Cognome e nome:…………………………………..……., nato il …./…./19…., Matricola..............................

ISTRUZIONI TASSATIVE PER LA COMPILAZIONE DEGLI ELABORATI

- *Potranno esseri utilizzati (anche per la brutta copia) SOLO i fogli ricevuti, che dovranno essere TUTTI restituiti!*
- *Immediatamente **a**ll'atto del ricevimento scrivere SUL PRESENTE STAMPATO e su tutti gli altri fogli, ECCETTO T**A**BELLE E DIAGRAMMI, il proprio cognome e nome, in stampatello.*
- *Scrivere in maniera ordinata, chiara e leggibile, separando ed intitolando opportunamente le varie parti dell'elaborato, senza mai impiegare il colore rosso o la matita.*
- *Evidenziare chiaramente, all'interno dell'elaborato, le formule analitiche risolutive ed risultati numerici tramite queste ottenuti, quindi RIPORTARLI SU QUESTO STAMPATO NELLE APPOSITE CASELLE (formula a sinistra, valore numerico con unità di misura a destra).*
- *Numerare i fogli della bella copia e barrare con segni diagonali a tutta pagina quelli della brutta copia, senza però renderli illeggibili.*
- *Si tenga sempre presente che LA COMPRENSIONE DEL TESTO È PARTE INTEGRANTE DELLA PROVA!*

TDTC(Ele-Tel) – PROVA SCRITTA DEL 15 GIUGNO 2004

Problema 1. Un cabinet per apparecchiature elettroniche con dimensioni 90 cm x 180 cm x 60 cm (base x altezza x profondità) contiene al suo interno apparecchiature elettroniche che, in condizioni di carico massimo, assorbono complessivamente dalla rete elettrica una potenza pari a 1400 W e che non possono essere sottoposte a temperature superiori a 70°C. Le pareti del cabinet sono costituite tutte da lamiere di metallo con spessore 1.5 mm e conduttività termica 16 W/(m·°C), eccetto il portello frontale, che è costituito da una lastra di vetro con spessore 3 mm e conduttività termica 1.6 W/(m·°C). La parete inferiore del cabinet poggia direttamente sul pavimento, la parete posteriore è appoggiata ad un muro. Il coefficiente di scambio termico vale 10 W/(m^2·°C) sulle superfici interne delle pareti e 15 W/(m^2·°C) sulle superfici esterne. L'ambiente in cui il cabinet è installato presenta temperatura compresa tra 15°C e 35°C. Assumendo per l'aria ρ=1.15 kg/m^3 e c_p=1007 J/(kg·°C) costanti, determinare:
a) la massima temperatura che si può raggiungere nell'aria all'interno del cabinet, non ventilato e perfettamente sigillato;
b) la minima portata d'aria con cui è necessario ventilare il cabinet, in m^3/hr, per fare sì che al suo interno non si superi la massima temperatura tollerata dall'elettronica.

a) massima temperatura nel cabinet non ventilato		
b) minima portata di ventilazione, in m^3/hr		

Soluzione

$T_{estenna\_max} = \max(T_{ambiente\_min}, T_{ambiente\_max}) = \max(15°C, 35°C) = 35°C$

$A_{pareti} = L_{base} \cdot L_{profondità} + 2 \cdot L_{altezza} \cdot L_{profondità} = 0.90 \cdot 0.60 + 1.80 \cdot 0.60 = 2.70\ m^2$

(la base e il fondo si possono assumere termicamente isolati)

$R_{pareti} = (1/h_{interno} + s_{pareti}/\lambda_{pareti} + 1/h_{esterno})/A_{pareti} = (1/10+0.0015/16+1/15)/2.70 = 0.0618°C/W$

$A_{portello} = L_{base} \cdot L_{altezza} = 0.90 \cdot 1.80 = 1.62\ m^2$

$R_{portello} = (1/h_{interno} + s_{portello}/\lambda_{portello} + 1/h_{esterno})/A_{portello} = (1/10+0.003/1.6+1/15)/1.62 = 0.1040°C/W$

La resistenza termica R *tra interno ed esterno vale (approccio tutto parallelo)*

$R = 1/(1/0.0618+1/0.1040) = 0.0388°C/W$ *(approccio tutto parallelo)*

oppure (approccio serie-parellelo)

$A_{totale} = A_{pareti} + A_{portello} = 2.70+1.62 = 4.32\ m^2$

$R = 1/(h_{interno} \cdot A_{totale}) + 1/[(\lambda_{portello} \cdot A_{portello})/s_{portello} + (\lambda_{pareti} \cdot A_{pareti})/s_{pareti}] + 1/(h_{esterno} \cdot A_{totale}) = 0.0386°C/W$

Il risultato è equivalente.

Il cabinet sigillato è un sistema chiuso. La massima temperatura interna dell'aria è:

$T_{interna\_max} = T_{esterna\_max} + R \cdot Q_{elettrica} = 35+0.0388 \cdot 1400 = \mathbf{89.3°C}$ $(>T_{ammissibile} = 70°C)$

Il cabinet ventilato è un sistema aperto ad una corrente in ingresso ed una in uscita.

$T_{ingresso} = T_{esterna\_max} = 35°C$

$T_{uscita} = T_{ammissibile} = 70°C$

Considerando condizioni stazionarie e trascurando la potenza meccanica scambiata dai dispositivi di ventilazione (tipicamente ridotta) e gli effetti cinetici e potenziali, si ha:

$\dot{Q}_{elettrica} = \dot{m} \cdot (h_{uscita} - h_{ingresso}) \cong \rho_{aria} \cdot \dot{V} \cdot c_{p\_aria} \cdot (T_{uscita} - T_{ingresso})$

e, quindi,

$\dot{V} = \dot{Q}_{elettrica}/[\rho_{aria} \cdot c_{p\_aria} \cdot (T_{uscita} - T_{ingresso})] = 1400/[1.15 \cdot 1007 \cdot (70-35)] = 0.0345\ m^3/s = \mathbf{124\ m^3/hr}$

Si sono trascurati, in favore di sicurezza, gli scambi termici attraverso le pareti del cabinet. Volendone tenere conto, si può assumere una temperatura interna media pari alla media tra ingresso ed uscita.

$T_{interna\_media} = (T_{ingresso} + T_{uscita})/2 = (35+70)/2 = 52.5°C$

$\dot{Q}_{trasmessa} = R \cdot (T_{interna\_media} - T_{esterna\_max}) = 0.0388 \cdot (52.5-35°C) = 452\ W$

Cognome e nome:…………………………………..……., nato il …./…./19…., Matricola..............................

$\dot{V} = (\dot{Q}_{elettrica} - \dot{Q}_{trasmessa})/[\rho_{aria} \cdot c_{p\_aria} \cdot (T_{uscita} - T_{ingresso})] = (1400\text{-}452)/[1.15 \cdot 1007 \cdot (70-35)] =$ **84 m³/hr**

Ovviamente, quella calcolata è la portata minima, che porta a lavorare in condizioni limite. Quella da adottare effettivamente dovrà essere superiore.

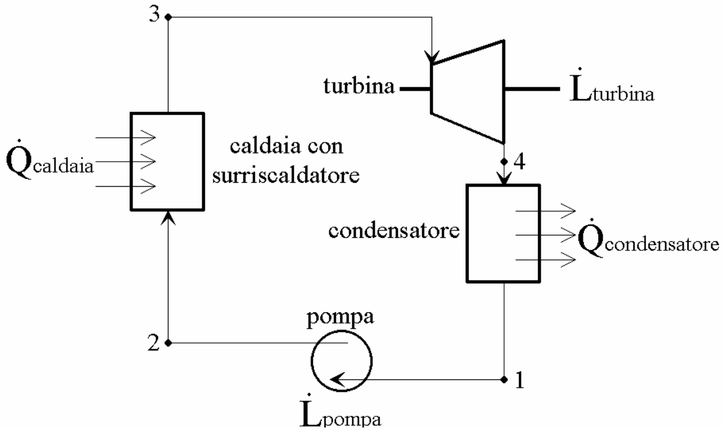
Problema 2. Un impianto di conversione dell'energia basato su un ciclo Rankine ideale con surriscaldamento, in cui il fluido di lavoro è acqua, deve erogare una potenza netta pari a 200 kW. Siano 25 kPa la pressione nel condensatore e 70 bar la pressione in caldaia. Nella pompa entra liquido saturo, dalla turbina esce vapore saturo umido con titolo pari al 99.5%. Determinare:

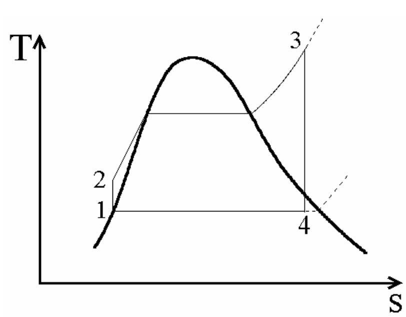
a) rendimento termico del ciclo
b) portata in massa del fluido di lavoro
c) potenza termica da fornire in caldaia

Descrivere le varie fasi del processo, rappresentarlo graficamente, individuarlo qualitativamente sul diagramma T-s ed indicare le ipotesi di lavoro formulate.

Soluzione

L'architettura del sistema ed il ciclo a cui viene sottoposto il fluido di lavoro sono rappresentati di seguito.





$p_1 = p_{condensatore} = 25 \text{ kPa} = 25 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

$T_1 = T_{sat@p1} \equiv T_2$

$h_1 = h_{l\_sat@p1} = 271.93 \text{ kJ/kg} = 271.93 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ *(da tabella)*

$p_2 = p_{caldaia} = 70 \text{ bar} = 70 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$h_2 = h_{l\_sat@T2} + v_{l\_sat@T2} \cdot (p_2 - p_1) \equiv h_1 + v_{l\_sat@p1} \cdot (p_2 - p_1) = 271930 + (1.020 \cdot 10^{-3}) \cdot (70 \cdot 10^5 - 25 \cdot 10^3) = 279.05 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$

$p_4 = p_{condensatore} = 25 \text{ kPa} = 25 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

$h_4 = h_{l\_sat@p4} + x_4 \cdot (h_{v\_sat@p4} - h_{l\_sat@p4}) = 271.93 \cdot 10^3 + 0.995 \cdot (2618.2 \cdot 10^3 - 271.93 \cdot 10^3) = 2606.5 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$

$s_4 = s_{l\_sat@p4} + x_4 \cdot (s_{v\_sat@p4} - s_{l\_sat@p4}) = 0.8931 + 0.995 \cdot (7.8314 - 0.8931) = 7.7967 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$

$s_3 = s_4 = 7.7967 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ (processo adiabatico e reversibile $\Rightarrow$ processo isoentropico)

$p_3 = p_{caldaia} = 70 \text{ bar} = 70 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$T_3 = T_{vapore\_surriscaldato@s3\&p3} \cong 900°\text{C}$ *(da tabella)*

$h_3 = h_{vapore\_surriscaldato@s3\&p3} \cong 4371.8 \text{ kJ/kg} = 4371.8 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ *(da tabella)*

$\ell_{espansione} = -(h_4 - h_3) = h_3 - h_4 = 4371.8 \cdot 10^3 - 2606.5 \cdot 10^3 = 1765.3 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$

$|\ell|_{pompa} = h_2 - h_1 = 279.05 \cdot 10^3 - 271.93 \cdot 10^3 = 7.1 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$

$\ell_{netto} = \ell_{espansione} - \ell_{pompa} = 1765.3 \cdot 10^3 - 7.1 \cdot 10^3 = 1758.2 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$

$q_{caldaia} = h_3 - h_2 = 4371.8 \cdot 10^3 - 279.05 \cdot 10^3 = 4092.8 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$

$\eta = \ell_{netto}/q_{caldaia} = 1758.2 \cdot 10^3/4092.8 \cdot 10^3 = 0.430 =$ **43.0%**

$\dot{m} = \dot{L}_{netta}/\ell_{netto} = 200 \cdot 10^3/1758.2 \cdot 10^3 =$ **0.114 kg/s**

$\dot{Q}_{caldaia} = \dot{m} \cdot q_{caldaia} = 0.114 \cdot 4092.8 \cdot 10^3 = 466 \cdot 10^3 \text{ W} =$ **466 kW**

Cognome e nome:…………………………………..……., nato il …./…./19…., Matricola..............................

Problema 3. Un wafer di tellururo di bismuto (disco con diametro 203.2 mm e spessore 0.794 mm), inizialmente a temperatura 130°C, è raffreddato mediante una portata di elio a 27°C che ne lambisce l'intera superficie e ne porta la temperatura a 40°C in 12 s. Determinare il valore medio del coefficiente di scambio termico sulla superficie del wafer.

a) coefficiente di scambio termico convettivo		

Per il tellururo di bismuto si assumano i seguenti valori delle proprietà termofisiche: ρ=7530 kg/m^3, c=544 J/(kg·°C), λ=1.5 W/(m·°C).

<u>*Soluzione*</u>

$V_{wafer} = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot H = \pi \cdot (0.2032/2)^2 \cdot 0.000794 = 25.7 \cdot 10^{-6}$ m^3 *(volume)*

$A_{wafer} = 2 \cdot \pi \cdot (D/2)^2 + \pi \cdot D \cdot H = 2 \cdot \pi \cdot (0.2032/2)^2 + \pi \cdot 0.2032 \cdot 0.000794 = 0.0653$ m^2 *(superficie esterna)*

$L_c = V_{wafer}/A_{wafer} = 0.000394$ m = 0.394 mm *(lunghezza caratteristica)*

Essendo $-t/t_c = \ln[(T_t - T_{elio})/(T_0 - T_{elio})]$ *si ha che*

$t_c = -t/\ln[(T_t - T_{elio})/(T_0 - T_{elio})] = -12/\ln[(40-27)/(130-27)] = 5.80$ s

Essendo $t_c = \rho \cdot c \cdot L_c / h$ *si ha che*

$h = \rho \cdot c \cdot L_c / t_c = 7530 \cdot 544 \cdot 0.000394/5.80 =$ **278 W/(m^2·°C)**

Occorre infine verificare che il metodo sia applicabile, controllando il valore del numero di Biot.

$Bi = h \cdot L_c / \lambda = 278 \cdot 0.000394/1.5 =$ **0.073** ($<0.1 \Rightarrow$ OK)

Trattare SINTETICAMENTE, a parole e con le necessarie formule, diagrammi o equazioni, le tematiche indicate di seguito, riportando tutte le trattazioni relative, in forma chiara e leggibile, <u>sul retro del presente stampato</u>. PARTI RIPORTATE ALTROVE NON SARANNO VALUTATE!

- Principio di non diminuzione dell'entropia
- Funzionamento teorico di un impianto frigorifero a compressore
- Corpo nero in irraggiamento termico e principali leggi ad esso relative