

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 all'atto del ricevimento scrivere SUL PRESENTE STAMPATO e su tutti gli altri fogli, ECCETTO TABELLE 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 29 GIUGNO 2004

Problema 1. L'involucro di una centralina elettronica presenta dimensioni esterne 240 mm x 120 mm x 40 mm (lato di base x lato di base x altezza) ed integra dispositivi che, in condizioni di carico massimo, assorbono complessivamente una potenza elettrica pari a 18 W e non possono essere sottoposti a temperature superiori a 95°C. Le pareti dell'involucro sono costituite tutte da lamiere di metallo con spessore 1.5 mm e conduttività termica 16.5 W/(m·°C), eccetto le pareti superiore ed inferiore, che sono costituite da piastre in materiale plastico rigido con spessore 2.5 mm e conduttività termica 0.7 W/(m·°C). La parete inferiore poggia su un piano che si può assumere termicamente isolato. Il coefficiente di scambio termico vale 8 W/(m²·°C) sulle superfici interne delle pareti dell'involucro e 23 W/(m²·°C) sulle superfici esterne. L'ambiente in cui la centralina è installata presenta temperatura compresa tra -15°C e 60°C. Assumendo per l'aria $\rho=1.14 \text{ kg/m}^3$ e $c_p=1008 \text{ J/(kg·°C)}$ costanti, determinare:

- a) la massima temperatura di uno dei dispositivi elettronici integrati nella centralina, che assorbe 7 W elettrici, è raffreddato mediante una superficie alettata con resistenza termica 0.9°C/W, superficie di contatto 200 mm² e resistenza di contatto 1.2°C·cm²/W, ed è posto all'interno dell'involucro della centralina, non ventilata e perfettamente sigillata;
- b) volendo ventilare la centralina, la minima portata d'aria che è necessario imporre, in dm³/min, per fare sì che il dispositivo di cui al punto a) non superi la massima temperatura tollerata dall'elettronica.

- a) massima temperatura del dispositivo elettronico
- b) minima portata di ventilazione, in dm³/min

Soluzione

$$T_{\text{esterna_max}} = \max(T_{\text{ambiente_min}}, T_{\text{ambiente_max}}) = \max(-15^\circ\text{C}, 60^\circ\text{C}) = 60^\circ\text{C}$$

$$A_{\text{pareti met.}} = 2 \cdot L_{\text{base1}} \cdot L_{\text{altezza}} + 2 \cdot L_{\text{base2}} \cdot L_{\text{altezza}} = 0.240 \cdot 0.040 + 0.120 \cdot 0.060 = 0.0288 \text{ m}^2$$

$$R_{\text{pareti met.}} = (1/h_{\text{interno}} + s_{\text{pareti met.}}/\lambda_{\text{pareti met.}} + 1/h_{\text{esterno}})/A_{\text{pareti met.}} = (1/8 + 0.0015/16.5 + 1/23)/0.0288 = 5.853^\circ\text{C/W}$$

$$A_{\text{parete sup.}} = L_{\text{base1}} \cdot L_{\text{base2}} = 0.240 \cdot 0.120 = 0.0288 \text{ m}^2$$

(la parete inferiore è termicamente isolata)

$$R_{\text{parete sup.}} = (1/h_{\text{interno}} + s_{\text{parete sup.}}/\lambda_{\text{parete sup.}} + 1/h_{\text{esterno}})/A_{\text{parete sup.}} = (1/8 + 0.0025/0.7 + 1/23)/0.0288 = 5.974^\circ\text{C/W}$$

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

$$R = 1/(1/5.853 + 1/5.974) = 2.956^\circ\text{C/W} \quad (\text{approccio tutto parallelo})$$

oppure (approccio serie-parallelo)

$$A_{\text{totale}} = A_{\text{pareti met.}} + A_{\text{parete sup.}} = 0.0288 + 0.0288 = 0.0576 \text{ m}^2$$

$$R = 1/(h_{\text{interno}} \cdot A_{\text{totale}}) + 1/[(\lambda_{\text{parete sup.}} \cdot A_{\text{parete sup.}})/s_{\text{parete sup.}} + (\lambda_{\text{pareti met.}} \cdot A_{\text{pareti met.}})/s_{\text{pareti met.}}] + 1/(h_{\text{esterno}} \cdot A_{\text{totale}}) = 2.928^\circ\text{C/W}$$

Il risultato è equivalente.

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

$$T_{\text{interna_max}} = T_{\text{esterna_max}} + R \cdot \dot{Q}_{\text{elettrica}} = 60 + 2.956 \cdot 18 = 113^\circ\text{C}$$

$$R_{\text{contatto}} = R''_{\text{contatto}}/A_{\text{contatto}} = 1.2 \cdot 10^{-4}/(200 \cdot 10^{-6}) = 0.6^\circ\text{C/W} \quad (\text{resistenza di contatto})$$

$$R_{\text{disp}} = R_{\text{contatto}} + R_{\text{dissipatore}} = 0.6 + 0.9 = 1.5^\circ\text{C/W}$$

$$T_{\text{disp}} = T_{\text{interna_max}} + R_{\text{disp}} \cdot \dot{Q}_{\text{disp}} = 113 + 1.5 \cdot 7 = 124^\circ\text{C} \quad (> T_{\text{ammissibile}} = 95^\circ\text{C})$$

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

$$T_{\text{ingresso}} = T_{\text{esterna_max}} = 60^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{uscita}} = T_{\text{ammissibile}} - R_{\text{disp}} \cdot \dot{Q}_{\text{disp}} = 95 - 1.5 \cdot 7 = 84.5^\circ\text{C} \quad (\text{massima temperatura interna ammissibile})$$

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

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

e, quindi,

$$\dot{V} = \dot{Q}_{\text{elettrica}} / [\rho_{\text{aria}} \cdot c_{p,\text{aria}} \cdot (T_{\text{uscita}} - T_{\text{ingresso}})] = 18 / [1.14 \cdot 1008 \cdot (84.5 - 60)] = 0.000639 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{38.4 \text{ dm}^3/\text{min}}$$

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.

$$T_{\text{interna_media}} = (T_{\text{ingresso}} + T_{\text{uscita}}) / 2 = (60 + 84.5) / 2 = 72.25^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{\text{trasmessa}} = R \cdot (T_{\text{interna_media}} - T_{\text{esterna_max}}) = 2.956 \cdot (72.25 - 60^\circ\text{C}) = 4.14 \text{ W}$$

$$\dot{V} = (\dot{Q}_{\text{elettrica}} - \dot{Q}_{\text{trasmessa}}) / [\rho_{\text{aria}} \cdot c_{p,\text{aria}} \cdot (T_{\text{uscita}} - T_{\text{ingresso}})] = (18 - 4.14) / [1.14 \cdot 1008 \cdot (84.5 - 60)] = \mathbf{29.5 \text{ dm}^3/\text{min}}$$

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

Problema 2. In un locale che ospita apparecchiature elettriche ed elettroniche di vario tipo, che dissipano complessivamente 13.6 kW, va mantenuta una temperatura di 24°C. Dimensionare il sistema di condizionamento del locale, assumendo le sue pareti adiabatiche ed una temperatura massima dell'ambiente esterno pari a 36.32°C. Nel dettaglio, stimare:

a) COP del sistema

frigorifero

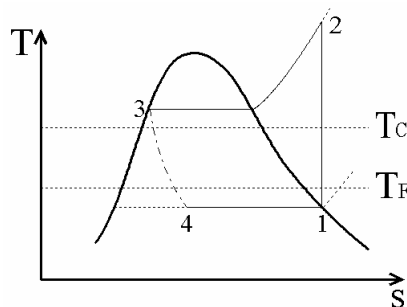
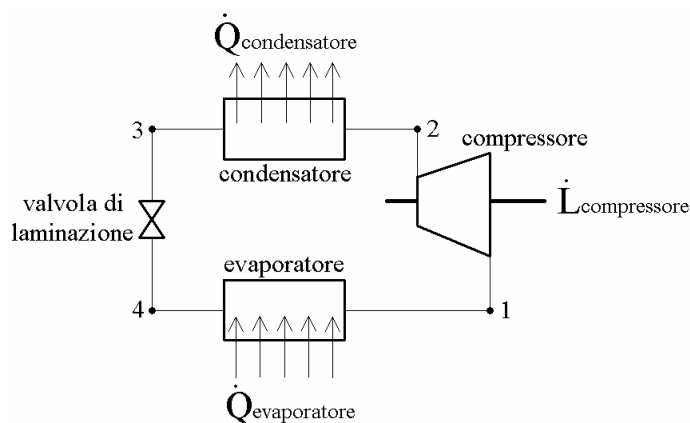
b) potenza meccanica

scambiata dal compressore

Il sistema di condizionamento implementa un ciclo frigorifero ideale a R134a. Per consentire un efficace scambio termico, occorre instaurare una differenza di temperatura di 20°C tra ambiente refrigerato ed evaporatore, di 10°C tra condensatore ed ambiente esterno. Il compressore estrae dall'evaporatore un miscela saturo liquido-vapore con titolo 99.9%. Nella valvola di laminazione entra liquido saturo. 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.



$$T_{\text{evaporatore}} = T_F (\text{lato freddo}) - \Delta T_{\text{lato freddo}} = 24 - 20 = 4^\circ\text{C}$$

$$T_1 = T_{\text{evaporatore}} = 4^\circ\text{C}$$

$$h_{1,\text{sat}@T1} = 55.35 \text{ kJ/kg} = 55.35 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad (\text{da tabella})$$

$$h_{v,\text{sat}@T1} = 249.53 \text{ kJ/kg} = 249.53 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad (\text{da tabella})$$

$$h_1 = h_{1,\text{sat}@T1} + x_1 \cdot (h_{v,\text{sat}@T1} - h_{1,\text{sat}@T1}) = 55.35 \cdot 10^3 + 0.999 \cdot (249.53 \cdot 10^3 - 55.35 \cdot 10^3) = 249.34 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$s_{1,\text{sat}@T1} = 0.2162 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} \quad (\text{da tabella})$$

$$s_{v,\text{sat}@T1} = 0.9169 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} \quad (\text{da tabella})$$

$$s_1 = s_{1,\text{sat}@T1} + x_1 \cdot (s_{v,\text{sat}@T1} - s_{1,\text{sat}@T1}) = 0.2162 + 0.999 \cdot (0.9169 - 0.2162) = 0.9162 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$s_2 = s_1 = 0.9162 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} \quad (\text{processo adiabatico e reversibile} \Rightarrow \text{processo isoentropico})$$

$$T_{\text{condensatore}} = T_C (\text{lato caldo}) - \Delta T_{\text{lato caldo}} = 36.32 + 10 = 46.32^\circ\text{C}$$

$$p_2 = p_{\text{condensatore}} = p_{\text{sat}@T_{\text{condensatore}}} = 1.20 \text{ MPa}$$

$$T_2 = T_{@p_2 \& s_2} = 50^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
h_2 &= h_{p2\&s2} = 275.52 \text{ kJ/kg} = 275.52 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \\
p_3 &= p_{\text{condensatore}} = 1.20 \text{ MPa} \\
h_3 &= h_{l_sat@p3} = 115.76 \text{ kJ/kg} = 115.76 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \\
h_4 &= h_3 = 115.76 \text{ kJ/kg} = 115.76 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad (\text{entalpia a fine laminazione uguale a quella iniziale}) \\
l \ell_{\text{compressore}} &= h_2 - h_1 = 275.52 \cdot 10^3 - 249.34 \cdot 10^3 = 26.18 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \\
q_{\text{evaporatore}} &= h_1 - h_4 = 249.34 \cdot 10^3 - 115.76 \cdot 10^3 = 133.58 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \\
\text{COP} &= q_{\text{evaporatore}} / l \ell_{\text{compressore}} = 133.58 \cdot 10^3 / (26.18 \cdot 10^3) = \mathbf{5.10} \\
\dot{m} &= \dot{Q}_{\text{evaporatore}} / q_{\text{evaporatore}} = 13600 / (133.58 \cdot 10^3) = 0.102 \text{ kg/s} \\
\dot{L}_{\text{compressore}} &= \dot{m} \cdot l \ell_{\text{compressore}} = 0.102 \cdot 26.18 \cdot 10^3 = 2666 \cdot 10^3 \text{ W} = \mathbf{2.7 \text{ kW}}
\end{aligned}$$

Problema 3. Un lingotto cilindrico di silicio con diametro 203.2 mm ed altezza 355.6 mm, inizialmente a temperatura 25°C, è riscaldato mediante una portata di azoto a 220°C che ne lambisce l'intera superficie, eccetto la base d'appoggio circolare, e che deve portare a 180°C la temperatura del lingotto stesso. Sapendo che il valore medio del coefficiente di scambio termico sulla superficie del lingotto è pari a 30 W/(m²·°C), determinare la durata del transitorio di riscaldamento.

a) durata del transitorio di riscaldamento

--	--

Per il silicio si assumano i seguenti valori delle proprietà termofisiche: $\rho=2700 \text{ kg/m}^3$, $c=875 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$, $\lambda=177 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$.

Soluzione

$$V_{\text{lingotto}} = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot H = \pi \cdot (0.2032/2)^2 \cdot 0.3556 = 0.0115 \text{ m}^3 \quad (\text{volume})$$

$$A_{\text{lingotto}} = \pi \cdot (D/2)^2 + \pi \cdot D \cdot H = \pi \cdot (0.2032/2)^2 + \pi \cdot 0.2032 \cdot 0.3556 = 0.2594 \text{ m}^2 \quad (\text{superficie esterna})$$

$$L_c = V_{\text{lingotto}} / A_{\text{lingotto}} = 0.0115 / 0.2594 \text{ m} = 0.0445 \text{ m} \quad (\text{lunghezza caratteristica})$$

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

$$Bi = h \cdot L_c / \lambda = 30 \cdot 0.0445 / 177 = \mathbf{0.00753} \quad (<0.1 \Rightarrow \text{OK})$$

$$t_c = \rho \cdot c \cdot L_c / h = 2700 \cdot 875 \cdot 0.0445 / 30 = 3500 \text{ s} \quad (\text{tempo caratteristico})$$

Essendo $-t/t_c = \ln[(T_f - T_{\text{azoto}})/(T_0 - T_{\text{azoto}})]$ si ha che

$$t = -t_c \cdot \ln[(T_f - T_{\text{azoto}})/(T_0 - T_{\text{azoto}})] = -3500 / \ln[(180 - 220)/(25 - 220)] = 5545 \text{ s} = \mathbf{92 \text{ min}}$$

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, sul retro del presente stampato. PARTI RIPORTATE ALTROVE NON SARANNO VALUTATE!

- Gas ideali e gas reali
- Secondo principio della termodinamica: enunciati e principio di non diminuzione dell'entropia
- Trasmissione di calore per irraggiamento termico: superfici nere e superfici reali