

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. Una cabina elettrica presenta dimensioni interne 200 cm x 160 cm x 70 cm (larghezza x altezza x profondità) ed integra dispositivi elettrici ed elettronici che non possono essere sottoposti a temperature superiori a 90°C e che, in condizioni di massimo carico, assorbono complessivamente una potenza elettrica pari a 1.8 kW. Le pareti della cabina sono tutte costituite da pannelli di cemento armato con spessore 8 cm e conduttività termica 1.9 W/(m·°C), eccetto il portello di accesso, che copre tutta la parete frontale ed è costituito da un pannello in plexiglass con spessore 5 mm e conduttività termica 0.4 W/(m·°C). Il coefficiente di scambio termico vale 10 W/(m²·°C) sia sulle superfici interne delle pareti che sulle superfici esterne. La cabina poggia direttamente sul terreno, in un ambiente aperto la cui temperatura può variare tra -10°C e 50°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 un dispositivo elettronico di potenza installato all'interno della cabina, non ventilata e perfettamente sigillata, sapendo che esso assorbe 35 W elettrici, è raffreddato mediante una superficie alettata con resistenza termica 0.2°C/W, superficie di contatto 4 cm² e resistenza di contatto 1.1°C·cm²/W;
- b) volendo ventilare la cabina, la minima portata d'aria che è necessario imporre, in m³/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 m³/min

Soluzione

$$T_{\text{esterna_max}} = \max(T_{\text{ambiente_min}}, T_{\text{ambiente_max}}) = \max(-10^\circ\text{C}, 50^\circ\text{C}) = 50^\circ\text{C}$$

$$A_{\text{pareti cem.}} = 2 \cdot L_{\text{altezza}} \cdot L_{\text{profondità}} + L_{\text{altezza}} \cdot L_{\text{larghezza}} + L_{\text{larghezza}} \cdot L_{\text{profondità}} = 2 \cdot 1.60 \cdot 0.70 + 1.60 \cdot 2.00 + 2.00 \cdot 0.70 = 6.84 \text{ m}^2$$

(la parete inferiore è termicamente isolata)

$$R_{\text{pareti cem.}} = (1/h_{\text{interno}} + s_{\text{pareti cem.}}/\lambda_{\text{pareti cem.}} + 1/h_{\text{esterno}})/A_{\text{pareti met.}} = (1/10 + 0.08/1.9 + 1/10)/6.84 = 0.03540^\circ\text{C/W}$$

$$A_{\text{portello}} = L_{\text{altezza}} \cdot L_{\text{larghezza}} = 1.60 \cdot 2.00 = 3.2 \text{ m}^2$$

$$R_{\text{portello}} = (1/h_{\text{interno}} + s_{\text{portello}}/\lambda_{\text{portello}} + 1/h_{\text{esterno}})/A_{\text{portello}} = (1/10 + 0.005/0.4 + 1/10)/3.2 = 0.06641^\circ\text{C/W}$$

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

$$R = 1/(1/0.03540 + 1/0.06641) = 0.02309^\circ\text{C/W} \quad (\text{approccio tutto parallelo})$$

oppure (approccio serie-parallelo)

$$A_{\text{totale}} = A_{\text{pareti cem.}} + A_{\text{portello}} = 6.84 + 3.2 = 10.04 \text{ m}^2$$

$$R = 1/(h_{\text{interno}} \cdot A_{\text{totale}}) + 1/[(\lambda_{\text{portello}} \cdot A_{\text{portello}})/s_{\text{portello}} + (\lambda_{\text{pareti cem.}} \cdot A_{\text{pareti cem.}})/s_{\text{pareti cem.}}] + 1/(h_{\text{esterno}} \cdot A_{\text{totale}}) = 0.02231^\circ\text{C/W}$$

Il risultato è equivalente.

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

$$T_{\text{interna_max}} = T_{\text{esterna_max}} + R \cdot \dot{Q}_{\text{elettrica}} = 50 + 0.02309 \cdot 1800 = 91.6^\circ\text{C}$$

$$R_{\text{contatto}} = R''_{\text{contatto}}/A_{\text{contatto}} = 1.1 \cdot 10^{-4}/(4 \cdot 10^{-4}) = 0.275^\circ\text{C/W} \quad (\text{resistenza di contatto})$$

$$R_{\text{disp}} = R_{\text{contatto}} + R_{\text{dissipatore}} = 0.275 + 0.2 = 0.475^\circ\text{C/W}$$

$$T_{\text{disp}} = T_{\text{interna_max}} + R_{\text{disp}} \cdot \dot{Q}_{\text{disp}} = 91.6 + 0.475 \cdot 35 = 108^\circ\text{C} \quad (> T_{\text{ammissibile}} = 90^\circ\text{C})$$

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

$$T_{\text{ingresso}} = T_{\text{esterna_max}} = 50^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{uscita}} = T_{\text{ammissibile}} - R_{\text{disp}} \cdot \dot{Q}_{\text{disp}} = 90 - 0.475 \cdot 35 = 73.4^\circ\text{C} \quad (\text{massima temperatura interna ammissibile})$$

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,

$$\dot{V} = \dot{Q}_{\text{elettrica}} / [\rho_{\text{aria}} \cdot c_{p,\text{aria}} \cdot (T_{\text{uscita}} - T_{\text{ingresso}})] = 1800 / [1.14 \cdot 1008 \cdot (73.4 - 50)] = 0.0670 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{4.0 \text{ m}^3/\text{min}}$$

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.

$$T_{\text{interna_media}} = (T_{\text{ingresso}} + T_{\text{uscita}}) / 2 = (50 + 73.4) / 2 = 61.7^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{\text{trasmessa}} = R \cdot (T_{\text{interna_media}} - T_{\text{esterna_max}}) = 0.02309 \cdot (61.7 - 50^\circ\text{C}) = 506 \text{ W}$$

$$\dot{V} = (\dot{Q}_{\text{elettrica}} - \dot{Q}_{\text{trasmessa}}) / [\rho_{\text{aria}} \cdot c_{p,\text{aria}} \cdot (T_{\text{uscita}} - T_{\text{ingresso}})] = (1800 - 506) / [1.14 \cdot 1008 \cdot (61.7 - 50)] = \mathbf{2.9 \text{ m}^3/\text{min}}$$

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

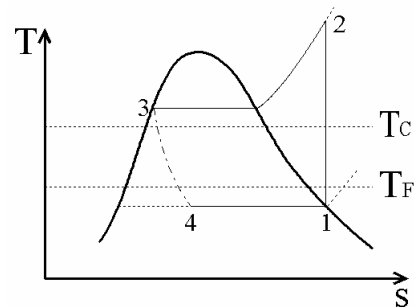
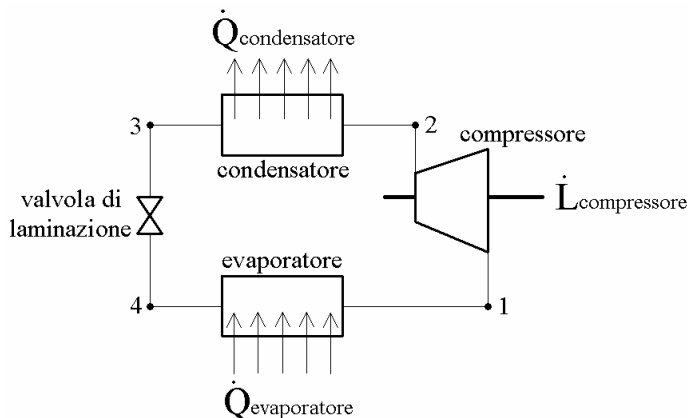
Problema 2. In un locale che ospita apparecchiature elettriche ed elettroniche di vario tipo, che dissipano complessivamente 25 kW, va mantenuta una temperatura di 20°C. Dimensionare il sistema di condizionamento del locale, assumendo le sue pareti adiabatiche ed una temperatura massima dell'ambiente esterno pari a 29.39°C. Nel dettaglio, stimare:

- COP del sistema frigorifero
- potenza assorbita 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 12°C tra ambiente refrigerato ed evaporatore, di 10°C tra condensatore ed ambiente esterno. Il compressore estrae dall'evaporatore un miscela satura liquido-vapore con titolo 98.8%. 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.



$$T_{\text{evaporatore}} = T_F (\text{lato freddo}) - \Delta T_{\text{lato freddo}} = 20 - 12 = 8^\circ\text{C}$$

$$T_1 = T_{\text{evaporatore}} = 8^\circ\text{C}$$

$$h_{\text{l_sat@T1}} = 60.73 \text{ kJ/kg} = 60.73 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad (\text{da tabella})$$

$$h_{\text{v_sat@T1}} = 251.80 \text{ kJ/kg} = 251.80 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad (\text{da tabella})$$

$$h_1 = h_{\text{l_sat@T1}} + x_1 \cdot (h_{\text{v_sat@T1}} - h_{\text{l_sat@T1}}) = 60.73 \cdot 10^3 + 0.988 \cdot (251.80 \cdot 10^3 - 60.73 \cdot 10^3) = 249.51 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$s_{\text{l_sat@T1}} = 0.2354 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} \quad (\text{da tabella})$$

$$s_{\text{v_sat@T1}} = 0.9150 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} \quad (\text{da tabella})$$

$$s_1 = s_{\text{l_sat@T1}} + x_1 \cdot (s_{\text{v_sat@T1}} - s_{\text{l_sat@T1}}) = 0.2354 + 0.988 \cdot (0.9150 - 0.2354) = 0.9068 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$s_2 = s_1 = 0.9068 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} \quad (\text{processo adiabatico e reversibile} \Rightarrow \text{processo isoentropico})$$

$$T_{\text{condensatore}} = T_C (\text{lato caldo}) - \Delta T_{\text{lato caldo}} = 29.39 + 10 = 39.39^\circ\text{C}$$

$$p_2 = p_{\text{condensatore}} = p_{\text{sat@Tcondensatore}} = 1.00 \text{ MPa}$$

$$T_2 = T_{\text{@p2\&s2}} = 40^\circ\text{C}$$

$$h_2 = h_{\text{@p2\&s2}} = 268.68 \text{ kJ/kg} = 268.68 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$\begin{aligned}
p_3 &= p_{\text{condensatore}} = 1.00 \text{ MPa} \\
h_3 &= h_{l_sat@p_3} = 105.29 \text{ kJ/kg} = 105.29 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \\
h_4 &= h_3 = 105.29 \text{ kJ/kg} = 105.29 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad (\text{entalpia a fine laminazione uguale a quella iniziale}) \\
l \ell_{\text{compressore}} &= h_2 - h_1 = 268.68 \cdot 10^3 - 249.51 \cdot 10^3 = 19.17 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \\
q_{\text{evaporatore}} &= h_1 - h_4 = 249.51 \cdot 10^3 - 105.29 \cdot 10^3 = 144.21 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \\
\text{COP} &= q_{\text{evaporatore}} / l \ell_{\text{compressore}} = 144.21 \cdot 10^3 / (19.17 \cdot 10^3) = \mathbf{7.52} \\
\dot{m} &= \dot{Q}_{\text{evaporatore}} / q_{\text{evaporatore}} = 25000 / (144.21 \cdot 10^3) = 0.173 \text{ kg/s} \\
\dot{L}_{\text{compressore}} &= \dot{m} \cdot l \ell_{\text{compressore}} = 0.173 \cdot 19.17 \cdot 10^3 = 3324 \cdot 10^3 \text{ W} = \mathbf{3.3 \text{ kW}}
\end{aligned}$$

Problema 3. Un lingotto cilindrico di silicio con diametro 101.6 mm ed altezza 254 mm, inizialmente a temperatura 125°C, è raffreddato mediante una portata di elio a 20°C che ne lambisce l'intera superficie, eccetto la base circolare d'appoggio. Sapendo che il valore medio del coefficiente di scambio termico sulla superficie del lingotto è pari a 60 W/(m²·°C), determinare la temperatura del lingotto stesso dopo 25 minuti di raffreddamento.

a) temperatura del lingotto al termine del raffreddamento

--	--

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

$$V_{\text{lingotto}} = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot H = \pi \cdot (0.1016/2)^2 \cdot 0.254 = 0.002059 \text{ m}^3 \quad (\text{volume})$$

$$A_{\text{lingotto}} = \pi \cdot (D/2)^2 + \pi \cdot D \cdot H = \pi \cdot (0.1016/2)^2 + \pi \cdot 0.1016 \cdot 0.254 = 0.08918 \text{ m}^2 \quad (\text{superficie esterna})$$

$$L_c = V_{\text{lingotto}} / A_{\text{lingotto}} = 0.002059 / 0.08918 \text{ m} = 0.02309 \text{ m} \quad (\text{lunghezza caratteristica})$$

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

$$Bi = h \cdot L_c / \lambda = 60 \cdot 0.02309 / 177 = \mathbf{0.00783} \quad (<0.1 \Rightarrow \text{OK})$$

$$t_c = \rho \cdot c \cdot L_c / h = 2700 \cdot 875 \cdot 0.02309 / 60 = 909 \text{ s} \quad (\text{tempo caratteristico})$$

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

$$T_t = T_{\text{elio}} + (T_0 - T_{\text{elio}}) \cdot \exp(-t/t_c) = 20 + (125 - 20) \cdot \exp(-25 \cdot 60 / 909) = \mathbf{40.2^\circ\text{C}}$$

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!

- Ciclo di Carnot a compressione di vapore e limiti pratici alla sua realizzabilità
- Stima della potenza termica in refrigerazione di un dispositivo termoelettrico ad effetto Peltier
- Legge di Fourier e conduttività termica dei diversi materiali