

Cognome, nome, matr _____

Prof. L. Araneo. Prova di Fisica Tecnica del 28 Luglio 2009. Lecco, IPI 7.5 Cr. Tempo 3h

PROVA COMPLETA (per chi NON ha superato la prima parte) con SOLUZIONE

Es	1 umid	2 frig	3 flux	4 Otto	5 Rank	6 fili	7 tub	8 bar	9 (x,t)	Tot
Punti	4	3	4	3	4	5	3	3	4	33
Voto										

E' consentito l'uso di: -calcolatrice, -tavole termodinamiche, un -formulario (1 pagina A4 F/R)
Disponibili: tabelle vapore, aria e varie sostanze

Potete trattenere il testo dell'esame.

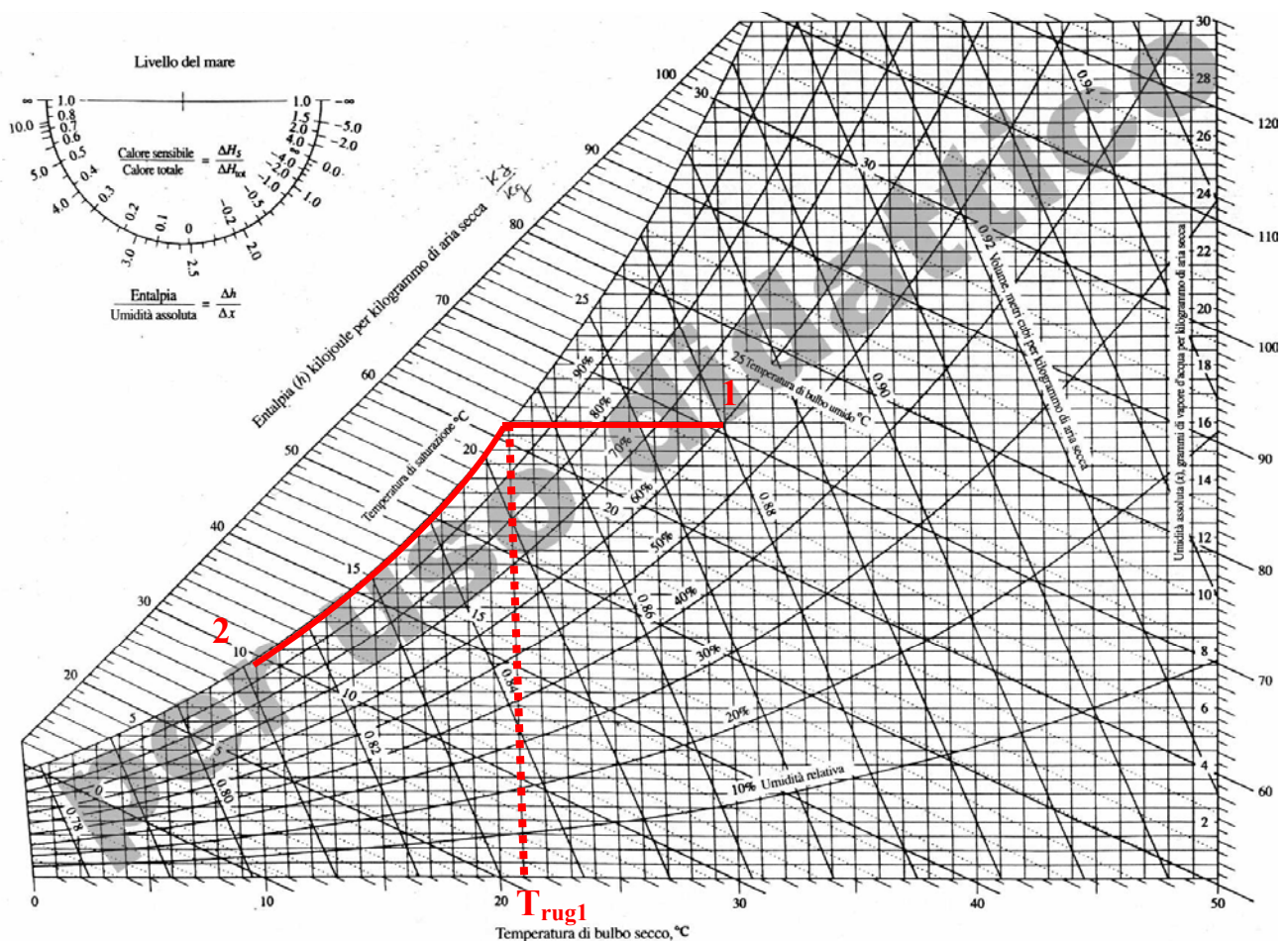
Consegnare: ☐ testo con grafico aria umida, ☐ grafico Rankine, ☐ svolgimento, ☐ formulario.

Segnare il Cognome+Nome su OGNI foglio consegnato.

Specificare le ipotesi, convenzioni, semplificazioni adottate.

I risultati privi di sufficiente svolgimento/spiegazione non sono ritenuti validi.

1) In un impianto di condizionamento di una vettura l'aria convogliata dall'esterno (30 litri/s, $T_1=30^\circ\text{C}$ e $UR_F=60\%$) viene raffreddata sino a ($T_2=10^\circ\text{C}$, satura). Riportare il percorso della trasformazione nel diagramma psicrometrico allegato spiegando come variano i parametri durante il percorso. Calcolare numericamente la temperatura di rugiada dell'aria esterna, la quantità di acqua che condensa e la potenza termica da asportare. Specificare le ipotesi e le approssimazioni adottate.



Soluzione

$T_1 = 30^\circ\text{C}$, $UR_1 = 60\%$, $P_{\text{sat}1} = 4246$ (tabelle), $P_{\text{vap}1} = 4246 \cdot 0.60 = 2548$, $x_1 = 0.0160$, $h_1 = 71.2 \text{ kJ/kg}_{\text{as}}$,

$T_{\text{rug}1} = \text{la } T_{\text{sat}} \text{ corrispondente alla } P$, da tabelle interpolate 21.4°C

$T_2 = 30^\circ\text{C}$, $UR_2 = 60\%$, $P_{\text{sat}2} = 1227.6$ (tabelle) = $P_{\text{vap}2} = 1227.6$, $x_2 = 0.0076$, $h_2 = 29.3 \text{ kJ/kg}_{\text{as}}$,

trasformazione 1-2. Tratto orizzontale, scende la T , x resta costante, U.R. cresce fino a 100% a T_{rug} . Poi inizia a seguire la curva di saturazione fino a 2: scende la T , U.R. resta costante al 100%, x scende e si separa acqua.

Il volume specifico v_1 può essere letto sul grafico (direttamente in $\text{m}^3/\text{kg}_{\text{as}}$) o calcolato con l'eq. Del gas perfetto, considerando $P_{\text{as}1} = P_{\text{tot}1} - P_{\text{vap}1} = 101325 - 2548$, si ottiene $\rho_1 = 1.137 \text{ kg}_{\text{as}}/\text{m}^3$.

$m' = \rho V' = 1.137 \text{ kg}_{\text{as}}/\text{m}^3 \cdot 0.030 \text{ m}^3/\text{s} = 0.034 \text{ kg/s}$.

condensazione = $m' (x_1 - x_2) [\text{kg}_{\text{as}}/\text{s} \cdot \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{as}} = \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{s}] = 0.034 \cdot ((0.0160 - 0.0076) = 0.000287 \text{ kg/s} = 0.017 \text{ kg/min}$.

$Q' = m' (h_{\text{fin}} - h_{\text{iniz}}) \cong m' (h_2 - h_1) = 0.034 \cdot (71.2 - 29.3) [\text{kg/s} \cdot \text{kJ/kg} = \text{kW}] = 1.43 \text{ kW}$. Si è trascurata l'entalpia dell'acqua liquida, considerando che è molto fredda e prossima allo zero.

Senza trascurarla il risultato è $Q' = m' (h_{\text{fin}} - h_{\text{iniz}}) \cong m' (h_2 - h_1 - x_{\text{cond}} h_{\text{liq}}) =$

$= 0.034 \cdot (71.2 - 29.3 - (0.0160 - 0.0076) \cdot 4.184 \cdot 10) = 1.41 \text{ kW}$

2) In un frigorifero il ciclo opera tra le temperature -10°C e $+50^\circ\text{C}$, con un COP che è metà di quello ideale. Disponendo di un motore da 150 W, quanto tempo impiegherà per congelare un litro d'acqua inizialmente a 20°C ? Dati: entalpia di trasformazione di fase solido-liquido per l'acqua 80 kcal/kg.

Soluzione

$|Q| = m (|\Delta h_{\text{raff}}| + |\Delta h_{\text{cong}}|) = 1 \text{ kg} \cdot (1 \text{ kcal/kg} \cdot \text{K} \cdot 20 \text{ K} + 80 \text{ kcal/kg}) = 100 \text{ kcal} = 418.4 \text{ kJ}$

$\text{COP}_{\text{id frigo}} = Q_{\text{inf}} / L = T_{\text{inf}} / \Delta T = 263/60 = 4.38$

$\text{COP}_{\text{re}} = 4.38 \cdot 0.5 = 2.19$

$Q = L \cdot \text{COP} \rightarrow L = Q / \text{COP} = 418.4/2.19 = 191 \text{ kJ}$

$L = L' \cdot t \rightarrow t = 191'000 \text{ J} / 150 \text{ W} = 1272 \text{ s} = 21 \text{ min}$.

3) Un flusso di aria ambiente viene aspirato da un compressore dal quale esce alle condizioni $P_u = 2$ bar relativi, $T_u = 150^\circ\text{C}$, $w_u = 150 \text{ m/s}$ da un condotto avente diametro 10 cm. Specificare le ipotesi adottate, calcolare la potenza meccanica necessaria per azionare il compressore, spiegare se la trasformazione è irreversibile, reversibile o impossibile.

Soluzione

Ipotizzo $T_1 = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$

	IN	OUT
$T^\circ\text{C}$	30	150
$T \text{ K}$	303	423
$P_{\text{rel}} \text{ bar}$	0	2
$P_{\text{ass}} \text{ bar}$	1.01	3.01
$w \text{ m/s}$	0	150.00
$\rho \text{ kg/m}^3$	1.16	2.48

Nell'ambiente l'aria è in quiete, $w_{\text{IN}} = 0$, verrà accelerata in un condotto di aspirazione. Per calcolare la portata serve una sezione nota, quella di uscita.

$D_{\text{OUT}} = 10 \text{ cm} \rightarrow 0.1 \text{ m}$ $A_{\text{OUT}} = 0.00785 \text{ m}^2$

$m' = (\rho w A)_{\text{OUT}} = 2.92 \text{ kg/s}$

$Q_{\text{IN}}' + L_{\text{IN}}' = \Delta \Theta'$ ma $Q' = 0$ (ipotesi di componente adiabatico)

$L_{\text{IN}}' = m' (\Delta h + \Delta e_{\text{cin}}) = m' [c_p (T_2 - T_1) + (w_2^2 - w_1^2)/2] = 2.92 \cdot (120'409 + 11'250) =$

$L_{\text{IN}}' = 385 \text{ kW}$

$\Delta s = c_p \ln(T_2/T_1) - R \ln(P_2/P_1) = 21.7 \text{ J/kg} \cdot \text{K} > 0$ trasformazione irreversibile. Il risultato può variare in funzione della T iniziale scelta, per valori di $T_1 > 36.5^\circ\text{C}$, il ΔS risulta < 0 , quindi impossibile.

4) In un motore a ciclo Otto ideale l'aria è aspirata a $T=60^{\circ}\text{C}$, $P=0.5$ bar. Il rapporto di compressione volumetrico è 11, nel riscaldamento vengono forniti al fluido 1500 kJ/kg. Calcolare le condizioni (P,T) nei punti del ciclo e il suo rendimento termodinamico.

Soluzione

	1	2	3	4
$T^{\circ}\text{C}$	60	596	2689	862
$T\text{ K}$	333	869	2962	1135
$P\text{ bar}$	0.5	14.35	48.9	1.70

$$R = 8314/29 = 286.7 \text{ [J/kg.K]} \quad c_v = 5/2 R = 716.7 \text{ [J/kg.K]} \quad \gamma = 1.4$$

$$T_2 = T_1 \cdot \rho^{\gamma-1} \quad P_2 = P_1 \cdot \rho^{\gamma}$$

$$T_4 = T_3 / \rho^{\gamma-1} \quad P_4 = P_3 / \rho^{\gamma}$$

$$Q_{23} = c_v \Delta T_{23} \quad \text{da cui } T_3 = T_2 + 1500 / 716 = 2962 \text{ K (ipotesi di } c_v \text{ da gas perfetto poco realistica)}$$

Per P e T si può sfruttare la proprietà dei cicli simmetrici ideali $T_1 / T_2 = T_3 / T_4$

Rendimento $\eta = 1 - T_1 / T_2 = 62\%$. Come Carnot tra 1 e 2.

5) Sono date le pressioni minima (0.1 bar) e massima (150 bar) e la temperatura massima (500°C) di un ciclo Rankine a vapore d'acqua, con pompa e turbina isoentropiche. Disegnare il ciclo nel diagramma T-s allegato. Calcolare i valori delle grandezze termodinamiche (P, T, h, s, titolo) nei punti necessari ed il rendimento del ciclo.

Soluzione

	$T^{\circ}\text{C}$	$P\text{ kPa}$	x	h	s
1=liquido saturo	45.8	10	0	191.8	0.6492
2	45.8 circa	15'000	nd	206.85	"
3			0		
4			1		
5	500	15'000	nd	3308.6	6.3443
6	45.8	10.039472	0.775	2008.5	6.3443
Vapore saturo	45.8	VAP	1	2584.6	8.150

per il punto 1 si usano le tabelle dell'acqua saturo con base Pressione, dove si trovano i valori per $P=10\text{ kPa}$, e si interpola la sola T_1 .

$$\Delta h_{12} = l_{IN} = v \Delta P = 0.001002 * (12'500-10) = 15.07 \text{ kJ/kg (è un liquido, se perfetto la T non varia)}$$

$$q_{IN} = \Delta h_{25} = 3137 \text{ kJ/kg}$$

$$|l_{OUT}| = |\Delta h_{56}|$$

$$\eta = (|l_{OUT}| - l_{IN}) / q_{IN} = 41.4\%$$

6) Le resistenze elettriche di una stufetta elettrica (fili di acciaio con diametro = 0.5 mm) durante il funzionamento stazionario si trovano a 300°C e sono investite dal flusso d'aria a 10 m/s. Viene tolta l'alimentazione elettrica alle resistenze: dopo quanto tempo si trovano a meno di 50°C ?

Correlazioni suggerite $Re(Pr-Nu)$ per cilindro esposto a flusso

Campo Re	Nu=
0.4÷4	$0.989 Re^{0.330} Pr^{1/3}$
4÷40	$0.911 Re^{0.385} Pr^{1/3}$
40÷4'000	$0.683 Re^{0.466} Pr^{1/3}$
4'000÷40'000	$0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3}$
40'000÷400'000	$0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$

Soluzione

Le resistenze sono investite dal flusso di aria trasversale ad esse. Si ipotizza la temperatura dell'aria ambiente p.e. 30°C , da cui quella di film (media tra ambiente e resistenze), e pensando che nel

corso del raffreddamento diminuirà, da tabelle si scelgono valori di densità etc appropriati. La raffinatezza sarebbe scegliere per il corpo la media tra T iniziale e finale, e poi quella di film.

$$\rho=0.81, \mu=2.3 \cdot 10^{-5}, \lambda=0.033, Re=176, Nu=6.75, h=445 \text{ W/m}^2\text{K},$$

Durante il raffreddamento $Bi=0.0009$: posso usare l'ipotesi di T omogenea per il corpo.

$$\tau = \rho_{Fe} \cdot D/4 \cdot c_{p-Fe} / h = 0.98 \text{ s}, \text{ tempo} = 2.56 \text{ s}.$$

Facendo riferimento al Cengel, $b=1/\tau$.

Grave errore sarebbe usare le proprietà ρ c_p del fluido.

7) In un tubo di rame (D_{int} 14mm, spessore 1 mm) scorre acqua calda (70°C). Si vuole ricoprire il tubo con un materiale avente conducibilità termica $\lambda=0.02$. Determinare lo spessore di materiale che massimizza le perdite in un ambiente dove $h=1 \text{ W/m}^2\text{K}$, in tale caso il profilo di temperatura radiale, il calore dissipato per metro di tubo. Specificare le ipotesi e le approssimazioni adottate.

Soluzione

Si possono ipotizzare trascurabili le resistenze dello strato convettivo nel fluido (come dire coefficiente di convezione infinito) e la resistenza termica del rame (data l'elevata conducibilità e il modesto spessore, $r_{Int_Cu}=7$, $r_{Est_Cu}=8 \text{ mm}$).

Lo spessore di isolante che annulla le perdite è infinito. Lo spessore che le massimizza è quello che fornisce il raggio esterno pari al raggio critico $r_{CR} = \lambda / h = 0.02/1 = 0.02 \text{ m} = 20 \text{ mm}$

$$\text{In tal caso } R_{Termica_Totale} = \ln(20/8)/(2\pi \cdot 1 \cdot 0.02) + 1/(1 \cdot 2\pi \cdot 0.02) = 7.29 + 7.96 = 15.3 \text{ K/W (L=1)}.$$

Ipotizzo una temperatura dell'aria, p.e. 20°C , ed ottengo $Q'=3.28 \text{ W}$. $T_{esterno} = 46.1^\circ\text{C}$.

8) Una barra (Acciaio, $D=2 \text{ cm}$) con temperatura ad una estremità pari a 100°C si trova in un ambiente con coefficiente di convezione pari a $10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Determinare quale lunghezza debba avere per poter essere considerata infinita, e in tal caso la distanza a cui la temperatura è 50°C .

Soluzione

La barra si comporta come un'aletta, posso considerarla di lunghezza infinita se $L > 5 \cdot (1/m)$ dove $m = (hP/\lambda A)^{1/2} = 5.77$, $1/m = 0.17 \text{ metri}$ = lunghezza caratteristica dell'esponenziale smorzata, quindi $x_\infty = 0.87 \text{ metri}$. Altri criteri $(\theta/\theta_0)=1\%$ etc sono equivalenti. E' indipendente dalla T_{amb} .

Ipotizzo una temperatura dell'aria, p.e. 30°C , $\theta/\theta_0 = e^{-m \cdot x}$ ed ottengo la distanza di $x_{50^\circ\text{C}} = 0.217 \text{ metri}$.

9) Un oggetto di grosse dimensioni, di materiale solido avente le proprietà dell'acqua (ρ , c_p , λ ; $T_{iniziale} = 20^\circ\text{C}$) viene messo in un freezer ($T=-10^\circ\text{C}$, convezione = $5 \text{ W/m}^2\text{K}$) Determinare dopo quanto tempo la superficie è a 0°C , e in tale momento la temperatura alla profondità di 2 cm . Specificare e discutere le ipotesi adottate.

Soluzione

Corpo ($\rho=1000$, $c_p=4184$, $\lambda=0.58$, $T_{iniziale} = 20^\circ\text{C}$).

Si usa il grafico, parametro $\xi_{0cm} = 0$ alla superficie per ogni tempo, $1-\theta=0.667$, si ottiene la curva con parametro 1.5, a cui corrisponde un tempo di $54600\text{s} = 15 \text{ ore}$. Si usa la stessa curva e il tempo ottenuto per calcolare ξ alla profondità di 2 cm $\xi_{2cm_t54600} = 0.115$, ottenendo sul grafico $1-\theta=0.55$, da cui $T_{2cm_t54600} = 3.5^\circ\text{C}$.

SOLO SECONDA PARTE (per chi ha già superato la prima parte)

(Gli esercizi sono simili ai precedenti, cambiano solo i valori numerici. E' aggiunta la soluzione all'esercizio di teoria n°15)

Es	10 umid	11 fili	12 tub	13 bar	14 T(x,t)	15 teor	Tot
Punti come sopra	4	5	3	3	4	3	22
Punti normalizzati	6	7.5	4.5	4.5	6	4.5	33
Voto							

E' consentito l'uso di: -calcolatrice, -tavole termodinamiche, un -formulario (1 pagina A4 F/R)
Disponibili: tabelle vapore, aria e varie sostanze

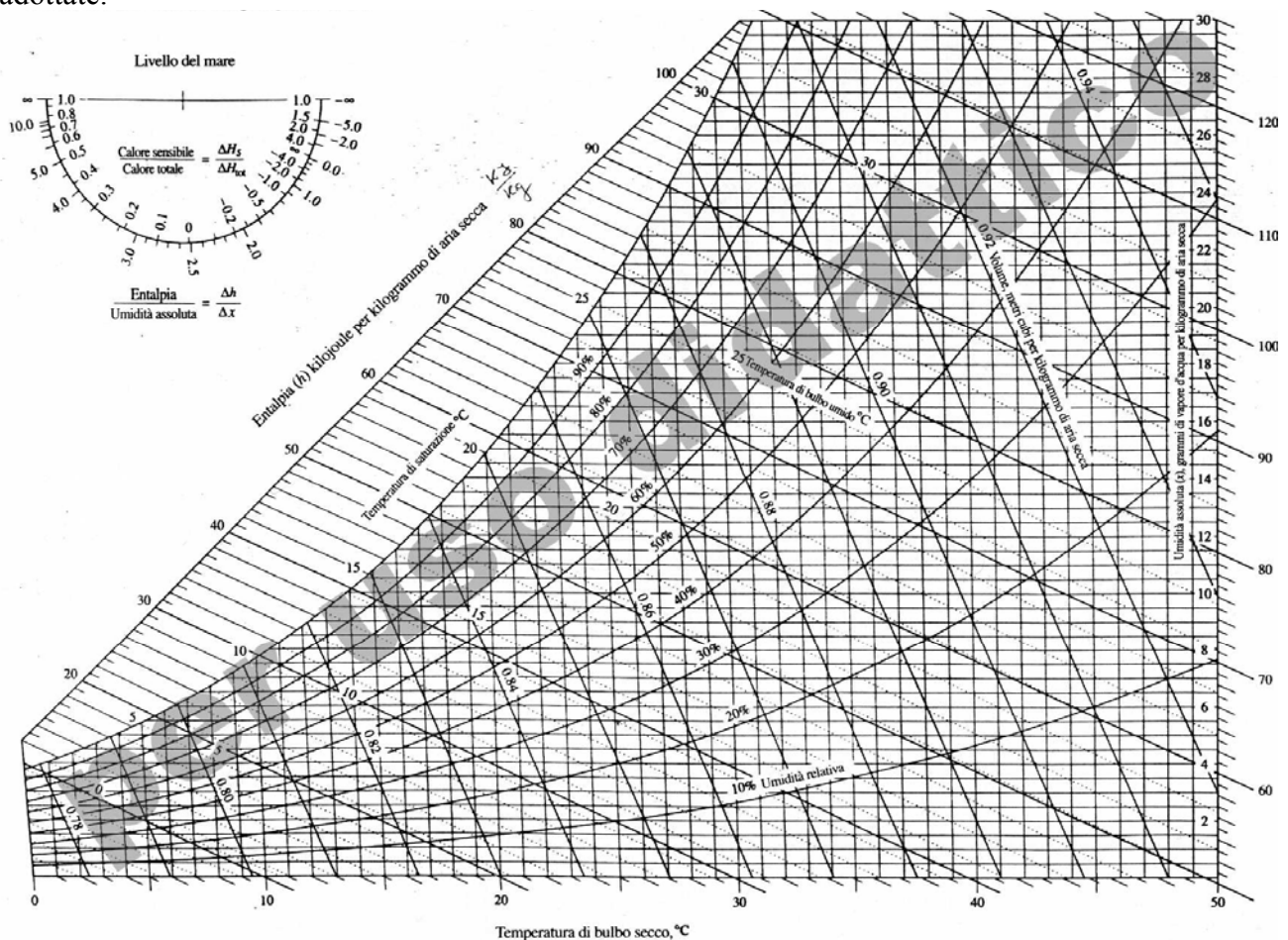
Consegnare: ☐ testo con grafico aria umida, ☐ svolgimento, ☐ formulario.

Segnare il Cognome+Nome su OGNI foglio consegnato.

Specificare le ipotesi, convenzioni, semplificazioni adottate.

I risultati privi di sufficiente svolgimento/spiegazione non sono ritenuti validi.

10) In un impianto di condizionamento di una vettura l'aria convogliata dall'esterno (25 litri/s, $T_1=35^\circ\text{C}$ e $UR_F=70\%$) viene raffreddata sino a ($T_2=12.5^\circ\text{C}$ e $UR_2=100\%$). Riportare il percorso della trasformazione nel diagramma psicrometrico allegato spiegando come variano i parametri durante il percorso. Calcolare numericamente la temperatura di rugiada dell'aria esterna, la quantità di acqua che condensa e la potenza termica da asportare. Specificare le ipotesi e le approssimazioni adottate.



11) Le resistenze elettriche di una stufetta elettrica (diametro = 1 mm, materiale acciaio) durante il funzionamento stazionario si trovano a 400°C e sono investite dal flusso d'aria a 15 m/s. Viene tolta l'alimentazione elettrica alle resistenze: dopo quanto tempo si trovano a meno di 50°C?

Correlazioni suggerite $Re(Pr-Nu)$ per cilindro esposto a flusso

Campo Re	Nu=
0.4÷4	$0.989 Re^{0.330} Pr^{1/3}$
4÷40	$0.911 Re^{0.385} Pr^{1/3}$
40÷4'000	$0.683 Re^{0.466} Pr^{1/3}$
4'000÷40'000	$0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3}$
40'000÷400'000	$0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$

12) In un tubo di rame (D_{int} 14mm, spessore 1 mm) scorre acqua calda (60°C). Si vuole isolare il tubo con un materiale avente conducibilità termica $\lambda = 0.02$. Determinare lo spessore di isolante da mettere per minimizzare le perdite in un ambiente dove $h = 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$, il profilo di temperatura radiale, il calore dissipato per metro di tubo. Specificare le ipotesi e le approssimazioni adottate.

13) Una barra (Acciaio, $D = 3 \text{ cm}$) con temperatura ad una estremità pari a 120°C si trova in un ambiente con coefficiente di convezione pari a $8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Determinare quale lunghezza debba avere per poter essere considerata infinita, e in tal caso la distanza a cui la temperatura è 50°C.

14) Un oggetto di grosse dimensioni, di materiale solido avente le proprietà dell'acqua (ρ , c_p , λ ; $T_{iniziale} = 20^\circ\text{C}$) viene messo in un freezer ($T = -10^\circ\text{C}$, convezione = $5 \text{ W/m}^2\text{K}$) Determinare dopo quanto tempo la superficie è a 0°C , e in tale momento la temperatura alla profondità di 3 cm. Specificare e discutere le ipotesi adottate.

15) Dimostrare che i coefficienti di emissione e assorbimento per un corpo grigio hanno uguale valore.

Soluzione

Si prendano due superfici, una nera e l'altra grigia, di superficie A infinita ed affacciate. Esse raggiungeranno l'equilibrio termico per cui $T_N = T_G = T$. In tale situazione la superficie nera assorbe tutto ciò che le arriva, ed emette $Q_N' = A \sigma T^4$.

La superficie grigia emette $Q_{G_OUT}' = \epsilon_G A \sigma T^4$ (tutto assorbito dalla nera, per cui nulla torna indietro) ed assorbe la frazione α_G di ciò che riceve:

$Q_{G_IN}' = \alpha_G Q_N' = \alpha_G A \sigma T^4$; (la parte riflessa torna alla nera, e viene totalmente assorbita).

L'equilibrio $Q_{G_OUT}' = Q_{G_IN}'$ risulta $\epsilon_G A \sigma T^4 = \alpha_G A \sigma T^4$ da cui $\epsilon_G = \alpha_G$.

c.v.d.