

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

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} =

$$\ln(0.026/0.011) / (2 \pi \lambda_{isolante})$$

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

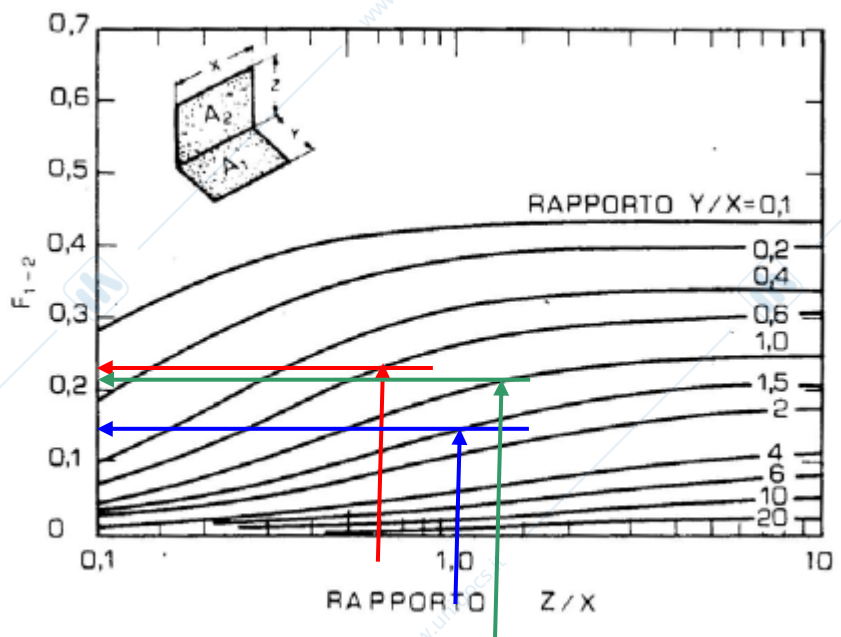


Figura 12.12. Fattore di vista per superfici rettangolari adiacenti

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

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 $X=50, Y=Z=30,$

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

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: $F_{interno-coperchio} * A_{scatola} = F_{coperchio-interno} * A_{coperchio}$.

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

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 2^a parte tempo disponibile: 2h30, esercizi 4-9 (la 1^a 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} , $COP_{pre} = Q_{out} / L_{in}$, $COP_{id} = T_{sup} / \Delta T$. 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_{gas}) e relativa (%) della miscela formata.

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 abbassa 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 T_{acqua}

$T_{caldo} = \text{da } 55 \text{ a } 50$, $T_{freddo} = 20$. 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.

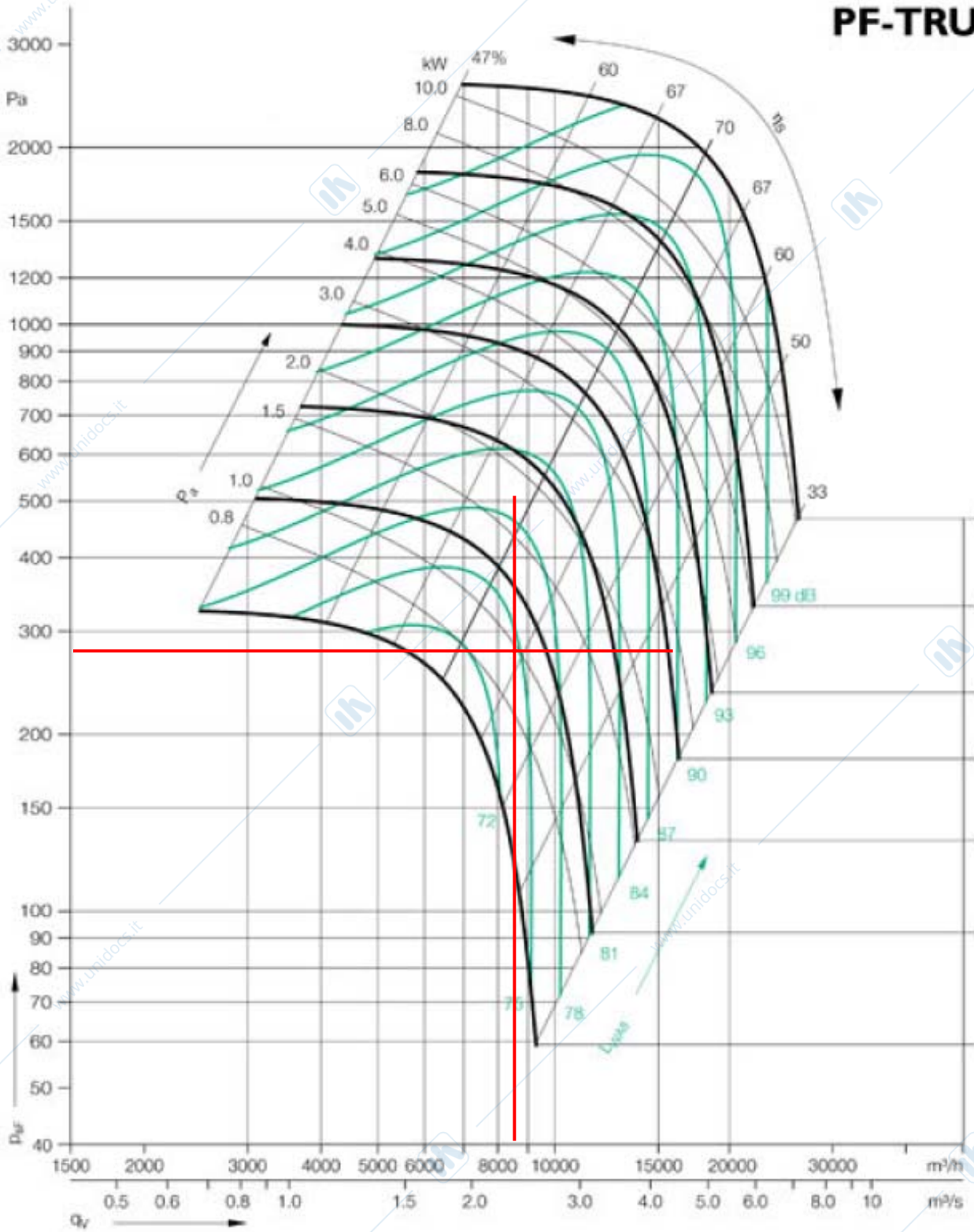
Traccia

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

Calcolare Re con $Re_{idraulico} = 4A/P$, 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



42

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

spessore, cm	6	T_film °C	27
L Re-Nu,m	0.4	lambda_ar	0.0263
T_iniz	500	mi_aria	0.000018
T_finale	30	Pr	0.701
T_amb	20	Ro_aria	1.178
w_aria	12	Re	306332
		Nu	316.9
		h	20.8
lambda cerami	0.7	Bi	1.786
ro ceramica	2600	lambda1	1.029701
Cp	800	A1	1.166558
alfa	3.37E-07	teta	0.021
facce	1	Fo	3.8
Lc per Bi	0.06	tempo s	40611
V	0.0096	tempo min	677
		tempo h	11.28

1.57E-05

300	300	350	Taria[K]	100
0.0263	0.0263	0.03	Lambda	9.34
1.85E-05	1.85E-05	1.85E-05	mi	7.11E-06
5			indice	1

	1		Paria	
	1.178		Rho aria	

1	1.786	2	Bi	0.01
0.8603	1.030	1.0759	Lambda1	0.0998
1.1191	1.167	1.1795	A1	1.0017
21			indice	1

Es 2	tubo isolato Re-Nu			Ri	deltaT	Ti
D_int mm	20	Rint	0.0100	w	8.33	conv int
Sp tubo mm	1	Rmetà	0.011	L_Re m	0.052	rame
lambda tubo	400	Rest	0.026	Re	30457	isol
Sp Isol cm	1.5	ro	1.23	Pr	0.707	conv
lambda is	0.05	lambda	0.025	Nu	101.5	TOT
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' int-forno	0.63	6	0.8	293	473	0.238
Q' est-forno	0.63	6	0.8	293	473	1
						Q' [W]
						-341
						-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
Pmax bar	150	2	45	15000	nd (<0)	203.5	"	L_nu_Tid	1373.38
Tmax °C	550	2re				203.5		eta1	42.3%
etaPpompa	1	5	550	15000	nd (>1)	3448.2	6.520	etaC	61.4%
etaTurb	1	6	45	9.593	0.781	2059.8	6.520	eta2	69.0%
		6re			0.781	2059.8			69.1%
		VapSat	45	9.593	1	2583.2	8.1648		

x

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	652.3	561.4
l 12 in	59502	5950	P_ass Pa	101325	171325	171325	171325	101325
q 23 in	301024	30102	ro kg/m3	1.206	1.755	1.696	0.916	0.630
delta h in	360526	36053	v	0.829	0.570	0.590	1.092	1.588
m'	0.1000		w	0	0	0	0	427

Esercizio 6		pompa calore			K	°C		
COPid	6.87	Lin	529.1	T_uff	22	Tsup	323	50
eta	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								Isat°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	metri	J/kg
b	0.3	m3/h	8640	ro w2/2		60		(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