

Cognome \_\_\_\_\_ Nome \_\_\_\_\_ Matr |\_\_|\_\_|\_\_|\_\_|\_\_|\_\_|  
(STAMPATELLO)

Prof. L. Araneo. Fisica Tecnica e Macchine 8 Cr. Prova del 5 Nov 2018, aula \_\_\_\_, ore 15.00  
E' consentito l'uso di: -calcolatrice, -tavole e tabelle, un -formulario (1 pagina A4 F/R)  
Non sono consentiti: libri, esercizi svolti.

Specificare sempre: 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.

Prima prova 4 esercizi , tempo a disposizione 3 ore (sono indicati i punteggi indicativi)

Es	1	2	3	4	Ordine	formulario	Totale
Punti	6	9	6	9	1	1	32
Voto							

#### TESTO DI ESEMPIO con traccia soluzione

1) Un tubo in acciaio con sezione rettangolare (misure esterno mm 20 x 10, spessore parete 1 mm ) è mantenuto ad una estremità alla temperatura di 200° C. Determinare quanto debba essere lungo affinché l'altra estremità si trovi a temperatura simile a quella ambiente, la potenza termica dissipata in tale caso. Coefficiente convettivo: 10 W/m<sup>2</sup>/°C.

La barra si comporta come un'aletta, in regime stazionario, incognita T(x), la sezione è quella raffigurata in figura, la convezione avviene normalmente sul perimetro esterno, poiché quello interno è chiuso ed è difficile spiegare un movimento di aria all'interno. La lunghezza "infinita" si ha quando è almeno 3/m oppure 5/m, la potenza dissipata può essere calcolata come quella della sola sezione a temperatura di base, moltiplicata per l'efficacia dell'aletta infinita



2) Una parete di cemento è alta 3 m, lunga 2 m e spessa 10 cm, al suo interno si sviluppa energia termica per 2.5 W/kg. La superficie della parete è raffreddata dal vento con velocità di 10 km/h. Disegnare il profilo delle temperature raggiunto a regime con i valori fondamentali.

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

Il problema richiede la soluzione stazionaria del tipo T(x) in parete con generazione interna di calore. Nel calcolo del coefficiente convettivo la L<sub>Re</sub> da utilizzare è lo sviluppo in orizzontale della parete. La T<sub>film</sub> va ipotizzata, risulteranno numeri di Re tali da usare la correlazione laminare o di transizione. Per i calcoli della T(x), la lunghezza L da utilizzare nei calcoli è lo spessore o il semispessore a seconda che si sia ipotizzata esposizione su una o due facce. Occorre calcolare T(x=L) e poi T(x=0), e verificare che la T<sub>film</sub> non sia troppo diversa dall'ipotesi fatta. Il grafico T(x) è una parabola con concavità verso il basso, e asse di simmetria in corrispondenza della superficie adiabatica ipotizzata (una faccia, o il piano di simmetria)

3) Una lastra di materiale ceramico di dimensioni 22x44x6 cm esce da un forno alla temperatura omogenea di 600°C, e viene esposta in un ambiente dove il coefficiente convettivo risulta 30 W/m<sup>2</sup>K. Determinare dopo quanto tempo può essere maneggiata, disegnare il profilo di temperatura raggiunto. Il problema è di tipo instazionario con T=T(x,t). Si verificato che Bi>0.1, dove L<sub>Bi</sub> è lo spessore o il semispessore a seconda che si sia ipotizzata esposizione su una o due facce; anche L=V/A è accettabile ma meno preciso. Occorre imporre la T(x=L), ipotizzare Fo>0.2 per poter applicare l'ipotesi di parete spessa, verificare quindi Fo e poi calcolare T(x=0).

4) Una barra di acciaio avente diametro  $D = 6$  cm esce da un trattamento metallurgico alla temperatura di  $400^{\circ}\text{C}$ , e viene esposta all'aria ambiente avente velocità di  $12$  m/s. Determinare per quanto tempo è pericoloso maneggiarla.

Il problema è di tipo instazionario, con  $T(t)$  poiché si verifica facilmente che  $Bi \ll 1$ , usando come  $L_{Bi} = V/A = D/4$ . I paramtri del'aria per il calcolo di  $h$  vanno presi a  $T_{\text{film}}$  pari alla media sia spaziale sia temporale.

Correlazioni suggerite per Re-Nu attorno a corpi cilindri:

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

**Esercizio 1** aletta profilo T(x), sezione cava

Lato1 mm	20	m	0.02	coeff m	13.36		
Lato2 mm	10	m	0.01	1/m (metri)	0.075	Tamb °C	20
Spessore r	1	m	0.001	L_inf= 3/m	0.22	efficacia	80.2
h W/m2K	10	lambda_ac	60	L_inf= 5/m	0.37	Q'base sol	0.101
Tbase °C	200	Area m2	0.00006	T_estrem	22	Q'barra in	8.1
		perim m	0.060	L@Testrer	0.34		x

**Esercizio 2** Re-Nu piana, parete con generazione interna

Lunghezza	2	L Re-Nu	2	Pr	0.701		
altezza	3	T_film °C	30 ( 83.5 )	Re	351041		
spess. cm	10	lambda_ar	0.026522	Re>500k?			
w_aria km/s	10	mi_aria	0.000018	Nu	339.2		
w_aria m/s	2.78	Ro_aria	1.166	h	4.5		
	2						
ro kg/m3	2300	A 1faccia r	6.0	facce 1o2	1	deltaT h	127.8
(Cp J/kgK)	1100	spessore	0.100	L_caratt	0.100	deltaT q'	20.5
lambda	1.4	volume m3	0.6	Q'totale W	3450	Tamb°C/K	20
q W/kg	2.5	massa	0.432	Q' W/facci	3450	T superf	147.8
q W/m3	5750			Fi W/m2	575	T max	168.4
							293
							420.8
							441.4

**Esercizio 3** Re-Nu piana+Parete spessa, Bi>0.1, Fo>0.2, piastrelle si raffreddano

Lato1 cm	22	facce	2	T_iniz	600	h	30.0
lato2 cm	44	V/Atot?		T_finale	40		
spessore, cm	6	Lc per Bi	0.03	T_amb	20		
	1						
lambda cer	0.72	Bi	1.250	teta sup	0.034	Fo	3.6
ro ceramico	2000	lambda1	0.9142	teta centro	0.05649	tempo s	5384
Cp	600	A1	1.1342	Tcentro	52.8	tempo min	90
alfa	6E-07	cos lambda	0.610424			tempo h	1.50

**Esercizio 4** Bi<<1 , Re-Nu cilindrico, raffreddamento barra calda

T_iniz	400	Tfilm°C	120		120	lambda acc	60
Tamb	20	lambda	0.033268	Pr	0.701	ro acc	7850
Tfinale	40	mu	2.08E-05	Re	31100	Cp acc	434
w m/s	12	ro_aria	0.899315	Nu	102.5	Biot	0.014208
D cm	6	Cp	1007	h	56.83	tau	899
L_Re	0.060					t_finale s	2648
x						t min	44.1

**Esercizio 1** aletta profilo T(x), sezione cava

Lato1 mm	20	m	0.02	coeff m	9.70		
Lato2 mm	15	m	0.015	1/m (metri)	0.103	Tamb °C	20
Spessore m	2	m	0.002	L_inf= 3/m	0.31	efficacia	58.2
h W/m2K	10	lambda_ac	60	L_inf= 5/m	0.52	Q'base sol	0.248
Tbase °C	220	Area m2	0.00012	T_estrem	22	Q'barra in	14.4
		perim m	0.070	L@Testrer	0.47		x

**Esercizio 2** Re-Nu piana, parete con generazione interna

Lunghezza	2.5	L Re-Nu	2.5	Pr	0.701		
altezza	3	T_film °C	30 ( 32.5 )	Re	526561		
spess. cm	12	lambda_ar	0.026522	Re>500k?	x		
w_aria km/s	12	mi_aria	0.000018	Nu	1242.3		
w_aria m/s	3.33	Ro_aria	1.166	h	13.2		
	2						
ro kg/m3	2200	A 1faccia r	7.5	facce 1o2	2	deltaT h	25.0
(Cp J/kgK)	880	spessore	0.120	L_caratt	0.060	deltaT q'	14.1
lambda	0.7	volume m3	0.9	Q'totale W	4950	Tamb°C/K	20
q W/kg	2.5	massa	0.648	Q' W/facci	2475	T superf	45.0
q W/m3	5500			Fi W/m2	330	T max	59.2
							293
							318.0
							332.2

**Esercizio 3** Re-Nu piana+Parete spessa, Bi>0.1, Fo>0.2, piastrelle si raffreddano

Lato1 cm	24	facce	2	T_iniz	600	h	30.0
lato2 cm	48	V/Atot?		T_finale	40		
spessore, cm	7	Lc per Bi	0.035	T_amb	30		
	1						
lambda cer	0.72	Bi	1.458	teta sup	0.018	Fo	3.9
ro ceramico	2200	lambda1	0.959117	teta centro	0.030551	tempo s	11801
Cp	800	A1	1.146783	Tcentro	47.4	tempo min	197
alfa	4.09E-07	cos lambda1	0.574243			tempo h	3.28

**Esercizio 4** Bi<<1 , Re-Nu cilindrico, raffreddamento barra calda

T_iniz	450	Tfilm°C	132.5	132.5	lambda acc	60	
Tamb	20	lambda	0.034185	Pr	0.701	ro acc	7850
Tfinale	40	mu	2.3E-05	Re	37121	Cp acc	434
w m/s	14	ro_aria	0.871593	Nu	114.3	<b>Biot</b>	<b>0.016287</b>
D cm	7	Cp	1007	h	55.84	tau	1068
L_Re	0.070					t_finale s	3276
x						t min	54.6

**Esercizio 1** aletta profilo T(x), sezione cava

Lato1 mm	20	m	0.02	coeff m	7.95		
Lato2 mm	30	m	0.03	1/m (metri)	0.126	Tamb °C	20
Spessore m	3	m	0.003	L_inf= 3/m	0.38	efficacia	47.7
h W/m2K	10	lambda_ac	60	L_inf= 5/m	0.63	Q'base sol	0.581
Tbase °C	240	Area m2	0.00026	T_estrem	22	Q'barra in	27.7
		perim m	0.100	L@Testrer	0.59		x

**Esercizio 2** Re-Nu piana, parete con generazione interna

Lunghezza	4	L Re-Nu	4	Pr	0.701		
altezza	3	T_film °C	30 ( 34.5 )	Re	982915		
spess. cm	14	lambda_ar	0.026522	Re>500k?	x		
w_aria km/s	14	mi_aria	0.000018	Nu	2046.9		
w_aria m/s	3.89	Ro_aria	1.166	h	13.6		
	2						
ro kg/m3	2300	A 1faccia r	12.0	facce 1o2	2	deltaT h	29.7
(Cp J/kgK)	840	spessore	0.140	L_caratt	0.070	deltaT q'	10.1
lambda	1.4	volume m3	1.68	Q'totale W	9660	Tamb°C/K	20
q W/kg	2.5	massa	2.016	Q' W/facci:	4830	T superf	49.7
q W/m3	5750			Fi W/m2	402.5	T max	59.7
							293
							322.7
							332.7

**Esercizio 3** Re-Nu piana+Parete spessa, Bi>0.1, Fo>0.2, piastrelle si raffreddano

Lato1 cm	26	facce	1	T_iniz	600	h	30.0
lato2 cm	52	V/Atot?		T_finale	40		
spessore, cm	8	Lc per Bi	0.08	T_amb	20		
	2						
lambda cer	1.2	Bi	2.000	teta sup	0.034	Fo	2.4
ro ceramico	2500	lambda1	1.0759	0.475 teta centro	0.072604	tempo s	24084
Cp	750	A1	1.1795	Tcentro	62.1	tempo min	401
alfa	6.4E-07	cos lambda:	0.47494			tempo h	6.69

**Esercizio 4** Bi<<1 , Re-Nu cilindrico, raffreddamento barra calda

T_iniz	500	Tfilm°C	145	145	lambda acc	60	
Tamb	20	lambda	0.03506	Pr	0.701	ro acc	7850
Tfinale	40	mu	2.3E-05	Re	47035	Cp acc	434
w m/s	16	ro_aria	0.845529	Nu	132.4	Biot	0.019335
D cm	8	Cp	1007	h	58.00	tau	1175
L_Re	0.080					t_finale s	3733
x						t min	62.2

**Esercizio 1** aletta profilo T(x), sezione cava

Lato1 mm	20	m	0.02	coeff m	6.93		
Lato2 mm	40	m	0.04	1/m (metri)	0.144	Tamb °C	20
Spessore m	4	m	0.004	L_inf= 3/m	0.43	efficacia	41.6
h W/m2K	10	lambda_ac	60	L_inf= 5/m	0.72	Q'base sol	0.998
Tbase °C	260	Area m2	0.00042	T_estrem	22	Q'barra in	41.5
		perim m	0.120	L@Testrer	0.69		x

**Esercizio 2** Re-Nu piana, parete con generazione interna

Lunghezza	5	L Re-Nu	5	Pr	0.701		
altezza	3	T_film °C	30 ( 70 )	Re	1404164		
spess. cm	16	lambda_ar	0.026522	Re>500k?			
w_aria km/s	16	mi_aria	0.000018	Nu	1948.5		
w_aria m/s	4.44	Ro_aria	1.166	h	10.3		
	3						
ro kg/m3	2600	A 1faccia r	15.0	facce 1o2	1	deltaT h	100.6
(Cp J/kgK)	800	spessore	0.160	L_caratt	0.160	deltaT q'	20.8
lambda	4	volume m3	2.4	Q'totale W	15600	Tamb°C/K	20
q W/kg	2.5	massa	1.728	Q' W/facci	15600	T superf	120.6
q W/m3	6500			Fi W/m2	1040	T max	141.4
							293
							393.6
							414.4

**Esercizio 3** Re-Nu piana+Parete spessa, Bi>0.1, Fo>0.2, piastrelle si raffreddano

Lato1 cm	28	facce	2	T_iniz	600	h	30.0
lato2 cm	56	V/Atot?		T_finale	40		
spessore, cm	9	Lc per Bi	0.045	T_amb	20		
	1						
lambda cer	0.72	Bi	1.875	teta sup	0.034	Fo	2.6
ro ceramico	1400	lambda1	1.04895	teta centro	0.069176	tempo s	9114
Cp	900	A1	1.17195	Tcentro	60.1	tempo min	152
alfa	5.71E-07	cos lambda	0.498482			tempo h	2.53

**Esercizio 4** Bi<<1 , Re-Nu cilindrico, raffreddamento barra calda

T_iniz	550	Tfilm°C	157.5	157.5	lambda acc	60	
Tamb	20	lambda	0.035935	Pr	0.701	ro acc	7850
Tfinale	40	mu	2.3E-05	Re	57800	Cp acc	434
w m/s	18	ro_aria	0.820978	Nu	150.3	Biot	0.022509
D cm	9	Cp	1007	h	60.02	tau	1277
L_Re	0.090					t_finale s	4185
x						t min	69.8

**Esercizio 1** aletta profilo T(x), sezione cava

Lato1 mm	20	m	0.02	coeff m	6.24		
Lato2 mm	50	m	0.05	1/m (metri)	0.160	Tamb °C	20
Spessore m	5	m	0.005	L_inf= 3/m	0.48	efficacia	37.4
h W/m2K	10	lambda_ac	60	L_inf= 5/m	0.80	Q'base sol	1.560
Tbase °C	280	Area m2	0.00060	T_estrem	22	Q'barra in	58.4
		perim m	0.140	L@Testrer	0.78		x

**Esercizio 2** Re-Nu piana, parete con generazione interna

Lunghezza	6	L Re-Nu	6	Pr	0.701		
altezza	3	T_film °C	30 ( 36.5 )	Re	1895621		
spess. cm	18	lambda_ar	0.026522	Re>500k?	x		
w_aria km/s	18	mi_aria	0.000018	Nu	3461.7		
w_aria m/s	5.00	Ro_aria	1.166	h	15.3		
	2						
ro kg/m3	2300	A 1faccia r	18.0	facce 1o2	2	deltaT h	33.8
(Cp J/kgK)	1100	spessore	0.180	L_caratt	0.090	deltaT q'	16.6
lambda	1.4	volume m3	3.24	Q'totale W	18630	Tamb°C/K	20
q W/kg	2.5	massa	2.3328	Q' W/facci:	9315	T superf	53.8
q W/m3	5750			Fi W/m2	517.5	T max	70.5
							293
							326.8
							343.5

**Esercizio 3** Re-Nu piana+Parete spessa, Bi>0.1, Fo>0.2, piastrelle si raffreddano

Lato1 cm	30	facce	2	T_iniz	600	h	30.0
lato2 cm	60	V/Atot?		T_finale	40		
spessore, cm	10	Lc per Bi	0.05	T_amb	20		
	1						
lambda cer	0.72	Bi	2.083	teta sup	0.034	Fo	2.4
ro ceramico	2000	lambda1	1.085617	teta centro	0.073939	tempo s	13066
Cp	800	A1	1.182058	Tcentro	62.9	tempo min	218
alfa	4.5E-07	cos lambda:	0.466367			tempo h	3.63

**Esercizio 4** Bi<<1 , Re-Nu cilindrico, raffreddamento barra calda

T_iniz	600	Tfilm°C	170		170	lambda acc	60
Tamb	20	lambda	0.03681	Pr	0.701	ro acc	7850
Tfinale	40	mu	2.3E-05	Re	69345	Cp acc	434
w m/s	20	ro_aria	0.797813	Nu	168.2	Biot	0.025804
D cm	10	Cp	1007	h	61.93	tau	1375
L_Re	0.100					t_finale s	4631
x						t min	77.2