

Convezione naturale

Convezione naturale: lastra piana verticale

Moto laminare

$$Nu_L = 0.680 + \frac{0.670 \cdot Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad Ra_L \leq 10^9$$

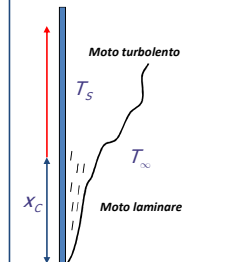
Moto laminare e turbolento

$$Nu_L = \left[0.825 + \frac{0.387 \cdot Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right]^2$$

Correlazioni semplificate

$Nu_L = 0.50 \cdot Ra_L^{1/4}$ **Moto laminare**

$Nu_L = 0.15 \cdot (Ra_L Pr)^{1/3}$ **Moto turbolento**



Numero di Rayleigh

$$Ra_x = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) x^3}{\nu \alpha}$$


Numero di Rayleigh critico

$$Ra_{x,c} = 10^9$$

Le correlazioni proposte si riferiscono al caso di lastra isoterma alla temperatura T_s. Possono tuttavia essere estese con sufficiente approssimazione anche al caso di lastre a flusso uniforme di calore. Le proprietà si intendono calcolate ad una temperatura pari alla media aritmetica della temperatura di bulk dell'ambiente e quella della lastra.

Convezione naturale: lastra piana orizzontale


Convezione su lastra piana "calda"



$$Nu_L = 0.54 \cdot Ra_L^{1/4}$$

$$Nu_L = 0.15 \cdot Ra_L^{1/3}$$


Convezione sotto lastra piana "fredda"



$$10^4 \leq Ra_L \leq 10^7$$

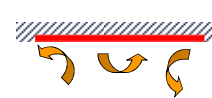
$$10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}$$

Convezione su lastra piana "fredda"



$$Nu_L = 0.27 \cdot Ra_L^{1/4}$$

Convezione sotto lastra piana "calda"



$$10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}$$

La lunghezza caratteristica su cui costruire il numero di Rayleigh è pari al rapporto tra l'area della lastra e il suo perimetro.

Convezione naturale: cilindro orizzontale

Correlazione di Morgan

$$Nu_D = C \cdot Ra_D^m$$

ReD	C	m
10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻²	0.675	0.058
10 ⁻² - 10 ²	1.02	0.148
10 ² - 10 ⁴	0.850	0.188
10 ⁴ - 10 ⁷	0.480	0.250
10 ⁷ - 10 ¹²	0.125	0.333

Correlazione di Churchill e Chu

$$Nu_D = \left[0.60 + \frac{0.387 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0.559 / Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right]^2$$

Numeri di Rayleigh

$$Ra_D = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) D^3}{\nu \alpha}$$

Numero di Prandtl

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k}$$

Convezione naturale: sfera

$$Nu_D = 2 + \frac{0.589 \cdot Ra_D^{1/6}}{[1 + (0.469 / Pr)^{9/16}]^{4/9}}$$

Correlazione di Churchill

$$Nu = 2 + 0.6 Ra^{1/4}$$

Correlazione semplificata

Correlazione di Churchill

Correlazione semplificata

Convezione forzata

Convezione forzata intorno a un cilindro

Correlazione di Hilpert

$$Nu_D = C \cdot Re_D^m \cdot Pr^{1/3}$$

Re _D	C	m
0.4 - 4	0.989	0.330
4 - 40	0.911	0.385
40 - 4000	0.683	0.466
4 · 10 ³ - 4 · 10 ⁴	0.193	0.618
4 · 10 ⁴ - 4 · 10 ⁵	0.027	0.805

Correlazione di Zhukauskas

$$Nu_D = C \cdot Re_D^m \cdot Pr^n \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0.25}$$

Re _D	C	m
1 - 40	0.75	0.400
40 - 1000	0.510	0.500
10 ³ - 2 · 10 ⁵	0.260	0.600
2 · 10 ⁵ - 10 ⁶	0.076	0.700

$n = 0.37 \quad Pr \leq 10$
 $n = 0.36 \quad Pr > 10$

Correlazione di Churchill

$$Nu_D = 0.30 + \frac{0.62 Re_D^m Pr^{1/3}}{\left[1 + (0.40 / Pr)^{2/3} \right]^{0.25}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$$

Numeri di Reynolds e Prandtl

$$Re_D = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k}$$

Il numero di Reynolds è riferito al diametro del cilindro.
 Il numero di Prandtl Pr_s è calcolato in corrispondenza della temperatura sulla superficie del cilindro

Convezione forzata intorno a cilindri e sfere

$Nu_D = 2 + (1.6 Re_D^{1/3} + 0.60 Re_D^{1/2} + 0.005 Re_D^{0.80}) Pr^{1/3}$ **Sfera**

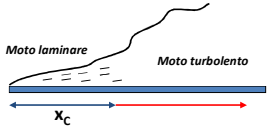
$Nu_D = (1.6 Re_D^{1/3} + 0.50 Re_D^{1/2} + 0.02 Re_D^{0.80}) Pr^{1/3}$ **Cilindro**

Convezione forzata intorno a cilindri a sezione non circolare

Correlazione di Hilpert $Nu_D = C \cdot Re_D^m \cdot Pr^{1/3}$

	Re	C	m
Quadrato	5 · 10 ³ - 10 ⁵	0.246	0.588
Quadrato	5 · 10 ³ - 10 ⁵	0.102	0.675
Esagono	5 · 10 ³ - 10 ⁵	0.385	0.782
Esagono	5 · 10 ³ - 10 ⁵	0.153	0.638
Rettangolo allungato	4 · 10 ³ - 10 ⁴	0.228	0.731

Convezione forzata su una lastra piana (I)

Moto laminare (I)	$Nu_x = 0.664 \cdot Re_x^{0.50} \cdot Pr^{1/3}$	$Pr \geq 0.60$
	$Nu_L = 0.565 \cdot Pe_L^{0.50} = 0.565 \cdot Re_L^{0.50} Pr^{0.50}$	$Pr \leq 0.05$
Moto laminare (II)	$Nu_L = \frac{0.3387 Re_L^{0.50} Pr^{1/3}}{[1 + (0.0468 / Pr)^{0.667}]^{0.25}}$	$RePr \geq 100$
Moto turbolento	$Nu_x = 0.0296 \cdot Re_x^{0.80} \cdot Pr^{1/3}$	Attenzione! È definito localmente
	Numero di Reynolds $Re_x = \frac{\rho \cdot V_\infty \cdot x}{\mu}$	
	Numero di Reynolds critico $Re_{x,c} = \frac{\rho \cdot V_\infty \cdot x_c}{\mu} = 500000$	

Convezione forzata su una lastra piana (II)

Moto laminare + moto turbolento	$Nu_L = (0.037 Re_L^{4/5} - 871) \cdot Pr^{1/3}$	$\begin{cases} 0.60 \leq Pr \leq 60 \\ 5 \cdot 10^5 \leq Re_L \leq 10^8 \\ Re_{x,c} = 5 \cdot 10^5 \end{cases}$
--	--	---

Convezione forzata intorno a una sfera

Correlazione di Whitaker	$Nu_D = 2 + (0.40 Re_D^{0.50} + 0.06 Re_D^{2/3}) Pr^{0.40} \cdot (\mu / \mu_s)^{0.25}$
Correlazione di Ranz e Marshall	$Nu_D = 2 + 0.6 Re_D^{0.60} Pr^{1/3}$
Oggetti non perfettamente sferici	$D_h = \frac{6V}{S}$ <p> ← Volume complessivo ← Diametro equivalente ← Superficie totale </p>

Convezione forzata in una tubazione

Moto laminare $Re_D < 2300$	$Nu_D = 4.36$	Flusso termico costante
	$Nu_D = 3.66$	Temperatura di parete costante
Moto turbolento $Re_D > 4000$	$Nu_D = 0.023 Re_D^{0.80} Pr^{0.40}$	Correlazione di Dittus-Boelter
	$Nu_D = 0.027 Re_D^{0.80} Pr^{1/3} (\mu / \mu_s)^{0.14}$	Correzione per grandi differenze di temperatura