

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 20 LUGLIO 2004

Problema 1. Una centralina elettronica ospita dispositivi elettrici ed elettronici che, in condizioni di massimo carico di lavoro, assorbono complessivamente una potenza elettrica pari a 16 W. Tra i dispositivi suddetti, i più critici dal punto di vista del controllo termico sono due microchip. In condizioni di massimo carico di lavoro, uno dei due microchip (A) assorbe 3 W elettrici ed è raffreddato mediante un dissipatore a superficie alettata senza ventola, che presenta resistenza termica $1.7^\circ\text{C}/\text{W}$. L'altro microchip (B) assorbe 12 W elettrici ed è raffreddato mediante un dissipatore a superficie alettata con ventola, che presenta resistenza termica $0.5^\circ\text{C}/\text{W}$. In entrambi i casi, l'interfaccia di contatto tra microchip e dissipatore è caratterizzata da dimensioni $1.2\text{ cm} \times 1.4\text{ cm}$ e da resistenza di contatto, riferita all'unità di superficie, pari a $1^\circ\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{W}$. La temperatura dell'ambiente in cui la centralina elettronica va installata varia tra -10°C e 55°C . Essendo la centralina ventilata con una portata di $22\text{ dm}^3/\text{min}$ d'aria prelevata dall'ambiente, per la quale si possono assumere densità $1.11\text{ kg}/\text{m}^3$ e calore specifico a pressione costante $1006\text{ J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$, determinare:

- a) massima temperatura del microchip A
b) massima temperatura del microchip B

Soluzione

$$T_{\text{esterna_max}} = \max(T_{\text{ambiente_min}}, T_{\text{ambiente_max}}) = \max(10^\circ\text{C}, 55^\circ\text{C}) = 55^\circ\text{C}$$

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

$$\dot{V} = 22\text{ dm}^3/\text{min} = 0.000367\text{ m}^3/\text{s}$$

$$T_{\text{uscita}} = T_{\text{ingresso}} + \dot{Q}_{\text{elettrica}} / (\rho_{\text{aria}} \cdot c_{p_aria} \cdot \dot{V}) = 55 + 16 / (1.11 \cdot 1006 \cdot 0.000367) = 94.1^\circ\text{C} \quad (\text{max temperatura interna})$$

$$A_{\text{contatto}} = 0.012 \cdot 0.014 = 0.000168\text{ m}^2$$

$$R_{\text{contatto}} = R''_{\text{contatto}} / A_{\text{contatto}} = 0.000168 / (1 \cdot 10^{-4}) = 0.595^\circ\text{C}/\text{W} \quad (\text{resistenza di contatto})$$

$$R_{\text{mcA}} = R_{\text{contatto}} + R_{\text{dissipatore,mcA}} = 0.595 + 1.7 = 2.295^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$T_{\text{mcA}} = T_{\text{uscita}} + R_{\text{mcA}} \cdot \dot{Q}_{\text{mcA}} = 94.1 + 2.295 \cdot 3 = \mathbf{101.0^\circ\text{C}}$$

$$R_{\text{mcB}} = R_{\text{contatto}} + R_{\text{dissipatore,mcB}} = 0.595 + 0.5 = 1.095^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$T_{\text{mcB}} = T_{\text{uscita}} + R_{\text{mcB}} \cdot \dot{Q}_{\text{mcB}} = 94.1 + 1.095 \cdot 12 = \mathbf{107.2^\circ\text{C}}$$

Problema 2. Una parete piana con dimensioni $350\text{ cm} \times 220\text{ cm}$ (base per altezza) separa due ambienti adiacenti, uno posto a 35°C e l'altro a 20°C . La parete è costituita da due pelli in materiale plastico, ciascuna caratterizzata da spessore 4 mm e conduttività termica $0.33\text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$, tra le quali è interposto uno strato di materiale per isolamento termico con conduttività termica $0.026\text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$. Il coefficiente di convezione medio vale $8\text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ su entrambe le superfici della parete. Trascurando gli effetti di bordo, determinare il minimo spessore da assegnare allo strato di materiale per isolamento termico per limitare a non più di 100 W la potenza termica trasmessa tra i due ambienti.

- a) minimo spessore dello strato di isolante termico

--	--

Soluzione

$$A_{\text{parete}} = L_{\text{base}} \cdot L_{\text{altezza}} = 3.50 \cdot 2.20 = 7.70\text{ m}^2$$

$$R_{\text{totale,min}} = (T_{\text{ambienteA}} - T_{\text{ambienteB}}) / \dot{Q}_{\text{trasmessa,max}} = (35 - 20) / 100 = 0.150^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{convA}} = 1 / (h_{\text{convezioneA}} \cdot A_{\text{parete}}) = 1 / (8 \cdot 7.70) = 0.01623^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{convB}} = 1 / (h_{\text{convezioneB}} \cdot A_{\text{parete}}) = 1 / (8 \cdot 7.70) = 0.01623^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{pelle} = S_{pelle}/(\lambda_{pelle} \cdot A_{parete}) = 0.004/(0.33 \cdot 7.70) = 0.00157^\circ\text{C/W}$$

$$R_{isolante,min} = R_{totale,min} - (R_{convA} + 2 \cdot R_{pelle} + R_{convB}) = 0.150 - (0.01623 + 2 \cdot 0.00157 + 0.01623) = 0.01144^\circ\text{C/W}$$

$$S_{isolante,min} = R_{isolante,min} \cdot (\lambda_{isolante} \cdot A_{parete}) = 0.01144 \cdot (0.026 \cdot 7.70) = 0.0229 \text{ m} = \mathbf{22.9 \text{ mm}}$$

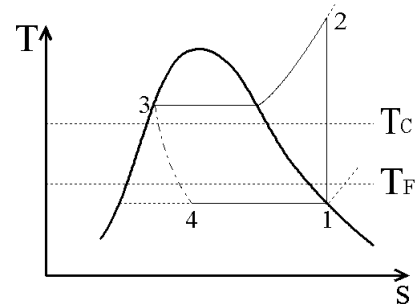
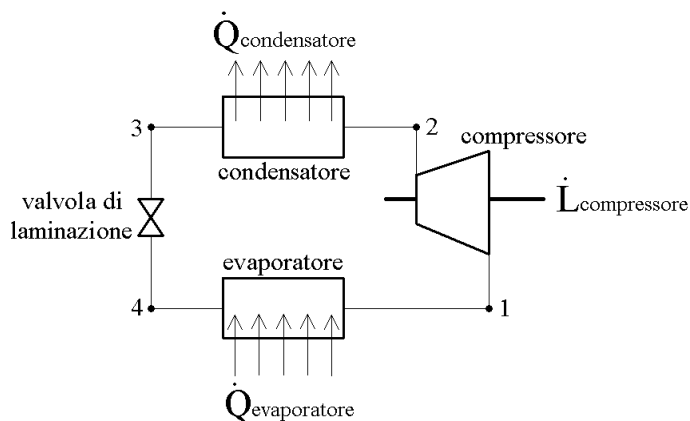
Problema 3. Un locale che ospita apparecchiature elettriche ed elettroniche di vario tipo, posto in un ambiente la cui minima temperatura è pari a -6°C , va mantenuto internamente ad una temperatura di 30°C . Per riscaldare il locale si utilizza una pompa di calore che implementa un ciclo frigorifero ideale a R134a. Per esigenze tecniche, la massima potenza meccanica che può essere fornita al compressore della pompa di calore è pari a 5 kW. Determinare:

- titolo al termine della laminazione
- potenza termica in riscaldamento
- COP teorico della pompa di calore

Per consentire un efficace scambio termico, deve esistere una differenza di temperatura di almeno 10°C tra ambiente esterno ed evaporatore, e di almeno 22.43°C tra condensatore e locale riscaldato. Il compressore estrae dall'evaporatore vapore saturo secco. Nella valvola di laminazione entra liquido saturo. Descrivere le varie fasi del processo, rappresentarlo graficamente, individuarlo qualitativamente sul diagramma T-s oppure sul diagramma p-h 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.



$$T_{\text{evaporatore}} = T_F (\text{lato freddo}) - \Delta T_{\text{lato freddo}} = -6 - 10 = -16^\circ\text{C}$$

$$T_1 = T_{\text{evaporatore}} = -16^\circ\text{C}$$

$$h_{1,\text{sat}@T1} = h_{1,\text{sat}@T4} = 28.30 \text{ kJ/kg} = 28.30 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad (\text{da tabella})$$

$$h_{v,\text{sat}@T1} = h_{v,\text{sat}@T4} = 237.74 \text{ kJ/kg} = 237.74 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad (\text{da tabella})$$

$$h_1 = h_{v,\text{sat}@T1} = 237.74 \text{ kJ/kg} = 237.74 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$s_{v,\text{sat}@T1} = 0.9298 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} \quad (\text{da tabella})$$

$$s_1 = s_{v,\text{sat}@T1} = 0.9298 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$s_2 = s_1 = 0.9298 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)} \quad (\text{processo adiabatico e reversibile} \Rightarrow \text{processo isoentropico})$$

$$T_{\text{condensatore}} = T_C (\text{lato caldo}) + \Delta T_{\text{lato caldo}} = 30 + 22.43 + 12 = 52.43^\circ\text{C}$$

$$p_2 = p_{\text{condensatore}} = p_{\text{sat}@T_{\text{condensatore}}} = 1.40 \text{ MPa}$$

$$T_2 = T_{@p2 \& s2} = 60^\circ\text{C}$$

$$h_2 = h_{@p2 \& s2} = 283.10 \text{ kJ/kg} = 283.10 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$p_3 = p_{\text{condensatore}} = 1.40 \text{ MPa}$$

$$h_3 = h_{1,\text{sat}@p3} = 125.26 \text{ kJ/kg} = 125.26 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$h_4 = h_3 = 125.26 \text{ kJ/kg} = 125.26 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \quad (\text{entalpia a fine laminazione uguale a quella iniziale})$$

$$h_4 = h_{1,\text{sat}@T4} + x_4 \cdot (h_{v,\text{sat}@T4} - h_{1,\text{sat}@T4})$$

$$x_4 = (h_{v,\text{sat}@T4} - h_{1,\text{sat}@T4}) = (h_4 - h_{1,\text{sat}@T4}) / (h_{v,\text{sat}@T4} - h_{1,\text{sat}@T4}) = (125.26 - 28.30) / (237.74 - 28.30) = 0.463 = \mathbf{46.3\%}$$

$$|\ell|_{\text{compressore}} = h_2 - h_1 = 283.10 \cdot 10^3 - 237.73 \cdot 10^3 = 45.36 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$\begin{aligned}\dot{L}_{\text{compressore}} &= \dot{m} \cdot \ell_{\text{compressore}} \\ \dot{m} &= \dot{L}_{\text{compressore}} / \ell_{\text{compressore}} = 5000 / (45.36 \cdot 10^3) = 0.110 \text{ kg/s} \\ q_{\text{condensatore}} &= h_2 - h_3 = 283.10 \cdot 10^3 - 125.26 \cdot 10^3 = 157.84 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \\ \dot{Q}_{\text{condensatore}} &= \dot{m} \cdot q_{\text{condensatore}} = 0.110 \cdot (157.84 \cdot 10^3) = 17399 \text{ W} = \mathbf{17.4 \text{ kW}} \\ \text{COP} &= q_{\text{condensatore}} / \ell_{\text{compressore}} = 157.84 \cdot 10^3 / (45.36 \cdot 10^3) = \mathbf{3.48}\end{aligned}$$

Problema 4. Un sensore per misure di temperatura è usato per monitorare una portata d'aria di raffreddamento di un sistema elettronico. Il sensore è essenzialmente costituito da un sfera con diametro 3 mm, realizzata in un materiale plastico con conduttività termica $0.8 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$, densità 1200 kg/m^3 e calore specifico $1550 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$. Il coefficiente di scambio termico sulla superficie del sensore è pari a $50 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$. Se la portata d'aria monitorata subisce una pressoché istantanea variazione di temperatura da 30°C a 60°C , calcolare dopo quanto tempo la temperatura del sensore, inizialmente pari a 30°C , salirà ad un valore differente per meno di 1°C dalla temperatura dell'aria.

a) tempo di risposta del sensore termico

--	--

$$V_{\text{sensore}} = (4/3) \cdot \pi \cdot (D/2)^3 = (4/3) \cdot \pi \cdot (0.003/2)^3 = 1.41 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \quad (\text{volume})$$

$$A_{\text{sensore}} = 4 \cdot \pi \cdot (D/2)^2 = 4 \cdot \pi \cdot (0.003/2)^2 = 2.83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (\text{superficie esterna})$$

$$L_c = V_{\text{sensore}} / A_{\text{sensore}} = 1.41 \cdot 10^{-8} / 2.83 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0.0005 \text{ m} \quad (\text{lunghezza caratteristica})$$

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

$$Bi = h \cdot L_c / \lambda = 50 \cdot 0.0005 / 0.8 = \mathbf{0.0313} \quad (< 0.1 \Rightarrow \text{OK})$$

$$t_c = \rho \cdot c \cdot L_c / h = 1200 \cdot 1550 \cdot 0.0005 / 50 = 18.6 \text{ s} \quad (\text{tempo caratteristico})$$

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

$$T_t = T_{\text{acqua}} - 1 = 60 - 1 = 59 \quad (\text{la temperatura del sensore sale progressivamente, avvicinandosi a quella dell'aria})$$

$$t = -t_c \cdot \ln[(T_t - T_{\text{aria}})/(T_0 - T_{\text{aria}})] = -18.6 / \ln[(59 - 60)/(30 - 60)] = \mathbf{63.3 \text{ s}}$$

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 Rankine con surriscaldamento
- Dimostrare che in una laminazione adiabatica l'entalpia finale è uguale a quella iniziale
- Corpo nero e superfici reali in irraggiamento termico