FISICA TECNICA PER ING. MECCANICA – prof. Fabio Rinaldi – prova del 18 Luglio 2016

Cognome e Nome ______________________________ **Matricola** __________ **Firma**________________

Domande di teoria (valutazione secondo quanto indicato sul portale BEEP)

1. Dando per dimostrato che per un gas perfetto vale du = c_V dT, dimostrare che vale anche dh = c_P dT.
2. Scrivere le espressioni di dh e ds per un liquido ideale in funzione di dP e dT.
3. Mostrare (utilizzando le opportune espressioni differenziali) che a cavallo di una transizione di fase isotermobarica la variazione del potenziale di Gibbs è nulla.
4. La legge di Mayer generalizzata.
5. Disegnare (qualitativamente ma in maniera fisicamente accurata, anche nella regione del liquido) la curva limite liquido-vapore e alcune isobare tra le quali quella critica nel diagramma T-s.
6. Scrivere la relazione tra umidità assoluta ed umidità relativa per un'aria umida, indicando il significato dei termini che vi compaiono.
7. Rappresentare (qualitativamente ma in maniera fisicamente accurata) alcune curve del potere emissivo di corpo nero in funzione di temperatura e lunghezza d'onda ed il luogo dei punti identificato dalla legge di Wien.

Esercizio 1 *(fino a 12 punti)*
Una turbina opera espandendo in modo internamente irreversibile una portata pari a M° = 50 kg/s di un gas poliatomico avente massa molare MM = 35 kg/kmol, approssimabile a gas perfetto, dalle condizioni iniziali
Pi = 15 bar, Ti = 1350 °C, wi = 50 m/s a quelle finali Pu = 1 bar, Tu = 650 °C, wu = 10 m/s. Durante il processo il gas cede all'ambiente circostante (che è a temperatura Ta = 10 °C, approssimabile a costante) una potenza termica pari ad 1/10 della potenza totale (meccanica + termica) che la turbina fornisce.
Determinare:

- la potenza meccanica e la potenza termica scambiate dal gas;
- quanto conta in percentuale il contributo cinetico sulla potenza totale scambiata;
- l'irreversibilità del processo;
- il rendimento isoentropico della turbina;
- l'indice e il calore specifico della trasformazione politropica che porterebbe il gas dalle stesse condizioni iniziali alle stesse condizioni finali.

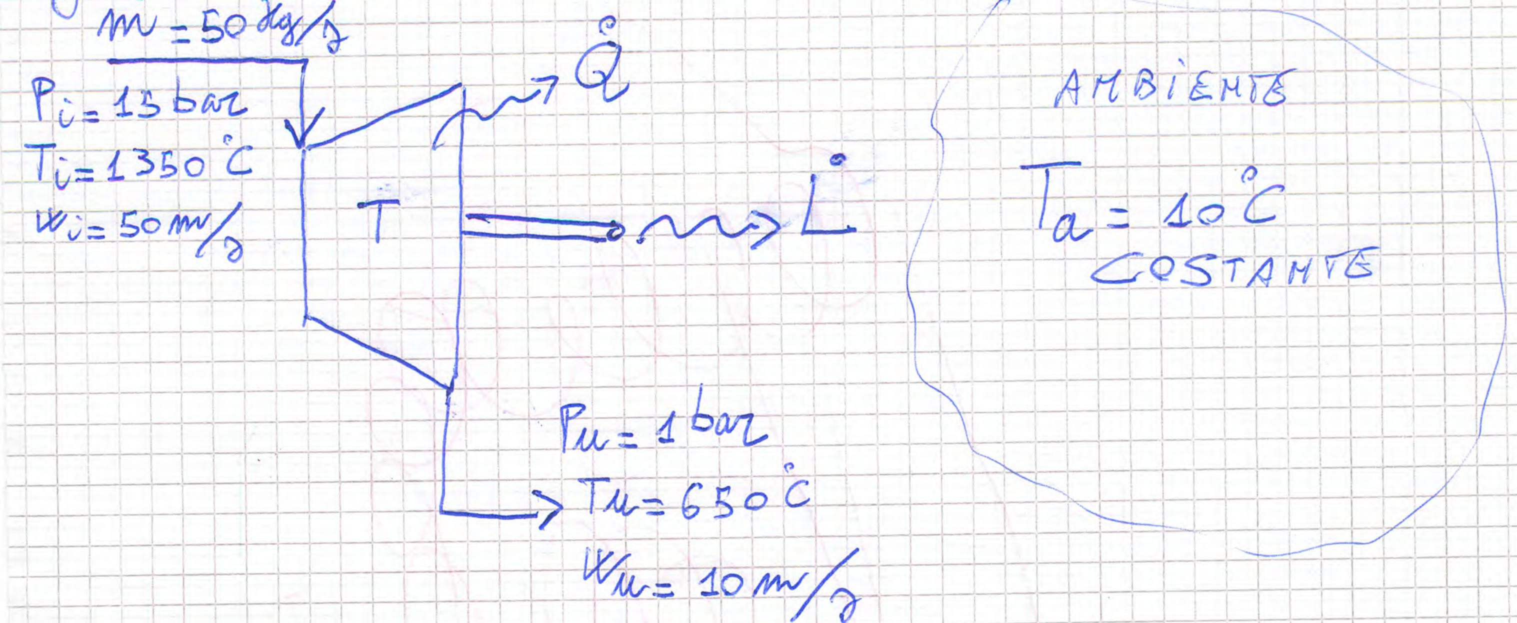
Esercizio 2 *(fino a 8 punti)*
Un processo di lavorazione di piccole sfere metalliche (D = 5 mm, λ = 20 W/mK, c = 450 J/kgK, ρ = 8000 kg/m^3) prevede un trattamento termico durante il quale le stesse vengono portate ad una temperatura T_0 = 500 °C in forno, e poi immerse in un olio avente temperatura (approssimabile a costante data la grande massa di olio) Te = 100 °C e coefficiente di scambio convettivo con le sfere pari a he = 100 W/m^{2}K. Il calore ceduto all'olio viene poi recuperato attraverso un ciclo termodinamico diretto, del quale le sfere possono essere considerate come la sorgente calda (a T variabile), mentre quella fredda è l'aria atmosferica, che è ad una temperatura costante Ta = 20 °C. Sapendo che le sferette vengono mantenute nell'olio per un tempo $\Delta\tau$ = 60 s prima di essere estratte, determinare il massimo lavoro teoricamente ottenibile da ogni gruppo di N = 1000 unità di sfere da processare.

Esercizio 3 *(fino a 10 punti)*
Una sfera piena, omogenea e isotropa, di raggio Rs = 50 mm, è sede di una generazione interna di potenza uniforme pari a U°'" = 2 10^6 W/m^3 e ha temperatura superficiale pari a Ts = 800 °C ed emissività superficiale εs = 0.8. Tale sfera è posta al centro di un guscio sferico di raggio Rg = 200 mm e spessore trascurabile. Tra la sfera e il guscio è fatto il vuoto, mentre esternamente il guscio sferico è lambito da aria secca a pressione atmosferica e temperatura $T\infty$ = 25 °C (viscosità dinamica μa = 1.85 10^{-5} kg/ms, conduttività termica λa = 0.0265 W/mK). La radiazione esterna può essere trascurata.
Sapendo che il coefficiente convettivo tra aria e guscio sferico he può essere stimato tramite la correlazione:
$Nu_D = 2 + 0.6\, Re_D^{1/2}\, Pr^{1/3}$ (con proprietà termofisiche da valutare a $T\infty$)
determinare, una volta che il sistema ha raggiunto condizioni stazionarie:

- la potenza dissipata dalla sfera;
- la temperatura del guscio sferico;
- la velocità media che l'aria esterna deve avere perchè il sistema possa appunto essere in condizioni stazionarie.

ESERCIZIO 1

gas ideale poliatomico con $M_m = 35$ kg/kmol (FLUIDO DI LAVORO)



BILANCIO ENERGETICO SISTEMI APERTI

$$h_i + \frac{1}{2} w_i^2 + g z_i + q + l = h_u + \frac{1}{2} w_u^2 + g z_u$$

$\oplus$ $\dot{Q}$ $\dot{L}$

CONDIZIONE ULTERIORE

$$q = \frac{1}{10}(l+q) \Rightarrow q = \frac{1}{10} l + \frac{1}{10} q$$

$$\frac{9}{10} q = \frac{1}{10} l \Rightarrow \boxed{q = \frac{1}{9} l}$$ che sostituiso nel bilancio

trascuro ΔE_p considerando $z_i \simeq z_u$

$$h_i + \frac{1}{2} w_i^2 + \frac{1}{9} l + l = h_u + \frac{1}{2} w_u^2$$, ricavo quindi

$$l = \frac{9}{10}\left[h_u - h_i + \frac{1}{2} w_u^2 - \frac{1}{2} w_i^2\right] = \frac{9}{10}\left[c_p^*(T_u - T_i) + \frac{1}{2}(w_u^2 - w_i^2)\right]$$

$$c_p^* = 4 R^* = 4 \frac{R}{M_m} \Rightarrow c_p^* = 4 \frac{8314,5}{35} = 950,2286 \ \frac{J}{kg\,K}$$

$$c_v^* = 3 R^* = 3 \frac{R}{M_m} \Rightarrow c_v^* = 3 \frac{8314,5}{35} = 712,6714 \ \frac{J}{kg\,K}$$

$$l = \frac{9}{10}\left[950,2286 \cdot (650 - 1350) + \frac{1}{2}(10^2 - 50^2)\right] = -600\,804,018 \ \frac{J}{kg}$$

$\dot{L} = \dot{m}\, l \qquad \dot{L} = 50 \cdot (-600'804{,}018) = -30{,}0402009 \cdot 10^6\ W$ $\boxed{\simeq -30\ MW}$

$q = \frac{1}{g} l = 66'756{,}002\ J/kg$

$\dot{Q} = \frac{1}{g} \dot{L} \qquad \dot{Q} = -3{,}3378001 \cdot 10^6\ W \rightarrow \simeq \boxed{-3{,}338\ MW}$

$\Delta \dot{E}_{CIN} = \frac{1}{2} \dot{m} (w_u^2 - w_i^2) \Rightarrow \Delta \dot{E}_K = \frac{1}{2} \cdot 50 (10^2 - 50^2) = -60 \cdot 10^3\ W$

$\frac{\Delta \dot{E}_{CIN}}{\dot{Q} + \dot{L}} \cdot 100 \rightarrow \frac{-60 \cdot 10^3}{-3{,}337801 \cdot 10^6 - 30{,}0402009 \cdot 10^6} \cdot 100 = \boxed{0{,}17976\%}$

• IRREVERSIBILITÀ DEL PROCESSO (NON ADIABATICO)

$\Delta S_{TOT} = \Delta S_{gas} + \Delta S_{AMB.}$

$\Delta s_{gas} = c_p^* \ln\left(\frac{T_u}{T_i}\right) - R^* \ln\left(\frac{P_u}{P_i}\right) \qquad T_u = 650 + 273{,}15 = 923{,}15\ K$

$T_i = 1350 + 273{,}15 = 1623{,}15\ K$

$\Delta s_{gas} = 950{,}2286 \ln\left(\frac{923{,}15}{1623{,}15}\right) - \frac{8314{,}5}{35} \ln\left(\frac{1}{15}\right) = 107{,}0720268\ \frac{J}{kg\,K}$

$\Delta s_{AMB} = + \frac{66'756{,}002}{283{,}15} = +235{,}7619707\ \frac{J}{kg\,K}$

$\Delta s_{TOT} = 107{,}07 + 235{,}76 = \boxed{342{,}83\ \frac{J}{kg\,K}}$

$\Delta \dot{S}_{TOT} = \dot{m}\, \Delta s_{TOT} = \boxed{17'141{,}7\ \frac{W}{K}}$

~ o ~ o ~ o ~ o ~

POLITROPICA DI INDICE n CHE PASSA DAGLI STESSI STATI INIZIALE E FINALE DELLA TRASFORMAZIONE

CONOSCENDO T_i, P_i e T_u, P_u POSSO SCRIVERE PER UN GAS IDEALE

$$n = \left(\frac{\ln\left(T_u / T_i\right)}{\ln\left(P_i / P_u\right)} + 1 \right)^{-1}$$

$$n = \left(\frac{\ln\left(923{,}15 / 1623{,}15\right)}{\ln\left(\frac{15.9 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5}\right)} + 1 \right)^{-1} = 1{,}23325$$

$$n = \frac{c_x^* - c_p^*}{c_x^* - c_v^*} \rightarrow c_x^* - c_p^* = n c_x^* - n c_v^* \qquad c_x^\circ (1 - n) = c_p^\circ - n c_v^*$$

$$c_x^* = \frac{c_p^* - n c_v^*}{1 - n} \rightarrow c_x^* = \frac{950{,}2286 - 1{,}23325 \cdot 712{,}6714}{1 - 1{,}23325} = -189{,}7209\ldots \ J/k\ldots$$

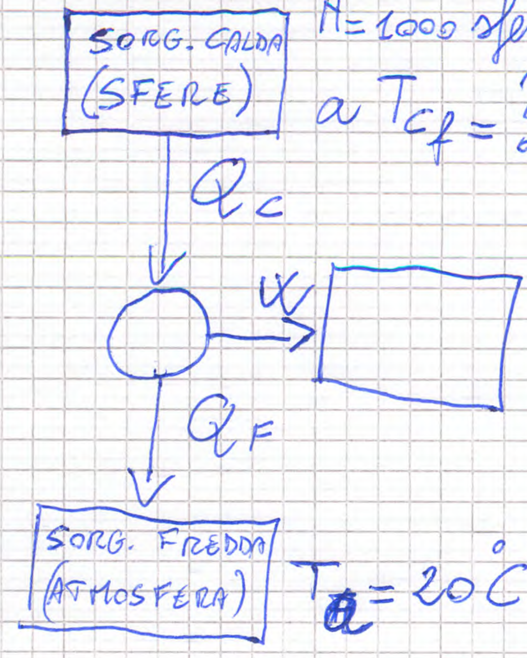
$$\eta_{is} = \frac{\Delta h}{\Delta h_{is}} = \frac{\cancel{c_p}\left(T_u - T_i\right)}{\cancel{c_p}\left(T_{u_{id}} - T_i\right)}$$

$$T_{u_{id}} = T_i \cdot \left(\frac{P_i}{P_u}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \qquad \gamma = c_p^\circ / c_v = \frac{4}{3} = 1{,}333$$

$$T_{u_{id}} = 824{,}7757 \ K$$

$$\eta_{is} = 0{,}8768$$

ESERCIZIO 2



$M = 1000$ sfere che si raffreddano da $T_{ci} = 500\,°C$ a $T_{cf} = ?$ $\quad M_s = \rho \cdot V \cdot 1000$

$$\begin{cases} W = Q_C - Q_F \\ \Delta S_{TOT} = M_s c_s \ln \dfrac{T_{cf}}{T_{ci}} + \dfrac{Q_F}{T_a} = 0 \end{cases}$$

$T_a = 20\,°C$

Sfere immerse nell'olio a $T_e = 100\,°C$ partendo da $T_0 = 500\,°C$. Se posso usare i parametri concentrati scrivo che per un immersione di $\Delta\tau = 60\,s$ le sfere raggiungono una temperatura finale pari a:

$T_0 = 500\,°C$ $\quad$ $t \to \Delta\tau = 60\,s$

$$T_{cf} = T_e + (T_{ci} - T_e) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$\tau \to$ COSTANTE DI TEMPO DEL FENOMENO NON STAZIONARIO

$\tau = R \cdot C$ dove $R = \dfrac{1}{hS}$ e $C = \rho c V$

$$\tau = \frac{\rho c V}{hS} = \frac{8000 \cdot 450 \cdot \frac{\cancel{4}}{3}\pi R^{\cancel{3}}}{100 \cdot \cancel{4}\pi \cancel{R^2}} = 30\,s$$

$$T_{cf} = 373{,}15 + (773{,}15 - 373{,}15)\, e^{-2} = 427{,}28\,K \simeq 154{,}13\,°C$$

Il metodo dei parametri concentrati è applicabile solo se $Bi < 0{,}1$, calcolo $Bi = \dfrac{hL_c}{\ }$

$$L_c = \frac{V}{S} = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{4\pi R^2} = \frac{1}{3} R = \frac{1}{3}\,\frac{5\cdot 10^{-3}}{2} = 8,333\cdot 10^{-4}$$

$$Bi = \frac{100\cdot 8,33\cdot 10^{-4}}{20} = 4,167\cdot 10^{-3} \quad ok < 0,1 \;!!$$

$$M_c = N\cdot M_s = N\cdot \rho\, V_s = 1000\cdot 8000\cdot \frac{4}{3}\pi R^3 =$$

$$M_c = 1000\cdot 8000\cdot \frac{4}{3}\pi\left(2,5\cdot 10^{-3}\right)^3 = 0,5236 \text{ kg}$$

$$Q_c = M_c\cdot c_s^*\left(T_{ci} - T_{f}\right)$$

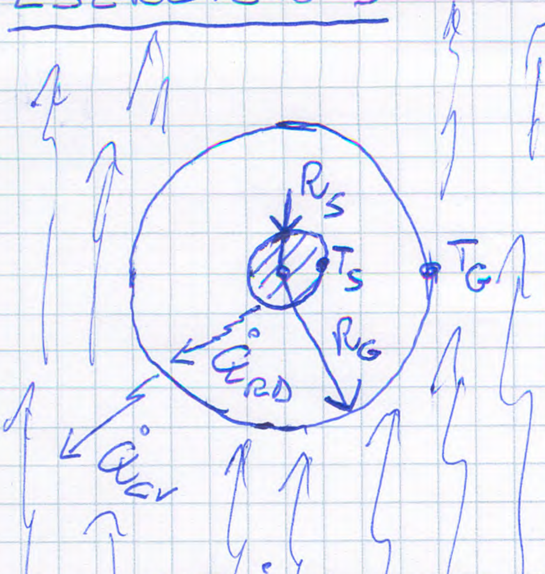
$$= 0,5236\cdot 450\left(500 - 154,13\right) = 81'493,89 \text{ J}$$

$$Q_F = \left(- M_c\, c_s^* \ln\frac{T_{cf}}{T_{ci}}\right)\cdot T_a$$

$$= \left(- 0,5236\cdot 450 \ln\frac{427,28}{773,15}\right)\cdot 293,15 = 40'962,01 \text{ J}$$

$$W_{MAX} = Q_c - Q_F = 40'531,88 \text{ J}$$

ESERCIZIO 3



SFERA PIENA OMOGENEA ISOTROPA

$R_S = 50\ mm \quad \dot{q}''' = \dot{u}''' = 2 \cdot 10^6\ W/m^3$

$T_S = 800\,°C = 1073{,}15\ K \quad \varepsilon_S = 0{,}8$

GUSCIO SFERICO

$R_G = 200\ mm$

? $\dot{Q}_S$; T_G ; w_∞

ARIA SECCA

$T_\infty = 25\,°C \quad \mu_a = 1{,}85 \cdot 10^{-5} \quad k_a = 0{,}026\ \frac{W}{m\,K}$

$Nu_D = 2 + 0{,}6\, Re_D^{1/2}\, Pr^{1/3}$

In regime stazionario tutta la potenza termica generata nella sfera viene dissipata all'esterno. Se così non fosse la sua temperatura continuerebbe a crescere.

La potenza termica generata nella sfera viene dissipata per radiazione verso il guscio e per convezione dal guscio all'aria, il bilancio risulta essere:

$$\boxed{\dot{Q}_S = \dot{Q}_{RD} = \dot{Q}_{CV}}$$ dove

$$\dot{Q}_S = \dot{q}''' \cdot V_S = \dot{q}''' \cdot \frac{4}{3} \pi R_S^3 \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{RD} = \sigma\, \varepsilon_S\, A_S \left(T_S^4 - T_G^4\right) \quad (2) \quad \text{con } A_S = 4 \pi A_S^2$$

$$\dot{Q}_{CV} = h\, A_G \left(T_G - T_\infty\right) \quad (3)$$

$$Re_D = \frac{\rho_a \, w_\infty \cdot D_G}{\mu_a} \rightarrow w_\infty = \frac{\mu_a \, Re_D}{\rho_a \, D_G}$$

ARIA GAS IDEALE A $T_\infty = 25\,°C \rightarrow \frac{P_a}{\rho_a} = R^* T_\infty$

$$\rho_a = \frac{P_a}{R^* T_\infty} = \frac{101325}{\frac{8314,5}{28,96} \cdot 298,15} = 1,18371 \; kg/m^3$$

$$w_\infty = \frac{1,85 \cdot 10^{-5} \cdot 9896,61}{1,18371 \cdot 400 \cdot 10^{-3}} = \boxed{0,3867 \; m/s}$$