

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

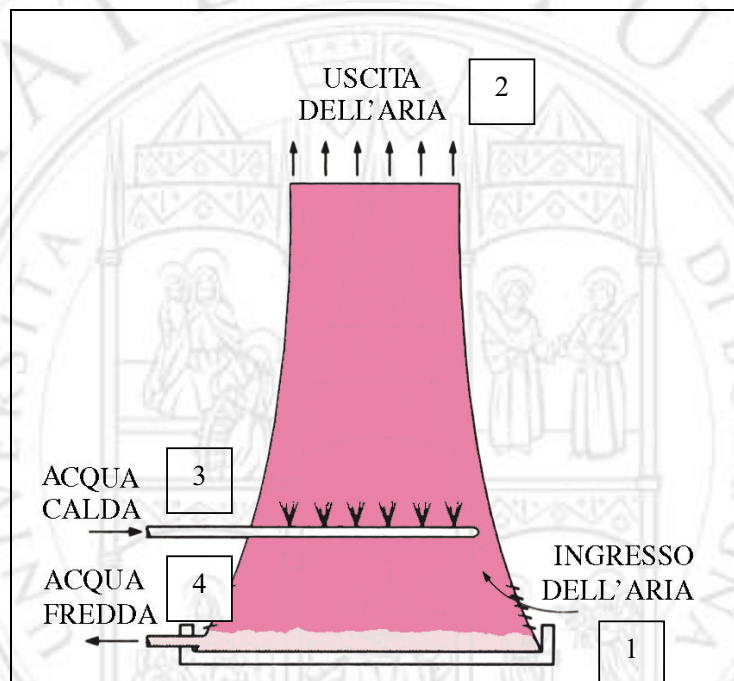
Adattato da: M.C. Potter, C. W. Somerton, *Termodinamica per ingegneri*, McGraw-Hill (1998).

In una centrale elettrica il calore ceduto dal condensatore è rimosso mediante acqua che poi lo smaltisce in una torre di raffreddamento.

Nella torre entrano $m_3 = 10\,000$ kg/min di acqua alla temperatura $t_3 = 40$ °C. L'acqua esce a $t_4 = 25$ °C. L'aria entra alla temperatura $t_1 = 20$ °C con grado igrometrico $\phi_1 = 0,50$ ed esce alla temperatura $t_2 = 32$ °C con grado igrometrico $\phi_2 = 0,98$.

Calcolare:

1. la portata in massa dell'aria che attraversa la torre;
2. la portata in massa dell'acqua che esce dalla torre.

**Soluzione****1. Portata in volume dell'aria che attraversa la torre.**

Il bilancio energetico per la torre di raffreddamento è:

$$M_1 J_1 + m_3 h_3 = M_2 J_2 + m_4 h_4 \quad [\text{kW}] \quad (1)$$

Il bilancio di massa per l'aria secca è:

$$M_1 = M_2 = M \quad [\text{kg}_a/\text{s}] \quad (2)$$

Il bilancio di massa per l'acqua è:

$$m_4 = m_3 - M(x_2 - x_1) \quad [\text{kg}_v/\text{s}] \quad (3)$$

Dove $M_1 = M_2 = M$ è la portata in massa di aria secca e m_3 ed m_4 sono le portate d'acqua entrante ed uscente, rispettivamente.

Sostituendo la (3) nella (1) e tenendo conto della (2) si ottiene:

$$MJ_1 + m_3 h_3 = MJ_2 + [m_3 - M(x_2 - x_1)]h_4 \quad (4)$$

$$m_3 h_3 - m_4 h_4 = MJ_2 - MJ_1 - M(x_2 - x_1)h_4 \quad (5)$$

$$m_3(h_3 - h_4) = M[J_2 - J_1 - (x_2 - x_1)h_4] \quad (6)$$

$$M = \frac{m_3(h_3 - h_4)}{[J_2 - J_1 - (x_2 - x_1)h_4]} \quad (7)$$

Dal diagramma psicrometrico, noti i valori di temperatura e grado igrometrico, si ricavano:

$$J_1 = 37 \text{ [kJ/kg}_a\text{]} \quad , \quad x_1 = 0,0073 \text{ [kg}_v\text{/kg}_a\text{]} \quad (8)$$

$$J_2 = 110 \text{ [kJ/kg}_a\text{]} \quad , \quad x_2 = 0,0302 \text{ [kg}_v\text{/kg}_a\text{]} \quad (9)$$

Dalle tabelle delle proprietà termodinamiche dell'acqua, noti i valori di temperatura, si trovano:

$$h_3 = 167,5 \text{ [kJ/kg]} \quad , \quad h_4 = 104,9 \text{ [kJ/kg]} \quad (10)$$

Sostituendo i valori numerici (8-10) nella (7) si ha:

$$M = \frac{10000(167,5 - 104,9)}{[110 - 37 - (0,0302 - 0,0073)104,9]} \approx 8867 \text{ [kg}_a\text{/min]} \approx 147,8 \text{ [kg}_a\text{/s]} \quad (11)$$

Si tratta di un valore notevole, che ha bisogno di ventilatori per essere realizzato, non ostante un certo tiraggio naturale.

2. Portata in massa dell'acqua che esce dalla torre.

Ricordando la (3) e sostituendo i valori numerici:

$$m_4 = m_3 - M(x_2 - x_1) = 10000 - 8867(0,0302 - 0,0073) \approx 9797 \text{ [kg/min]} \approx 163,3 \text{ [kg/s]} \quad (12)$$

Quando l'acqua uscente è riportata al condensatore, deve essere reintegrata con una portata in massa pari a quella persa:

$$m_{reintegrato} = m_3 - m_4 = 10000 - 9797 = 203 \text{ [kg/min]} \approx 3,4 \text{ [kg/s]} \quad (13)$$