

Docente:

COGNOME

NOME

MATRICOLA

FIRMA

Esercizio 1

Un recipiente rigido, impermeabile e adiabatico è diviso in due parti da un setto anch'esso rigido, impermeabile e adiabatico. La parte di sinistra contiene ossigeno (O_2 , $V = 100$ l, $t = 100$ °C, $P = 3$ bar), mentre la parte di destra contiene azoto (N_2 , $V = 500$ l, $t = 40$ °C, $P = 1$ bar). Tolto il setto e raggiunto lo stato di equilibrio finale, si determini:

- i. la temperatura e la pressione totale dello stesso stato;
- ii. l'irreversibilità del processo.

Esercizio 2

Un compressore elabora una portata $M^\circ = 1.5$ kg/s di anidride carbonica (CO_2) fino alla pressione di 5 bar. Sapendo che all'ingresso il fluido si trova alla pressione di 1 bar e alla temperatura di 50 °C, si determini:

- i. la temperatura del fluido in uscita e la potenza del compressore nell'ipotesi di trasformazione isoentropica;
- ii. la temperatura del fluido in uscita e la potenza del compressore nell'ipotesi di rendimento isoentropico pari a 0.8.

Esercizio 3

Un filo di rame (diametro 4 mm, lunghezza 6 m, emissività 0.3) attraversato da corrente elettrica, genera per effetto Joule una potenza termica pari a 1 kW. Coassiale al filo è montato un tubo, anch'esso in rame, di diametro 250 mm e spessore trascurabile. Nell'intercapedine tra filo e tubo vi è uno spazio vuoto. Sapendo che il tubo è immerso in aria alla temperatura di 20 °C e che il coefficiente convettivo è di 5 W/m²K si determini, in condizioni stazionarie:

- i. il flusso termico areico in uscita dal tubo di rame;
- ii. la temperatura della tubazione;
- iii. la temperatura superficiale del filo.

Per tutti gli esercizi devono inoltre essere disegnati qualitativamente i profili di temperatura e gli andamenti delle trasformazioni in un opportuno piano termodinamico.

I risultati devono essere espressi in unità del Sistema Internazionale.

AVVERTENZE

- durata della prova: 1h 30';
- durante la prova non è consentito consultare testi, eserciziari, dispense, tabelle o qualsiasi altro tipo di materiale, né utilizzare telefoni cellulari, PC o altri strumenti di comunicazione a distanza;
- scrivere tutto ciò che si desidera venga corretto esclusivamente a penna, con inchiostro nero o blu;
- svolgere gli esercizi ordinatamente e commentando adeguatamente i passaggi effettuati: uno scritto confuso e senza un adeguato commento alle ipotesi ed alla procedura risolutiva comporta una penalizzazione sulla valutazione finale.
- dovranno essere consegnati, entrambi compilati con nome cognome matricola e firma, questo testo ed UN SOLO FOGLIO DI PROTOCOLLO, su cui dovrà essere riportata la "bella copia" della soluzione degli esercizi proposti. Non verranno ritirati fogli "di brutta" né un numero di fogli superiore a uno. I risultati finali degli esercizi devono essere riportati, completi di unità di misura, nelle celle predisposte su questo foglio.
- chi desiderasse ritirarsi dalla prova semplicemente non consegnare il proprio compito. Può in tale caso tenere il testo.

Soluzioni (nei risultati numerici tutti i valori sono in u.d.m. SI base)

Esercizio 1

Dato che tutti i contorni sono rigidi, la trasformazione avviene a V costante. Non ci sono scambi di lavoro né di calore, pertanto per il Primo Principio si conserva l'energia interna (o = ossigeno, n = azoto):

$$\Delta U_{\text{tot}} = \Delta U_o + \Delta U_n = [\text{nell'ipotesi di gas ideale}] = M_o c_{vo} (T_f - T_{oi}) + M_n c_{vn} (T_f - T_{ni}) = 0$$

Le T iniziali sono note, i cv si calcolano con le solite relazioni di gas perfetto ($c_v = 5/2 R^*$ in questo caso, essendo molecole biatomiche), pertanto l'unica incognita è T_f così ricavabile.

Noti T_f e V_f (ovviamente il volume totale del recipiente), si possono calcolare le pressioni parziali P_p dei due gas nello stato finale:

$$P_p V_{\text{tot}} = M_i R_i^* T_f$$

la cui somma dà la pressione totale. L'irreversibilità è infine calcolabile o come:

$$\Delta S = \Delta S_o + \Delta S_n = M_o [c_{po} \ln(T_f/T_{oi}) - R^* \ln(P_{pfo}/P_{oi})] + M_n [c_{pn} \ln(T_f/T_{ni}) - R^* \ln(P_{pfn}/P_{ni})]$$

utilizzando le pressioni parziali, dato che è in condizioni di miscela. Se si vogliono utilizzare i volumi, bisogna invece utilizzare il volume finale totale. Questa differenza si capisce bene ragionando sull'aspetto microscopico: ogni molecola di ciascun costituente ha a disposizione un "numero di posti" corrispondente all'intero volume, dato che sebbene ogni gas abbia a disposizione solo il suo volume parziale, quest'ultimo può concettualmente essere spostato in tutte le posizioni all'interno del volume totale.

Risultati numerici:

V_{oi}	0.1	R^*_o	259.8
T_{oi}	373.15	M_o	0.309
P_{oi}	300000	c_{vo}	649.5
		c_{po}	909.3
V_{ni}	0.5	R^*_n	296.9
T_{ni}	313.15	M_n	0.538
P_{ni}	100000	c_{vn}	742.3
		c_{pn}	1039.3
T_f	333.244		
P_{pfo}	44653	P_{tot}	133333
P_{pfn}	88681		
DS_o	121.318	D_{stot}	175.254
D_{sn}	53.936		

Esercizio 2

Nell'ipotesi di trasformazione adiabatica e in assenza di informazioni circa i contenuti potenziali e cinetici, si può assumere che questi ultimi siano trascurabili e quindi:

$$L^\circ = M^\circ \Delta h = M^\circ c_p (T_u - T_i)$$

L'anidride carbonica ha molecola triatomica ma lineare, pertanto il suo comportamento è da gas biatomico ($c_p = 7/2 R^*$).

La temperatura di uscita nel caso isoentropico può essere calcolata tramite l'equazione della trasformazione politropica adiabatica in coordinate (P,T):

$$T_{u\ is} = T_i (P_i/P_u)^{(1-\lambda)/\lambda}$$

da cui è immediato il calcolo della potenza scambiata nel caso isoentropico.

Tramite il rendimento isoentropico si determinano quindi potenza e temperatura di uscita reali:

$$\eta_{is} = \Delta h_{is} / \Delta h_r \Rightarrow L^{\circ} r = L^{\circ} is / \eta_{is}, \quad \eta_{is} = (T_{uis} - T_i)/(T_{ur} - T_i) \text{ da cui } T_{ur}.$$

Risultati numerici:

Ti	323.15	R*	189.0
Pi	100000	cp	661.3
Pu	500000		

$$T_{u\ is} = 511.8$$

$$l = 124769$$

$$M^{\circ} = 1.5 \quad \text{rend. is} = 0.8$$

$$L^{\circ} is = 187154$$

$$L^{\circ} r = 233943$$

$$T_{ur} = 559.0$$

Esercizio 3

Dato che si è in condizioni stazionarie, la potenza termica generata nel filo deve essere tutta smaltita: essa viene trasferita al tubo di rame per irraggiamento, e ceduta poi all'aria per convezione.

In questo caso non viene data un'informazione per unità di volume (U°) ma direttamente la potenza totale generata. Si può dunque scrivere (la scelta più naturale per l'asse è uscente dal filo di rame, e dato che il filo è piccolo rispetto al tubo si può utilizzare per l'irraggiamento la formula semplificata per corpi piccoli contenuti in grandi cavità):

$$Q^{\circ} = -\epsilon \sigma (T_t^4 - T_f^4) A_f = -h (T_a - T_t) A_t$$

in cui T_f è la temperatura del filo, T_t quella del tubo, T_a quella dell'aria, A_f è l'area laterale del filo, A_t quella del tubo.

Dalla seconda delle due uguaglianze si possono determinare T_t e Q° (attenzione che essendo in coordinate cilindriche il flusso non è uguale in tutte le sezioni di passaggio, la potenza si date le condizioni stazionarie, ma il flusso no), nota T_t ($T_t = T_a + Q^{\circ}/(h \cdot A_t)$) dalla prima si calcola T_f ($T_f = [T_t^4 + Q^{\circ}/(\epsilon \sigma A_f)]^{0.25}$).

Risultati numerici:

$$R_f = 0.002 \quad A_f = 0.0754$$

Rt	0.125	At	4.7124
L	6		
Q°	1000		
emissività	0.3		
Ta	293.15		
h	5		
Tt	335.59		
Qt ^{om}	212.21		
Tf	943.49		