

Esercizio TD 1

Due blocchi di acciaio A e B di masse m_A e m_B e temperature iniziali T_1^A e T_1^B (con $T_1^A > T_1^B$) vengono messi a contatto.

Nell'ipotesi che i due blocchi non interagiscano con altri sistemi, si determini l'entropia generata per irreversibilità in un processo che inizi nello stato 1 e termini in uno stato di mutuo equilibrio stabile fra A e B (stato 2).

Nei calcoli si assumano i seguenti valori: $m_A = m_B = 10$ kg, $T_1^A = 450$ °C e $T_1^B = 20$ °C, calore specifico dell'acciaio $c = 545$ J/kg K.

Esercizio TD 2

L'esercizio precedente può essere visto come un caso particolare del seguente problema.

Due blocchi di acciaio A e B di masse m_A e m_B ($m_A = m_B$) e temperature iniziali T_1^A e T_1^B (con $T_1^A > T_1^B$) possono interagire attraverso una macchina ciclica.

Limitando l'analisi ai processi nei quali la macchina produce lavoro che inizino con i due blocchi nello stato 1 e terminino in uno stato di mutuo equilibrio stabile fra A e B , si trovi:

1. la relazione tra il lavoro prodotto dalla macchina e l'entropia generata per irreversibilità nel sistema composto dai due blocchi e dalla macchina;
2. il minimo e il massimo valore della temperatura finale dei due blocchi;
3. il minimo e il massimo lavoro prodotto dalla macchina.

In aggiunta, si determini:

4. il valore della disponibilità adiabatica di A e B negli stati A_1 e B_1 ;
5. la disponibilità adiabatica Ψ_{11}^{AB} del sistema composto AB nello stato 11;
6. l'energia disponibile $(\Omega_{11}^R)^{AB}$ del sistema composto AB nello stato 11, rispetto ad un serbatoio R a temperatura $T_1^R = 7$ °C.

Anche in questo esercizio, si assuma: $m_A = m_B = 10$ kg, $T_1^A = 450$ °C e $T_1^B = 20$ °C, calore specifico dell'acciaio $c = 545$ J/kg K.

Esercizio TD 3

Si considerino i tre serbatoi R_1 , R_2 e R_3 le cui temperature siano, rispettivamente, $T_1 = 300$ K, $T_2 =$ incognita e $T_3 = 400$ K.

Una pompa di calore X_3 (ciclica) opera fra i serbatoi R_2 e R_3 prelevando la quantità Q_2 di energia dal serbatoio R_2 . Il lavoro necessario è fornito dalla macchina motrice X_1 (ciclica) che opera fra i serbatoi R_2 e R_1 prelevando una quantità di energia, anch'essa pari a Q_2 , dal serbatoio R_2 .

1. Se la pompa di calore e la macchina motrice operano entrambe reversibilmente, quale deve essere la temperatura T_2 del serbatoio R_2 ?
2. Si consideri il caso in cui, operando le due macchine irreversibilmente, la macchina motrice produca solo la metà del lavoro che produrrebbe se operasse reversibilmente e la pompa di calore assorba il doppio del lavoro che assorbirebbe se operasse reversibilmente. Quale deve essere, in tal caso, la temperatura del serbatoio R_2 ?
3. * * * *DIFFICILE* * * * Per una macchina a ciclo inverso che opera fra le temperature T_A e T_B ($T_A > T_B$), si stabilisca la relazione che lega l'efficienza termodinamica della macchina considerata come un frigorifero (ε_F) e l'efficienza termodinamica della macchina considerata come una pompa di calore (ε_{PC}). Nella relazione le temperature T_A e T_B devono apparire come parametri.

Dopo aver trovato la suddetta relazione, si dimostri che l'efficienza termodinamica della pompa di calore di cui al precedente punto 2. è pari al 52,5%.

Nota: la macchina motrice e la pompa di calore prelevano la stessa quantità di energia Q_2 dal serbatoio R_2 .

Esercizio TD 4

In un'industria alimentare è necessario mantenere a temperatura costante due aree di lavorazione. L'area A a temperatura $T_A = -8^\circ\text{C}$ e l'area B a temperatura $T_B = 12^\circ\text{C}$. La climatizzazione delle due aree è realizzata utilizzando un impianto di condizionamento e riscaldamento elettrico che interagisce anche con l'ambiente a temperatura $T_0 = 5^\circ\text{C}$. Se, in condizioni stazionarie, il carico termico di A è pari a 175 kW e quello di B a 210 kW, si calcoli:

1. la minima potenza elettrica che è necessario fornire all'impianto di climatizzazione;
 2. la potenza scambiata tra l'impianto di climatizzazione e l'ambiente in condizioni di funzionamento ottimale;
 3. la potenza richiesta da un impianto ottimale che necessiti di una differenza di temperatura di 15 K per scambiare energia con A e B .
 4. Nel caso di cui al punto precedente, quanta entropia viene prodotta per irreversibilità nell'unità di tempo?
-

Esercizio TD 5

Un sistema costituito da sola H_2O si trova in uno stato di equilibrio stabile bifase. Il volume occupato dal sistema è $V = 50 \text{ dm}^3$, la temperatura è $T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ e la massa della sola fase liquida è $m_f = 2.6 \text{ kg}$.

Utilizzando le tabelle per le proprietà dell' H_2O alla saturazione, si calcoli la massa del sistema, il titolo del vapore ed i volumi occupati dalle due fasi.

Sapendo che l' H_2O è contenuta in un recipiente chiuso e indeformabile, se ne determinino la disponibilità adiabatica Ψ e l'energia disponibile Ω^R rispetto ad un serbatoio a temperatura $T_R = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Esercizio TD 6

Una massa di H_2O è racchiusa in un recipiente chiuso e indeformabile di volume interno $V = 100 \text{ dm}^3$.

In un processo in cui il sistema passa dallo stato di equilibrio stabile bifase 1 allo stato di equilibrio stabile 2, l'unica interazione con l'ambiente è di tipo calore.

Sapendo che nello stato 1 i volumi occupati dalle due fasi sono $V_f 1 = 9.6 \text{ dm}^3$ e $V_g 1 = 90.4 \text{ dm}^3$ e la pressione del sistema vale $p_1 = 1 \text{ atm}$, mentre nello stato 2 $p_2 = 50 \text{ bar}$, si determini il calore scambiato dal sistema.

Esercizio TD 7

Una massa di H_2O è racchiusa in un cilindro chiuso da un pistone di massa trascurabile, libero di scorrere senza attrito. La pressione dell'ambiente è $p_{\text{amb}} = 1 \text{ atm}$.

Inizialmente alcuni fermi vincolano il pistone e l' H_2O è in uno stato di equilibrio stabile bifase caratterizzato da $p_1 = 10 \text{ bar}$, $V_1 = 0.7 \text{ dm}^3$ e $x_1 = 0.02$.

Rimossi i fermi, il pistone comincia a scorrere e lo stato del sistema ad evolvere fino a raggiungere un nuovo stato di equilibrio stabile che indicheremo con 2.

Nell'ipotesi che le pareti del pistone e del cilindro siano adiabatiche (ovvero che l' H_2O non possa scambiare energia per interazione calore), si individui lo stato 2.

Esercizio TD 8

La struttura di un capannone industriale di volume $V = 20000 \text{ m}^3$ deve essere costruita in grado di resistere ad una deflagrazione causata dallo scoppio di una bombola di gas di 50 kg di propano. Per stimare l'intensità dell'onda di pressione che investe la struttura, si assume che lo scoppio della bombola equivalga all'immissione pressoché istantanea di $2.3 \times 10^9 \text{ J}$ di energia nell'aria all'interno del capannone, inizialmente a pressione e temperatura ambiente ($p_1 = 1.013 \text{ bar}$ e $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$). Essendo l'immissione di energia così rapida, si supponga anche che l'aria e l'energia non abbiano il tempo di fluire all'esterno dell'edificio.

Nell'ipotesi che l'aria si comporti come un gas perfetto di massa molecolare $M_m = 29 \text{ kg/kmol}$, determinare

1. la temperatura e la pressione dell'aria appena dopo l'immissione di energia a volume costante;
 2. la quantità di entropia prodotta per irreversibilità nel processo, supponendo che l'immissione di energia non sia accompagnata da alcuna immissione di entropia.
-

Esercizio TD 9

Una massa di 4.2 kg di aria è racchiusa in un cilindro chiuso da un pistone di massa trascurabile, libero di scorrere senza attrito. Inizialmente l'aria è in uno stato di equilibrio stabile a pressione $p_1 = 5.5 \text{ bar}$ e temperatura $T_1 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Si consideri un processo in cui il sistema passa solo attraverso stati di equilibrio stabile e la pressione si mantiene costante. Durante il processo l'aria riceve una quantità di calore pari a 188 kJ e l'unico lavoro compiuto dall'ambiente sull'aria è di deformazione.

Si determini: T_2 , W^{\leftarrow} , $\Delta U = U_2 - U_1$, ΔS , ΔH .

Esercizio TD 10

Una corrente d'aria fluisce attraverso il sistema A con portata pari a $\dot{m}_1 = 5 \text{ kg/s}$. L'entropia specifica molare alle due aperture vale $s_1 = 890 \text{ J/kmol K}$ e $s_2 = 440 \text{ J/kmol K}$.

Nell'ipotesi che A operi stazionariamente, adiabaticamente ed irreversibilmente, si determini la direzione del flusso e l'entropia generata per irreversibilità nell'unità di tempo.

Esercizio TD 11

Una corrente di vapore fluisce attraverso il sistema A con portata pari a $\dot{m} = 1$ kg/s. Le condizioni del vapore nelle sezioni di ingresso e di uscita del sistema A sono, rispettivamente, $T_1 = 200^\circ\text{C}$, $x_1 = 1$ e $T_2 = 25^\circ\text{C}$, $p_2 = 1$ atm.

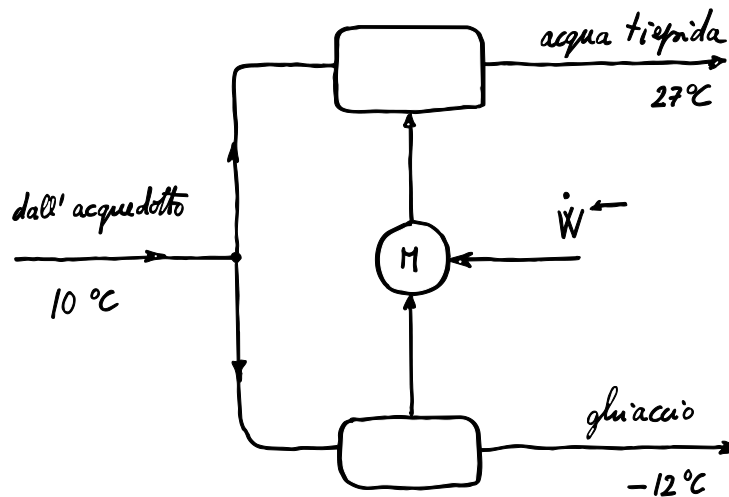
Si determini il massimo lavoro che può essere prodotto nell'unità di tempo da una macchina M che scambi energia con il sistema A e con l'ambiente. Si assuma che l'ambiente si possa considerare come un serbatoio a temperatura $T_R = 15^\circ\text{C}$ e che A e M operino stazionariamente.

Esercizio TD 12

La macchina schematizzata in figura deve produrre ghiaccio a -12°C e acqua tiepida a 27°C utilizzando l'acqua dell'acquedotto a 10°C . Tutti i flussi sono a pressione atmosferica.

Calcolare la minima quantità di lavoro necessaria per produrre 1000 kg di ghiaccio nell'ipotesi che la macchina operi a regime e siano trascurabili le interazioni con l'ambiente.

Il ghiaccio ha un calore specifico di 3.6 kJ/kg K, l'acqua di 4.2 kJ/kg K. Il calore di fusione acqua-ghiaccio a 0°C è pari a 333.7 kJ/kg.



Esercizio TD 13

Una corrente d'aria con portata $\dot{m}_1 = 10 \text{ kg/s}$ subisce un processo di laminazione isentropica in una valvola, passando da uno stato caratterizzato da $T_1 = 20^\circ\text{C}$ e $p_1 = 8 \text{ bar}$ ad uno stato con $p_2 = 2 \text{ bar}$. Successivamente l'aria viene raffreddata a pressione costante in uno scambiatore. La temperatura all'uscita dello scambiatore è $T_3 = -73^\circ\text{C}$.

Oltre che con la corrente d'aria, lo scambiatore interagisce anche con un serbatoio a temperatura $T_R = 100 \text{ K}$.

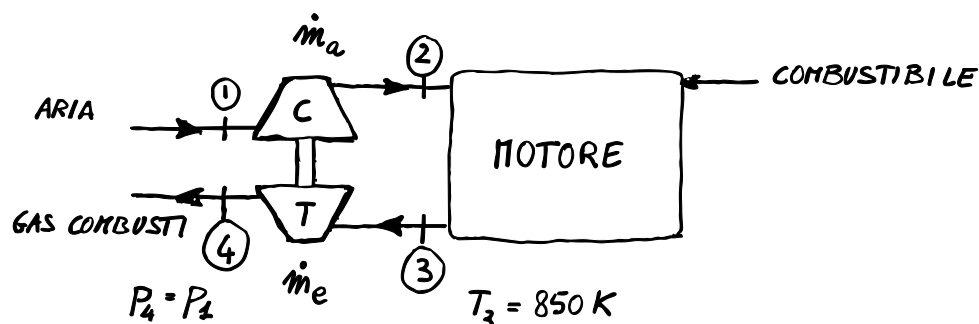
Nell'ipotesi che la valvola e lo scambiatore operino in condizioni stazionarie e che il comportamento dell'aria sia assimilabile a quello di un gas perfetto, si determini l'entropia prodotta per irreversibilità nei due componenti.

Esercizio TD 14

Il gruppo turbocompressore di un motore diesel può essere schematizzato come segue. L'aria necessaria alla combustione, aspirata a pressione e temperatura ambiente ($p_1 = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 300 \text{ K}$), viene portata a pressione $p_2 = 2 \text{ bar}$ per mezzo di un compressore. Il lavoro necessario al compressore viene fornito da una turbina nella quale vengono fatti espandere i gas combusti provenienti dal motore.

Nell'ipotesi che il motore sia a regime, che la portata dei gas di scarico attraverso la turbina sia maggiore del 4% della portata d'aria attraverso il compressore e che l'aria e i gas si comportino come gas perfetti, si determini la pressione del flusso di gas combusti all'ingresso della turbina.

La temperatura dei gas combusti all'ingresso della turbina è pari a 850 K e lo scarico della turbina è a pressione atmosferica. I rendimenti isoentropici del compressore e della turbina sono, rispettivamente, $\eta_c = 0.7$ e $\eta_t = 0.8$. Per l'aria si assuma come costante del gas $R_a = 0.287 \text{ kJ/kg K}$ e come rapporto dei calori specifici $\gamma_a = 1.4$, mentre per i gas combusti si prendano, rispettivamente, $R_e = 0.290 \text{ kJ/kg K}$ e $\gamma_e = 1.32$.



Esercizio TD 15

Si deve riscaldare una portata stazionaria $\dot{m} = 5 \text{ kg/s}$ di H_2O a pressione di 200 kPa da 50°C a 400°C .

1. Calcolare la minima potenza meccanica necessaria ad una macchina ideale che opera il riscaldamento della portata di H_2O e può interagire con l'ambiente a $T_R = 25^\circ\text{C}$.
2. Se il riscaldamento della portata di H_2O avviene in uno scambiatore di calore che riceve energia da una portata di gas ($c_p = 0.8 \text{ kJ/kg K}$) che entra a 550°C e esce a 90°C , calcolare la portata di gas \dot{m}_g necessaria.
3. * * * *DIFFICILE* * * * Determinare la minima differenza di temperatura (temperatura di *pinch point*) fra la corrente di H_2O e quella di gas all'interno dello scambiatore, supponendo che lo stesso sia in controcorrente.

Suggerimento: disegnate l'andamento della temperatura della corrente di H_2O e del flusso di gas in funzione di ϑ , dove con ϑ si indica il rapporto fra il flusso termico scambiato fino ad una certa sezione dello scambiatore e il flusso termico scambiato nell'intero scambiatore.

Esercizio TD 16

Si consideri un impianto ideale che realizzi un ciclo Rankine con surriscaldamento. Tutti i componenti dell'impianto operino reversibilmente.

La pressione e la temperatura dell' H_2O all'ingresso della turbina siano, rispettivamente, 800 kPa e 400°C , mentre la pressione all'ingresso del condensatore sia 20 kPa.

Si calcoli,

1. il lavoro specifico prodotto dalla turbina, w_t^{\rightarrow} ;
 2. il calore assorbito per unità di massa nell'ebollitore, q_{eb}^{\leftarrow} ;
 3. il rendimento termico dell'impianto.
-

Esercizio TD 17

Una centrale termoelettrica realizza un ciclo Rankine con doppio surriscaldamento con le seguenti caratteristiche: potenza prodotta $\dot{W}^{\rightarrow} = 10 \text{ MW}$; condizioni dell' H_2O all'ingresso in turbina (stadio di alta pressione) $p = 10 \text{ MPa}$ e $T = 520^\circ\text{C}$; condizioni dell' H_2O alla fine del secondo surriscaldamento $p = 1 \text{ MPa}$ e $T = 440^\circ\text{C}$; pressione al condensatore $p = 0.01 \text{ MPa}$.

Nell'ipotesi di condizioni stazionarie e di componenti che operino reversibilmente si calcoli,

1. la portata di H_2O ;
 2. il rendimento termico dell'impianto.
-

Esercizio TD 18

Si consideri un impianto che realizzi un ciclo Rankine con surriscaldamento.

La pressione e la temperatura dell' H_2O all'ingresso della turbina siano, rispettivamente, 5 MPa e 800°C , mentre la pressione all'ingresso del condensatore sia 0.02 MPa.

Sapendo che i rendimenti isoentropici della pompa e della turbina sono, rispettivamente, $\eta_p = 0.8$ e $\eta_t = 0.9$, si calcoli

1. il lavoro specifico richiesto dalla pompa, w_p^{\leftarrow} ;
 2. il lavoro specifico prodotto dalla turbina, w_t^{\rightarrow} ;
 3. il calore assorbito per unità di massa nell'ebollitore, q_{eb}^{\leftarrow} ;
 4. il rendimento termico dell'impianto.
-

Esercizio TD 19

In una centrale per la produzione di energia elettrica viene utilizzato un impianto a ciclo Joule-Brayton aperto che usa l'aria come fluido di lavoro.

L'aria viene aspirata dal compressore a pressione ambiente (100 kPa) e temperatura di 27°C . Il rapporto di compressione del ciclo è $r_p = 5$, mentre la temperatura all'ingresso in turbina è 727°C .

Si calcoli il rendimento termico e il lavoro netto prodotto per unità di massa del fluido di processo nei seguenti casi:

1. compressore e turbina ideali;
2. compressore e turbina reali, con rendimenti isoentropici rispettivamente uguali a 0.8 e 0.85;
3. compressore e turbina reali, con rendimenti isoentropici rispettivamente uguali a 0.8 e 0.85, e rigeneratore ideale per preriscaldare l'aria prima dell'ingresso nella camera di combustione.

Nella soluzione si tratti l'aria come un gas perfetto.

I piú volenterosi potrebbero provare a risolvere il problema trattando l'aria come un gas ideale.

Esercizio TD 20

Esercizio soppresso.

Esercizio TD 21

Un impianto frigorifero a ciclo Rankine inverso utilizza Freon 12 come fluido di lavoro.

L'impianto è caratterizzato da una temperatura di $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ all'evaporatore e di $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ al condensatore. Sapendo che il compressore ha un rendimento $\eta_c = 0.8$ e che l'effetto frigorifero dell'impianto è di 120 kW, si determini

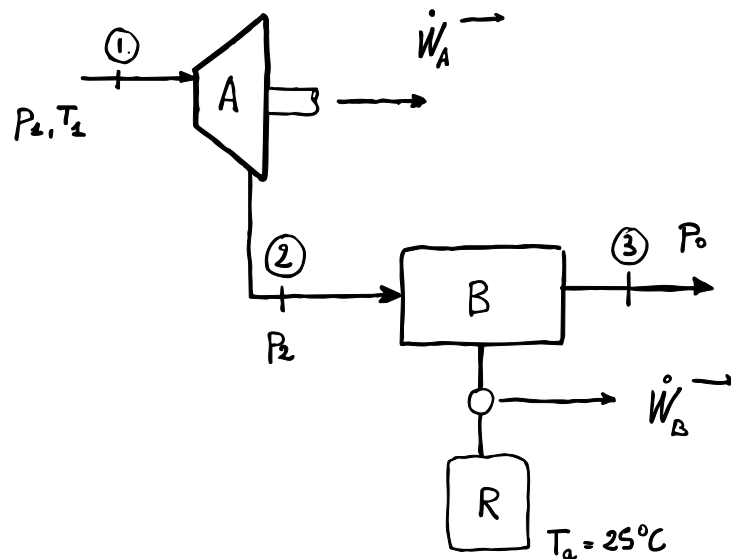
1. la portata di refrigerante;
 2. la potenza assorbita dal compressore;
 3. il C.O.P. dell'impianto.
-

Esercizio TD 22

Una portata $\dot{m} = 5 \text{ kg/s}$ di vapor d'acqua a pressione $p_1 = 5 \text{ MPa}$ e temperatura $T_1 = 500^\circ\text{C}$ fluisce in una turbina a vapore, A , stazionaria e adiabatica, che ha efficienza $\eta_t = 0.87$. Il flusso esce dalla turbina alla pressione $p_2 = 200 \text{ kPa}$.

Il flusso in uscita dalla turbina entra poi in un'unità di recupero, B , stazionaria che, interagendo con l'ambiente a $T_a = 25^\circ\text{C}$, produce ulteriore potenza meccanica. Dall'unità B il flusso esce a pressione atmosferica $p_0 = 1 \text{ atm}$.

1. (10 punti) Determinare la potenza meccanica \dot{W}_A prodotta dalla turbina e le condizioni termodinamiche del vapore di bassa pressione in uscita dalla turbina.
2. (5 punti) Determinare la massima potenza meccanica $\dot{W}_{B,\max}$ producibile dall'unità di recupero B .
3. (5 punti) Determinare la massima potenza meccanica $\dot{W}_{C,\max}$ producibile da una ipotetica unità C stazionaria che, sostituita alla turbina A , elabori gli stessi identici flussi in ingresso e in uscita alla turbina A , ma possa interagire anche con l'ambiente a $T_a = 25^\circ\text{C}$.



Esercizio TD 23

Indicando con p , T , T_r , ω e ϕ rispettivamente la pressione, la temperatura, la temperatura di rugiada, l'umidità specifica e l'umidità relativa di una massa di aria umida, si calcoli

1. ω e T_r quando $p = 1 \text{ atm}$, $T = 20 \text{ °C}$ e $\phi = 60\%$;
 2. ϕ e T_r quando $p = 1 \text{ atm}$, $T = 20 \text{ °C}$ e $\omega = 0.005$;
 3. ω e T_r quando $p = 1 \text{ atm}$, $T = 25 \text{ °C}$ e $\phi = 50\%$;
 4. ω e ϕ quando $p = 1 \text{ atm}$, $T = 30 \text{ °C}$ e $T_r = 20 \text{ °C}$.
-

Esercizio TD 24

Si calcolino la temperatura di saturazione adiabatica (o temperatura di bulbo umido) e la temperatura di saturazione isoentalpica di una massa di aria umida a pressione atmosferica, temperatura $T = 40 \text{ °C}$ e umidità $\phi = 40\%$.

Si determini l'umidità specifica di una massa di aria umida a pressione atmosferica, temperatura $T = 20 \text{ °C}$ e temperatura di bulbo umido $T_{bu} = 15 \text{ °C}$. Che valore si otterrebbe approssimando la temperatura di saturazione isoentalpica con la temperatura di bulbo umido?

Esercizio TD 25

Una corrente di aria umida viene riscaldata in uno scambiatore di calore. L'aria entra nello scambiatore a pressione atmosferica, temperatura $T_1 = 15 \text{ °C}$ e temperatura di bulbo umido $T_{bu,1} = 10 \text{ °C}$ e ne esce a temperatura $T_2 = 35 \text{ °C}$.

Assumendo di poter trascurare la differenza di pressione fra ingresso e uscita dello scambiatore e di poter approssimare la temperatura di saturazione isoentalpica con la temperatura di bulbo umido si determini

1. l'umidità specifica e l'umidità relativa all'ingresso dello scambiatore;
 2. la potenza termica ceduta alla corrente d'aria in condizioni stazionarie, per una portata di aria secca $\dot{m}_a = 0.1 \text{ kg/s}$.
-

Esercizio TD 26

Una portata $\dot{m}_L = 0.01$ kg/s di acqua a temperatura $T_L = 20^\circ\text{C}$ viene spruzzata, a pressione atmosferica, in una corrente d'aria umida caratterizzata da temperatura $T_1 = 20^\circ\text{C}$ e umidità $\phi_1 = 80\%$. La portata di aria secca è $\dot{m}_a = 1$ kg/s.

Assumendo di poter trascurare scambi termici con l'ambiente (miscelamento adiabatico), si indichi se lo stato di uscita dal miscelatore è omogeneo o eterogeneo e si calcoli la temperatura di uscita T_2 .

Esercizio TD 27

In un condizionatore d'aria stazionario fluisce aria umida a pressione atmosferica con portata di aria secca pari a 100 kg/h, temperatura $T_1 = 35^\circ\text{C}$ e umidità relativa $\phi_1 = 80\%$. Dal condizionatore esce una corrente di aria umida satura ($\phi_2 = 100\%$) alla temperatura $T_2 = 25^\circ\text{C}$. Il condensato, alla temperatura $T_w = 10^\circ\text{C}$, viene raccolto e scaricato mediante un tubicino. Determinare:

1. la portata \dot{m}_w di condensato scaricata dal tubicino;
 2. la potenza termica \dot{Q}^{\rightarrow} che il condizionatore sottrae alla corrente di aria umida per realizzare le condizioni specificate.
-

Esercizio TD 28

In un igrometro che opera in condizioni stazionarie a pressione atmosferica, entrano una corrente d'aria alla temperatura $T_1 = 30^\circ\text{C}$ e una piccola (ma non trascurabile) portata di acqua liquida, a $T_w = 30^\circ\text{C}$, che evapora e si scioglie nell'aria all'interno dell'igrometro. Esce una corrente di aria satura alla temperatura $T_2 = 20^\circ\text{C}$. Nell'ipotesi che la pressione sia atmosferica, determinare

1. l'umidità specifica ω_1 ;
 2. l'umidità relativa ϕ_1 ;
 3. la temperatura di rugiada T_{r1} dell'aria nelle condizioni di ingresso.
-