$

$$\dot{m}_w$$

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

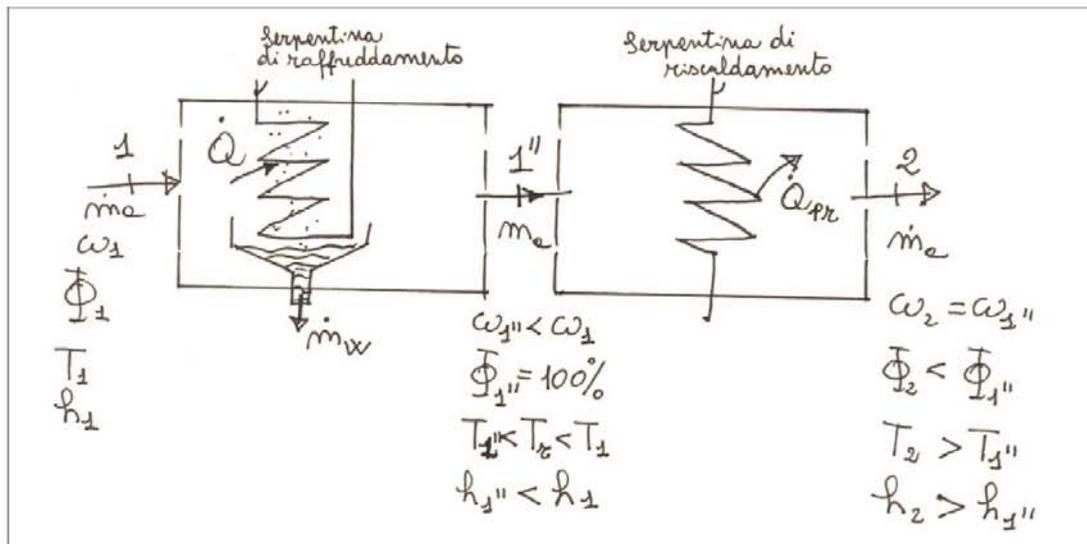


Fig.2.3.2.3.1

### 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''):

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

*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  $T_w = T_{1''}$ .

Pertanto:

$$|\dot{Q}| = 2,43 \cdot (60,9 - 20,8) - 20,0 \cdot 10^{-3} \cdot 24,4 = 97,9 \text{ kW}$$

Trasformazione di postriscaldamento (1''-2):

Dal diagramma psicrometrico, una volta individuato il punto 2, si legge il valore dell'entalpia specifica:

$$h_2 = 34,5 \text{ kJ/kg}$$

Per quanto riguarda i bilanci di massa si ha:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{a1''} &= \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \\ \dot{m}_a \omega_{1''} &= \dot{m}_a \omega_2 \Rightarrow \omega_{1''} = \omega_2 \end{aligned}$$

La potenza necessaria a post-riscaldare l'aria si ottiene dal bilancio di energia:

$$\dot{Q}_{pr} = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h_{1''}) = 2,43 \cdot (34,5 - 20,8) = 33,3 \text{ kW}$$

La pendenza della trasformazione 1-2 si ottiene dal rapporto:

$$\frac{\Delta h_{1-2}}{\Delta \omega_{1-2}} = \frac{h_2 - h_1}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{34,5 - 60,9}{5,75 - 14,0} = 3,2 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}$$

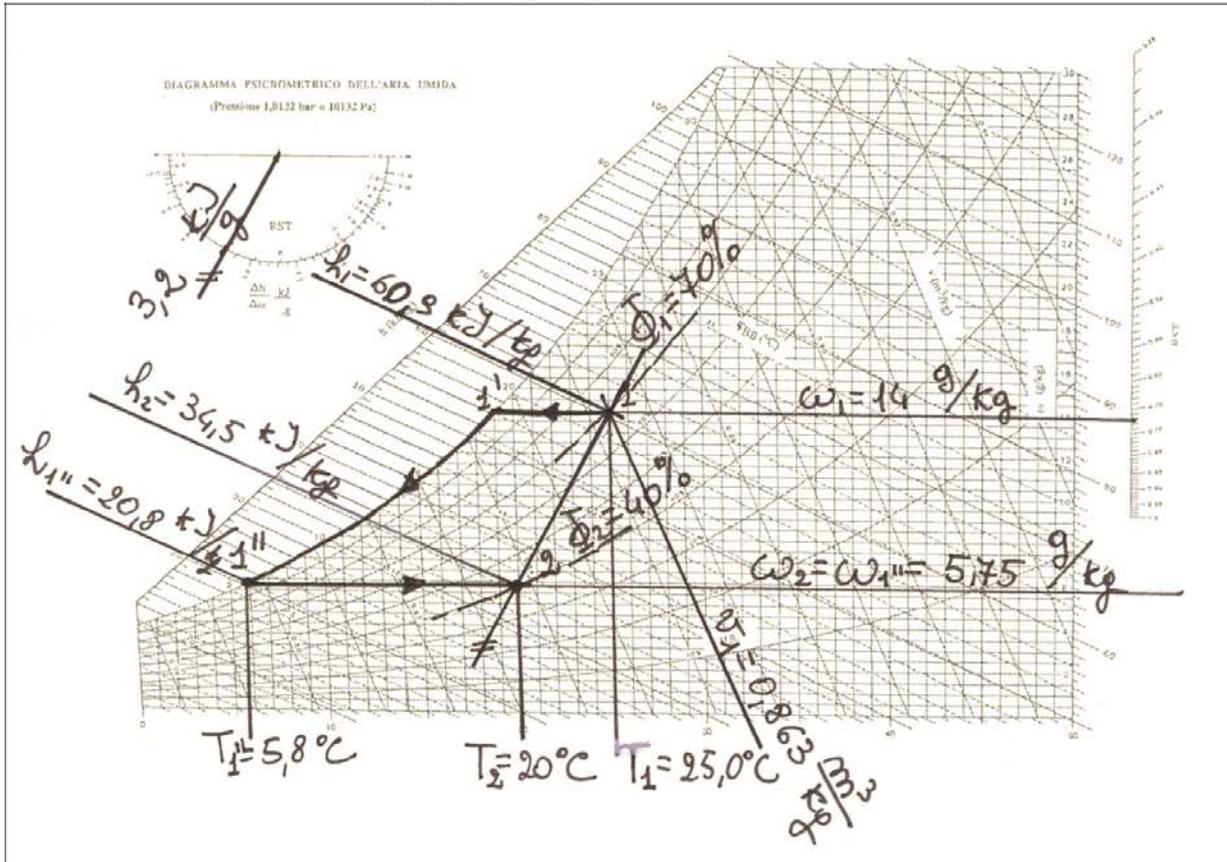


Fig.2.3.2.3.2

## B) ESERCIZI NON SVOLTI CON RISULTATI

\* *FACILE*

\*\* *MEDIO*

\*\*\* *MEDIO/LABORIOSO*

***N.B.: Il livello di difficoltà è valutato in funzione del numero di calcoli***

---

### UMIDIFICAZIONE AD ACQUA LIQUIDA

\* **Esercizio 1.** Una portata di acqua liquida a 15°C viene somministrata ad una corrente di aria umida di 8000 m<sup>3</sup>/h inizialmente a temperatura di 35°C e umidità relativa al 30%. A pressione atmosferica ed in regime stazionario, determinare la portata d'acqua da somministrare per una saturazione adiabatica. ( $m_w = 14 \cdot 10^{-3}$  kg/s).

\***Esercizio 2.** Una massa di aria umida, con temperatura iniziale di 25°C e umidità relativa iniziale del 40%, viene saturata adiabaticamente. Alla fine di tale trasformazione la massa d'aria si porta in un nuovo stato per il quale si devono determinare la temperatura, l'entalpia specifica e l'umidità specifica.

( $T_2 = 16,5^\circ\text{C}$ ,  $h_2 = 45,8$  kJ/kg,  $\omega_2 = 11,8$  g/kg)

\* **Esercizio 3.** Una portata massica di aria umida di 1.2 kg/s, con temperatura iniziale di 20°C e umidità specifica iniziale di 8 g/kg è umidificata con acqua liquida fino a saturazione (U.R. = 100%) Determinare la portata d'acqua da fornire, la temperatura all'uscita e l'umidità specifica all'uscita. ( $m_w = 9.9$  kg/h,  $T_2 = 14.5^\circ\text{C}$ ,  $\omega_2 = 10,3$  g/kg).

\* **Esercizio 4.** Una portata di acqua liquida a 15°C è somministrata ad una corrente di aria umida di 10000 m<sup>3</sup>/h, inizialmente a temperatura di 35°C con umidità relativa al 20%. Calcolare, nell'ipotesi di regime stazionario, la portata d'acqua necessaria per saturare adiabaticamente tale portata d'aria.

( $m_w = 20,7$  g/s = 74,7 kg/h)

---

### UMIDIFICAZIONE A VAPORE

\* **Esercizio 5.** Una portata massica di 1.4 kg/s di aria umida, con temperatura iniziale di 20°C e umidità specifica iniziale di 6 g/kg, è umidificata con vapore a 110°C fino ad umidità specifica di 9,5 g/kg. Determinare l'umidità relativa all'uscita, l'entalpia e la portata d'acqua da fornire. ( $\Phi_2 = 65.2\%$ ,  $h_2 = 44.2$  kJ/kg,  $m_w = 17,64$  kg/h)

\*\* **Esercizio 6.** Una portata di aria umida di 3384 kg/h, con temperatura iniziale di 25°C e umidità relativa iniziale del 40%, viene umidificata adiabaticamente fino a che la sua umidità specifica aumenta di 3g/kg. Alla fine di tale trasformazione la massa d'aria si porta in un nuovo stato per il quale si devono determinare, sia in caso di umidificazione con acqua liquida che a

vapore, la temperatura a bulbo secco, l'umidità relativa, l'entalpia specifica e la portata di acqua da immettere.

1: ( $T_2 = 17.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Phi_2 = 87\%$ ,  $h_2 = 45,22 \text{ kJ/kg}$ ,  $m_w = 10,2 \text{ kg/h}$ )

2: ( $T_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Phi_2 = 55\%$ ,  $h_2 = 52,87 \text{ kJ/kg}$ ,  $m_w = 10,2 \text{ kg/h}$ )

\* **Esercizio 7.** Ad una corrente di aria umida di  $16000 \text{ m}^3/\text{h}$ , ad una  $T$  di  $40^\circ\text{C}$  e umidità relativa del  $20\%$ , vengono somministrati  $120 \text{ kg/h}$  di vapore a  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ . A pressione standard ed in regime stazionario, determinare l'umidità relativa all'uscita e l'entalpia allo stato 2. ( $\Phi_2 = 34.3\%$ ,  $h_2 = 81.2 \text{ kJ/kg}$ )

\* **Esercizio 8.** Una corrente di aria umida di  $5000 \text{ m}^3/\text{h}$  è ad una  $T$  di  $37^\circ\text{C}$  e umidità relativa del  $20\%$ , ed, all'interno di un'UTA, le vengono somministrati  $70 \text{ kg/h}$  di vapore a  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ . A pressione standard ed in regime stazionario determinare temperatura, umidità specifica e umidità relativa all'uscita. ( $T_2 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\omega_2 = 20,26 \text{ g/kg}$ ,  $\Phi_2 = 50,9\%$ )

---

## RISCALDAMENTO + UMIDIFICAZIONE

\*\* **Esercizio 9.** Una portata massica di  $1300 \text{ kg/h}$  aria umida, con temperatura iniziale di  $14^\circ\text{C}$  e umidità relativa iniziale dell' $40\%$ , viene riscaldata di  $10^\circ\text{C}$  e successivamente saturata adiabaticamente. Determinare gli scambi di massa e energia necessari alla trasformazione. ( $m_w = 1.8 \text{ g/s} = 6.3 \text{ kg/h}$ ;  $Q = 3.6 \text{ kW}$ )

\*\*\* **Esercizio 10.** Una corrente di  $1,44 \text{ kg/s}$  d'aria umida esterna entra in un condizionatore a  $15^\circ\text{C}$  e al  $30\%$  di umidità relativa ed esce a  $24^\circ\text{C}$  e al  $50\%$  di umidità relativa. Determinare la potenza richiesta per il riscaldamento, la temperatura dell'aria all'ingresso all'umidificatore e la portata di umidificazione nei seguenti casi:

- riscaldamento + umidificazione a vapore;
- riscaldamento + umidif. ad acqua;
- riscaldamento + umidif. ad acqua + post-riscaldamento.

1: ( $Q = 13,11 \text{ kW}$ ,  $T_{\text{RISC.}} = 24^\circ\text{C}$ ,  $m_w = 8.82 \text{ g/s}$ )

2: ( $Q = 35,61 \text{ kW}$ ,  $T_{\text{RISC.}} = 39.4^\circ\text{C}$ ,  $m_w = 8.82 \text{ g/s}$ )

3: ( $Q = 19.25 + 16.3 = 35.5 \text{ kW}$ ,  $T_{\text{RISC.}} = 28.24$ ,  $m_w = 8.82 \text{ g/s}$ )

---

## RAFFREDDAMENTO SEMPLICE

\* **Esercizio 11** Una portata di aria umida di  $0.4 \text{ kg/s}$ , alle condizioni  $T_1 = 32 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $U.R._1 = 50\%$  è raffreddata, senza deumidificazione, sino alla temperatura  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Calcolare la potenza frigorifera sottratta e la umidità relativa nello stato finale ( $Q_{\text{BF}} = 2.89 \text{ kW}$ ,  $U.R._2 = 75.1\%$ ).

---

## RAFFREDDAMENTO CON DEUMIDIFICAZIONE

\* **Esercizio 12** Una portata di aria umida di  $3800 \text{ m}^3/\text{h}$ , alle condizioni  $h_1 = 70 \text{ kJ/kg}$  e  $\omega_1 = 14.0 \text{ g/kg}$  è raffreddata sino alla temperatura  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Calcolare la potenza frigorifera sottratta (trascurando l'aliquota connessa all'acqua condensata), la temperatura di bulbo bagnato e temperatura di rugiada nello stato finale, la umidità specifica nello stato finale ( $Q_{\text{BF}} = 48.33 \text{ kW}$ ,  $T_{\text{bb}} = 10^\circ\text{C}$ ,  $T_r = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\omega_2 = 7.6 \text{ g/kg}$ ).

---

### VARIE TRASFORMAZIONI ELEMENTARI COMBINATE

\* **Esercizio 13.** La potenza termica necessaria per portare  $9535.92 \text{ m}^3/\text{h}$  di aria umida dalle condizioni  $T_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$  ed U.R. = 43 % alla temperatura di  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  è: ( $Q = 75 \text{ kW}$ )

\* **Esercizio 14.** Una portata di aria umida pari a  $5307.03 \text{ m}^3/\text{h}$  è inizialmente ad una temperatura di  $14.7 \text{ }^\circ\text{C}$  e U.R. = 24 %. Se la portata di aria umida riceve una potenza termica di  $32.6 \text{ kW}$ , l'umidità relativa finale è: ( $\Phi_2 = 8\%$ )

\* **Esercizio 15.** Una portata di aria umida pari a  $6250.62 \text{ m}^3/\text{h}$  è inizialmente ad una temperatura di  $13 \text{ }^\circ\text{C}$  e U.R. = 52 %. Se la portata di aria umida riceve una potenza termica di  $50.1 \text{ kW}$ , l'umidità relativa finale è: ( $\Phi_2 = 13\%$ )

\* **Esercizio 16.** Una portata di aria umida pari a  $4496.95 \text{ m}^3/\text{h}$  è inizialmente ad una temperatura di  $14.9 \text{ }^\circ\text{C}$  e U.R. = 52 %. Se la portata di aria umida riceve una potenza termica di  $26.6 \text{ kW}$ , l'umidità relativa finale è: ( $\Phi_2 = 18 \%$ )

\*\* **Esercizio 17.** Una portata di  $3226.89 \text{ m}^3/\text{h}$  di aria umida a  $T = 33 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\Phi = 41 \%$  viene raffreddata fino alla temperatura di  $9 \text{ }^\circ\text{C}$ . La portata di acqua condensata è: ( $m_w = 5.88 \text{ g/s}$ )

\*\* **Esercizio 18.** Una portata di  $4592.80 \text{ m}^3/\text{h}$  di aria umida a  $T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\Phi = 18 \%$  si mescola adiabaticamente con una seconda portata di  $1.27 \text{ kg/s}$  di aria umida a  $T = 33 \text{ }^\circ\text{C}$  e U.R. = 29 %. L'umidità specifica della portata risultante è: ( $\omega_2 = 4.79 \text{ g/kg}$ )

\* **Esercizio 19.** La potenza frigorifera per portare  $8412.19 \text{ m}^3/\text{h}$  di aria umida a  $T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\Phi = 33\%$  fino a saturazione è: ( $Q = 48.5 \text{ kW}$ )

\*\* **Esercizio 20.** Una portata di  $0.78 \text{ kg/s}$  di aria umida a  $T = 33 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\Phi = 60\%$  viene raffreddata fino alla temperatura di  $12 \text{ }^\circ\text{C}$ . La umidità specifica all'uscita è: ( $\omega_2 = 19.1 \text{ g/kg}$ )