

## Domande

1. Aria viene portata da uno stato 1 a pressione  $p_1 = 100$  kPa e temperatura  $T_1 = 27^\circ\text{C}$ , ad uno stato 2 a pressione  $p_2 = 500$  kPa e temperatura  $T_2 = 127^\circ\text{C}$ . Si determini la variazione di entalpia specifica  $h_2 - h_1$ , quella di entropia specifica  $s_2 - s_1$  e quella di densità  $\rho_2 - \rho_1$ , assumendo di poter trattare l'aria come un gas perfetto con calore specifico a pressione costante  $c_p = 1$  kJ/kg K, calore specifico a volume costante  $c_v = 0,7143$  kJ/kg K, e costante del gas  $R = 0,2857$  kJ/kg K.
  2. Con riferimento alle proprietà dell'aria umida si spieghi la differenza fra umidità relativa e umidità assoluta.
  3. Definire i rendimenti di primo principio e di secondo principio per una macchina termica, illustrandone il significato.
- 

## Problema 1

Nel processo di produzione di semilavorati di acciaio, un getto di fusione di massa  $m_a = 34$  kg e temperatura  $T_1^a = 462^\circ\text{C}$ , termina il trattamento termico con un raffreddamento in un bagno d'olio di massa  $m_o = 136$  kg e temperatura iniziale  $T_1^o = 21^\circ\text{C}$ . Nelle ipotesi che (a) il getto d'acciaio ed il bagno d'olio si comportino come sostanze incompressibili perfette, caratterizzate da calori specifici  $c_a = 0,500$  kJ/kg K per l'acciaio e  $c_o = 2,500$  kJ/kg K per l'olio; (b) siano trascurabili le dispersioni termiche del bagno d'olio verso l'ambiente esterno, determinare

1. la temperatura d'equilibrio a cui si porta il getto di acciaio;
  2. se il processo di raffreddamento è reversibile o meno e, eventualmente, la quantità di entropia prodotta per irreversibilità.
  3. qual è il massimo lavoro estraibile dal sistema composto dal getto d'acciaio e dal bagno d'olio mediante un processo meccanico che abbia lo stato 1 come stato iniziale?
- 

## Problema 2

Una centrale termoelettrica a vapore d'acqua è basata su un ciclo Rankine a vapore surriscaldato senza rigenerazione, caratterizzato dai seguenti dati:

- temperatura di condensazione,  $T_c = 40^\circ\text{C}$ ;
- pressione di evaporazione,  $p_e = 10$  MPa;
- temperatura di fine surriscaldamento,  $T_s = 500^\circ\text{C}$ ;
- pompa, azionata da un motore elettrico, con i seguenti rendimenti: idraulico  $\eta_p = 75\%$ , meccanico  $\eta_m = 97\%$ , elettrico  $\eta_{el} = 96\%$ ;
- turbina, che aziona un generatore elettrico, con i seguenti rendimenti: adiabatico di espansione  $\eta_t = 82\%$ , meccanico turbina  $\eta_m = 98\%$ , elettrico generatore  $\eta_{el} = 97\%$ ;

- portata di vapore d'acqua,  $\dot{m} = 200$  t/h; item generatore di vapore con rendimento,  $\eta_{gen} = 91\%$ .
1. Disegnare lo schema impiantistico, tracciare in via qualitativa il ciclo nei piani  $h-s$  e  $T-s$  e descrivere le diverse trasformazioni.

Calcolare le seguenti quantità:

2. pressione, temperatura, entalpia ed entropia specifica per tutti i punti del ciclo;
  3. potenza elettrica netta prodotta dalla centrale;
  4. potenza nominale del generatore di vapore;
  5. consumo di calore del generatore di vapore;
  6. potenza termica del condensatore;
  7. rendimento elettrico della centrale.
-

## Prima parte

### Problema 1.1

Una portata  $\dot{m} = 1,2$  kg/s di aria entra in un compressore a pressione  $p_1 = 100$  kPa e temperatura  $T_1 = 13^\circ\text{C}$  e ne esce a pressione  $p_2 = 500$  kPa e temperatura  $T_2 = 246^\circ\text{C}$ .

1. ( 3 punti) Si calcoli la potenza assorbita dal compressore.
2. ( 7 punti) Si consideri il caso ideale di un compressore che, operando reversibilmente, elabori la stessa portata d'aria  $\dot{m}$  fra lo stato d'ingresso  $(p_1, T_1)$  e la pressione di uscita  $p_2$ . Si calcolino la temperatura dell'aria all'uscita dal compressore ideale,  $T_{2s}$ , e la potenza da esso assorbita.
3. ( 5 punti) Si calcoli il rendimento adiabatico di compressione  $\eta_c$  del compressore.
4. ( 5 punti) Dopo aver illustrato la differenza fra portata massica e portata volumetrica, si calcoli la portata volumetrica all'ingresso del compressore.

Per semplicità si tratti l'aria come un gas perfetto biatomico con calore specifico a pressione costante  $c_p = 1$  kJ/kg K, costante del gas  $R = 0,2857$  kJ/kg K e rapporto fra i calori specifici uguale a 1,4.

---

## Prima parte

### 1.1 Domanda ( 5 punti)

Si scrivano le definizioni di umidità specifica e di umidità relativa. Si ricavi, a partire dalle due definizioni, la relazione che lega le due umidità.

### 1.2 Problema (10 punti)

Per il riscaldamento di un complesso di serre si utilizza acqua calda prodotta in un vicino impianto termoelettrico.

L'acqua di ritorno dalle serre a  $T_3 = 40^\circ\text{C}$ , viene portata a  $T_4 = 69^\circ\text{C}$  in uno scambiatore di calore nel cui lato primario scorre una portata  $\dot{m}' = 33 \text{ kg/s}$  di  $\text{H}_2\text{O}$ , spillata sotto forma di vapore ( $p_1 = 200 \text{ kPa}$  e  $T_1 = 175^\circ\text{C}$ ) dagli stadi finali della turbina dell'impianto.

Sapendo che la portata di acqua richiesta dalle serre è  $\dot{m}'' = 660 \text{ kg/s}$  e assumendo, per semplicità, trascurabili le variazioni di pressione delle due correnti fluide nello scambiatore, determinare:

1. il flusso termico scambiato tra le due correnti fluide;
2. entalpia ed entropia specifiche e temperatura del fluido all'uscita del circuito primario, specificando se lo stato di uscita è omogeneo o eterogeneo.
3. l'entropia prodotta per unità di tempo per irreversibilità,  $\dot{S}_{irr}$ , nello scambiatore.

Per semplicità si tratti l'acqua nel secondario come un liquido incomprimibile perfetto con calore specifico  $c = 4,186 \text{ kJ/kg K}$ .

### 1.3 Problema (10 punti)

Si considerino due sistemi A e B. A è un contenitore rigido e chiuso con volume interno  $V = 40 \text{ m}^3$ , contenente una massa  $m_A = 30 \text{ kg}$  di azoto. B è un blocco di acciaio di massa  $m_B = 20 \text{ kg}$ .

All'istante di tempo  $t_1$  entrambi i sistemi si trovano in uno stato di equilibrio stabile. Le temperature di A e B all'istante  $t_1$  sono, rispettivamente,  $T_1^A = 527^\circ\text{C}$  e  $T_1^B = 27^\circ\text{C}$ .

1. Determinare quanto vale la pressione del gas nel contenitore A all'istante  $t_1$ .
2. Si consideri un processo che comporti esclusivamente interazioni di tipo calore fra i due contenitori e che termini in uno stato di mutuo equilibrio stabile. Calcolare la temperatura finale dei due sistemi.
3. Si rappresenti sul diagramma energia-entropia lo stato all'istante  $t_1$  del sistema C composto dai due sistemi. Qual è il massimo lavoro estraibile dal sistema composto C mediante un processo meccanico che abbia lo stato 1 come stato iniziale?

Per semplicità si tratti l'azoto come un gas perfetto biatomico con calore specifico a pressione costante  $c_p = 1,039 \text{ kJ/kg K}$  e massa molecolare  $M = 28,01 \text{ kg/kmol}$ . Si ricorda che il valore della costante universale dei gas ideali è  $R = 8,314 \text{ J/kmol K}$ .

Si tratti l'acciaio come un solido incomprimibile perfetto con calore specifico  $c = 0,50 \text{ kJ/kg K}$ .

$p = 20 \text{ kPa}$								
$T$	$v$	$u$	$h$	$s$	$c_v$	$c_p$	$\kappa_T$	$\alpha_p$
$^\circ\text{C}$	$\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{10^{-6}}{\text{kPa}}$	$\frac{10^{-6}}{\text{K}}$
cong 0.01	0.0010002	0.0004	0.0204	0.00000	4.217	4.220	0.5089	-67.87
15	0.0010009	62.979	62.999	0.22446	4.175	4.189	0.4674	150.6
30	0.0010044	125.73	125.75	0.43675	4.118	4.180	0.4478	303.4
45	0.0010099	188.42	188.44	0.63861	4.050	4.180	0.4416	422.7
liq sat 60.06	0.0010172	251.40	251.42	0.83202	3.976	4.185	0.4451	523.8
"fg" →	7.6470	2204.6	2357.5	7.0752				
sat vap 60.06	7.6480	2456.0	2608.9	7.9072	1.479	1.965	50279	3096
70	7.8826	2470.7	2628.3	7.9646	1.462	1.942	50231	2987
80	8.1176	2485.3	2647.7	8.0202	1.455	1.931	50199	2890
90	8.3518	2499.9	2667.0	8.0741	1.451	1.925	50169	2801
100	8.5855	2514.5	2686.2	8.1263	1.450	1.922	50148	2719
125	9.1679	2550.9	2734.2	8.2509	1.453	1.921	50111	2537
150	9.7486	2587.4	2782.3	8.3680	1.460	1.927	50083	2380
175	10.328	2624.0	2830.6	8.4789	1.470	1.936	50062	2243
200	10.907	2661.0	2879.1	8.5843	1.482	1.947	50052	2122
250	12.064	2735.8	2977.1	8.7811	1.510	1.973	50035	1917
300	13.22	2812.1	3076.5	8.9625	1.539	2.002	50026	1748
350	14.375	2889.9	3177.4	9.1312	1.570	2.033	50017	1607
400	15.53	2969.2	3279.8	9.2893	1.603	2.065	50015	1487
500	17.838	3132.8	3489.6	9.5798	1.670	2.132	50008	1294
600	20.147	3303.3	3706.2	9.8431	1.739	2.201	50006	1146
700	22.455	3480.7	3929.8	10.086	1.810	2.272	50003	1028
800	24.763	3665.3	4160.6	10.311	1.881	2.343	50003	932.0
900	27.071	3856.9	4398.3	10.523	1.950	2.412	50001	852.5
1000	29.379	4055.2	4642.8	10.723	2.016	2.478	50001	785.5

$p = 50 \text{ kPa}$								
$T$	$v$	$u$	$h$	$s$	$c_v$	$c_p$	$\kappa_T$	$\alpha_p$
$^\circ\text{C}$	$\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{10^{-6}}{\text{kPa}}$	$\frac{10^{-6}}{\text{K}}$
cong 0.01	0.0010002	0.0009	0.0509	0.00000	4.217	4.220	0.5089	-67.79
15	0.0010009	62.978	63.028	0.22446	4.175	4.189	0.4674	150.7
30	0.0010044	125.73	125.78	0.43674	4.117	4.180	0.4477	303.4
45	0.0010099	188.42	188.47	0.63860	4.050	4.180	0.4416	422.7
60	0.0010171	251.15	251.21	0.83128	3.977	4.185	0.4450	523.2
70	0.0010228	293.03	293.08	0.95512	3.925	4.190	0.4518	584.1
liq sat 81.32	0.0010299	340.49	340.54	1.0912	3.866	4.198	0.4631	648.7
"fg" →	3.2390	2142.7	2304.7	6.5018				
sat vap 81.32	3.2400	2483.2	2645.2	7.5930	1.514	2.016	20203	2972
90	3.3233	2496.4	2662.6	7.6415	1.496	1.991	20178	2878
100	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.485	1.974	20154	2781
125	3.6551	2548.7	2731.5	7.8225	1.473	1.953	20111	2576
150	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.473	1.948	20084	2407
175	4.1233	2622.8	2828.9	8.0531	1.479	1.950	20065	2262
200	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	1.489	1.957	20051	2136
250	4.8206	2735.1	2976.1	8.3568	1.513	1.979	20035	1924
300	5.2840	2811.6	3075.8	8.5386	1.541	2.006	20024	1753
350	5.7469	2889.4	3176.8	8.7076	1.572	2.036	20017	1610
400	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	1.604	2.067	20013	1489
500	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	1.670	2.133	20007	1295
600	8.0576	3303.1	3706.0	9.4201	1.740	2.202	20005	1146
700	8.9812	3480.6	3929.7	9.6625	1.810	2.272	20003	1028
800	9.9047	3665.2	4160.4	9.8882	1.881	2.343	20002	932.3
900	10.828	3856.8	4398.2	10.100	1.950	2.412	20001	852.7
1000	11.751	4055.1	4642.7	10.300	2.016	2.478	20000	785.6

$p_{\text{atm}} = 101.325 \text{ kPa}$								
$T$	$v$	$u$	$h$	$s$	$c_v$	$c_p$	$\kappa_T$	$\alpha_p$
$^\circ\text{C}$	$\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{10^{-6}}{\text{kPa}}$	$\frac{10^{-6}}{\text{K}}$
cong 0.00	0.0010002	-0.0403	0.0610	-0.00015	4.217	4.219	0.5088	-67.76
2	0.0010001	8.3920	8.4933	0.03061	4.212	4.213	0.5015	-32.57
4	0.0010000	16.812	16.914	0.06110	4.208	4.208	0.4948	0.35
8	0.0010001	33.624	33.725	0.12133	4.197	4.199	0.4831	60.39
15	0.0010009	62.975	63.077	0.22445	4.174	4.189	0.4674	150.8
20	0.0010018	83.906	84.007	0.29646	4.157	4.184	0.4589	206.7
25	0.0010030	104.82	104.92	0.36720	4.138	4.181	0.4525	257.4
30	0.0010044	125.72	125.82	0.43673	4.117	4.180	0.4477	303.5
45	0.0010099	188.41	188.51	0.63857	4.050	4.180	0.4416	422.7
60	0.0010171	251.15	251.25	0.83125	3.977	4.185	0.4450	523.2
75	0.0010258	313.98	314.08	1.0157	3.899	4.193	0.4562	612.9
90	0.0010359	376.96	377.06	1.1928	3.820	4.205	0.4743	696.5
liq sat 99.97	0.0010434	418.95	419.06	1.3069	3.768	4.216	0.4901	750.4
"fg" →	1.6722	2087.1	2256.4	6.0475				
sat vap 99.97	1.6732	2506.0	2675.5	7.3544	1.556	2.080	10033	2902
110	1.7216	2521.7	2696.2	7.4091	1.531	2.044	10010	2790
125	1.7932	2544.9	2726.6	7.4869	1.511	2.012	9985	2648
150	1.9111	2582.9	2776.5	7.6085	1.497	1.986	9955	2454
175	2.0279	2620.5	2826.0	7.7222	1.495	1.976	9935	2295
200	2.1439	2658.2	2875.4	7.8294	1.499	1.976	9922	2159
250	2.3746	2733.9	2974.5	8.0284	1.519	1.990	9904	1938
300	2.6043	2810.6	3074.5	8.2110	1.545	2.013	9894	1761
350	2.8333	2888.7	3175.8	8.3805	1.574	2.040	9887	1616
400	3.0621	2968.3	3278.5	8.5391	1.605	2.070	9882	1493
500	3.5189	3132.2	3488.7	8.8301	1.671	2.135	9877	1297
600	3.9752	3302.8	3705.6	9.0937	1.740	2.203	9874	1148
700	4.4312	3480.4	3929.4	9.3363	1.811	2.273	9872	1029
800	4.8871	3665.0	4160.2	9.5621	1.881	2.344	9871	932.7
900	5.3429	3856.6	4398.0	9.7739	1.950	2.412	9870	853.0
1000	5.7986	4055.0	4642.6	9.9739	2.016	2.478	9870	785.8

$p = 200 \text{ kPa}$								
$T$	$v$	$u$	$h$	$s$	$c_v$	$c_p$	$\kappa_T$	$\alpha_p$
$^\circ\text{C}$	$\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{10^{-6}}{\text{kPa}}$	$\frac{10^{-6}}{\text{K}}$
cong -0.01	0.0010001	-0.0807	0.1193	-0.00030	4.217	4.219	0.5087	-67.56
15	0.0010009	62.971	63.171	0.22443	4.174	4.188	0.4672	151.3
30	0.0010043	125.71	125.91	0.43670	4.117	4.180	0.4476	303.3
45	0.0010098	188.40	188.60	0.63853	4.050	4.180	0.4414	422.5
60	0.0010170	251.13	251.33	0.83120	3.976	4.185	0.4448	523.2
75	0.0010258	313.96	314.16	1.0157	3.899	4.193	0.4561	612.9
90	0.0010359	376.93	377.14	1.1928	3.820	4.205	0.4742	696.5
105	0.0010474	440.12	440.33	1.3633	3.742	4.222	0.4991	777.2
liq sat 120.21	0.0010605	504.49	504.70	1.5302	3.665	4.244	0.5318	858.8
"fg" →	0.88462	2024.6	2201.5	5.5967				
sat vap 120.21	0.88568	2529.1	2706.2	7.1269	1.618	2.178	5135	2872
125	0.89781	2537.0	2716.6	7.1531	1.598	2.148	5125	2809
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	1.546	2.066	5090	2553
175	1.0206	2616.1	2820.2	7.3984	1.526	2.029	5068	2362
200	1.0805	2654.6	2870.7	7.5081	1.521	2.013	5054	2207
250	1.1989	2731.4	2971.2	7.7100	1.530	2.011	5035	1965
300	1.3162	2808.8	3072.1	7.8941	1.551	2.026	5024	1778
350	1.4330	2887.3	3173.9	8.0644	1.578	2.049	5018	1626
400	1.5493	2967.1	3277.0	8.2236	1.608	2.076	5013	1500
500	1.7814	3131.4	3487.7	8.5152	1.672	2.138	5008	1301
600	2.0130	3302.2	37					

## Prima parte

### 1.1 Domanda ( 5 punti)

Dopo aver spiegato cosa sia un processo, si chiariscano i concetti di processo meccanico e di processo reversibile.

### 1.2 Problema (10 punti)

Una corrente di aria umida (sia  $\dot{m}_{as} = 4$  kg/s la portata di aria secca) viene raffreddata, mediante uno scambiatore di calore, dallo stato 1 allo stato 2. Lo stato 1 è caratterizzato da umidità relativa  $\phi_1 = 85\%$  e da temperatura  $T_1 = 35^\circ\text{C}$ , mentre lo stato 2 è caratterizzato da temperatura  $T_2 = 10^\circ\text{C}$ . Determinare:

1. ( 8 punti) se vi è formazione di condensato ed eventualmente la portata;
2. ( 7 punti) la potenza termica scambiata tra corrente di aria umida e lo scambiatore di calore;
3. ( 5 punti) la temperatura di rugiada della corrente negli stati 1 e 2.

### 1.3 Problema (10 punti)

Una macchina termica ciclica X (cfr. figura) opera fra un sistema A e un serbatoio R a temperatura  $T_R = 15^\circ\text{C}$ .

Il sistema A è costituito da  $m = 0,5$  kg di  $\text{H}_2\text{O}$  inizialmente a temperatura  $T_1 = 500^\circ\text{C}$  e pressione  $p_1 = 200$  kPa, racchiusi in un recipiente rigido e chiuso. In un processo per il sistema composto da A, X ed R, il sistema A passa dallo stato iniziale  $A_1$  allo stato  $A_2$  di mutuo equilibrio con R.

1. Utilizzando le tabelle allegate, determinare le proprietà (volume specifico, energia interna specifica, entropia specifica) dell' $\text{H}_2\text{O}$  nello stato iniziale  $A_1$  e calcolare il volume del recipiente.
2. Specificare, motivando la risposta, se lo stato  $A_2$  dell' $\text{H}_2\text{O}$  è monofase o bifase e determinarne temperatura, pressione, volume specifico, energia interna specifica ed entropia specifica.
3. Determinare il lavoro massimo  $W_{\max}^{X \rightarrow}$  che in queste condizioni può essere prodotto da una macchina termica.

## Prima parte

### 1.1 Domanda ( 5 punti)

Si scrivano le definizioni di umidità specifica e di umidità relativa. Si ricavi, a partire dalle due definizioni, la relazione che lega le due umidità.

### 1.2 Problema (10 punti)

Per il riscaldamento di un complesso di serre si utilizza acqua calda prodotta in un vicino impianto termoelettrico.

L'acqua di ritorno dalle serre a  $T_3 = 40^\circ\text{C}$ , viene portata a  $T_4 = 69^\circ\text{C}$  in uno scambiatore di calore nel cui lato primario scorre una portata  $\dot{m}' = 33 \text{ kg/s}$  di  $\text{H}_2\text{O}$ , spillata sotto forma di vapore ( $p_1 = 200 \text{ kPa}$  e  $T_1 = 175^\circ\text{C}$ ) dagli stadi finali della turbina dell'impianto.

Sapendo che la portata di acqua richiesta dalle serre è  $\dot{m}'' = 660 \text{ kg/s}$  e assumendo, per semplicità, trascurabili le variazioni di pressione delle due correnti fluide nello scambiatore, determinare:

1. il flusso termico scambiato tra le due correnti fluide;
2. entalpia ed entropia specifiche e temperatura del fluido all'uscita del circuito primario, specificando se lo stato di uscita è omogeneo o eterogeneo.
3. l'entropia prodotta per unità di tempo per irreversibilità,  $\dot{S}_{irr}$ , nello scambiatore.

Per semplicità si tratti l'acqua nel secondario come un liquido incomprimibile perfetto con calore specifico  $c = 4,186 \text{ kJ/kg K}$ .

### 1.3 Problema (10 punti)

Si considerino due sistemi A e B. A è un contenitore rigido e chiuso con volume interno  $V = 40 \text{ m}^3$ , contenente una massa  $m_A = 30 \text{ kg}$  di azoto. B è un blocco di acciaio di massa  $m_B = 20 \text{ kg}$ .

All'istante di tempo  $t_1$  entrambi i sistemi si trovano in uno stato di equilibrio stabile. Le temperature di A e B all'istante  $t_1$  sono, rispettivamente,  $T_1^A = 527^\circ\text{C}$  e  $T_1^B = 27^\circ\text{C}$ .

1. Determinare quanto vale la pressione del gas nel contenitore A all'istante  $t_1$ .
2. Si consideri un processo che comporti esclusivamente interazioni di tipo calore fra i due contenitori e che termini in uno stato di mutuo equilibrio stabile. Calcolare la temperatura finale dei due sistemi.
3. Si rappresenti sul diagramma energia-entropia lo stato all'istante  $t_1$  del sistema C composto dai due sistemi. Qual è il massimo lavoro estraibile dal sistema composto C mediante un processo meccanico che abbia lo stato 1 come stato iniziale?

Per semplicità si tratti l'azoto come un gas perfetto biatomico con calore specifico a pressione costante  $c_p = 1,039 \text{ kJ/kg K}$  e massa molecolare  $M = 28,01 \text{ kg/kmol}$ . Si ricorda che il valore della costante universale dei gas ideali è  $R = 8,314 \text{ J/kmol K}$ .

Si tratti l'acciaio come un solido incomprimibile perfetto con calore specifico  $c = 0,50 \text{ kJ/kg K}$ .

## Prima parte

### 1.1 Domanda

Definire cosa sono il coefficiente di prestazione (C.O.P.) e l'efficienza termodinamica di una macchina frigorifera, illustrandone il significato.

### 1.2 Problema

Due correnti di aria umida vengono mescolate adiabaticamente.

La prima corrente è caratterizzata da portata di aria secca  $\dot{m}_{a1} = 3$  kg/s, da umidità relativa  $\phi_1 = 30\%$  e da temperatura  $T_1 = 35^\circ\text{C}$ , mentre le corrispondenti quantità per la seconda corrente sono  $\dot{m}_{a2} = 1$  kg/s,  $\phi_2 = 60\%$  e  $T_2 = 20^\circ\text{C}$ .

Sapendo che le due correnti in ingresso e quella risultante in uscita sono a pressione atmosferica si calcolino le seguenti quantità:

1. umidità specifica delle tre correnti;
2. temperatura  $T_3$  e umidità relativa  $\phi_3$  della corrente risultante;
3. la temperatura di rugiada  $T_{r3}$  della corrente risultante.

### 1.3 Problema

Due bottiglie d'acqua  $A$  e  $B$  ( $m_A = 1$  kg,  $m_B = 2$  kg) si trovano inizialmente a temperatura  $T_1^A = 80^\circ\text{C}$  e  $T_1^B = 20^\circ\text{C}$ .

1. Determinare a quale temperatura si portano le due bottiglie se vengono lasciate interagire tra loro. Specificate se il processo è reversibile o meno e, eventualmente, la quantità di entropia prodotta per irreversibilità.
2. qual è il massimo lavoro estraibile dal sistema composto dalle due bottiglie mediante un processo meccanico che abbia lo stato 1 come stato iniziale?

Si assuma di poter trattare l'acqua come una sostanza incompressibile perfetta, caratterizzata da calore specifico  $c = 4,2$  kJ/kg K.

---