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 i 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°C, $P_1$=1bar. Noti il rapporto di compressione manometrico $\beta$ = 13 , i rendimenti di compressore e turbina entrambi $\eta_{COMP}$= $\eta_{TURB}$=_89%, la temperatura massima raggiunta durante il ciclo $T_{MAX}$= 1250°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 $T_{uff}$=22°C mentre all'esterno si ha $T_{est}$=8°C. L'evaporatore necessita di una differenza di temperatura di $\Delta T_{ev}$=5°C per scambiare calore, il condensatore di $\Delta T_{cond}$=16°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°C, U.R = 80% deve essere portata fino $T_3$=25°, $UR_3$=50%. Per ogni kg di aria trattata, determinare la quatità 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 ($D_{int}$ 6 mm, spessore 1 mm, $\rho_{cu}$ = 8933 kg/m$^3$, $\lambda_{cu}$ = 401 W/mK, $c_P$ = 385 J/kgK) scorre acqua calda (75°C). Il coefficiente di scambio convettivo interno è molto elevato, quello verso l'ambiente esterno è 5 W/m$^2$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 kg/m$^3$, $\lambda_{acc}$ = 60 W/m.K, $c_P$ = 434 J/kgK) avente $D_{est}$= 4 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 strisica in acciaio ($\rho_{acc}$= 7900 kg/m$^3$, $c_{P\_acc}$= 450 J/kg.K, $\lambda_{acc}$= 60 W/m.K) di sezione rettangolare (spessore 3 mm, larghezza 30 cm, lunghezza vari metri), inizialmente a T=120°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 = $(0.037\ Re^{4/5} - 871)\ Pr^{1/3}$ $(0.6<Pr<60,\ 5*10^5<Re<10^7)$
lastra piana, Re >> 500'000 Nu = $0.037\ Re^{4/5}\ Pr^{1/3}$ $(0.6<Pr<60,\ 5*10^5<Re<10^7)$

Determinare la produzione totale di entropia

8) (3 p) Dato un recipiente cilindrico, con D=20 cm e h=60 cm, determinare le potenze termiche scambiate tra le superfici interne sapendo che:
T basi = 60°C, ε = 0.8
T parete cilindrica = 25°C, ε = 0.7

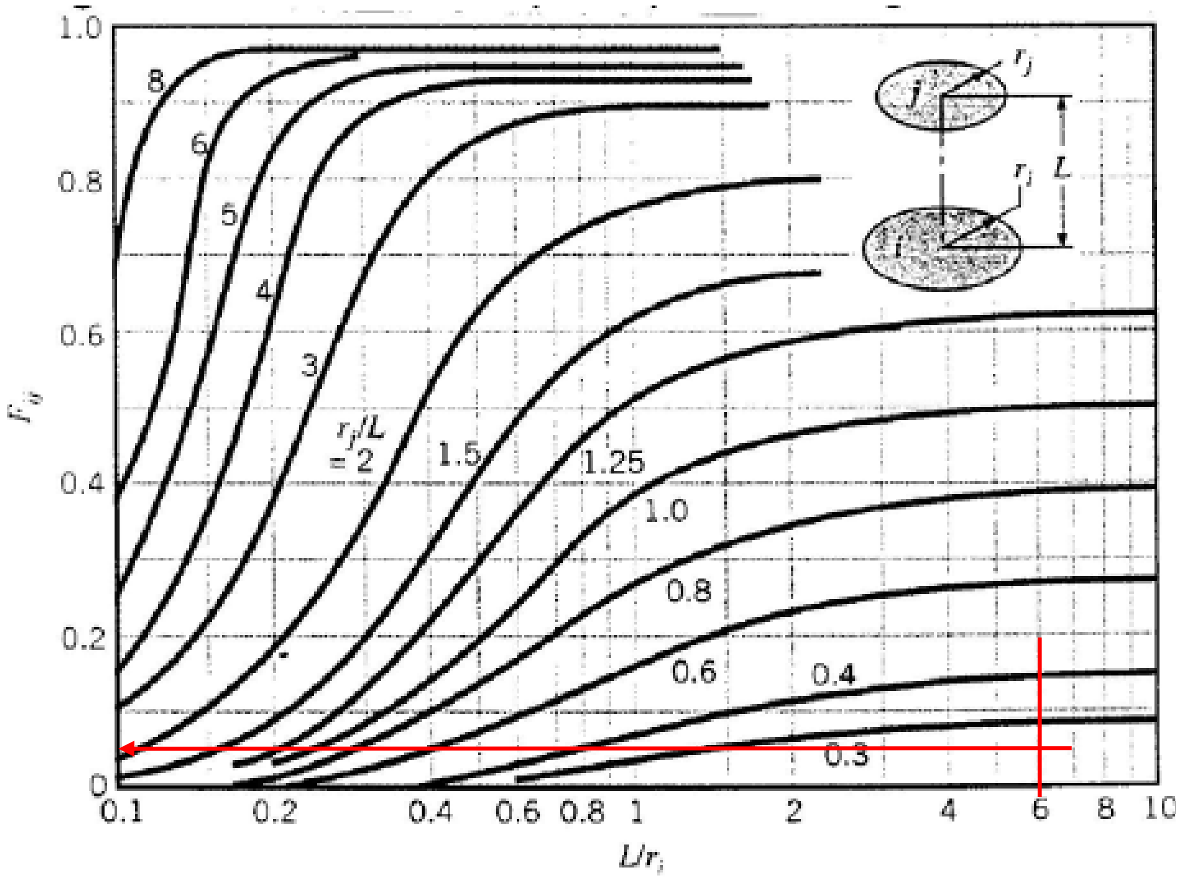



*Figura 12.13.* Fattore di vista per dischi coassiali paralleli

CORSO DI LAUREA 1) 5/5

DATA 16/02/2013

| | T [°C] | p [Kpa] | h [KJ/Kg] | s [KJ/Kg K] | x |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 45 | 9,593 | 188,45 | 0,6387 | 0 |
| 2 | ≅45 | 12 500 | 201,055 | 0,6387 | <0 |
| 3 | 327,8 | 12500 | 1511,264 | | 0 |
| 4 | 327,8 | 12500 | 2673,424 | | 1 |
| 5 | 550 | 12500 | 3475,2 | 6,629 | >1 |
| 6 | 45 | 9,593 | 2098,742 | 6,629 | 0,7977 |
| VAP | | | 2583,2 | 8,1648 | |

$T_{3,5} = 320 + \frac{330-320}{12,868-11,276}(12,5-11,276)$

$h_3 = 1461,5 + \frac{1525,? - 1461,5}{(330-320)}(327,8-320)$

$h_4 = 2700,1 + \frac{2665,9-2700,1}{(330-320)}(327,8-320)$

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

$x_6 = \frac{6,629 - 0,6387}{8,1648 - 0,6387} = 0,7977$

$h_6 = (1-0,7977)\cdot 188,45 + 0,7977 \cdot 2583,2 = 2098,742$

$\eta_I = \frac{L_{NU}}{Q_{IN}} = \frac{|\Delta H_{56}| - |\Delta H_{12}|}{|\Delta H|_{25}} = \frac{(3475,2 - 2098,742) - (201,055 - 188,45)}{(3475,2 - 201,055)} = 0,416$

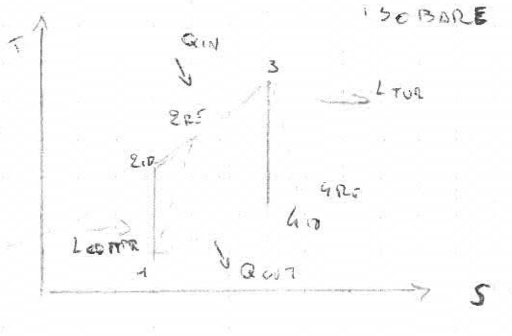
$\eta_C = 1 - \frac{T_{MIN}}{T_{MAX}} = 1 - \frac{318}{823} = 0,614$

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

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

2)

5/2




$T_1 = 25°C = 298\ K$

$p_1 = 1\ bar$

$\beta = 13$

$\eta_C = \eta_T = 89\%$

$T_3 = 1250\ °C = 1523\ K$

$$T_{2ID} = 298 \cdot 13^{2/7} = 620,13\ K$$

$$\frac{T_1}{T_{2ID}} = \frac{T_{4ID}}{T_3} \rightarrow T_{4ID} = \frac{298}{620,3} \cdot 1523 = 731,67\ K$$

$$\Delta T_{2RE} = \frac{322,13}{0,89} = 361,94 \qquad \underline{T_{2RE} = 660\ K} \checkmark$$

$$\Delta T_{4RE} = 791,33 \cdot 0,89 = 704,284 \qquad \underline{T_{4RE} = 818,716\ K} \checkmark$$

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

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

$P_1 = P_4 \qquad P_2 = P_3$

3) $L_{IN} = 400\ W$

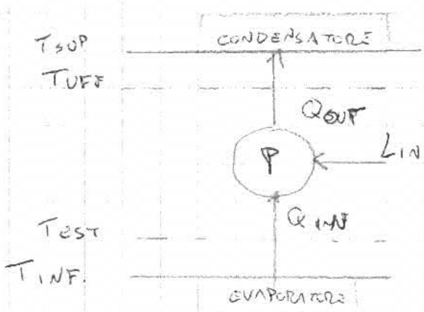
3 $T_{UFF} = 22\ °C$

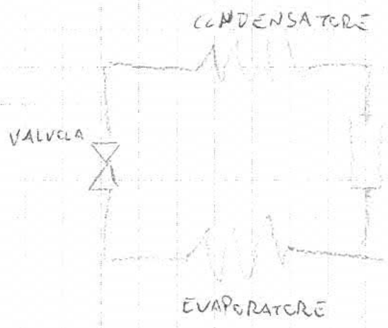
$T_{EST} = 8°C$

$\Delta T_{EV} = 5°C$

$\Delta T_{COND} = 16°C$

$\eta = 0,6$




$$T_{SUP} = T_{UFF} + \Delta T_{COND} = 38\ °C = 311\ K$$

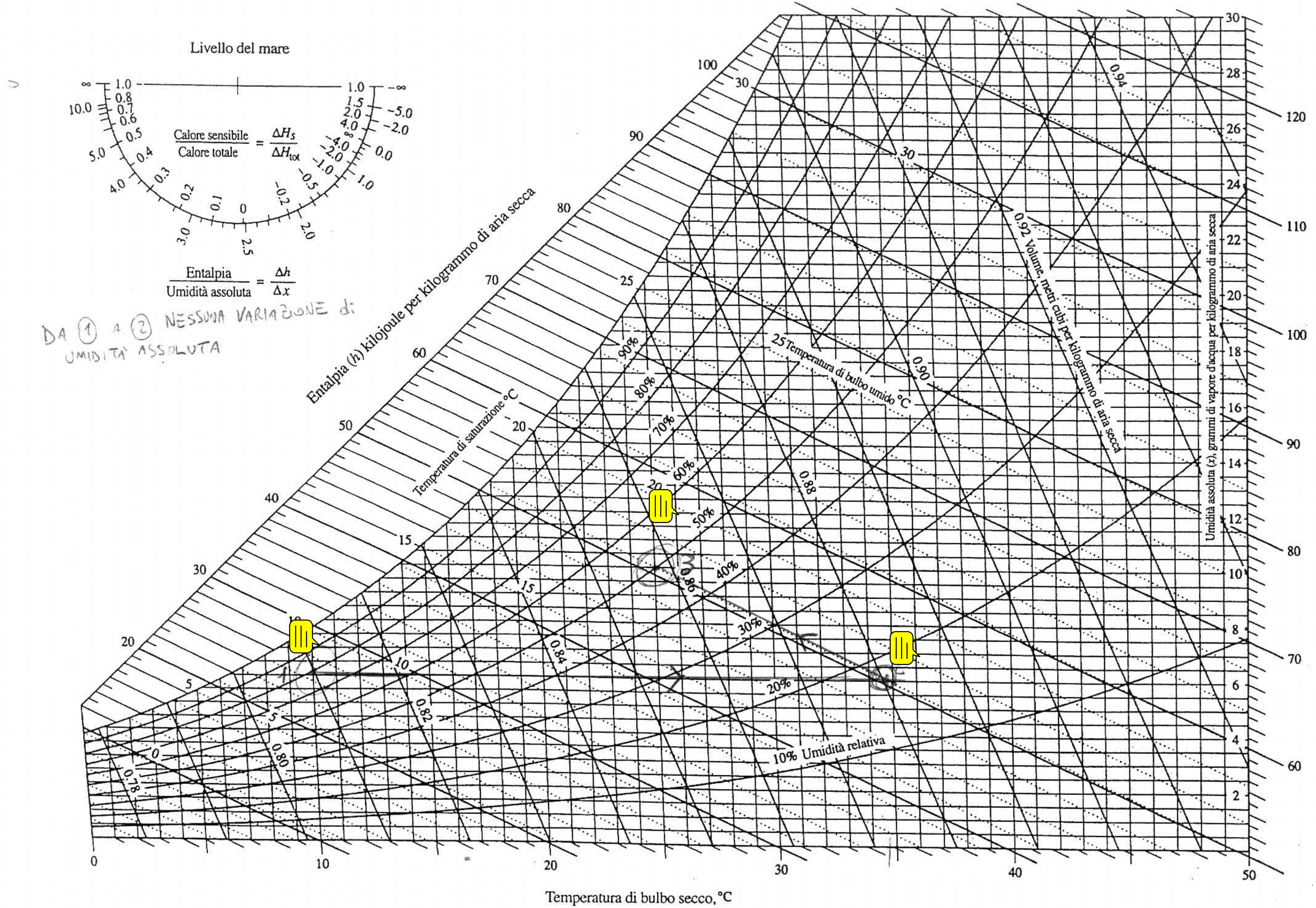
$$T_{INF} = T_{EST} - \Delta T_{EVAP} = 3\ °C = 276\ K$$

$$COP_{ID} = \frac{T_{SUP}}{\Delta T} = \frac{311}{35} = 8,886$$

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

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

$$\rightarrow Q_{IN} = 1732,57\ W$$


Livello del mare
Calore sensibile / Calore totale = $\Delta H_S / \Delta H_{tot}$
Entalpia / Umidità assoluta = $\Delta h / \Delta x$
DA 1 A 2 NESSUNA VARIAZIONE di UMIDITA' ASSOLUTA
Entalpia (h) kilojoule per kilogrammo di aria secca
Temperatura di saturazione °C
Temperatura di bulbo umido °C
Volume, metri cubi per kilogrammo di aria secca
Umidità relativa
Umidità assoluta (x), grammi di vapore d'acqua per kilogrammo di aria secca
Temperatura di bulbo secco, °C

5) $D_{INT} = 6\ mm = 0,006\ m$

(3) $s = 1\ mm = 0,001\ m$

$\rho_{CU} = 8933\ kg/m^3$

$\lambda_{CU} = 401\ W/mK$

$c_p = 385\ J/kgK$

$T_E = 20°C$

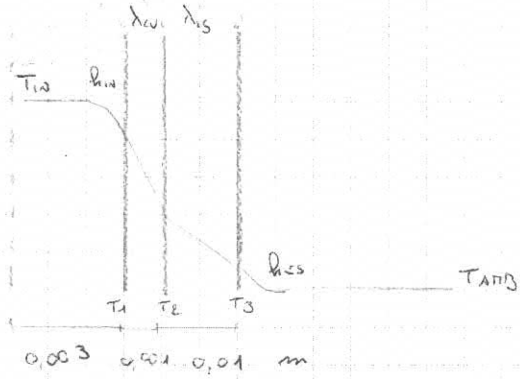
$T_{INT} = 75°C$

$h_{INT} =$

$h_{EST} = 5\ W/m^2K$

$s_{ISOLANTE} = 1\ cm = 0,01\ m$

$\lambda = 0,02$




L'ISOLANTE DIMINUIRÀ LE PERDITE SE RIMANE NELLA DIMENSIONE ~~MINORE~~ MAGGIORE DEL RAGGIO CRITICO $r_c$. $\quad r_c = \dfrac{0,02}{5} = 0,004\ m$

IPOTIZZO $h_{INTERNO} = 100\ W/m^2K$ ED $L = 1\ m$

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

$$+ 9,9691 + 2,2736 = 12,77335$$

$$\dot{Q} = \frac{55}{12,77335} = 4,3058\ W$$

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

$\quad \hookrightarrow T_1 = 72,71577\ °C$

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

$\quad \hookrightarrow T_2 = 72,715279\ °C$

$\dot{Q} = \dfrac{\Delta T_{2-3}}{R_3} \rightarrow \Delta T_{2-3} = 42,922757$ (CONDUZIONE ISOLANTE)

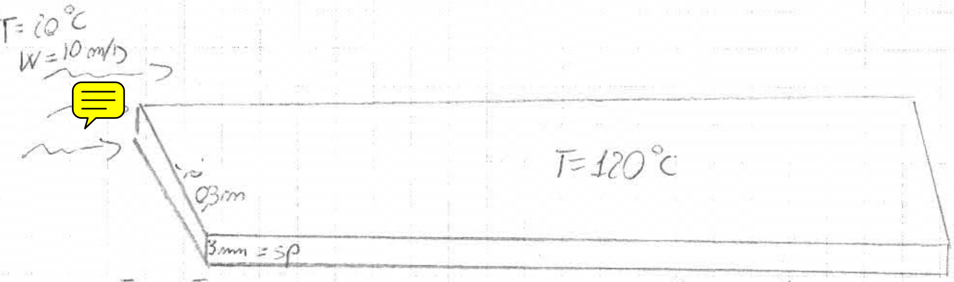
$\quad \hookrightarrow T_3 = 29,792522$

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

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

ESERCIZIO 7 (5)

ipotizzo che sia toccabile quando raggiunge T=30°C




$$T_{film} = \frac{T_{aria}+T_{pezzo}}{2} = \frac{20+120}{2} = 70\,°C = 343\,°K$$

da tabella ricavo i seguenti valori ricalcolati a T=350 °K

$\rho_{aria} = 0,9950\ Kg/m^3$

$c_p = 1,009\ KJ/Kg\,K$

$\mu = 208,2 \cdot 10^{-7}\ Ns/m^2$

$\lambda = 30 \cdot 10^{-3}\ W/m\,K$

$Pr = 0,700$

$$Re = \frac{\rho W L_c}{\mu} = \frac{0,9950\ \frac{Kg}{m^3} \cdot 10\ \frac{m}{s} \cdot 0,3\ m}{208,2 \cdot 10^{-7}\ \frac{Ns}{m^2}} = 143371$$

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

$$Nu = \frac{h \cdot L}{\lambda} \longrightarrow h = \frac{Nu \cdot \lambda}{L_c} = \frac{0,664\,(143371)^{0,5} \cdot 0,7^{1/3} \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{0,3} = 22,32\ \frac{W}{m^2 K}$$

$$B_i = \frac{L_c \cdot h}{\lambda_{acc}} = \frac{0,3 \cdot 22,32}{60} = \ldots 0,1$$

~~Bi~~ Caso limite dove $B_i \cong 0,1$

Scelgo di operare nell'ipotesi di parametri concentrati

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

$T_{(t)} = 30\,°C$

$T_{(i)} = 120\,°C$

$T_f = 20\,°C$

$\tau = 477,83\ s$

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

$$= -\ln\left(\frac{30 - 20}{120 - 20}\right) \cdot 477,83 = 1100\ s \cong 18,34\ min$$

BILANCIO ENTROPICO $\longrightarrow$ ?

8

$D = 20\ cm = 0{,}2\ m$
$h = 60\ cm = 0{,}6\ m$

2

$T_i = 60\,^\circ C$ $\qquad \varepsilon_b = 0{,}8$
$T_p = 25\,^\circ C$ $\qquad \varepsilon_p = 0{,}7$

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

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

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

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

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

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

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

$$= 7{,}96 + 33{,}16 + 1{,}14$$

$Q_{b-b}$ ?