

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/m³ 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 m³, 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/m³; $Q = 1212$ 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 $S=0.01$ m² 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 $V_1=0,859$ m³ fino $V_2=0,2746$ m³. 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. $L=-Q=343$ 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 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 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 kg/s attraversa un tubo di sezione pari a 0.0156 m^2 raffreddandosi da 75°C a 40°C . La differenza di pressione misurata agli estremi dello stesso è pari a 6.75 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 (N_2) avente portata pari a 3 kg/s è raffreddato da 500°C fino a 300°C cedendo calore ad un flusso di acqua di 3 kg/s a 15°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 $a + bT + cT^2$ [kJ/kg K], con a , b e c rispettivamente pari a 0.6911 , 0.0008 e -2.463×10^{-7} . Il calore specifico dell'acqua è pari a 4.186 [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°C . Calcolare la temperatura dell'aria all'uscita e la potenza della macchina.

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

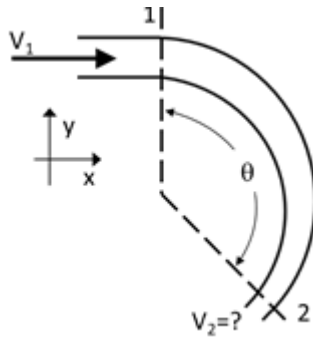
10. Una macchina idraulica (adiabatica) elabora una portata di acqua, a pressione atmosferica, senza variazione di quota tra l'ingresso e l'uscita della macchina. La pressione all'uscita è pari a 3 bar . La velocità all'ingresso della macchina è pari a 8 m/s , la velocità allo scarico della macchina è pari a 10 m/s , e la potenza meccanica scambiata con l'esterno è pari a 350 kW . A cavallo della macchina l'incremento di temperatura è 0.01°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 m/s e 110 m/s . La macchina può essere ritenuta in prima approssimazione adiabatica e ideale. La pressione di scarico è pari a 5 bar . Si calcoli la portata massica elaborata dalla macchina sapendo che la potenza meccanica scambiata dalla macchina con l'esterno è pari a 1 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 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 mm mentre il diametro della sezione di uscita è 200 mm . La pressione nella sezione di ingresso è pari a 96.4 kPa . Assumendo un flusso ideale, valutare la spinta orizzontale per un valore di θ pari a 135° e il valore di θ 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 kJ/kg/K

Densità acqua = 1000 kg/m^3