

**Esercizio n° 1**

Il riscaldamento di un capannone da  $10.000 \text{ m}^3$  è attuato da un impianto che riscalda a  $26^\circ\text{C}$  una miscela d'aria ottenuta combinando aria aspirata dall'ambiente esterno a  $273 \text{ K}$ , con una corrente di riciclo a  $293 \text{ K}$  (temperatura media interna capannone). Il ricambio completo della volumetria d'aria del capannone è attuato ogni ora. In queste condizioni, l'involucro del capannone scambia una potenza termica con l'ambiente esterno pari a  $52 \text{ kW}_t$ .

Supponendo che il fluido trattato sia sola aria secca ( $c_p=1,005 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ ;  $R=0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ ;  $T_c=133 \text{ K}$ ;  $P_c=3,77 \text{ MPa}$ ) alla pressione atmosferica ( $101.325 \text{ kPa}$ ), calcolare:

1. le portate massiche di aria di rinnovo e di riciclo;
2. la potenza termica complessiva dell'impianto di riscaldamento.

**Esercizio n° 2**

Alla pressione di  $101.325 \text{ kPa}$ , una UTA aspira  $5.000 \text{ m}^3/\text{h}$  di aria a  $278 \text{ K}$  e  $UR=80\%$ . Ipotizzando un trattamento che la porti a  $298 \text{ K}$  e  $UR=50\%$ , calcolare analiticamente e/o con l'ausilio del diagramma psicrometrico:

1. il titolo della miscela alla sezione di ingresso, la portata massica di aria secca e quella di vapore;
2. il titolo della miscela alla sezione di uscita e la portata d'acqua di reintegro;
3. la potenza termica necessaria al trattamento precisato, trascurando ogni dispersione alla UTA.

**Esercizio n° 3**

Si consideri un ciclo frigorifero per il fluido refrigerante R134a, che attui la condensazione a  $1.68 \text{ MPa}$  ( $60^\circ\text{C}$ ) e l'evaporazione a  $0.3 \text{ MPa}$  ( $\cong 0^\circ\text{C}$ ).

Tracciare graficamente e descrivere in forma didascalica le trasformazioni termodinamiche. Calcolare quindi, supposte condizioni isoentropiche al compressore:

1. il lavoro specifico compiuto dal compressore;
2. il calore specifico scambiato all'evaporatore e quello al condensatore;
3. il COP frigorifero e quello in pompa di calore;
4. l'irreversibilità della laminazione e il corrispondente lavoro perso per irreversibilità.

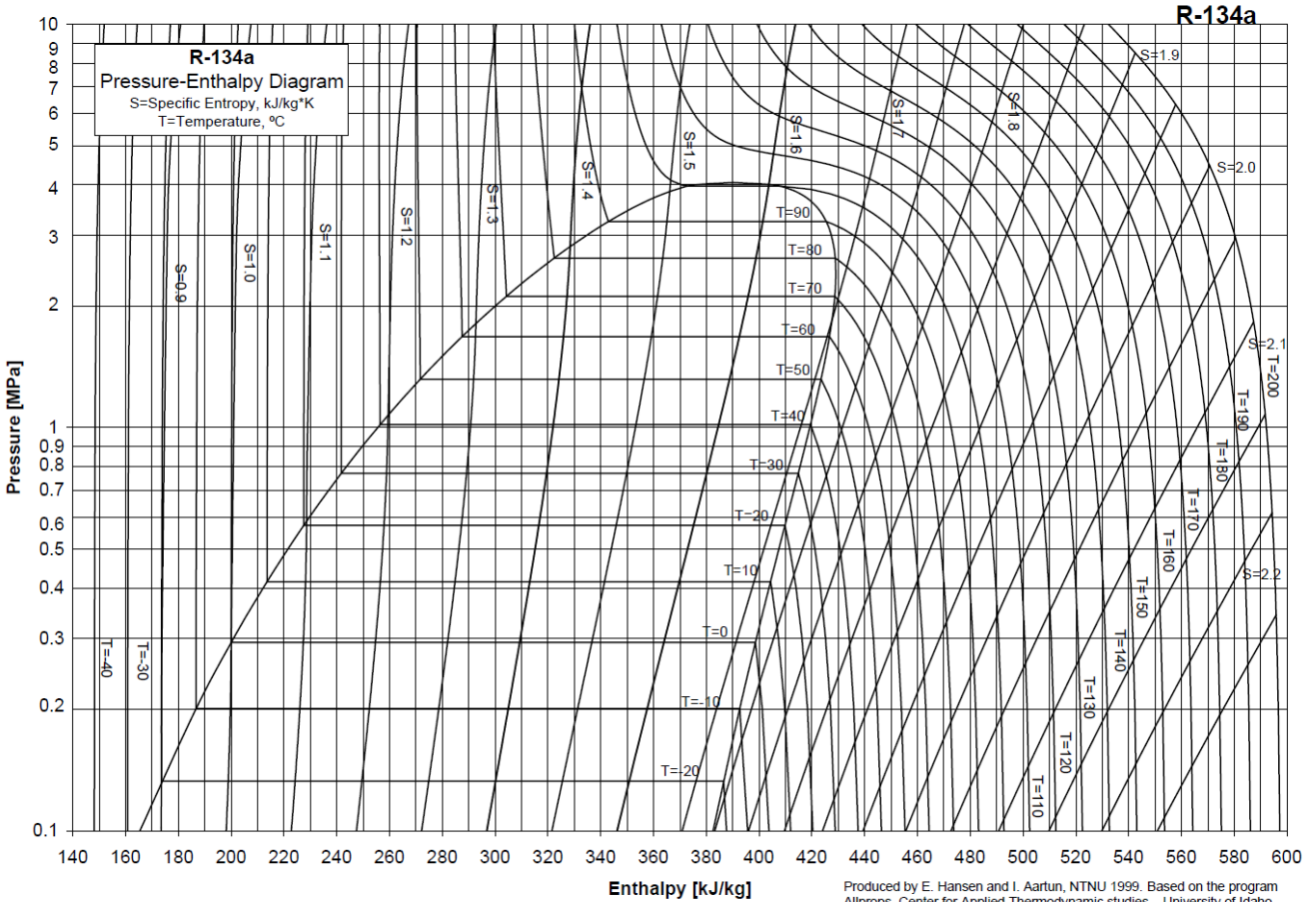
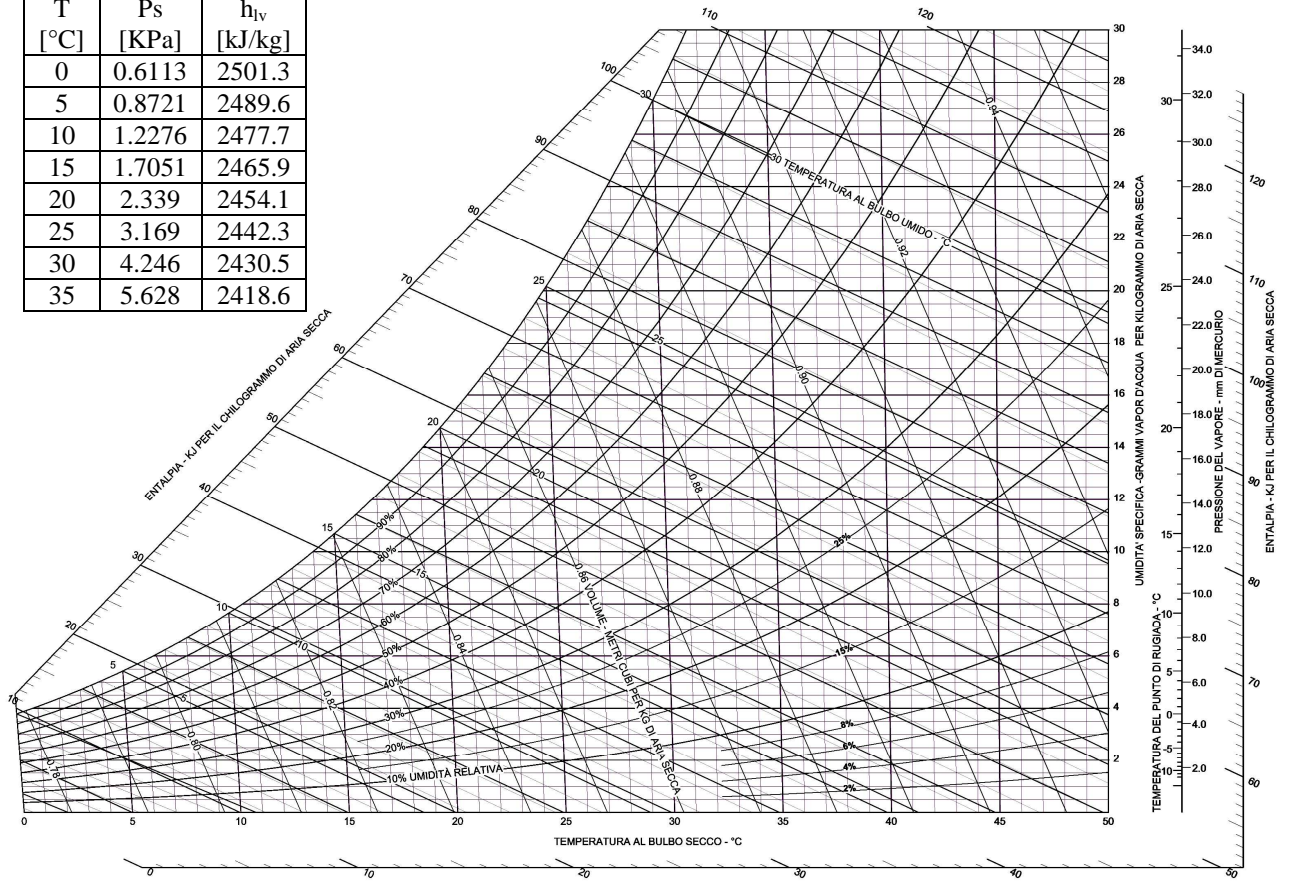
**Esercizio n° 4**

Due serbatoi sono collegati da un tubo di lunghezza  $1300 \text{ m}$ , diametro interno  $140 \text{ mm}$ , scabrezza equivalente  $0.2 \text{ mm}$ . Il livello idrico nel serbatoio di monte è mantenuto costante a quota  $+153 \text{ m.slm}$ ; entrambi risultano a pressione atmosferica.

Considerando le perdite di carico distribuite e solo quelle concentrate in ingresso e uscita dal collettore, nell'ipotesi di moto assolutamente turbolento, calcolare:

1. il livello nel serbatoio di valle che consente di veicolare una portata volumetrica pari a  $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
2. la velocità media in condotta dell'acqua nell'ipotesi di moto assolutamente turbolento;
3. un coefficiente  $\beta$  di una perdita di carico concentrata (valvola), affinché la portata in condotta sia ridotta della metà, a parità del livello idrico nel serbatoio di valle precedentemente calcolato.

T [°C]	Ps [KPa]	h <sub>V</sub> [kJ/kg]
0	0.6113	2501.3
5	0.8721	2489.6
10	1.2276	2477.7
15	1.7051	2465.9
20	2.339	2454.1
25	3.169	2442.3
30	4.246	2430.5
35	5.628	2418.6



Es. M.1 20'/20%

$V = 10.000 \text{ m}^3$

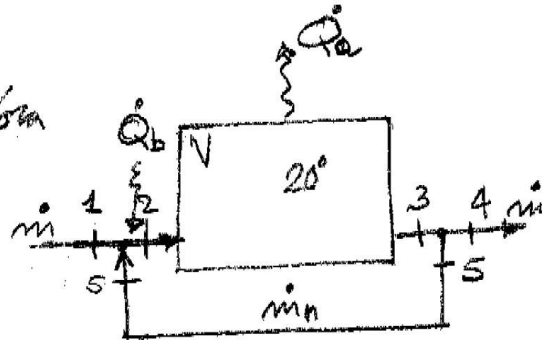
1 ricambio/ora

$T_1 = 0^\circ\text{C}$

$T_2 = 26^\circ\text{C}$

$T_3 = T_4 = T_5 = 20^\circ\text{C}$

$\dot{Q}_a = 52 \text{ kW}$



$\Rightarrow \dot{m}_2 = \dot{m}_4 = \frac{10000 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} \cdot \rho_A = 3,335 \text{ kg/s}$

Aria come gas perfetto  $p_A v_A = R T_A \rightarrow \frac{1}{v_A} = \rho_A = \frac{p_A}{R T_A} = 1,200 \text{ kg/m}^3$   
 (atmosferica)

$\Delta H_{23} = \dot{Q} - \dot{A}$

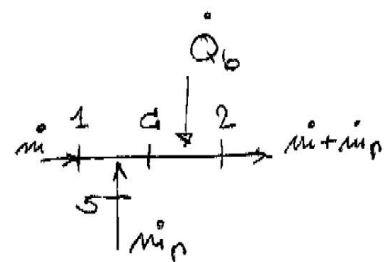
$c_p \cdot \dot{m}_2 (T_3 - T_2) = \dot{Q}_a \Rightarrow \dot{m}_2 = \frac{52 \text{ kW}}{1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 6 \text{ K}} = 8,624 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

ma  $\dot{m}_2 = \dot{m}_2 + \dot{m}_p$

$\Rightarrow \dot{m}_p = 8,624 - 3,335 = 5,289 \text{ kg/s}$

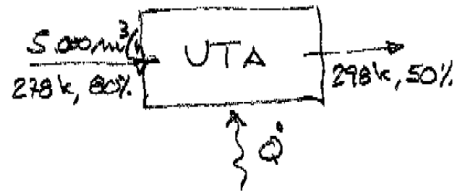
$\dot{Q}_b = \dot{Q}_a + \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot (T_4 - T_1)$   
 $\downarrow 52 \text{ kW} + 3,335 \cdot 1,005 \cdot 20 \text{ k}$   
 $\downarrow 52 \text{ kW} + 67,03 \text{ kW}$   
 $\downarrow 119,03 \text{ kW}$

$T_5 = \frac{\dot{m}_2 \cdot T_1 + \dot{m}_p \cdot T_5}{\dot{m}_2 + \dot{m}_p}$   
 $\downarrow \frac{3,335 \cdot 273 + 5,289 \cdot 299}{3,335 + 5,289}$   
 $\downarrow 289 \text{ K } (16^\circ\text{C})$



$\sqrt{E_3, u_2 \ 30' / 40%}$

$UR_1 = \frac{P_{1r}}{P_1^1} \rightarrow P_{1r} = 0,8 \times 0,8921 = 0,698 \text{ kPa}$



$\Rightarrow P_{a1}^1 = 101,325 - 0,698 = 100,627 \text{ kPa}$

$P_{1r}^1 \cdot v_1^v = R_{air} T_1 \rightarrow v_1^v = \frac{R_{air} T_1}{P_{1r}^1} = \frac{0,287 \cdot 278}{0,698} = 113,81 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

$\dot{m}_{1r} = 272 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

$P_{a1}^1 \cdot v_1^a = R_{air} T_1 \rightarrow v_1^a = \frac{R_{air} T_1}{P_{a1}^1} = \frac{0,287 \cdot 278}{100,627} = 0,793 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

$\dot{m}_a = 6306,1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

$Y_1 = 0,622 \frac{P_{1r}}{P_{a1}^1} = 4,31 \frac{\text{g}}{\text{kg}_{\text{gas}}} \left( = \frac{\dot{m}_{1r}}{\dot{m}_a} \right)$

4,4 cal. dry basis

$UR_2 = 0,5 = \frac{P_{2r}}{P_2^2} \rightarrow P_{2r} = 0,5 \cdot 3,189 = 1,5845 \text{ kPa}$

$P_{a2} = 101,325 - 1,5845 = 99,741 \text{ kPa}$

$Y_2 = 0,622 \cdot \frac{P_{2r}}{P_{a2}} = 9,88 \frac{\text{g}}{\text{kg}_{\text{gas}}}$

$\dot{m}_a^2 \equiv \dot{m}_a^1 = 6306,1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

$\Rightarrow \dot{m}_{\text{water}} = \dot{m}_a \cdot (Y_2 - Y_1) = 35 \text{ kg/h}$

$J_1 = c_p T_1 + Y_1 (2501 + c_p^v T_1) = 1,005 \cdot 5 + 0,00431 (2501 + 1,86 \cdot 5) = 15,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{gas}}}$

$J_2 = 1,005 \cdot 25 + 0,00988 \cdot (2501 + 1,86 \cdot 25) = 50,29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{gas}}}$

$\dot{Q} = \dot{m}_a \cdot (J_2 - J_1) = 60,3 \text{ kW}$

↑  
espresa in  $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$



Es. 11.3 (10') 20%

- 1→2 Compressione adiabatica
- 2→3 Condensazione
- 3→4 Espansione
- A→1 Evaporazione

	h	T	P	s
1	393	0	0,3	1,725
2	435	65	1,68	1,725
3	288	60	1,68	1,28
4	283	0	0,3	1,32

°C MPa

$$e_c = 435 - 393 = 37 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{ev} = q_{11} = 393 \cdot 283 = 110 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{cond} = q_{23} = 288 \cdot 435 = -127 \text{ kJ/kg}$$

$$COP_p = \frac{|q_{11}|}{e_c} = 2,97$$

$$COP_{MC} = \frac{|q_{23}|}{e_c} = 3,97$$

$$\Delta s = s_1 - s_3 = 1,32 - 1,28 = 0,04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$l = T_A \cdot \Delta s = 10,92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

E1. m. A 15' / 20%

Moto assolutamente turbolento

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,71} \right)$$

$$\downarrow$$

$$= -2 \lg \left( \frac{0,0002}{\frac{0,140}{3,71}} \right)$$

$$\Rightarrow \lambda = 0,02144$$

$$\Delta h = \frac{\lambda}{D} \frac{U^2}{2g} \cdot L + 1,5 \frac{U^2}{2g}$$

$$\downarrow$$

$$= \frac{U^2}{2g} \cdot \left( \frac{\lambda}{D} \cdot L + 1,5 \right)$$

$$\downarrow$$

$$\approx 27 \text{ m}$$

$$\Rightarrow z_2 = z_1 - 27 \text{ m} = 126 \text{ m. s.l.m.}$$

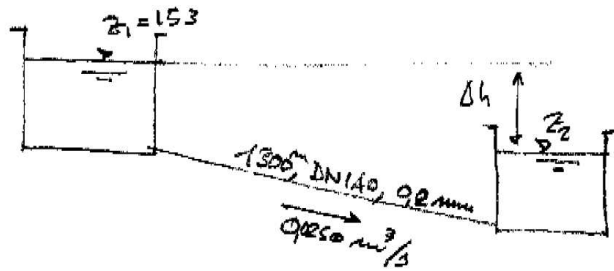
$$\bar{u} = u_{\frac{1}{2}} = 0,815 \text{ m/s}$$

$$\Delta h = \frac{\bar{u}^2}{2g} \cdot \left( \frac{\lambda}{D} \cdot L + 1,5 + \beta \right)$$

$$\beta = \frac{2g}{\bar{u}^2} \cdot \Delta h - \frac{\lambda}{D} \cdot L - 1,5$$

$$\downarrow$$

$$= 602$$



$$\text{ovvero } u = \frac{Q}{A} = \frac{0,250}{\frac{\pi \cdot 0,14^2}{4}} = 1,625 \text{ m/s}$$