

**POLITECNICO DI MILANO**  
**ESERCITAZIONI DI SISTEMI ENERGETICI PER INGEGNERIA FISICA**  
Allievi Fisici A.A. 2021/2022  
Prof. Andrea Giostri

### Ripasso Termodinamica

1. Una sfera di rame di diametro  $d=20$  cm, a temperatura  $T_{Cu}=95$  °C, viene posta in un recipiente rigido perfettamente adiabatico contenente una massa  $m_{H_2O}$  di acqua pari a 50 kg a temperatura  $T_{H_2O}=20$ °C. Il recipiente viene chiuso immediatamente dopo avere immerso la sfera di rame. Sapendo che  $\rho_{Cu}=8938$  kg/m<sup>3</sup> e  $c_{Cu}=389.37$  J/kgK, determinare la temperatura finale raggiunta e calcolare l'aumento di entropia associato alla trasformazione.

[Risultati:  $T_{finale}=24.89$  °C;  $\Delta S=378$  kJ/K]

2. Si immagini di avere un recipiente rigido di volume pari a 3 m<sup>3</sup>, al suo interno sia contenuta aria alla  $T$  di 25°C e pressione di 101325 Pa. La massa molare dell'aria è pari a 28.84 kg/kmol.

a) determinare la costante  $R^*$  dell'aria e la sua densità in condizioni ambiente.

b) si immagini di riscaldare l'aria a volume costante portandola fino a 500°C, quanto è il calore necessario? Quale sarà la pressione alla fine del riscaldamento?

[Risultati:  $\rho_{aria} = 1,18$  kg/m<sup>3</sup>;  $Q = 1212$  kJ;  $P = 262.7$  kPa]

3. Una massa di aria  $m = 0.01$  kg è contenuta a pressione atmosferica all'interno di un cilindro verticale adiabatico avente sezione trasversale  $S=0.01$  m<sup>2</sup> ed un metro di altezza. Utilizzando la costante dei gas calcolata nell'esercizio precedente, si calcoli il lavoro necessario per comprimere l'aria mediante una trasformazione adiabatica e reversibile fino a dimezzarne il volume, e la pressione alla fine della trasformazione. [Risultati: 809.35 J; 2.674 bar]

### **Esercizi aggiuntivi**

4. In un cilindro ad asse orizzontale, chiuso da uno stantuffo che scorre idealmente senza attrito, è racchiusa una massa di azoto ( $M=28.013$ ) pari a  $m_{N_2}=1$  kg. Il gas viene compresso, partendo dalle condizioni iniziali  $T_1=20$ °C e  $V_1=0,859$  m<sup>3</sup> fino  $V_2=0,2746$  m<sup>3</sup>. Determinare la temperatura del gas al termine della compressione e il lavoro scambiato con l'esterno, ritenendo sia il cilindro che lo stantuffo adiabatici. Si supponga poi di introdurre nel cilindro una massa di rame  $m_{Cu}=1$  kg, sotto forma di paglietta finissima. Supponendo rame ed azoto sempre in equilibrio termico e noto il calore specifico del rame  $c_{Cu}$ , pari a 385 J/kgK, determinare: il calore specifico della trasformazione subita dal gas, la temperatura finale, il volume specifico finale, e il lavoro scambiato con l'esterno. [risultato:  $T_{2,isoentropica}=462$  K;  $L=125.4$  kJ ;  $c_x=-385$  J/kgK;  $n=1.263$ ;  $T_{2,politropica}=395.82$ K;  $L=115.7$  kJ]

5. Una massa di aria pari a 1 kg viene portata dalle condizioni iniziali  $p_1=1$  bar,  $T_1=25$ °C alle condizioni finali  $p_2=5$  bar,  $T_2=25$  °C. Calcolare lavoro e calore scambiati e la variazione di energia interna ed entropia per ciascuna delle seguenti trasformazioni, supposte reversibili: a) compressione isocora + scambio di calore a pressione costante; b) compressione isoterma; c) compressione isoentropica seguita da scambio di calore a volume costante.

Risultati :     a.  $L=-Q=3431$  kJ      $DU=0$  kJ      $DS=-464$  J/K  
                  b.  $L=-Q=138$  kJ      $DU=0$  kJ      $DS=-464$  J/K  
                  c.  $L=-Q=194$  kJ      $DU=0$  kJ      $DS=-464$  J/K

## **Sistemi aperti**

**6.** Calcolare la variazione di pressione tra l'ingresso e l'uscita di un condotto divergente disposto orizzontalmente, avente diametro di ingresso  $D_1 = 1.2 \text{ m}$  e diametro di uscita  $D_2 = 2.4 \text{ m}$ , nel quale fluisce una portata di acqua pari a  $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ . L'asse del condotto si trova  $3 \text{ m}$  al di sotto del pelo libero del bacino in cui l'acqua è scaricata. Si effettui il calcolo nelle seguenti ipotesi:

a) flusso ideale all'interno del diffusore

b) perdita per attrito pari a  $0.6 \text{ J/kg}$

Determinare nei due casi la spinta orizzontale esercitata dal fluido sulle pareti del condotto.

*[Risultati: Caso ideale:  $\Delta p = 3997 \text{ Pa}$  ;  $F = -440.07 \text{ kN}$ . Caso b:  $\Delta p = 3394.9 \text{ Pa}$ ;  $F = -440.02 \text{ kN}$ ]*

**7.** Una portata di aria ( $M = 28.84 \text{ kg/kmol}$ ) pari a  $0.05 \text{ kg/s}$  attraversa un tubo di sezione pari a  $0.0156 \text{ m}^2$  raffreddandosi da  $75^\circ\text{C}$  a  $40^\circ\text{C}$ . La differenza di pressione misurata agli estremi dello stesso è pari a  $6.75 \text{ mbar}$ ; la pressione all'uscita del tubo è atmosferica. Determinare la risultante degli sforzi tangenziali agenti sulla superficie del tubo.

*[Risultati:  $T = 10.54 \text{ N}$ ]*

**8.** In un sistema aperto, un flusso di azoto ( $\text{N}_2$ ) avente portata pari a  $3 \text{ kg/s}$  è raffreddato da  $500^\circ\text{C}$  fino a  $300^\circ\text{C}$  cedendo calore ad un flusso di acqua di  $3 \text{ kg/s}$  a  $15^\circ\text{C}$ . Calcolare la potenza termica scambiata, la temperatura di uscita dell'acqua. Il calore specifico a pressione costante dell'azoto è approssimabile col seguente polinomio  $a + bT + cT^2$  [ $\text{kJ/kg K}$ ], con  $a$ ,  $b$  e  $c$  rispettivamente pari a  $0.6911$ ,  $0.0008$  e  $-2.463 \times 10^{-7}$ . Il calore specifico dell'acqua è pari a  $4.186$  [ $\text{kJ/kg K}$ ].

*[Risultati:  $P = 670.3 \text{ kW}$ ,  $T_{\text{acqua}} = 68.3^\circ\text{C}$ ]*

**9.** Un compressore ideale avente rapporto di compressione pari a  $3$ , elabora  $5000 \text{ m}^3/\text{h}$  di aria atmosferica ( $p = p_{\text{amb}}$ ; rapporto  $\gamma_{\text{aria}} = c_p/c_v = 1.39$ ) alla temperatura di  $20^\circ\text{C}$ . Calcolare la temperatura dell'aria all'uscita e la potenza della macchina.

*[Risultati:  $T_{\text{uscita}} = 125.8^\circ\text{C}$ ,  $P = 181.1 \text{ kW}$ ]*

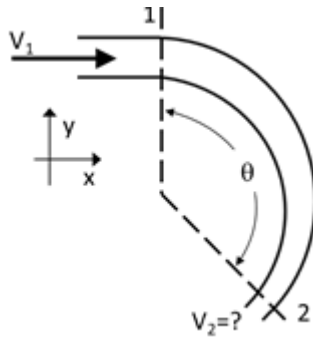
**10.** Una macchina idraulica (adiabatica) elabora una portata di acqua, a pressione atmosferica, senza variazione di quota tra l'ingresso e l'uscita della macchina. La pressione all'uscita è pari a  $3 \text{ bar}$ . La velocità all'ingresso della macchina è pari a  $8 \text{ m/s}$ , la velocità allo scarico della macchina è pari a  $10 \text{ m/s}$ , e la potenza meccanica scambiata con l'esterno è pari a  $350 \text{ kW}$ . A cavallo della macchina l'incremento di temperatura è  $0.01^\circ\text{C}$ . Si chiede di specificare se la macchina è motrice o operatrice, calcolare la portata massica di acqua elaborata, il rendimento idraulico e il diametro del condotto che adduce l'acqua alla macchina.

*[Risultati:  $m = 1353 \text{ kg/s}$ ,  $\eta_{\text{idr}} = 0.838$ ,  $D_{\text{in}} = 0.46 \text{ m}$ ]*

## **Esercizi aggiuntivi**

**11.** Una macchina a fluido comprimibile elabora una portata di aria ( $c_p = 1004 \text{ J/kg/K}$ ;  $R = 287 \text{ J/kg/K}$ ) a partire dalle condizioni  $T_1 = 25^\circ\text{C}$  e  $P_1 = 1.0 \text{ bar}$  valutate sulla flangia di ingresso. La velocità dell'aria rispettivamente all'ingresso e all'uscita della macchina è pari a  $100 \text{ m/s}$  e  $110 \text{ m/s}$ . La macchina può essere ritenuta in prima approssimazione adiabatica e ideale. La pressione di scarico è pari a  $5 \text{ bar}$ . Si calcoli la portata massica elaborata dalla macchina sapendo che la potenza meccanica scambiata dalla macchina con l'esterno è pari a  $1 \text{ MW}$  e si indichi se la macchina è motrice o operatrice. Si determini inoltre l'area delle sezioni di ingresso e di uscita della macchina.

*[Risultato: portata massica  $5.68 \text{ kg/s}$ ;  $S_1 = 0.0486 \text{ m}^2$ ;  $S_2 = 0.014 \text{ m}^2$ ]*



**12.** Una portata di acqua pari a  $0.424 \text{ m}^3/\text{s}$  di acqua attraversa la tubazione ad asse orizzontale riportata in figura. Il diametro della sezione di ingresso è  $300 \text{ mm}$  mentre il diametro della sezione di uscita è  $200 \text{ mm}$ . La pressione nella sezione di ingresso è pari a  $96.4 \text{ kPa}$ . Assumendo un flusso ideale, valutare la spinta orizzontale per un valore di  $\theta$  pari a  $135^\circ$  e il valore di  $\theta$  che massimizza la spinta orizzontale.

**Dati per la risoluzione dei quesiti**

Costante dei gas.  $R = 8.314 \text{ kJ/kmol/K}$

Pressione atmosferica =  $101325 \text{ Pa} = 1.01325 \text{ bar}$

Calore specifico dell'acqua =  $4.186 \text{ kJ/kg/K}$

Densità acqua =  $1000 \text{ kg/m}^3$