

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

Ing. Navale, Ing. Civile e Ambientale
Prova scritta di Fisica Tecnica – Termodinamica – 13.11.2025

Esercizio

Una portata di aria umida ($\dot{m}_{as} = 0.5 \frac{\text{kg}_{as}}{\text{s}}$ riferita all'aria secca, as) a temperatura t_1 ed umidità relativa $\phi_1 = 0.9 = 90\%$ subisce un trattamento di deumidificazione con post-riscaldamento costituito dalle due seguenti trasformazioni a pressione costante $p = 10^5 \text{ Pa}$:

- 1 – 2 (raffreddamento con deumidificazione): la corrente di aria umida viene raffreddata fino ad una temperatura $t_2 = 12^\circ\text{C}$ asportando una potenza termica $|\dot{Q}_{12}^-|$, assumendo condizioni di saturazione all'uscita ($\phi_2 = 1 = 100\%$). Nel raffreddamento si ha la condensazione di una portata \dot{m}_{liq} di liquido.
- 2 – 3 (post-riscaldamento): la corrente di aria umida viene riscaldata fino alla temperatura iniziale $t_3 = t_1$ fornendo una potenza termica \dot{Q}_{23}^+ .

Tema	$t_1 [^\circ\text{C}]$
A	20
B	22

0. Rappresentare schematicamente le trasformazioni in un diagramma psicrometrico.
1. Calcolare pressioni (saturazione e vapore), umidità assoluta, entalpia di miscela e temperatura di rugiada del punto 1.
2. Calcolare pressioni (saturazione e vapore), umidità assoluta ed entalpia di miscela del punto 2.
3. Calcolare la portata \dot{m}_{liq} di liquido condensato e la potenza termica asportata $|\dot{Q}_{12}^-|$. Nel calcolo di $|\dot{Q}_{12}^-|$ trascurare il contributo entalpico del liquido condensato.
4. Calcolare la potenza termica fornita \dot{Q}_{23}^+ e l'umidità relativa finale ϕ_3 .

Usare le seguenti relazioni per la pressione di saturazione $p_v [\text{Pa}]$ e per la corrispondente temperatura $t [^\circ\text{C}]$ dell'acqua:

$$p_v(t) = 611 \cdot e^{\frac{17,3 \cdot t}{237 + t}} \quad t(p_v) = \frac{237}{\frac{17,3}{\log(p_v/611)} - 1}$$

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

- calori specifici (costanti) a pressione costante: $c_{p,as} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$, $c_{p,vap} = 1.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
- calore latente di vaporizzazione a 0°C : $h_{lv} = 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

Teoria

Per un gas perfetto con calori specifici costanti:

- ricavare la legge che lega pressione e volume specifico per una trasformazione isoentropica;
- scrivere la legge che lega pressione e volume specifico per una trasformazione politropica (parametro/esponente n) e mostrare per quali valori di n si ottengono trasformazioni isoterme, isobare, isocore e isoentropiche, rappresentandole nei piani $p - v$ e $T - s$.

Soluzione

1. Pressioni di saturazione e vapore:

$$p_{v,1}(t_1) = 611 \cdot e^{\frac{17,3 \cdot t_1}{237+t_1}} = 2348 \text{ Pa (A)}, \quad 2656 \text{ Pa (B)}$$

$$p_{vap,1} = \phi_1 \cdot p_{v,1} = 2113 \text{ Pa (A)}, \quad 2390 \text{ Pa (B)}$$

1. Umidità assoluta:

$$\omega_1 = 0.622 \frac{p_{vap,1}}{p - p_{vap,1}} = 13.4 \frac{\text{g}_{vap}}{\text{kg}_{as}} \text{ (A)}, \quad 15.2 \frac{\text{g}_{vap}}{\text{kg}_{as}} \text{ (B)}$$

1. Entalpia di miscela:

$$J_1 = c_{p,as} \cdot t_1 + \omega_1 \cdot (c_{p,vap} \cdot t_1 + h_{lv}) = 54.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}} \text{ (A)}, \quad 60.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}} \text{ (B)}$$

1. Temperatura di rugiada attraverso formula inversa con $p_v = p_{vap,1}$:

$$t_{R,1} = \frac{237}{\frac{17.3}{\log(p_{vap,1}/611)} - 1} = 18.3 \text{ °C (A)}, \quad 20.3 \text{ °C (B)}$$

2. Pressioni di saturazione e vapore:

$$p_{vap,2} = p_{v,2}(t_2) = 611 \cdot e^{\frac{17,3 \cdot t_2}{237+t_2}} = 1406 \text{ Pa}$$

2. Umidità assoluta:

$$\omega_2 = 0.622 \frac{p_{vap,2}}{p - p_{vap,2}} = 8.87 \frac{\text{g}_{vap}}{\text{kg}_{as}}$$

2. Entalpia di miscela:

$$J_2 = c_{p,as} \cdot t_2 + \omega_2 \cdot (c_{p,vap} \cdot t_2 + h_{lv}) = 34.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{as}}$$

3. Dai bilanci di massa d'acqua ed energia si calcolano \dot{m}_{liq} e $|\dot{Q}_{12}^-|$:

$$\dot{m}_{liq} = \dot{m}_{as}(\omega_1 - \omega_2) = 2.28 \frac{\text{g}_{liq}}{\text{s}} \text{ (A)}, \quad 3.18 \frac{\text{g}_{liq}}{\text{s}} \text{ (B)}$$

$$|\dot{Q}_{12}^-| = \dot{m}_{as}(J_1 - J_2) - \dot{m}_{liq} \cdot h_{liq} \approx \dot{m}_{as}(J_1 - J_2) = 9.85 \text{ kW (A)}, \quad 13.2 \text{ kW (B)}$$

4. \dot{Q}_{23}^+ dal bilancio di energia, per esempio nella forma con calore specifico aria umida a p costante, $c_{p,au}$:

$$c_{p,au,2=3} = c_{p,as} + \omega_{2=3} \cdot c_{p,vap} = 1.02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\dot{Q}_{23}^+ = \dot{m}_{as} \cdot c_{p,au,2=3} \cdot (t_3 - t_2) = 4.07 \text{ kW (A)}, \quad 5.08 \text{ kW (B)}$$

4. Umidità relativa finale:

$$\phi_3 = \frac{p_{vap,3}}{p_{v,3}} = \frac{p_{vap,2}}{p_{v,1}} = 0.60 \text{ (A)}, \quad 0.53 \text{ (B)}$$