

Esercizio (miscele d'aria e vapor d'acqua)

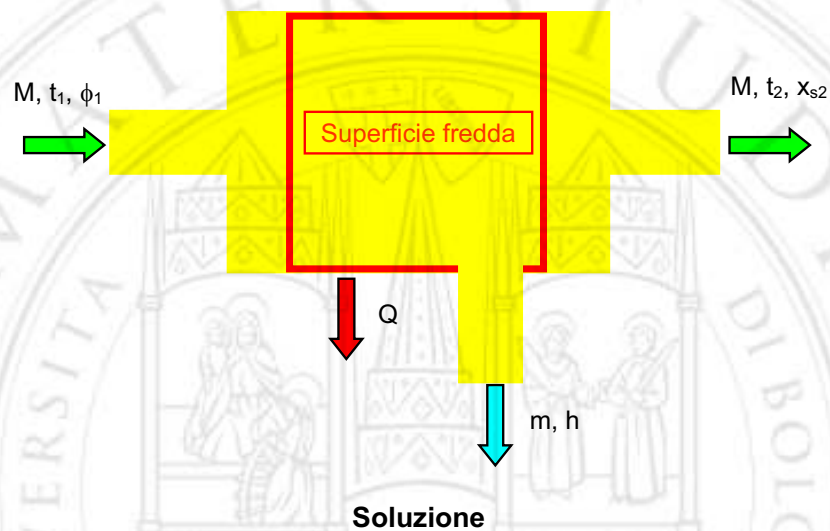
Adattato da: M. Spiga, *Esercizi di fisica tecnica, Esculapio (1998)*.

Una portata di aria atmosferica $M_a = 10 \text{ kg}_a/\text{s}$, a temperatura $t_1 = 8 \text{ }^\circ\text{C}$, grado igrometrico $\phi_1 = 0,60$ e pressione di saturazione del vapor d'acqua $p_s = 10,9 \text{ hPa}$, si raffredda in prossimità di una superficie fredda, portandosi a $t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ e titolo di saturazione $x_{s2} = 0,0038 \text{ kg}_v/\text{kg}_a$.

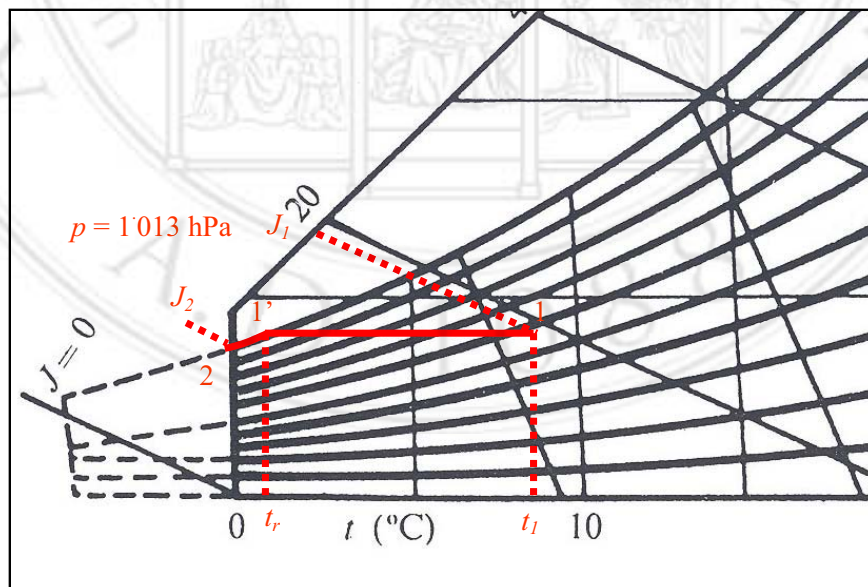
La pressione atmosferica resta uguale a $p = 1'013 \text{ hPa}$.

Sapendo che la temperatura di rugiada è $t_r = 1 \text{ }^\circ\text{C}$, calcolare:

1. la portata di condensato sulla superficie fredda, m ;
2. la variazione di entalpia **totale** dell'aria per unità di tempo, in kW.



Innanzitutto si può rappresentare la trasformazione subita dalla miscela di aria e vapor d'acqua su di un diagramma psicrometrico:



Per lo stato fisico iniziale (1):

$$p_{v1} = \phi_1 p_{s1} = 0,6 \cdot 10,9 = 6,54 \quad [\text{hPa}] \quad (1)$$

$$x_1 = 0,622 \frac{p_{v1}}{p - p_{v1}} = 0,622 \frac{6,54}{1013 - 6,54} = 0,0040 \left[\frac{\text{kg}_v}{\text{kg}_a} \right] \quad (2)$$

$$M_{v1} = x_1 M_a = 0,0040 \cdot 10 = 0,040 \quad [\text{kg}_v/\text{s}] \quad (3)$$

Per lo stato fisico finale (2):

$$M_{v2} = x_{s2} M_a = 0,0038 \cdot 10 = 0,038 \quad [\text{kg}_v/\text{s}] \quad (4)$$

La portata di vapor d'acqua M_{v2} è minore della portata M_{v1} ; la differenza è dovuta al vapore che è condensato sulla superficie fredda:

$$m = M_{v1} - M_{v2} = 0,040 - 0,038 = 0,002 \quad [\text{kg}_v/\text{s}] \quad (5)$$

Le entalpie specifiche della miscela negli stati fisici 1 e 2 sono:

$$\begin{aligned} J_1 &= c_{pa} t_1 + x_1 (r + c_{pa} t_1) = \\ &= 1 \cdot 8 + 0,0040 (2500 + 1,9 \cdot 8) \approx 18,1 \quad [\text{kJ}/\text{kg}_a] \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} J_2 &= c_{pa} t_2 + x_2 (r + c_{pa} t_2) = \\ &= 1 \cdot 0 + 0,0038 (2500 + 1,9 \cdot 0) \approx 9,5 \quad [\text{kJ}/\text{kg}_a] \end{aligned} \quad (7)$$

Dunque la variazione di entalpia totale dell'aria umida per unità di tempo è:

$$M_a (J_2 - J_1) \approx 10 (9,5 - 18,1) \approx -86 \quad [\text{kW}] \quad (8)$$

La diminuzione di entalpia totale avviene in parte sotto forma di perdita di calore latente (condensazione di 0,002 kg_v/s di vapor d'acqua) ed in parte sotto forma di perdita di calore sensibile (diminuzione della temperatura della miscela da 8 °C a 0 °C).