

Prof. L. Araneo. Prova di Fisica Tecnica del 14 Febbraio 2013. Lecco, IPI 7 Cr,
Esame COMPLETO: esercizi 1-8, 3 ore.

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

Segnare il Cognome+Nome su OGNI foglio consegnato.

Consegnare: foglio grafici, svolgimento, formulario. Potete trattenere il testo dell'esame.

Specificare le ipotesi, convenzioni, semplificazioni adottate. Ipotizzare i dati mancanti necessari.
I risultati privi di sufficiente svolgimento/spiegazione non sono ritenuti validi.

1) (5p) Sono date le temperature minima (45°C) e massima (550°C) e la pressione massima (125 bar) di un ciclo Rankine a vapore d'acqua, con pompa e turbina isoentropiche. Disegnare il ciclo nel diagramma T-s allegato, illustrando le varie trasformazioni seguite. Calcolare i valori delle grandezze nei punti necessari ed il rendimento del ciclo secondo i due principi della termodinamica, spiegandone il significato.

2) (5 p) Una turbina a gas lavora secondo il ciclo Joule-Brayton approssimabile come chiuso, in cui evolve aria inizialmente alle condizioni $T_1=25^{\circ}\text{C}$, $P_1=1\text{bar}$. Noti il rapporto di compressione manometrico $\beta = 13$, i rendimenti di compressore e turbina entrambi $\eta_{\text{COMP}} = \eta_{\text{TURB}} = 89\%$, la temperatura massima raggiunta durante il ciclo $T_{\text{MAX}} = 1250^{\circ}\text{C}$, determinare i punti del ciclo, il rendimento del ciclo di 1° e 2° principio, spiegandone il significato. Disegnare il grafico rappresentante il ciclo nel piano T-s..

3) (3 p) Una pompa di calore, azionata da un motore elettrico che assorbe 400 W di energia elettrica, è usata per scaldare un ufficio avente $T_{\text{uff}}=22^{\circ}\text{C}$ mentre all'esterno si ha $T_{\text{est}}=8^{\circ}\text{C}$. L'evaporatore necessita di una differenza di temperatura di $\Delta T_{\text{ev}}=5^{\circ}\text{C}$ per scambiare calore, il condensatore di $\Delta T_{\text{cond}}=16^{\circ}\text{C}$. L'efficienza è il 60% di quella di una macchina ideale che lavora tra le stesse temperature estreme del ciclo. Calcolare il COP della macchina reale ed i flussi di calore. Disegnare uno o più schemi della macchina per spiegarne il funzionamento

4) (4 p) In un impianto di riscaldamento l'aria proveniente dall'esterno a $T_1=10^{\circ}\text{C}$, U.R = 80% deve essere portata fino $T_3=25^{\circ}$, UR₃=50%. Per ogni kg di aria trattata, determinare la quantità di acqua da aggiungere e di energia da fornire per ottenere le condizioni desiderate 3. L'energia viene fornita all'aria prima di aggiungere l'acqua, portando l'aria 1 alle condizioni di passaggio 2. Riportare punti e trasformazioni sul diagramma psicrometrico allegato. Riconoscere ed indicare sulle scale del diagramma i valori calcolati numericamente che è possibile indicarvi. Se i conti sono fatti in via grafica, spiegare come si è operato.

5) (3 p) In un tubo di rame ($D_{\text{int}} 6 \text{ mm}$, spessore 1 mm, $\rho_{\text{cu}} = 8933 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_{\text{cu}} = 401 \text{ W/mK}$, $c_p = 385 \text{ J/kgK}$) scorre acqua calda (75°C). Il coefficiente di scambio convettivo interno è molto elevato, quello verso l'ambiente esterno è $5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Si ha a disposizione un isolante di spessore 1 cm avente conducibilità termica $\lambda = 0.02$. Determinare se l'uso di isolante diminuirà le perdite spiegando il criterio adottato, quindi per la configurazione con minori perdite calcolare il calore dissipato per metro di tubo e disegnare il profilo di temperatura radiale. Specificare le ipotesi e le approssimazioni adottate

6) (5 p) Un tubo di acciaio ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_{\text{acc}} = 60 \text{ W/m.K}$, $c_p = 434 \text{ J/kgK}$) avente $D_{\text{est}} = 4 \text{ cm}$ e spessore 2 mm è mantenuto ad una estremità alla temperatura di 280°C , e viene esposto all'aria

ambiente avente velocità di 5 m/s. Determinare a quale distanza può essere maneggiato senza scottarsi.

Correlazioni suggerite per Re-Nu attorno a cilindri:

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	$0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$

7) (6 p) Una striscia in acciaio ($\rho_{acc}=7900 \text{ kg/m}^3$, $c_{p,acc}=450 \text{ J/kg.K}$, $\lambda_{acc}=60 \text{ W/m.K}$) di sezione rettangolare (spessore 3 mm, larghezza 30 cm, lunghezza vari metri), inizialmente a $T=120^\circ\text{C}$ è investita da un flusso d'aria a 10 m/s. Determinare dopo quanto tempo può essere maneggiata.

Correlazioni suggerite per il numero di Nusselt su lastre piane: (motivare la scelta)

lastra piana, $Re < 500'000$ $Nu = 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3}$

lastra piana, $Re > 500'000$ $Nu = (0.037 Re^{4/5} - 871) Pr^{1/3}$ ($0.6 < Pr < 60$, $5 \cdot 10^5 < Re < 10^7$)

lastra piana, $Re \gg 500'000$ $Nu = 0.037 Re^{4/5} Pr^{1/3}$ ($0.6 < Pr < 60$, $5 \cdot 10^5 < Re < 10^7$)

Determinare la produzione totale di entropia

8) (3 p) Dato un recipiente cilindrico, con $D=20 \text{ cm}$ e $h=60 \text{ cm}$, determinare le potenze termiche scambiate tra le superfici interne sapendo che:

$T_{\text{basi}} = 60^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 0.8$

$T_{\text{parete cilindrica}} = 25^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 0.7$

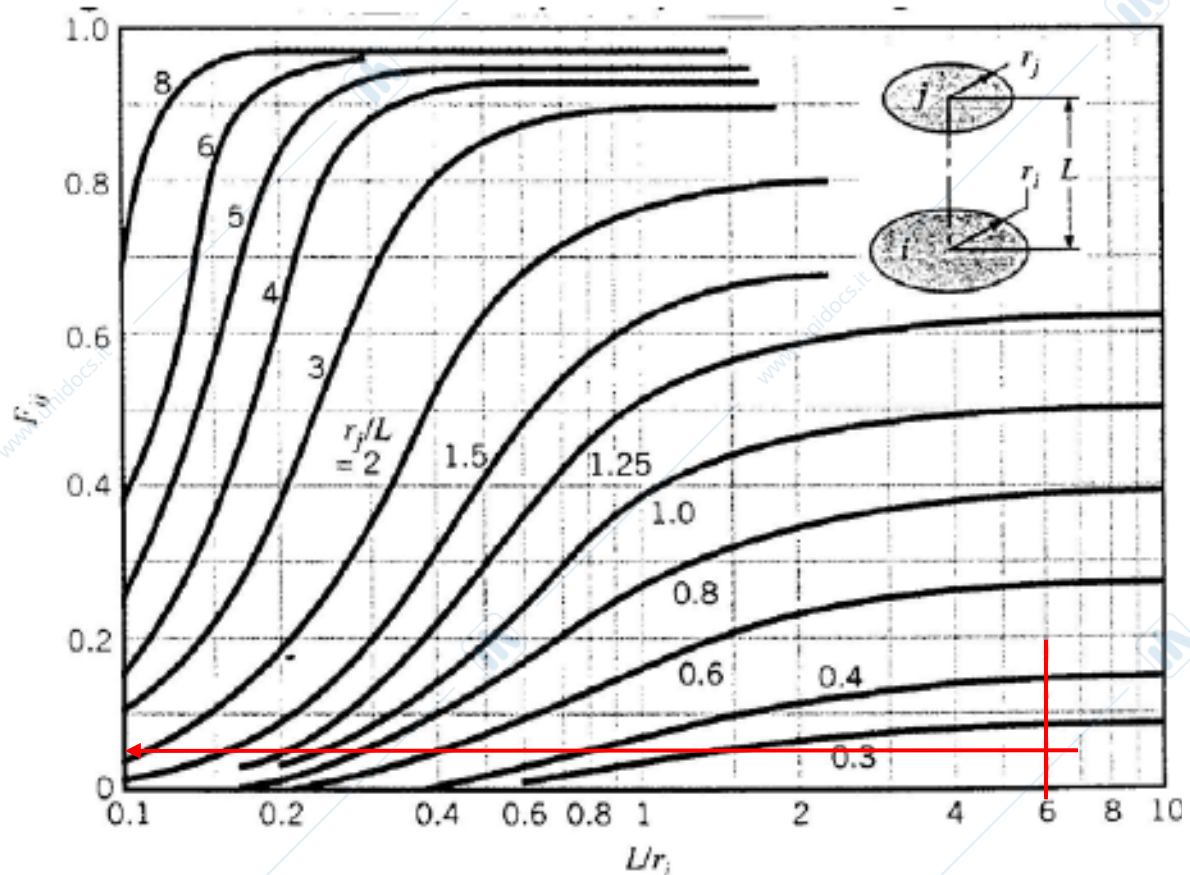


Figura 12.13. Fattore di vista per dischi coassiali paralleli

CORSO DI LAUREA

1) 5/5

DATA 16/02/2013

T [°C]	P [kPa]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg·K]	x
45	9,593	188,45	0,6387	0
≈ 45	12500	201,055	0,6387	20
327,8	12500	1511,264		0
327,8	12500	2673,424		1
550	12500	3475,2	6,629	71
45	9,593	2098,742	6,629	0,7977
		2583,2	8,1648	

$$T_3 = 320 + \frac{330 - 320}{12,500 - 11,270} (12,500 - 11,270)$$

$$h_3 = 1664,8 + \frac{1585,2 - 1664,8}{12,500 - 11,270} (12,500 - 11,270)$$

$$h_4 = 2700,1 + \frac{2665,2 - 2700,1}{12,500 - 11,270} (12,500 - 11,270)$$

$$h_2 = h_1 + v_1 (p_2 - p_1) = 188,45 + 0,00101 (12500 - 9,593) = 201,055$$

$$s_2 = \frac{6,629 - 0,6387}{8,1648 - 0,6387} = 0,7977$$

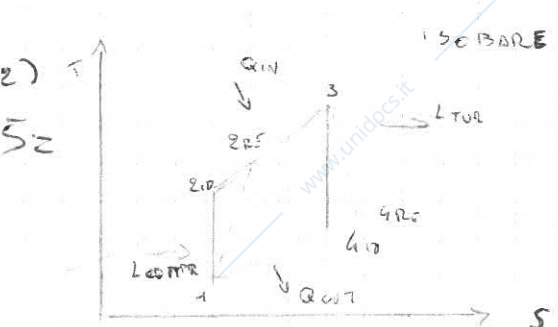
$$h_2 = (1 - 0,7977) \cdot 188,45 + 0,7977 \cdot 2583,2 = 2098,742$$

$$\eta_{II} = \frac{L_{W}}{Q_{IN}} = \frac{|\Delta h_{5,1}| - |\Delta h_{2,1}|}{|\Delta h_{2,5}|} = \frac{(3475,2 - 2098,742) - (201,055 - 188,45)}{(3475,2 - 201,055)} = 0,616$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{MIN}}{T_{MAX}} = 1 - \frac{318}{823} = 0,616$$

$$\eta_{II} = \frac{\eta_I}{\eta_c} = 67,7 \%$$

$$\eta_I = \frac{L_{TURBINA} - L_{ENTRANTE}}{CALORE ENTRANTE}$$



$T_1 = 25^\circ C = 298 K$
 $P_1 = 1 \text{ bar}$
 $\beta = 13$
 $\eta_c = \eta_T = 89 \%$
 $T_3 = 1250^\circ C = 1523 K$

$$T_{210} = 298 \cdot 13^{\frac{1}{4}} = 620,13 \text{ K}$$

$$\frac{T_1}{T_{210}} = \frac{T_{410}}{T_3} \Rightarrow T_{410} = \frac{298 \cdot 1523}{620,3} = 731,67 \text{ K}$$

$$\Delta T_{RE} = \frac{322,13}{0,89} = 361,94 \quad T_{RE} = 660 \text{ K}$$

$$\Delta T_{4RE} = 731,33 - 0,89 = 704,284 \quad T_{4RE} = 818,716 \text{ K}$$

$$\eta_{10} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{298}{660} = 54,8\%$$

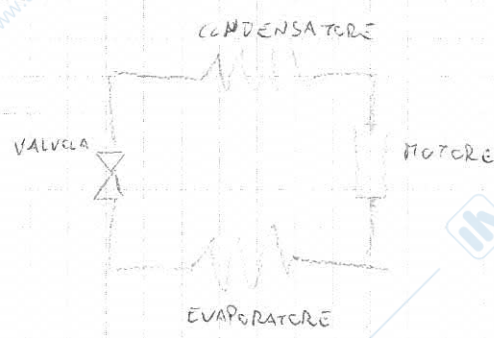
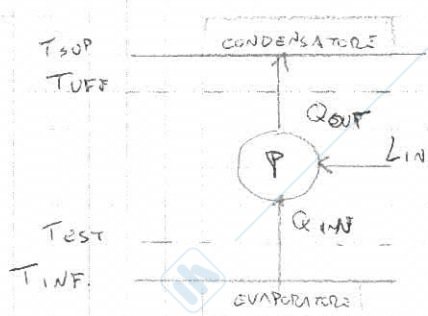
$$\eta_{RE} = \frac{L_{TURB} - L_{COMP}}{Q_{IN}} = \frac{(1523 - 818,716) - (660 - 298)}{(1523 - 660)} = 0,3966$$

$$P_1 = P_4 \quad P_2 = P_3$$

$$P_2 = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \cdot P_1 = 16,17 \text{ bar}$$

$P =$

-) $L_{IN} = 400 \text{ W}$
- $T_{UFF} = 22^\circ \text{C}$
- $T_{EST} = 8^\circ \text{C}$
- $\Delta T_{EV} = 5^\circ \text{C}$
- $\Delta T_{COND} = 16^\circ \text{C}$
- $\eta = 0,6$



$$T_{SOP} = T_{UFF} + \Delta T_{COND} = 38^\circ \text{C} = 311 \text{ K}$$

$$T_{INF} = T_{EST} - \Delta T_{EVAP} = 3^\circ \text{C} = 276 \text{ K}$$

$$COP_{10} = \frac{T_{SOP}}{\Delta T} = \frac{311}{35} = 8,886$$

$$COP_{RE} = 8,886 \cdot 0,6 = 5,331$$

$$Q_{OUT} = 5,331 \cdot 400 = 2132,57 \text{ W}$$

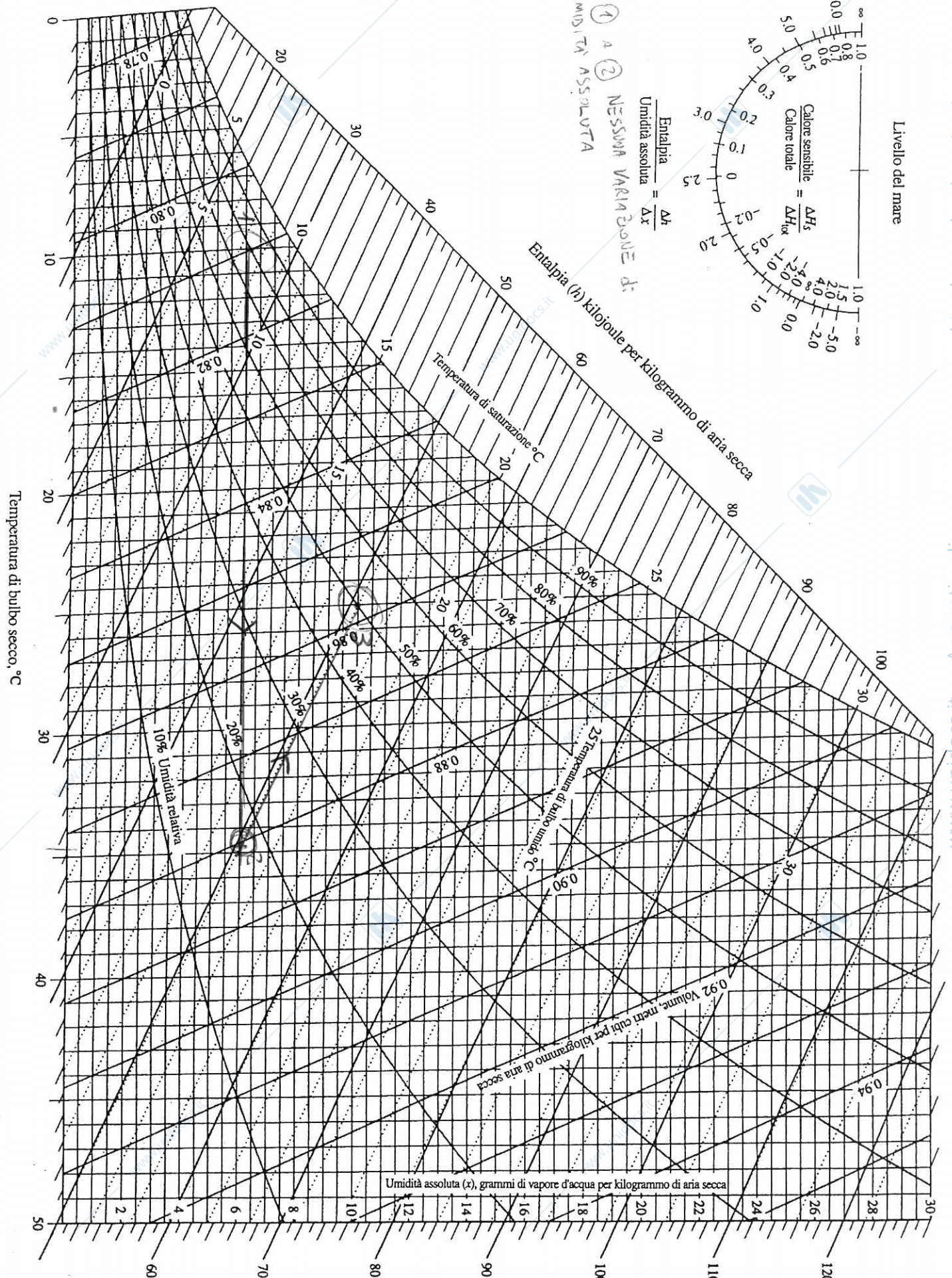
$$\hookrightarrow Q_{IN} = 1732,57 \text{ W}$$

- h) $T_1 = 10^\circ \text{C}$
- $U.R = 80\%$
- $P_{SAT} = 1,2276$
- $P_{VAP} = 0,98208$
- $x_1 = 0,622 \cdot \frac{0,98208}{101,325 - 0,98208} = 0,006087$

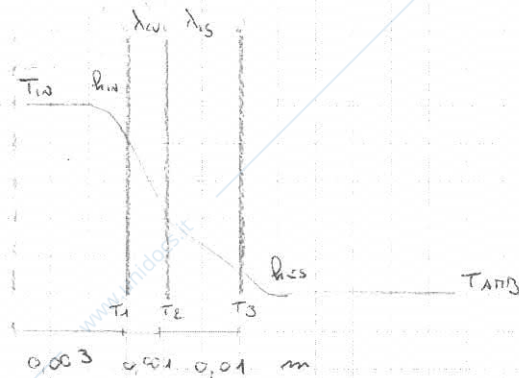
- $T_3 = 25^\circ \text{C}$
- $UR = 50\%$
- $P_{SAT} = 3,169$
- $P_{VAP} = 1,5845$
- $x_2 = 0,009881$

$$h = 1,005 \cdot 25 + 0,009881 \cdot (2501,3 + 1,82 \cdot 25) = 50,2 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{CONDENS} = 1 \cdot (0,009881 - 0,006087) = 0,003794 \text{ kg}$$



5) $D_{INT} = 6 \text{ mm} = 0,006 \text{ m}$
 $S = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$
 $\rho_{CU} = 8933 \text{ kg/m}^3$
 $\lambda_{CU} = 401 \text{ W/mK}$
 $C_P = 385 \text{ J/kgK}$
 $T_E = 20^\circ\text{C}$
 $T_{INT} = 75^\circ\text{C}$
 $h_{INT} =$
 $h_{EST} = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $S_{ISOLANTE} = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$
 $\lambda = 0,02$



L'ISOLANTE DIMINUIRÀ LE PERDITE SE RIMANE NELLA DIMENSIONE ~~MINORE~~ ^{MAGGIORE} DEL RAGGIO

CRITICO $V_c = \frac{0,02}{5} = 0,004 \text{ m}$
 IPOTIZZO $h_{INTERNE} = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$ ED $L = 1 \text{ m}$

$$R_{TOT} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,003 \cdot 100} + \frac{\ln\left(\frac{0,004}{0,003}\right)}{2\pi \cdot 401} + \frac{\ln\left(\frac{0,014}{0,004}\right)}{2\pi \cdot 0,02} + \frac{1}{2\pi \cdot 0,014 \cdot 5} = 0,5305 + 0,0001141 + 9,9691 + 2,2736 = 12,7735$$

$$Q = \frac{55}{12,7735} = 4,3058 \text{ W}$$

$$Q = \frac{(T_{INT} - T_1)}{R_1} \rightarrow \Delta T_{IN-1} = 2,28423 \text{ (CONVEZIONE)}$$

$$\hookrightarrow T_1 = 72,71577^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{\Delta T_{1-2}}{R_2} \rightarrow \Delta T_{1-2} = 0,000491291 \text{ (CONDUZIONE RAME)}$$

$$\hookrightarrow T_2 = 72,715279^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{\Delta T_{2-3}}{R_3} \rightarrow \Delta T_{2-3} = 42,922751 \text{ (CONDUZIONE ISOLANTE)}$$

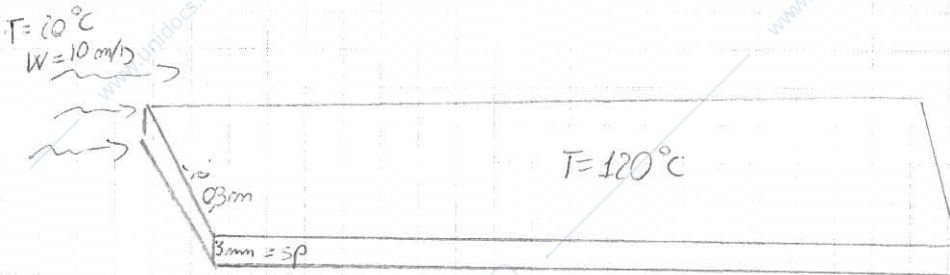
$$\hookrightarrow T_3 = 29,792528^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{\Delta T_{3-EST}}{R_4} \rightarrow \Delta T_{3-EST} = 9,78966 \text{ (CONVEZIONE ESTERNA)}$$

$$\hookrightarrow T_{EST} = 20,00286 \approx T_{AMB}$$

ESERCIZIO 7 (5)

ipotizzare che sia tocchabile quindi raggiunge $T=30^\circ\text{C}$



$$T_{\text{filin}} = \frac{T_{\text{aria}} + T_{\text{parete}}}{2} = \frac{20 + 120}{2} = 70^\circ\text{C} = 343\text{K} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{da tabelle acqua: i seguenti valori corrispondono a } T=350\text{K} \\ \dots \end{array} \right.$$

$$Re = \frac{\rho W L_c}{\mu} = \frac{0,9950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,3 \text{ m}}{203,2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} = 143371$$

$\rho_{\text{aria}} = 0,9950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
 $c_p = 1,009 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
 $\mu = 203,2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$
 $\lambda = 30 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$
 $Pr = 0,700$

Sceglia relazione $Nu = 0,664 Re^{0,5} Pr^{1/3}$

$$Nu = \frac{h \cdot L}{\lambda} \rightarrow h = \frac{Nu \cdot \lambda}{L_c} = \frac{0,664 (143371)^{0,5} \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{0,3} = 22,32 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$$

$$Bi = \frac{L_c \cdot h}{\lambda_{\text{acc}}} = \frac{0,3 \cdot 22,32}{60} = 0,11$$

Cosa limite dove $Bi \leq 0,1$

Sceglia di passare nell'ipotesi di pareti concentriche

$$T_{(t)} = (T_i - T_f) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + T_f \quad \text{dove} \quad \tau = \frac{\rho V c_p}{h \cdot A} = \frac{7900 \cdot (A \cdot \pi) \cdot c_p}{h \cdot A} = \frac{7900 \cdot 0,003 \cdot 450}{22,32} = 477,83 \text{ s}$$

- $T_{(t)} = 30^\circ\text{C}$
- $T_{(i)} = 120^\circ\text{C}$
- $T_f = 20^\circ\text{C}$
- $\tau = 477,83 \text{ s}$

$$\ln\left(\frac{T_{(t)} - T_f}{T_i - T_f}\right) = -\frac{t}{\tau}$$

$$t = -\ln\left(\frac{T_{(t)} - T_f}{T_i - T_f}\right) \cdot \tau = -\ln\left(\frac{30 - 20}{120 - 20}\right) \cdot 477,83 = 1100 \text{ s} \approx 18,34 \text{ min}$$

BILANCIO ENTROPICO: \rightarrow

8]

$$D = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$R = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$$

2

$$T_i = 50^\circ\text{C} \quad \epsilon_b = 0,8$$

$$T_p = 25^\circ\text{C} \quad \epsilon_p = 0,7$$



$$F_{b-b+p} = F_{b-b} + F_{b-p}$$

$$F_{b-b} = 0,04$$

$$1 = 0,04 + F_{b-p}$$

$$F_{b-p} = 0,96$$

$$\frac{r}{h} = \frac{0,1}{0,6} = 0,167$$

$$\frac{R}{r} = \frac{0,6}{0,1} = 6$$

$$Q_{b-p} = \frac{(333,15^4 - 298,15^4) \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}{\frac{1-0,8}{\pi \cdot 0,1^2 \cdot 0,8} + \frac{1}{\pi \cdot 0,1^2 \cdot 0,96} + \frac{1-0,7}{0,2 \pi \cdot 0,6 \cdot 0,7}} = \frac{250,42}{7,96 + 33,16 + 1,14} = \frac{250,42}{42,26} = 5,93$$

$Q_{b-b} ?$