

Prof. L. Araneo. Esame di Fisica Tecnica e Macchine del 29 febbraio 2016. 8 Cr
 E' consentito l'uso di: -calcolatrice, -tavole termodinamiche, un -formulario (1 pagina A4 F/R)
 Disponibili: tabelle acqua e vapore, proprietà sostanze, abaco Moody

Consegnare: ☐ grafici, ☐ svolgimento (no brutte copie), ☐ formulario, ☐ testo con grafici.
 Segnare il Cognome+Nome su OGNI foglio consegnato.

Specificare: Tutte le ipotesi, convenzioni, semplificazioni adottate.

Tracciare sempre i **grafici** o **schemi** utili alla comprensione

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

-----Inizio esame completo, tempo disponibile: 3h, esercizi 1-8-----

1) Una lastra di materiale ceramico di dimensioni 40x40x6 cm esce da un forno alla temperatura di 500°C, e viene esposta all'aria ambiente soffiata a velocità di 12 m/s.

Correlazioni suggerite per Re-Nu su lastre piane:

$$\begin{aligned} Nu &= 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (Re < 500'000) \\ Nu &= (0.037 Re^{4/5} - 871) Pr^{1/3} \quad (0.6 < Pr < 60, Re > 5 \cdot 10^5) \\ Nu &= 0.037 Re^{4/5} Pr^{1/3} \quad (0.6 < Pr < 60, Re >> 5 \cdot 10^5) \end{aligned}$$

Determinare per quanto tempo è pericoloso maneggiarla.

Traccia

T_{film} = circa 130°C (media spaziale tra T_{ceramica} e T_{ambiente}, media temporale tra inizio e fine)

Determinare Re con L=40cm, quindi Nu, h

Determinare Bi con L = spessore o semispessore (dipende da ipotesi fatta)

Verificare se Bi>0.1 si affronta come parete spessa. Trovare il tempo, verificare che fosse Fo>0.2

2) Un tubo in rame ha il diametro interno D_i=20 mm e spessore 1 mm. Trasporta acqua calda a 70°C, con portata e coefficiente di convezione interno molto elevati. E' rivestito con uno spessore di 15 mm di materiale isolante (ρ=30 kg/m³, c_p= 1800 J/kg.K, λ=0.05 W/m.K), e all'esterno è investito dal vento a 30 km/h e 10°C. Determinare la potenza termica dispersa per metro di tubo e le temperature alle varie interfacce.

Intervallo Re	Nu _{cilindro} =
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}

Traccia

Ipotesi: T_{aria} bassa, p.e. 0°C, condizioni stazionarie

Disegno: D_{int}=20,

Dest_{rame}=22,

Dest_{isolante}=52

h interno molto elevato vuol dire R_{conv_int}≅0,

ΔTconvettivo≅0

Anche per il tubo in rame, dato lo spessore molto limitato si potrebbe supporre che sarà R_{rame}≅0, ΔT_{rame}≅0. I conti lo mostreranno. R_{isolante} = ln(0.026/0.011)/(2 π λ_{isolante}). H_{est} si calcola con correlazioni di convezione. Sequenza logica: Re_{aria} = ρ_{aria} w D_{est} / μ_{aria}, da cui Nu, da cui h. Dati a T_{film} che

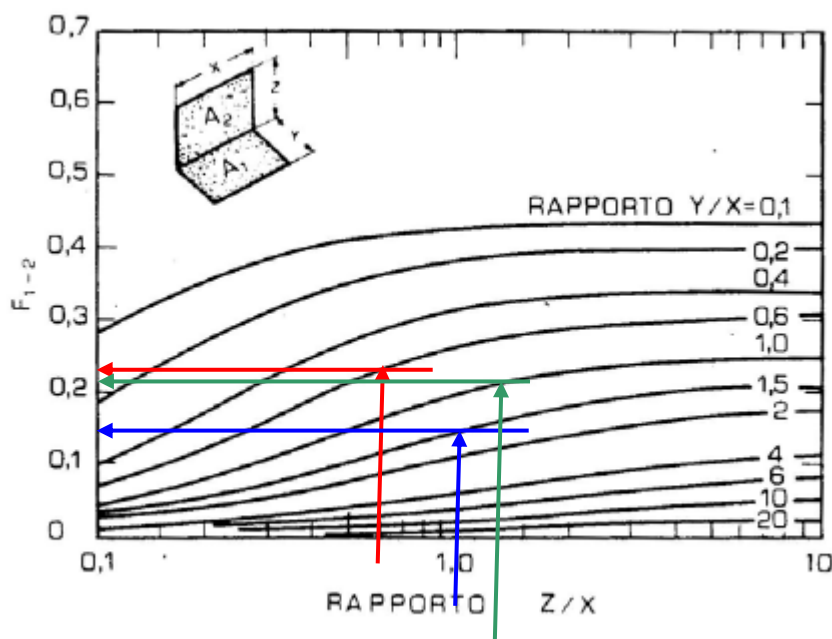


Figura 12.12. Fattore di vista per superfici rettangolari adiacenti

sarà molto simile a T_{amb} , visto che il tubo è esternamente isolato. $R_{convettiva} = 1 / (h_{est} \pi D_{est} \cdot 1)$. $Q' = \Delta T / R_{tot}$, $\Delta T_i = Q' \cdot R_i$

3) Una scatola rettangolare, senza coperchio, avente base 30x50 cm alta 30cm, temperatura 40°C, viene introdotta in un forno cubico avente lato 1 e temperatura 200°C. Considerando tutte le superfici grigie con coefficiente di emissività 0.8, determinare lo scambio per irraggiamento tra la scatola e il forno.

Traccia

Calcolo con grafici (lungo)

Ci sono tanti modi. Le single pareti vedono il forno attraverso un fittizio coperchio. Valgono per esempio

$F_{base-quadrato} = 0.14$ da $X=Z=30, Y=50$

$F_{quadrato-base} = F_{quadrato-lato} = F_{quadrato-coperchio} = 0.22$ da $X=Y=30, Z=50$,

$F_{base-lato} = F_{lato-base} = F_{coperchio-lato} = F_{lato-coperchio} = 0.23$ da $X=50, Y=Z=30$,

$F_{base-coperchio} = 1 - 2 \cdot 0.23 - 2 \cdot 0.14 = 0.26$

Calcolo con scatola=cavità (+ rapido).

Dati: $A_{base} = A_{coperchio-fittizio} = 0.15 m^2$, $A_{tot_scatola} = 0.63 m^2$ (interno = esterno) $A_{forno} = 6$.

Calcolo fattori vista: $F_{interno-coperchio} \cdot A_{scatola} = F_{coperchio-interno} \cdot A_{coperchio}$.

$F_{scatola-forno} = F_{scatola-coperchio} = 0.24$

Q' esterno-forno si calcola con tutta $A_{scatola}$ e $F_{esterno-forno} = 1$

Q' interno-forno si calcola con tutta $A_{scatola}$ e $F_{interno-forno} = 0.24$

-----Inizio 2ª parte tempo disponibile: 2h30, esercizi 4-9 (la 1ª parte prosegue) -----

4) Sono date le $T_{min} = 45^\circ C$ e $T_{max} = 550^\circ C$ e la pressione massima 150 bar di un ciclo Rankine a vapore d'acqua, con pompa e turbina ideali. Disegnare il ciclo nel diagramma T-s allegato. Calcolare i valori delle grandezze nei punti necessari ed i rendimenti del ciclo secondo i due principi della termodinamica.

Traccia : Come esercitazione

5) Un compressore azionato da un motore elettrico preleva una portata di aria ambiente di 0.1 kg/s e la comprime fino alla pressione di 0.7 bar relativi con rendimento 80%. L'aria viene poi scaldata di ulteriori 300°C tramite delle resistenze elettriche, quindi fatta espandere in un ugello isoentropico. Calcolare la potenza elettrica complessiva richiesta, la velocità massima raggiunta. Disegnare il grafico della trasformazione calcolando i valori necessari. Specificare le ipotesi e approssimazioni utilizzate

Traccia

Assomiglia ad un ciclo Brayton con rendimento sul compressore, unica differenza nei punti 3-4 si sviluppa energia cinetica invece di lavoro ($q_{in-l:out} = \Delta H + \Delta e_{cin}$), quindi $w_4^2/2 - w_3^2/2 = \Delta h_{34}$. Si ipotizza $w_3 = 0$. T4 come espansione adiabatica reversibile da T3.

6) Una pompa di calore è usata per fornire 2 kW di potenza termica ad una stanza avente a 22°C mentre all'esterno si hanno 11°C. L'evaporatore necessita di una differenza di temperatura di 8°C per scambiare calore, il condensatore di 28°C. L'efficienza è il 55% di quella di una macchina ideale che lavora tra le stesse temperature estreme del ciclo. Calcolare il COP della macchina reale ed i flussi energetici

Traccia

2kW è il Q_{out} , $COP_{re} = Q_{out} / L_{in}$, $COP_{id} = T_{sup} / \Delta T$. NOTA usare le T in kelvin

7) In un impianto di condizionamento l'aria raffreddata a $T_1 = 10^\circ C$ e satura di vapore si mescola a pressione atmosferica con una quantità doppia di aria a $T_2 = 26^\circ C$ e u.r.₂ = 70%. Calcolare numericamente temperatura, umidità assoluta (g/kg_{as}) e relativa (%) della miscela formatasi.

Specificare se si avrà condensa e perché. Riportare punti e trasformazioni sul diagramma psicrometrico allegato. Riconoscere ed indicare sulle scale del diagramma tutti i valori calcolati numericamente che è possibile indicarvi.

Traccia : Come esercitazione. $T_{mix} \cong 20^\circ\text{C}$, $U.R._{mix} \cong 80\%$. Non ci sarà condensa

8) In un tubo di rame (diametro esterno 20 mm, spessore 1 mm) scorre una portata di 3 litri al minuto di acqua calda a 55°C , con coefficiente di convezione interno molto elevato. Il tubo è esposto all'aria ambiente con coefficiente di convezione $h=15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Determinare a quale lunghezza del tubo la temperatura dell'acqua si abbassata di 5°C .

Traccia. 1

Ipotesi: resistenza convettiva acqua e conduttiva rame trascurabili

Affrontare come scambiatore di calore con fluido freddo isoterma, metodo ΔT_{ML}

Disegnare lo schema con le varie T per non sbagliare ΔT

Portata $m' = \rho w S$ dove sezione $S = \pi D^2/4$.

$Q' = m' c_p \Delta T = \text{circa } 1 \text{ kW}$, $\Delta T = 5^\circ$ di abbassamento Tacqua

$T_{caldo} = \text{da } 55 \text{ a } 50$, $T_{freddo} = 20$. Si calcola il ΔT_{ML} (circa 32°C)

$Q' = h A \Delta T_{ML}$ da cui si deduce A che è $= \pi D * L$.

Traccia. 2

Affrontare come scambiatore di calore con fluido freddo isoterma, metodo ϵ -NTU.

$\Delta T / \Delta T_0 = (50-20)/(55-20) = \exp(-NTU) = \exp (- h A / m' c_p)$

-----fine esame completo, la seconda parte prosegue -----

9) In un impianto di ventilazione si vuole mandare aria alla velocità di 10 m/s in una condotta rettangolare di sezione cm 80x30, lunga 40 metri. Decidere se il ventilatore proposto è adatto, e in tal caso trovare il punto di funzionamento, potenza richiesta, rendimento.

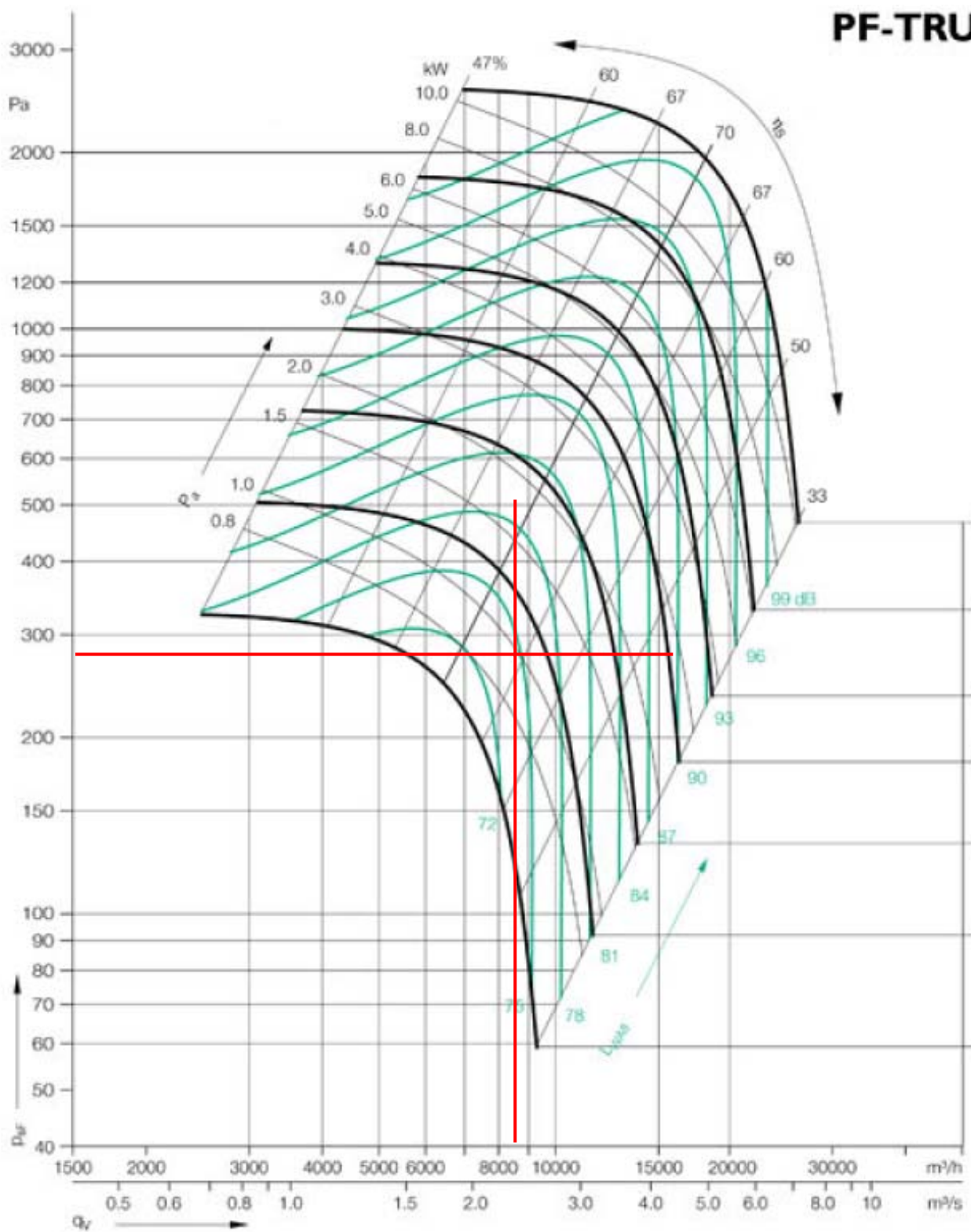
Traccia

$V' = w * A = 10 * 0.3 \hat{=} 0.8 = 2.4 \text{ m}^3/\text{s} = 8640 \text{ m}^3/\text{ora}$.

Calcolare Re con $Didraulico = 4A/P$, si ipotizza rugosità ϵ/D per esempio 1mm/Didr, si trova nel diagramma di Moody λ per esempio $\lambda = 0.04$, si calcola $\Delta P [\text{Pa}] = \lambda L/D \rho w^2/2$, o meglio $\Delta P = (\lambda L/D + 1) \rho w^2/2$ per tenere conto anche della perdita di energia cinetica allo sbocco. Dal diagramma si vede che si cade nella zona con rendimento $>67\%$ e potenza richiesta reale circa 1kW.

Verifica: la P teorica è $V' \Delta P = 2.4 * 280 = 672 \text{ W}$

PF-TRU



Esercizio 1 Re-Nu piana, Bi>0.1, piastrelle si raffreddano

spessore, cm	6	T_film °C	27	1.57E-05	300	300	350	Taria[K]	100
L Re-Nu,m	0.4	lambda_ar	0.0263		0.0263	0.0263	0.03	Lambda	9.34
T_iniz	500	mi_aria	0.000018		1.85E-05	1.85E-05	1.85E-05	mi	7.11E-06
T_finale	30	Pr	0.701		5			indice	1
T_amb	20	Ro_aria	1.178			1		Paria	
w_aria	12	Re	306332			1.178		Rho aria	
lambda cerami	0.7	Nu	316.9						
ro ceramica	2600	h	20.8						
Cp	800	Bi	1.786		1	1.786	2	Bi	0.01
alfa	3.37E-07	lambda1	1.029701		0.8603	1.030	1.0759	Lambda1	0.0998
facce	1	A1	1.166558		1.1191	1.167	1.1795	A1	1.0017
Lc per Bi	0.06	teta	0.021		21			indice	1
V	0.0096	Fo	3.8						
		tempo s	40611						
		tempo min	677						
		tempo h	11.28						

Es 2 tubo isolato Re-Nu

Es 2	tubo isolato Re-Nu				Ri	deltaT	Ti		
D_int mm	20	Rint	0.0100	w	8.33	conv int	0	0.00	70
Sp tubo mm	1	Rmetà	0.011	L_Re m	0.052	rame	3.8E-05	0.00	70.00
lambda tubo	400	Rest	0.026	Re	30457	isol	2.739	57.37	70.00
Sp Isol cm	1.5	ro	1.23	Pr	0.707	conv	0.126	2.63	12.63
lambda is	0.05	lambda	0.025	Nu	101.5	TOT	2.865	60	10.00
vento km/h	30	mu	1.75E-05	h	48.8	Q'	20.9	Test	10

Esercizio 3 Fattori vista X Y Z irraggiamento

base-quadrato	30	50	30
Z/X		1	0.14
Y/X		1.67	
quadrato-base	30	30	50
Z/X		1.67	0.22
Y/X		1	
base-lato etc	50	30	30
Z/X		0.6	0.23
Y/X		0.60	

F_B-Forno 0.26

Esercizio 3 cavità intera (molto più veloce)

Base X,Y	0.3	0.5	altezza Z	0.3				
AreaCoperchi	0.15	Area Scat	0.63	Area forn	6	Fscatola-C	0.238	
A1	A2	eps	T1 [K]	T2 [K]	F12	Q' [W]		
Q' int-forno	0.63	6	0.8	293	473	0.238	-341	
Q' est-forno	0.63	6	0.8	293	473	1	-1195	-1535

Esercizio 4 Rankine

			T °C	P kPa	x	h	s		ideale	reale
Tmin °C	45	1=LiqSat	45	9.593	0	188.5	0.6387	Qin	3244.69	3244.69
Pmax bar	150	2	45	15000	nd (<0)	203.5	"	L_nu_Tid	1373.38	1375.63
Tmax °C	550	2re				203.5		eta1	42.3%	42.4%
etaPpompa	1	5	550	15000	nd (>1)	3448.2	6.520	etaC	61.4%	61.4%
etaTurb	1	6	45	9.593	0.781	2059.8	6.520	eta2	69.0%	69.1%
		6re			0.781	2059.8				
		VapSat	45	9.593	1	2583.2	8.1648			

Esercizio 5 compressore e w^2			1	2 isoS	2 reale	3	4
R, Cp	286.69	1003.414	T °C	20	67.4	79.3	379.3
eta	80%		T K	293	340.4	352.3	561.4
l 12 in	59502	5950	P_ass Pa	101325	171325	171325	101325
q 23 in	301024	30102	ro kg/m3	1.206	1.755	1.696	0.630
delta h in	360526	36053	v	0.829	0.570	0.590	1.092
m'	0.1000		w	0	0	0	427

Esercizio 6 pompa calore								
					K	°C		
COPid	6.87	Lin	529.1	T_uff	22	Tsup	323	50
	55%	Q'sup W	2000	T_esterno	11	Tinf	276	3
COPre	3.78	Q'inf W	1470.9	deltaT_ev	8	deltaT	47	
				deltaT_cor	28			

Esercizio 7 aria umida mix, no condensa										Tsat°C
	m' kg/s	T °C	UR	Psat	Pvap	x	h	Trug		INTERPOL
fredda	1	10	100%	1227.6	1227.6	0.0076	29.3			10
calda	2	26	70%	3384.4	2369.1	0.0149	64.1			10.0
mix	3	20.7	81%	2457.3	1991.5	0.0125	52.5	17.42		

Esercizio 8 scambiatori NTU, tubo acqua calda					
Rint	9		Sez	0.00000707	
Rest	10	deltaTml	32.4	rho	1000
m' kg/s	0.05	Q'h20	1046.0	w	7.08
Tin	55	h	15.0	teta/teta0	0.857
Tout	50	A m2	2.15	NTU	0.1542
Tamb	20	L	34.2	A m2	2.15

Esercizio 9 ventilatore								
a	0.8	V' m3/s	2.4	f attrito	0.02	deltaP Pa	deltaP Bar	J/kg
b	0.3	m3/h	8640	ro w2/2		60		metri (aria !)
L metri	40	rho	1.2	N	1			
A	0.24	m' kg/s	2.88	attrito	110	0.0011	9.4	92
Didr	0.436	mi	1.85E-05	concentrat	60	0.0006	5.1	21
w	10	Re	283660	totale	170	0.0017	14.5	113