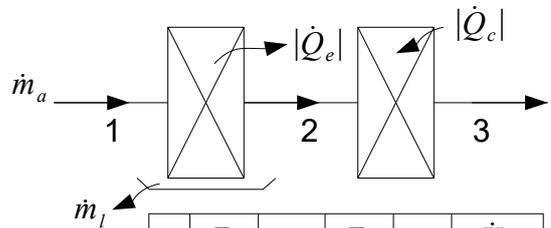


**Prova scritta di Fisica Tecnica Ambientale – 14.07.2009  
( Ing. Civile, Edile, Ambientale)**

**Esercizio 1**

Un deumidificatore d'ambiente funziona secondo lo schema riportato in figura, una portata volumetrica d'aria  $\dot{V}_a$  viene prelevata dall'ambiente nelle condizioni 1, passa attraverso l'evaporatore di una macchina frigorifera cedendo il flusso termico  $\dot{Q}_e$  ed esce nella condizione di saturazione alla temperatura  $t_2$ . Successivamente l'aria viene riscaldata passando attraverso il condensatore della stessa macchina frigorifera asportando il flusso termico  $\dot{Q}_c$  ed uscendo nelle condizioni 3. Sapendo che il coefficiente di effetto utile della macchina frigorifera è  $\varepsilon_{fr}$  si chiede:

1. l'entalpia  $h_1$  e l'umidità  $x_1$  specifica dell'aria all'ingresso;
2. l'entalpia  $h_2$  e l'umidità  $x_2$  dell'aria dopo il raffreddamento;
3. la portata d'acqua  $\dot{m}_l$  asportata durante il raffreddamento;
4. il flusso termico ceduto all'evaporatore  $\dot{Q}_e$ ;
5. il flusso termico asportato al condensatore  $\dot{Q}_c$ ;
6. la temperatura in uscita dal deumidificatore  $t_3$ .



La pressione di saturazione si può ricavare utilizzando l'espressione semplificata seguente:

$$p_s(t) = 611,85 \exp\left(\frac{17,502 \cdot t}{240,9 + t}\right); \quad t \text{ [}^\circ\text{C]}, \quad p \text{ [Pa]}$$

	$T_1$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\phi_1$ (%)	$T_2$ ( $^\circ\text{C}$ )	$\varepsilon_{fr}$ (-)	$\dot{V}_a$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
A	20	80	7	3	350
B	26	85	10	2,8	400

dati per il calcolo delle proprietà dell'aria umida

$$c_{pa} = 1,006 \text{ kJ}/(\text{kg K}), \quad c_{pv} = 1,875 \text{ kJ}/(\text{kg K}), \quad r_0 = 2501 \text{ kJ}/\text{kg}, \quad p_{am} = 101325 \text{ Pa}, \quad R_a = 287 \text{ J}/(\text{kg K})$$

**Esercizio 2**

Il benessere di una persona dipende dallo scambio termico che si instaura tra la superficie esterna del corpo e l'aria ambiente, lo scambio può avvenire per convezione naturale o convezione forzata. Si schematizzi un corpo umano come un cilindro verticale di diametro  $D$  ed altezza  $H$  con una temperatura superficiale  $t_s$ . In queste condizioni si calcoli:

1. il coefficiente di scambio termico convettivo  $\alpha_f$  ed il flusso termico  $q_f$  scambiato per convezione forzata considerando il corpo investito da una corrente d'aria con velocità  $u$  e temperatura  $t_{af}$ ;
2. il numero di Nusselt  $Nu_{nat}$ , il numero di Rayleigh  $Ra$ , e la temperatura dell'aria  $t_{nat}$  richiesti per scambiare lo stesso flusso termico ma in convezione naturale;

Si consideri solamente la superficie cilindrica verticale come area di scambio termico.

Per il calcolo dello scambio termico in convezione forzata e naturale si utilizzino le correlazioni:

$$Nu_D = 0,3 + \frac{0,62 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + (0,4/Pr)^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5}; \quad Nu_H = 0,13 \cdot Ra_H^{1/3}$$

proprietà aria:

$$\rho = 1.15 \text{ kg}/\text{m}^3; \quad \beta = 0,033 \text{ 1}/\text{K}; \quad \mu = 1,86 \cdot 10^{-5} \text{ kg}/(\text{m s});$$

$$c_p = 1007 \text{ J}/(\text{kg K}); \quad \lambda = 0,0265 \text{ W}/(\text{m K})$$

	$D$ (m)	$H$ (m)	$u$ (m/s)	$t_{af}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_{sup}$ ( $^\circ\text{C}$ )
A	0,32	1,75	0,5	20	33
B	0,3	1,8	0,4	26	35

**Esercizio 1**

$$p_s(t_1) = 611,85 \exp\left(\frac{17,502 \cdot t_1}{240,9 + t_1}\right) = 2341,8 \text{ Pa}$$

$$x_1 = 0,622 \frac{\varphi_1 \cdot p_s(t_1)}{P_{ATM} - \varphi_1 \cdot p_s(t_1)} = 0,01172 \frac{\text{kg}_v}{\text{kg}_a}$$

$$h_1 = c_{pa} \cdot t_1 + x_1 \cdot (c_{pv} \cdot t_1 + r_0) = 49,86 \text{ kJ/kg}$$

$$p_s(t_2) = 611,85 \cdot e^{\frac{(17,502 \cdot t_2)}{(240,8 + t_2)}} = 1003,14 \text{ Pa}$$

$$x_2 = \frac{0,622 \cdot p_s(t_2)}{p_{atm} - p_s(t_2)} = 0,00622 \frac{\text{kg}_v}{\text{kg}_a}$$

$$h_2 = c_{pa} \cdot t_2 + x_2 \cdot (c_{pv} \cdot t_2 + r_0) = 22,68 \text{ kJ/kg}$$

$$p_a = p_{tot} - \varphi_1 \cdot p_s(t_1) = 88451,6 \text{ Pa}$$

$$v_{a1} = \frac{R_a \cdot (t_1 + 273,15)}{p_{a1}} = 0,846 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}}{v_{a1}} = 0,1149 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_v = \dot{m}_a \cdot (x_1 - x_2) = 0,0006318 \text{ kg/s}$$

$$|\dot{Q}_e| = \dot{m}_a \cdot (h_1 - h_2) = 3,1241 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_e = |\dot{Q}_e| \cdot \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_{fr}}\right) = 4,1655 \text{ W}$$

$$(c_{pau})_2 = c_{pa} + x_2 \cdot c_{pv} = 1,0177 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$t_3 = t_2 + \frac{\dot{Q}_c}{(c_{pau})_2 \cdot \dot{m}_a} = 42,62 \text{ }^\circ\text{C}$$

## Esercizio 2

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot u \cdot D}{\mu} = 9901,08$$

$$\text{Pr} = \frac{c_p \cdot \mu}{k} = 0,7068$$

$$\text{Nu}_D = 0,3 + \frac{0,62 \cdot \text{Re}^{1/2} \cdot \text{Pr}^{1/3}}{[1 + (0,4/\text{Pr})^{2/3}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{\text{Re}}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5} = 53,241$$

$$h_f = \frac{\text{Nu}_D \cdot k}{D} = 4,409 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$A = \pi \cdot D \cdot H = 1,759 \text{ m}^2$$

$$q_f = A \cdot h_f \cdot (t_{\text{sup}} - t_{\text{af}}) = 100,8 \text{ W}$$

$$\text{Nu}_H = \frac{h_f \cdot H}{k} = 291,16$$

$$\text{Ra}_n = \left(\frac{\text{Nu}_H}{0,13}\right)^3 = 1,1235 \cdot 10^{10}$$

$$\Delta t = \frac{\text{Ra} \cdot \mu^2}{0,981 \cdot \beta \cdot \rho^2 \cdot H^3} = 16,91 \text{ K}$$

$$t_{an} = t_{\text{sup}} - \Delta t = 16,09 \text{ }^\circ\text{C}$$