

Cognome	Nome	Matricola
---------------	------------	-----------------

Ing. Navale, Ing. Civile e Ambientale
Prova scritta di Fisica Tecnica – Termodinamica – 22.7.2025

Esercizio

Una portata di aria umida ($\dot{m}_{as} = 1 \frac{\text{kg}_{as}}{\text{s}}$ riferita all'aria secca, as) a temperatura $t_1 = 30^\circ\text{C}$ ed umidità relativa $\phi_1 = 0.5$ (50 %) viene raffreddata a pressione costante $p = 10^5$ Pa mediante raffrescamento evaporativo, ossia con immissione di una portata $\dot{m}_{liq}$ di acqua liquida a temperatura $t_{liq} = 20^\circ\text{C}$. Si assume, come al solito, che l'acqua liquida immessa evapori completamente nella corrente di aria umida.

1. Calcolare tutte le grandezze utili relative al punto iniziale 1 (pressioni, umidità assoluta, entalpia di miscela).
2. Calcolare l'umidità assoluta e l'entalpia di miscela relative al punto finale 2
3. Calcolare la temperatura finale t_2 .
4. Calcolare l'umidità relativa finale ϕ_2 .
5. Diagrammare i punti iniziale e finale in un diagramma psicrometrico.

Usare la seguente relazione per calcolare la pressione di saturazione p_{sat} del vapore d'acqua, dove t è la temperatura in $^\circ\text{C}$:

$$p_{sat}(t) = 611 \cdot e^{\frac{17,3 \cdot t}{237 + t}} \quad [\text{Pa}]$$

ed utilizzare i seguenti valori per la valutazione dell'entalpia di miscela dell'aria umida e dell'entalpia dell'acqua liquida:

- calori specifici (assunti costanti) a pressione costante: $c_{p,as} = 1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $c_{p,vap} = 1.9 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- calore latente di vaporizzazione a 0°C : $h_{lv} = 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- calore specifico (assunto costante) dell'acqua liquida: $c_{liq} = 4.2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Tema	$\dot{m}_{liq} \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right]$
A	2
B	3

Teoria

Bilancio di primo principio per un sistema aperto ad un ingresso ed un'uscita in condizioni stazionarie:

- formula generale con spiegazione dei vari termini;
- applicazione a ciascuna delle due correnti (fredda e calda) di un generico scambiatore di calore nel quale la corrente fredda viene riscaldata da quella calda. Esplicitare quindi i bilanci in funzione delle temperature di ingresso e di uscita dei due fluidi, assunti entrambi come gas ideali con calori specifici costanti.

Soluzione

Nota la temperatura e l'umidità relativa del punto 1, si ricavano in sequenza la corrispondente pressione di saturazione e quella di vapore:

$$p_{sat,1} = p_{sat}(T_1) = 611 \cdot e^{\frac{17,3 \cdot t_1}{237+t_1}} = 4268 \text{ Pa}$$

$$p_{vap,1} = \phi_1 \cdot p_{sat,1} = 2134 \text{ Pa}$$

Nota la pressione di vapore, si calcola l'umidità assoluta al punto 1:

$$\omega_1 = 0.622 \frac{p_{vap,1}}{p - p_{vap,1}} = 13.6 \frac{\text{g}_{vap}}{\text{kg}_{as}}$$

mentre l'entalpia di miscela sarà:

$$J_1 = c_{p,as} \cdot t_1 + \omega_1 \cdot (c_{p,vap} \cdot t_1 + h_{lv}) = 64.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}}$$

Dai bilanci di massa d'acqua ed energia si calcolano l'umidità assoluta e l'entalpia di miscela al punto 2:

$$\omega_2 = \omega_1 + \frac{\dot{m}_{liq}}{\dot{m}_{as}}$$

$$J_2 = J_1 + \frac{\dot{m}_{liq}}{\dot{m}_{as}} \cdot h_{liq} \approx J_1$$

dove l'entalpia dell'acqua liquida si calcola $h_{liq} = c_{liq} \cdot t_{liq} = 84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$. La temperatura finale t_2 si ricava quindi dall'entalpia di miscela $J_2 = c_{p,as} \cdot t_2 + \omega_2 \cdot (c_{p,vap} \cdot t_2 + h_{lv})$:

$$t_2 = \frac{J_2 - \omega_2 \cdot h_{lv}}{c_{p,as} + \omega_2 \cdot c_{p,vap}}$$

Nota t_2 , si ricava $p_{sat,2}$ nuovamente mediante la relazione fornita, mentre la pressione di vapore si ottiene invertendo la formula dell'umidità assoluta rispetto $p_{vap,2}$:

$$\omega_2 = 0.622 \frac{p_{vap,2}}{p - p_{vap,2}}$$

L'umidità relativa finale sarà quindi $\phi_2 = \frac{p_{vap,2}}{p_{sat,2}}$.

Tema	$\dot{m}_{liq} \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right]$	$\omega_2 \left[\frac{\text{g}_{vap}}{\text{kg}_{as}} \right]$	$J_2 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}} \right]$	$t_2 \text{ [}^\circ\text{C]}$	$p_{vap,2} \text{ [Pa]}$	$p_{sat,2} \text{ [Pa]}$	ϕ_2
A	2	15.6	64.85	25.2	2441	3221	0.76
B	3	16.6	64.93	22.8	2594	2790	0.93