

I.

II. Bilanci di massa, primo principio e secondo principio

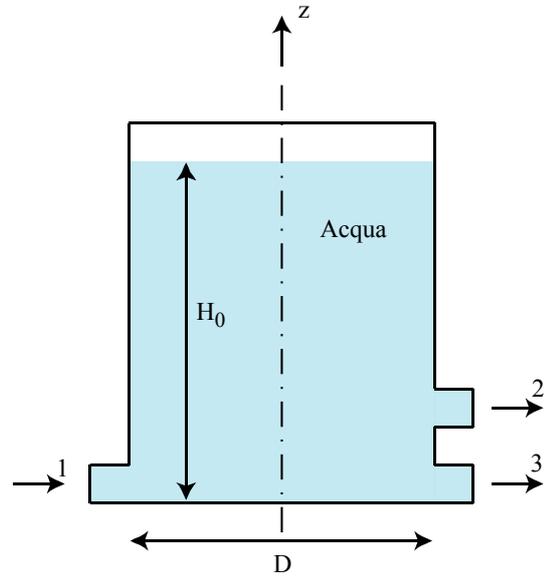
A. Bilancio di massa per sistemi aperti

Esercizio 1

Facendo riferimento al serbatoio schematizzato di fianco, sono note le seguenti grandezze:

- $D = 1,00 \text{ m}$ $H_0 = 3,00 \text{ m}$
- $d_1 = 0,050 \text{ m}$ $w_1 = 0,10 \text{ m/s}$
- $d_2 = 0,040 \text{ m}$ $w_2 = 0,20 \text{ m/s}$
- $d_3 = 0,060 \text{ m}$ $w_3 = 0,25 \text{ m/s}$

Valutare la variazione di massa contenuta nel serbatoio dopo 15,0 min considerando il fluido a comportamento incomprimibile. Determinare, inoltre, la legge di variazione dell'altezza di pelo libero in funzione del tempo.



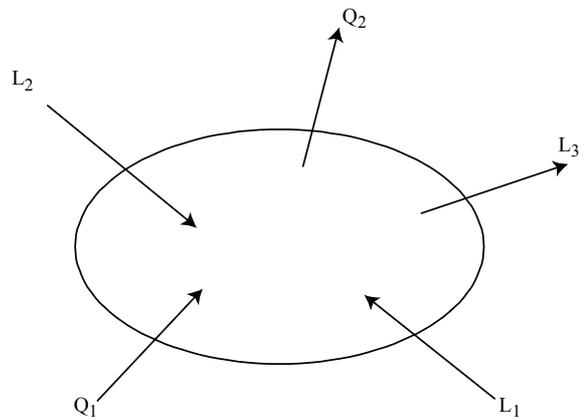
B. Bilanci di prima legge per sistemi chiusi

Esercizio 1

Facendo riferimento al sistema chiuso schematizzato a lato, si calcoli la variazione di energia interna specifica, sapendo che:

- $Q_1 = 8,10 \text{ kJ}$
- $Q_2 = 2,43 \times 10^2 \text{ J}$
- $L_1 = 10 \text{ J}$
- $L_2 = 6,24 \text{ kJ}$
- $L_3 = 421,718 \text{ J}$
- $m = 2,513 \text{ kg}$

[R: $\Delta u = -2,5 \times 10^2 \text{ kJ/kg}$]

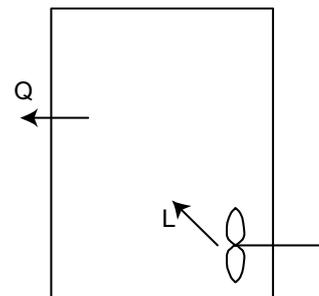


Esercizio 2

Un sistema chiuso, delimitato da pareti rigide, fisse e diatermane, riceve lavoro d'elica dall'ambiente esterno cedendo l'energia non accumulata sotto forma di calore. Si determini il valore finale dell'energia interna posseduta dal sistema, sapendo che

- $U_1 = 800 \text{ kJ}$; $Q = 500 \text{ kJ}$; $L = 100 \text{ kJ}$

[R: $U_2 = 400 \text{ kJ}$]



Esercizio 3

Una candela brucia in una stanza ben isolata termicamente. Considerando la stanza (aria più candela) come sistema, si determini: a) se vi è scambio termico durante la trasformazione di combustione; b) se vi è variazione di energia interna del sistema.

Esercizio 4

Un forno elettrico ben isolato termicamente è riscaldato attraverso una resistenza elettrica che assorbe 1,0 kW_e. Considerando l'intero forno, compreso il suo elemento scaldante, quale sistema, si stabilisca se vi è uno scambio di calore o di lavoro. Calcolare, infine, la variazione di energia interna del sistema dopo 5,0 minuti.

Esercizio 5

Uno scaldabagno domestico, ben isolato termicamente, è riscaldato attraverso un elemento scaldate elettrico di potenza pari a 1,20 kW. Si calcoli il tempo richiesto dall'elettrodomestico per portare 25 litri di acqua dalla temperatura di 25,0 °C alla temperatura di 45 °C. Si assuma che la variazione di energia interna specifica del sistema sia proporzionale alla variazione di temperatura, con costante di proporzionalità pari a $c = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

Esercizio 6

Di un'automobile si conoscono i seguenti dati, forniti dal costruttore:

- potenza massima: 70 kW (1,00 kW = 1,36 CV);
- consumo in percorso misto: 5,1 litri/100 km.

Ipotizzando che l'auto sia spinta da un motore diesel (potere calorifico inferiore del carburante $H_i = 10200 \text{ kcal/kg}$, densità del gasolio $\rho = 0,835 \text{ kg/litro}$) e che si muova ad una velocità media pari a 100 km/h, in corrispondenza della quale il motore eroga una potenza di 36 kW, si calcoli qual'è l'energia dispersa dal motore in un tratto di strada lungo 1000 m. Si ritenga che tutta l'energia fornita dal combustibile e non convertita in energia meccanica sia dispersa sotto forma di energia termica attraverso il circuito di raffreddamento del motore.

Esercizio 7

Un uomo AMERICANO di 90 kg ha pranzato con 2 hamburger (275 Calorie cadauno), una porzione di patatine fritte (250 Calorie) ed una bibita (87 Calorie). Si determini il tempo necessario a consumare l'energia immagazzinata dal pranzo a) guardando la TV (72 Calorie/h, per un adulto del peso di 68 kg) e b) giocando a basket (550 Calorie/h, per un adulto del peso di 68 kg).

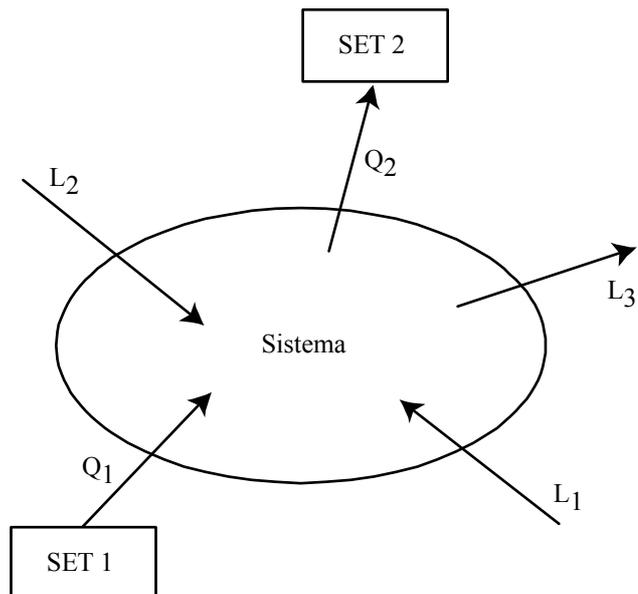
Quali sarebbero invece i tempi per un una persona del peso di 50 kg?

C. Bilanci di II legge per sistemi chiusi

Esercizio 1

Facendo riferimento al sistema schematizzato in figura, se ne calcoli la produzione entropica totale sapendo che:

- $m = 1,85 \text{ kg}$
- $L_1 = 100 \text{ kJ}$
- $L_2 = 65 \text{ kJ}$
- $L_3 = 140 \text{ kJ}$
- $Q_1 = 75,3 \text{ kJ}$
- $\Delta u = 18,5 \text{ kJ/kg}$
- $\Delta s = 4,25 \text{ kJ}/(\text{kg K})$
- $T_{\text{SET 1}} = 600 \text{ K}$
- $T_{\text{SET 2}} = 300 \text{ K}$



[R: $Q_2 = 66,1 \text{ kJ}$; $S_{\text{gen}} = 7,72 \text{ kJ/K}$]

Esercizio 2

Facendo riferimento alla superficie di controllo indicata nella figura di fianco, si calcoli la produzione entropica totale sapendo che:

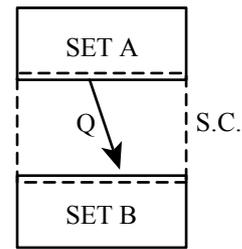
$$Q = 10,0 \text{ kJ}$$

$$T_A = 500 \text{ K}$$

$$T_B = 350 \text{ K}$$

Quale dovrebbe essere la temperatura del SET B affinché la produzione entropica totale tenda a zero?

$$[R: S_{gen} = 8,57 \text{ J/K}; T_B = T_A - dT]$$

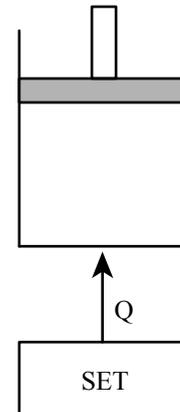
**Esercizio 3**

Un piccolo serbatoio contenente acqua e ghiaccio in equilibrio a 0°C è posto al centro di un grande serbatoio, ben isolato, riempito con $3,45 \text{ kg}$ di olio, il quale è a contatto con una resistenza elettrica, inizialmente spenta. L'intero sistema è in equilibrio termico a 0°C . Si accende quindi la resistenza elettrica nell'olio e si svolge un lavoro elettrico pari a 10 kJ sull'olio. Dopo un po' di tempo si nota che l'intero sistema è di nuovo a 0°C . Sapendo che il calore latente di fusione dell'acqua è pari a 335 J/g , calcolare la quantità di liquido formata. Supponendo che la temperatura superficiale della resistenza elettrica sia uniforme e pari a 200°C , calcolare la produzione entropica totale.

Esercizio 4

Il sistema pistone cilindro schematizzato di lato contiene $1,38 \text{ kg}$ di acqua in passaggio di fase. Il pistone, di massa trascurabile, è libero di muoversi e rimane in equilibrio con la pressione atmosferica esterna. A seguito di una somministrazione di energia termica $Q = 1235 \text{ kJ}$ mediante un SET alla temperatura di 180°C , l'acqua rimane ancora di passaggio di fase e si osservano una variazione di energia interna specifica ed entropia specifica pari, rispettivamente, a 835 kJ/kg ed $2,42 \text{ kJ/(kg K)}$. Calcolare il lavoro reale ed il lavoro ideale scambiati dal sistema. Calcolare infine la produzione entropica totale.

$$[R: L = 82,7 \text{ kJ}; L_{id} = 94,0 \text{ kJ}; S_{gen} = 0,615 \text{ kJ/K}]$$



III. Termodinamica degli stati

A. Calcolo proprietà dell'acqua mediante tabelle e diagramma di Mollier

Esercizio 1

Determinare lo stato termodinamico dell'acqua in corrispondenza dei seguenti valori di temperatura e pressione:

1. $t = 80,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $p = 0,474 \text{ bar}$;
2. $t = 80,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $p = 0,253 \text{ bar}$
3. $t = 80,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $p = 1,013 \text{ bar}$

[R: 1) Saturazione; 2) Vapore surriscaldato; 3) Liquido sottoraffreddato]

Esercizio 2

Calcolare l'entalpia specifica per l'acqua nelle seguenti condizioni:

1. $t = 130 \text{ }^\circ\text{C}$, $x = 0$
2. $t = 130 \text{ }^\circ\text{C}$, $x = 0,4$
3. $t = 130 \text{ }^\circ\text{C}$, $x = 1,0$

[R: 1) $h=546 \text{ kJ/kg}$; 2) $h=1,41 \times 10^3 \text{ kJ/kg}$ 3) $h=2,72 \times 10^3 \text{ kJ/kg}$]

Esercizio 3

Sapendo che una massa $m=10,0 \text{ kg}$ di acqua alla temperatura di $t=100 \text{ }^\circ\text{C}$ occupa un volume $V=5,00 \text{ m}^3$, calcolare la pressione p e l'entalpia specifica h .

[R: $p=1,01 \text{ bar}$; $h=1,09 \times 10^3 \text{ kJ/kg}$]

Esercizio 4

Si individui lo stato termodinamico e si calcolino la pressione p ed il volume specifico v dell'acqua in corrispondenza di una temperatura $t=102 \text{ }^\circ\text{C}$ ed una entalpia specifica $h=1648 \text{ kJ/kg}$.

[R: Stato termodinamico: Saturazione; $p=1,09 \text{ bar}$; $v=8,53 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{kg}$]

Esercizio 5

Si calcoli il volume V occupato da una massa $m=2,25 \text{ kg}$ di acqua che alla pressione $p=0,800 \text{ bar}$ presenta un valore di entropia specifica $s=3,42 \text{ kJ}/(\text{kg K})$.

[R: $V=1,66 \text{ m}^3$]

Esercizio 6

Dell'acqua alla pressione $p=1,23 \text{ bar}$ presenta un valore di entropia specifica $s=2,41 \text{ kJ}/(\text{kg K})$. Si calcolino:

1. stato termodinamico;
2. entalpia specifica h ;
3. energia interna specifica u .

[R: Stato termodinamico: Saturazione; $h=837 \text{ kJ/kg}$; $u=2,07 \times 10^3 \text{ kJ/kg}$]

Esercizio 7

Determinare lo stato termodinamico e calcolare entalpia specifica h , energia interna specifica u , entropia specifica s e volume specifico v per l'acqua nelle seguenti condizioni:

1. $p_1=0,50 \text{ bar}$, $t_1=120 \text{ }^\circ\text{C}$;
2. $p_2=20 \text{ bar}$, $t_2=140 \text{ }^\circ\text{C}$;
3. $p_3=60 \text{ bar}$, $t_3=280 \text{ }^\circ\text{C}$;

[R: 1) Vapore surriscaldato, $h_1=2721 \text{ kJ/kg}$, $u_1=2542 \text{ kJ/kg}$, $s_1=7,797 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; 2) Liquido sottoraffreddato, $h_2=590,3 \text{ kJ/kg}$, $u_2=588,1 \text{ kJ/kg}$, $s_2=1,736 \text{ kJ}/(\text{kg K})$; 3) Vapore surriscaldato, $h_3=2802 \text{ kJ/kg}$, $u_3=2604 \text{ kJ/kg}$, $s_3=5,921 \text{ kJ}/(\text{kg K})$]

Esercizio 8

Un sistema pistone cilindro contiene $0,67 \text{ kg}$ di vapore d'acqua saturo secco alla pressione di $1,2 \text{ bar}$. In seguito ad interazione termica con l'ambiente, l'acqua si porta in condizioni di liquido saturo. Considerando nulli gli attriti tra pistone e cilindro, calcolare pressione finale, temperatura finale, lavoro e calore scambiato lungo la trasformazione. Potendo schematizzare l'ambiente come un SET a $80 \text{ }^\circ\text{C}$, calcolare la produzione entropica totale.

[R: $p_2=1,2 \text{ bar}$; $t_2=104,81 \text{ }^\circ\text{C}$; $L=-115 \text{ kJ}$; $Q=-1503 \text{ kJ}$; $S_{gen}=0,28 \text{ kJ/K}$]

Esercizio 9

Dell'acqua si trova inizialmente in condizioni di saturazione alla temperatura di 100°C. A seguito di somministrazione di energia termica, la temperatura subisce un incremento di 25°C. Ipotizzando che la trasformazione seguita sia isobara, individuare lo stato finale e calcolare entalpia specifica, entropia specifica e volume specifico a fine trasformazione.

Esercizio 10

Un contenitore a pareti rigide, fisse ed adiabatiche contiene 0,15 kg di acqua alla pressione 3,00 bar e con titolo pari a 0,77. Per mezzo di un agitatore viene completata la vaporizzazione dell'acqua.

Si calcoli:

- la pressione e la temperatura dello stato finale;
- l'energia meccanica fornita;
- la variazione e la generazione di entropia.

Esercizio 11

Dell'acqua inizialmente a $p=1,0$ bar e $h=2150$ kJ/kg, segue una trasformazione isoterma registrando un valore finale di pressione 10 volte inferiore rispetto al valore iniziale. Tracciare la trasformazione sui piani h-s, T-s, p-v. Calcolare inoltre entalpia ed entropia specifiche nello stato finale.

Esercizio 12

Dell'acqua inizialmente in condizioni di temperatura e pressione critiche (374,3 °C e 221,1 bar) vuole essere portata alla pressione di 100 bar seguendo una trasformazione isoentalpica. Rappresentare la trasformazione sui piani h-s e p-h. Calcolare, inoltre, i valori della temperatura e dell'entropia specifica finali.

Esercizio 13

Dell'acqua inizialmente a $p=120$ bar ed $h=2687,2$ kJ/kg vuole essere portata isoentropicamente alla pressione di 10 bar. Tracciare la trasformazione sui piani h-s, T-s, p-h e calcolare le proprietà termodinamiche nello stato finale.

Esercizio 14

Dell'acqua inizialmente a $t=155$ °C ed $x=0,6$ raggiunge la condizione di vapore saturo secco seguendo una trasformazione isocora. Rappresentare la trasformazione sui piani h-s, T-s e p-v. Calcolare inoltre pressione e temperatura finali.

Esercizio 15

Un recipiente rigido della capienza di 1,50 litri è completamente pieno di acqua a pressione atmosferica ed alla temperatura di 15 °C. Il recipiente è provvisto di una valvola di sicurezza che si apre automaticamente quando la pressione al suo interno raggiunge un valore pari a 2,2 bar. Calcolare l'energia termica da fornire al sistema affinché si apra la valvola di sicurezza. Supponendo che l'interazione termica avvenga con una SET alla temperatura di 500 °C, calcolare la produzione entropica totale.

Esercizio 16

Una pentola a pressione può essere schematizzata come un sistema chiuso a pareti indeformabili contenente 1.0 kg di acqua a pressione atmosferica e titolo pari a 0.40. La pentola, che si trova su un fornello (schematizzabile come un SET a 1000 K), riceve energia termica fin quando, in corrispondenza di una pressione interna pari a 5.0 bar, la valvola di sicurezza si apre. Calcolare l'energia termica fornita fino all'istante precedente l'apertura della valvola, la produzione entropica totale e tracciare la trasformazione su un piano termodinamico a scelta.

B. Liquido incompressibile**Esercizio 1**

Un sacchetto di plastica, del volume iniziale di 1,0 dm³, contiene acqua inizialmente alla temperatura di 2,0 °C ed alla pressione atmosferica. Il sacchetto è posto in un vasto locale contenente aria alla temperatura costante di 25°C. Calcolare la variazione di energia interna e la produzione entropica allorquando l'acqua avrà raggiunto l'equilibrio con l'ambiente circostante.

[R: $\Delta U=96,6$ kJ; $S_{gen}=0,013$ kJ/K]

Esercizio 2

Un recipiente indeformabile contiene 1,00 kg di acqua alla temperatura $t_1=10,0$ °C e pressione $p_1=1,01$ bar. Successivamente viene fornita energia termica fino a portare l'acqua ad una temperatura $t_2=60,0$ °C. Calcolare la

variazione di energia interna totale ΔU , la variazione di entalpia totale ΔH e la variazione di entropia totale ΔS dell'acqua.

[R: $\Delta U = \Delta H = 210 \text{ kJ}$; $\Delta S = 0,680 \text{ kJ/K}$]

C. Gas Ideale

Esercizio 1

In un recipiente indeformabile è contenuto dell'ossigeno alla pressione $p_1 = 3,00 \text{ atm}$ ed alla temperatura $t_1 = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Si vuole portare la pressione a $p_2 = 4,00 \text{ atm}$ mediante innalzamento della temperatura. Calcolare la temperatura alla quale è necessario arrivare per ottenere l'incremento di pressione voluto.

Cosa cambierebbe se il serbatoio contenesse azoto?

[R: $t_2 = 118 \text{ }^\circ\text{C}$; Azoto: $t_2 = 118 \text{ }^\circ\text{C}$]

Esercizio 2

Un sistema pistone-cilindro contiene azoto alla temperatura $t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ed alla pressione $p_1 = 2,02 \text{ atm}$. Il volume iniziale V_1 del recipiente è pari a $82,3 \text{ cm}^3$. Sapendo che successivamente l'azoto viene portato alla temperatura $t_2 = 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e pressione $p_2 = 1,54 \text{ atm}$, calcolare:

- il volume finale V_2 ;
- la variazione di energia interna ΔU ;
- la variazione di entalpia specifica Δh .

Ritenere nulli gli attriti tra pistone e cilindro.

[R: $V_2 = 8,79 \times 10^{-5} \text{ m}^3$; $\Delta U = -7,73 \text{ kJ}$; $\Delta h = -72,8 \text{ kJ/kg}$]

Esercizio 3

Un recipiente indeformabile contiene dell'azoto alla temperatura $t_1 = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e pressione $p_1 = 1,00 \text{ atm}$. Successivamente la temperatura dell'azoto viene innalzata portandola ad un valore $t_2 = 80,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Si calcolino:

1. pressione finale p_2 ;
2. variazione di entalpia specifica Δh ;
3. variazione di energia interna specifica Δu ;
4. variazione di entropia specifica Δs .

[R: 1) $p_2 = 1,20 \text{ bar}$; 2) $\Delta h = 62,4 \text{ kJ/kg}$; 3) $\Delta u = 44,6 \text{ kJ/kg}$; 4) $\Delta s = 0,140 \text{ kJ/(kg K)}$]

Esercizio 4

Una massa di anidride carbonica $m = 2,00 \text{ kg}$ si trova inizialmente alla temperatura $T_1 = 320 \text{ K}$ e pressione $p_1 = 2,50 \text{ atm}$. Successivamente la temperatura viene innalzata fino a $T_2 = 450 \text{ K}$. Calcolare la variazione di entalpia specifica Δh , di energia interna specifica Δu e di entropia totale ΔS nei seguenti casi:

- trasformazione isocora;
- trasformazione isobara.

[R: Isocora: $\Delta h = 112 \text{ kJ/kg}$; $\Delta u = 87,9 \text{ kJ/kg}$; $\Delta S = 0,461 \text{ kJ/K}$; Isobara: $\Delta h = 112 \text{ kJ/kg}$; $\Delta u = 87,9 \text{ kJ/kg}$; $\Delta S = 0,590 \text{ kJ/K}$]

Esercizio 5

Un sistema pistone cilindro contiene $1,00 \text{ m}^3$ di aria alla temperatura $t_1 = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e pressione $p_1 = 1,00 \text{ atm}$. Il pistone, di diametro $D = 0,650 \text{ m}$, si muove senza attrito con il cilindro. Ritenendo che la temperatura rimanga costante, quanto deve essere la diminuzione ΔH_p dell'altezza del pistone affinché la pressione dell'aria aumenti fino a $p_2 = 4,50 \text{ atm}$? Si calcolino, inoltre, la variazione di entalpia specifica Δh , di energia interna specifica Δu e di entropia specifica Δs .

[R: $\Delta H_p = 1,00 \text{ m}$; $\Delta h = 0$; $\Delta u = 0$; $\Delta s = -0,430 \text{ kJ/(kg K)}$]

Esercizio 6

Un sistema isolato contiene $0,70 \text{ m}^3$ di ossigeno, alla pressione di $4,0 \text{ bar}$ ed alla temperatura di $120 \text{ }^\circ\text{C}$, e $0,50 \text{ m}^3$ di azoto, alla pressione di $1,0 \text{ bar}$ ed alla temperatura di $60 \text{ }^\circ\text{C}$, separati da un setto rigido ed adiabatico. Il setto viene successivamente reso diatermano e lasciato libero di muoversi senza attrito. Calcolare la temperatura di equilibrio, la pressione di equilibrio e la variazione di entropia del sistema composto isolato.

[R: $t_e = 110 \text{ }^\circ\text{C}$; $p_e = 2,76 \text{ bar}$; $S_{gen} = 0,12 \text{ kJ/K}$]

Esercizio 7

Dell'aria si trova inizialmente alla pressione di 48 bar , temperatura di 300 K e volume specifico pari a $0,125 \text{ m}^3/\text{kg}$. Successivamente il volume specifico viene portato ad un valore pari a $0,345 \text{ m}^3/\text{kg}$ seguendo una trasformazione adiabatica internamente reversibile. Si calcolino: a) pressione finale; b) temperatura finale; c) variazione di energia interna specifica; d) variazione di entalpia specifica.

[R: a) $p_2 = 11,6 \text{ bar}$; b) $T_2 = 199 \text{ K}$; c) $\Delta u = -70,3 \text{ kJ/kg}$; d) $\Delta h = -100 \text{ kJ/kg}$]

Esercizio 8

Dell'aria si trova inizialmente alla pressione di 48 bar, temperatura di 300 K e volume specifico pari a $0,125 \text{ m}^3/\text{kg}$. Successivamente il volume specifico viene portato ad un valore pari a $0,345 \text{ m}^3/\text{kg}$ seguendo una trasformazione politropica con esponente $n=1,3$ ed $n=1,5$. Si calcolino in entrambi i casi: a) pressione finale; b) temperatura finale; c) variazione di energia interna specifica; d) variazione di entalpia specifica.

[R: a) $p_2=12,8 \text{ bar}$ ($n=1,3$) e $p_2=10,0 \text{ bar}$ ($n=1,5$); b) $T_2=221 \text{ K}$ ($n=1,3$) e $T_2=186 \text{ K}$ ($n=1,3$); c) $\Delta u=-56,6 \text{ kJ/kg}$ ($n=1,3$) e $\Delta u=-81,7 \text{ kJ/kg}$ ($n=1,3$); d) $\Delta h=-79,8 \text{ kJ/kg}$ ($n=1,3$) e $\Delta h=-115 \text{ kJ/kg}$ ($n=1,3$)]

Esercizio 9 (Prova scritta 16 dicembre 2005)

Si vogliono analizzare in modo semplificato le fasi di compressione e combustione - espansione di un motore a scoppio monocilindrico con rapporto di compressione pari a 15 e cilindrata pari a 250 cm^3 . La temperatura e la pressione di inizio compressione sono pari a $30,0^\circ\text{C}$ e 1,0 bar. Per semplicità, si consideri che il fluido di lavoro sia costituito solo da aria, che sia applicabile il modello di gas ideale e che le trasformazioni siano internamente reversibili. La fase di compressione può essere ritenuta adiabatica, mentre la fase di combustione ed espansione può essere schematizzata mediante interazione con un SET a 1400 K e contemporanea espansione fino alla pressione iniziale.

Sapendo che la temperatura dell'aria a fine espansione è pari a 200°C e che il lavoro di espansione è pari a 96 J, calcolare l'energia termica sprigionata dal processo di combustione, e l'energia meccanica netta relativa all'intero processo. Calcolare infine la produzione entropica dell'intera trasformazione.

[R: $S_{gen} = 0,226 \text{ J/(kg K)}$; $L = 21,5 \text{ J}$]

Esercizio 10 (Prova scritta 30 marzo 2004)

Un recipiente chiuso a pareti rigide e fisse contiene 2,0kg di azoto (N_2) alla temperatura iniziale di 5°C ed alla pressione di 1.0 bar. A seguito di uno scambio termico con l'ambiente esterno, schematizzabile con un SET alla temperatura di 30°C , il sistema raggiunge una temperatura finale di 25°C . Ipotizzando valida l'ipotesi di comportamento di gas ideale per l'azoto, determinare la pressione finale, la quantità di energia termica scambiata e la produzione entropica totale. A parità di altre condizioni ed assumendo che l'energia termica scambiata e la produzione entropica totale siano pari ai valori calcolati per trasformazione isocora, calcolare la temperatura finale nel caso in cui il recipiente non sia a pareti rigide e fisse e la trasformazione sia isobara internamente reversibile.

[R: Trasformazione isocora: $T_2=308 \text{ K}$; $p_2=1,11 \text{ bar}$; $S_{gen} = 153 \text{ J/K}$. Trasformazione isobara int. Rev.: $T_2=299 \text{ K}$; $p_2=1,00 \text{ bar}$; $S_{gen} = 153 \text{ J/K}$]

IV. Sistemi Aperti

A. Condotti ed impianti idraulici

Esercizio 1

Una portata d'acqua attraversa una condotta orizzontale con moto unidimensionale e stazionario. La sezione di ingresso è uguale alla sezione di uscita. La temperatura e la pressione in ingresso sono pari, rispettivamente, a $t_1=15,0\text{ }^\circ\text{C}$ e $p_1=1,95\text{ bar}$; in uscita l'acqua si trova in condizioni di liquido saturo. Ritenendo trascurabili le perdite di carico nel condotto, calcolare la variazione di entalpia specifica Δh e la variazione di entropia specifica Δs tra le sezioni di ingresso e di uscita.

[R: $\Delta u=\Delta h=439\text{ kJ/kg}$; $\Delta s=1,30\text{ kJ/(kg K)}$]

Esercizio 2

Una portata massica $\dot{m}=0,050\text{ kg/s}$ fluisce all'interno di un condotto orizzontale a pressione costante. Le condizioni di ingresso sono: $t_1=30,0\text{ }^\circ\text{C}$ ed $h_1=2191\text{ kJ/kg}$. Alla portata d'acqua viene quindi sottratta un potenza termica $\dot{Q}=80,0\text{ kW}$ attraverso un SET alla temperatura $T_{SET}=288\text{ K}$. Si calcoli la temperatura di uscita t_2 e la produzione entropica totale \dot{S}_{gen} .

[R: $t_2=t_1=30,0\text{ }^\circ\text{C}$; $\dot{S}_{gen}=0,013\text{ kW/K}$]

Esercizio 3

Una portata massica $\dot{m}=0,060\text{ kg/s}$ di acqua fluisce in un condotto orizzontale, con variazione trascurabile di energia cinetica. Le condizioni di ingresso sono: $t_1=140\text{ }^\circ\text{C}$ ed $s_1=6,00\text{ kJ/(kg K)}$. Al flusso d'acqua viene fornita una potenza termica $\dot{Q}=72,0\text{ kW}$ a pressione costante. Si calcoli: 1) la temperatura di uscita; 2) la portata volumetrica in ingresso; 3) la portata volumetrica in uscita.

[$t_2=530\text{ }^\circ\text{C}$; $\dot{V}_1=2,51\times 10^{-2}\text{ m}^3/\text{s}$; $\dot{V}_2=6,14\times 10^{-2}\text{ m}^3/\text{s}$]

Esercizio 4

Una portata massica $\dot{m}=1,25\text{ kg/s}$ di acqua liquida attraversa una condotta rettilinea ed adiabatica, di diametro costante $D=3,80\text{ cm}$, lunghezza $L=150\text{ m}$. La temperatura di ingresso dell'acqua è $t_1=20,0\text{ }^\circ\text{C}$. La sezione di uscita si trova ad una quota inferiore di $6,00\text{ m}$ rispetto alla sezione di ingresso. Valutare la variazione di pressione tra le sezioni di ingresso e di uscita e la produzione entropica totale nei seguenti casi: 1) condotta liscia, senza attrito; 2) fattore di attrito $f=0,020$.

[R: 1) $\Delta p=0,58\text{ bar}$; $S_{gen}=0\text{ W/K}$; 2) $\Delta p=0,11\text{ bar}$; $S_{gen}=0,20\text{ W/K}$]

Esercizio 5

Un getto d'acqua è diretto verso l'alto mediante un ugello. Sapendo che:

- il diametro iniziale dell'ugello è pari a $0,50\text{ m}$;
- il diametro finale dell'ugello è pari a $0,25\text{ m}$;
- la velocità dell'acqua in ingresso è pari a $2,5\text{ m/s}$;

Calcolare l'altezza raggiunta dal getto e la pressione regnante nella sezione di ingresso dell'ugello.

[R: $\Delta H=5,10\text{ m}$; $p_1=1,48\text{ bar}$]

Esercizio 6

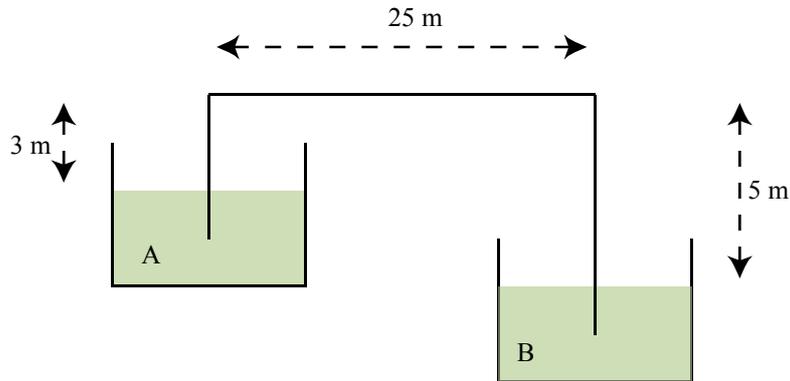
Un ugello di un impianto di lavaggio, posto al livello del suolo ($z=0$), emette un getto d'acqua verticale, avente portata volumetrica pari a $1,0\text{ l/s}$, che arriva all'altezza $z_2=4,00\text{ m}$ con velocità $w_2=2,5\text{ m/s}$. L'ugello è posto al termine di una tubazione avente diametro interno $D_0=3/8\text{ in}$, nella quale la pressione è mantenuta, mediante una pompa, al valore necessario.

Determinare quale deve essere il diametro D_1 di uscita dell'ugello e quale deve essere la pressione nel tubo all'ingresso dell'ugello. Trascurare le resistenze nel percorso del getto all'aria libera. Supporre un fattore di resistenza concentrata nel restringimento $K=0,20$.

[R: $D_1=24\text{ mm}$; $p_0=1,51\text{ bar}$]

Esercizio 7

Un impianto a sifone per il travaso di olio d'oliva dal serbatoio A al serbatoio B è rappresentato in figura. Una volta che il sifone è "innescato", cioè tutto il tubo è pieno d'olio, il liquido passa spontaneamente da A a B per effetto gravimetrico.



Si determini la portata che si stabilisce a regime nel sifone coi seguenti dati:

il liquido è olio con $t=20^{\circ}\text{C}$; viscosità $\mu = 8,3 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$; densità $\rho=920 \text{ kg/m}^3$;

la tubazione è a sezione circolare ($D=10\text{mm}$) e composto di tre tratti rettilinei con due gomiti a 90° ($K=0,3$).

Le resistenze di imbocco siano assunte pari a 0,5. Entrambi i serbatoi sono aperti all'atmosfera.

[R: 111 kg/h]

Esercizio 8

Nel caso del problema precedente si voglia operare un travaso dalla vasca B alla vasca A per mezzo di un'elettropompa inserita nella tubazione. Supponendo che il rendimento dell'elettropompa sia del 60% e che si voglia ottenere la stessa portata trovata nel problema precedente, si calcoli la potenza elettrica necessaria.

[R: 3,15 W]

Esercizio 9

Si vuole generare elettricità mediante una turbina Pelton per poter alimentare un'utenza di 100 kW . Sapendo che la condotta è circolare di diametro pari a 40 cm con indice di resistenza $f=0,05$, calcolare il salto geodetico necessario supponendo che:

- la condotta è inclinata di 45° ;
- il rendimento delle trasmissioni meccaniche e del generatore elettrico è pari, rispettivamente, a $0,95$ e $0,90$;
- il fattore di resistenza all'imbocco a monte della condotta è pari a $0,5$;
- la turbina trasforma tutta l'energia cinetica disponibile in energia meccanica.

[R: 19,9m]

B. Turbine e gas ed a vapore**Esercizio 1**

Una turbina a vapore elabora in regime stazionario un portata $\dot{m} = 4,60 \text{ t/h}$. La pressione e la temperatura in ingresso sono pari, rispettivamente, a $p_1=60,0 \text{ bar}$ e $t_1=600 \text{ }^\circ\text{C}$, mentre in uscita si hanno una pressione di $p_2=0,100 \text{ bar}$ ed un titolo $x_2=0,90$. Si calcolino la potenza erogata dalla turbina ed il rendimento isoentropico.

[R: $\dot{L} = 1,68 \text{ MW}$; $\eta_{is} = 0,95$]

Esercizio 2

In una turbina, in regime stazionario ed adiabatica, una portata $\dot{m} = 0,30 \text{ kg/s}$ di azoto (che si può considerare ideale con calori specifici costanti) espande in modo internamente reversibile da una pressione $p_1 = 10,0 \text{ bar}$ ed una temperatura $t_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ fino alla pressione $p_2 = 1,00 \text{ bar}$. Valutare la potenza meccanica disponibile all'asse della turbina. Ripetere i calcoli nel caso di rendimento isoentropico $\eta_{is} = 0,80$ e calcolare la produzione entropica totale \dot{S}_{gen} e la temperatura di uscita t_2 .

[R: $\dot{L}_{id} = 86 \text{ kW}$; $\dot{L}_{reale} = 69 \text{ kW}$; $\dot{S}_{gen} = 0,053 \text{ kW/K}$]

Esercizio 3

Una turbina a gas elabora aria. La temperatura e la pressione di ingresso sono, rispettivamente, $t_1=540 \text{ }^\circ\text{C}$ e $p_1=4,00 \text{ bar}$, mentre la pressione di uscita è $p_2=1,00 \text{ bar}$. Il rendimento isoentropico della turbina è pari a 0,870. Ritenendo per l'aria valido il modello di gas ideale a calori specifici costanti, calcolare il lavoro specifico l e la temperatura di uscita t_2 .

[R: $l=232 \text{ kJ}$; $t_2=310 \text{ }^\circ\text{C}$]

Esercizio 4 (Prova scritta 22/04/2004)

Una portata di $0,25 \text{ kg/s}$ di aria espande adiabaticamente in turbina dalla pressione di $5,0 \text{ bar}$ alla pressione atmosferica. Il rendimento isoentropico di espansione sia assunto pari a 0,85. Assumendo per l'aria valido il modello di gas ideale, calcolare la produzione entropica totale.

Esercizio 5 (Prova scritta 10/02/2005)

Una portata d'aria pari a $5,0 \text{ kg/s}$ a una temperatura di $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ espande in una turbina assiale ($\eta_{is} = 0,81$) da una pressione di $2,0 \text{ MPa}$ fino a pressione atmosferica. Calcolare la potenza meccanica della turbina e la temperatura di fine espansione. Valutare inoltre la produzione entropica della turbina. Ritenere valida l'ipotesi di gas ideale a calori specifici costanti.

Esercizio 6 (Prova scritta 12/12/2005)

Una turbina a gas ($\eta = 0,78$) viene utilizzata per fornire energia elettrica ad un quartiere di Roma. Calcolare la potenza prodotta sapendo che la portata d'aria è pari a $10,0 \text{ kg/s}$, la temperatura di ingresso in turbina è 1400 K , la pressione in ingresso è pari a 25 bar e che lo scarico avviene in atmosfera. Ritenere valida per l'aria l'ipotesi di gas ideale a calori specifici costanti.

C. Compressori**Esercizio 1**

Un turbocompressore elabora una portata d'aria di 1,25 kg/s. La temperatura e la pressione in ingresso sono pari, rispettivamente a 16 °C e 1,00 bar, mentre la pressione massima è pari a 4,00 bar. Il rendimento isoentropico di compressione è pari a 0,65. Si calcoli:

- la potenza di compressione;
- la temperatura dell'aria all'uscita del compressore;
- la produzione entropica totale.

Ritenere per l'aria valido il modello di gas ideale a calori specifici costanti.

[R: $\dot{L} = 278 \text{ kW}$; $T_2 = 509 \text{ K}$; $\dot{s}_{gen} = 0,217 \text{ kW / K}$]

Esercizio 2

Un compressore elabora una portata d'aria di 400 m³/h, misurata nelle condizioni di ingresso: pressione pari a 1,00 bar e temperatura pari a 14 °C. La pressione di uscita è pari a 5,00 bar.

Si calcoli la potenza meccanica richiesta nel caso di:

- compressione isoterma ideale;
- compressione adiabatica ideale.

[R: isoterma ideale: 18 kW; adiabatica ideale; 23 kW]

Esercizio 3

Un compressore adiabatico operante in regime stazionario elabora una portata d'aria di 20 m³/h, misurata nelle condizioni di ingresso: pressione pari ad 1,0 bar e temperatura pari a 290 K. La pressione e la temperatura di uscita sono pari, rispettivamente, a 7,0 bar e 560 K.

Ritenendo che per l'aria sia applicabile il modello di gas ideale a calori specifici costanti, calcolare la potenza meccanica richiesta, il rendimento isoentropico di compressione e la produzione entropica totale.

Quale sarebbe stata la potenza meccanica richiesta nel caso di compressione isoterma? Supponendo che nel caso di compressione isoterma la macchina interagisca con un SET alla temperatura di 0,0°C, calcolare la produzione entropica totale.

D. Scambiatori di calore**Esercizio 1**

Per raffreddare una portata di 0,063 kg/s di acqua dalla temperatura di 55 °C alla temperatura di 20 °C si utilizza uno scambiatore di calore a superficie operante a pressione atmosferica, attraverso il quale l'acqua cede la potenza termica richiesta ad una opportuna portata d'aria. Sapendo che il fluido freddo entra nello scambiatore alla temperatura di 5,0°C e subisce un ΔT di 10°C, calcolare la portata d'aria necessaria, la potenza termica scambiata e la produzione entropica totale. Ritenere trascurabili le perdite di carico nel componente.

Esercizio 2

Per vaporizzare completamente una portata d'acqua (condizione iniziale liquido saturo) si utilizza uno scambiatore di calore a superficie. Il lato "caldo" del componente è attraversato da una portata d'aria pari a 2,5 kg/s, che entra alla temperatura di 500 °C e subisce un salto termico di 100 °C. Supponendo che il componente operi a pressione atmosferica e che le perdite di carico al suo interno siano trascurabili, calcolare la portata d'acqua che si riesce a vaporizzare e la produzione entropica del solo lato aria.

Esercizio 3

Una portata di acqua pari a 1,0 kg/s alla temperatura di 25°C e pressione pari a 10 bar, viene miscelata con una portata di vapore surriscaldato alla temperatura di 235°C. Calcolare la portata di vapore necessaria affinché all'uscita del miscelatore si abbia titolo paria zero. Calcolare infine la produzione entropica totale.