



POLITECNICO
MILANO 1863

TUTORATO 7

Trasmissione del calore: convezione

([link registrazione](#))

Corso di Fisica Tecnica 2019-2020

Francesco Lombardi

Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano

Convezione

9.4 – Intermedio

9.4. *[intermedio]* Un fluido scorre in un tubo a sezione circolare di lunghezza 10 m e diametro interno 25 mm. Sono noti:

- La portata massica: $\dot{m} = 3 \text{ kg/min}$;
- La massa volumica del fluido: $\rho = 866 \text{ kg/m}^3$;
- Il calore specifico del fluido: $c = 2.035 \text{ kJ/kgK}$;
- La viscosità dinamica del fluido: $\mu = 0.0836 \text{ Ns/m}^2$;
- La conduttività termica del fluido: $k = 0.141 \text{ W/mK}$.

Determinare il coefficiente convettivo sapendo che valgono le seguenti relazioni:

$$Nu = 3.66 \quad \text{moto laminare (Re} \leq 2000\text{)}$$

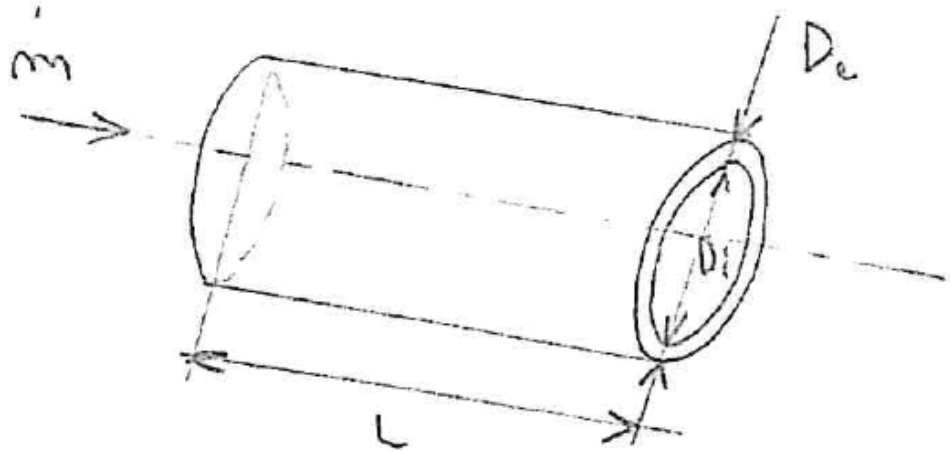
$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3} \quad \text{moto turbolento (Re} \geq 4000\text{)}$$

Determinare h nel caso in cui la portata massica valga 3000 kg/min ed il diametro interno sia di 5 cm.



Convezione

9.4 – Intermedio



SISTEMA: - SCAMBIO TERMICO CONVETTIVO INTERNO, IN
CONDIZIONE CILINDRICO,
- REGIME STAZIONARIO

DATI: $L = 10 \text{ m}$
 $D_i = 0,025 \text{ m}$
 $\dot{m} = 3 \text{ kg/min} = 0,05 \text{ kg/s}$

$\rho = 886 \text{ kg/m}^3$
 $C = 2,035 \text{ kJ/kgK}$
 $\mu = 0,0836 \text{ Ns/m}^2$
 $k = 0,141 \text{ W/mK}$

Convezione

9.4 – Intermedio

INCOUNITE: CALCOLO DEL COEFF. CONVEFFNO h NEI DE CASI:

1) CANO DETERMINATO DAI DATI;

2) CANO IN CUI $\dot{m} = 3000 \text{ kg/min}$ E $D_i = 5 \text{ cm}$

1) IL COEFF. h SI TROVA DAL NU , CHE A SUA VOLTA DIPENDE DAL REGIME DI MOTTO (Re):

$$Re = \frac{\rho W D_i}{\mu} \quad \text{CON} \quad \dot{m} = \underbrace{\rho W \Omega}_{\text{red}} = \rho W \frac{\pi D_i^2}{4} \rightarrow \underline{W} = \frac{\dot{m} \cdot 4}{\rho \pi D_i^2}$$



Convezione

9.4 – Intermedio

$$Nu = 3.66 \quad \text{moto laminare (Re} \leq 2000\text{)}$$

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3} \quad \text{moto turbolento (Re} \geq 4000\text{)}$$

$$Re = \frac{\cancel{8} Di}{\mu} \cdot \frac{\dot{m}}{\cancel{8} \pi Di} = \frac{\dot{m}}{\mu \pi Di} = \frac{0,05 \text{ kg/s}}{\pi \cdot 0,025 \text{ m} \cdot 0,0836 \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 30,5 \quad \text{MOTO LAMINARE!}$$

$$Nu = 3,66 \rightarrow Nu = \frac{h Di}{k} \rightarrow h_1 = \frac{Nu \cdot k}{Di} = \frac{3,66 \cdot 0,191 \text{ W/m}\cdot\text{K}}{0,025 \text{ m}}$$

$$h_1 = 20,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$



Convezione

9.4 – Intermedio

$$\begin{array}{ll} Nu = 3.66 & \text{moto laminare (Re} \leq 2000) \\ Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3} & \text{moto turbolento (Re} \geq 4000) \end{array}$$

2) IL COEFF. CONVEZIONE h DI NUOVA ALLO STESSO MODO:

$$Re = \frac{\dot{m} \cdot h}{\mu \cdot \pi \cdot D_i} = \frac{50 \text{ kg/s} \cdot 4}{\pi \cdot 0.0836 \text{ kg/m} \cdot 0.05 \text{ m}} = 15'230 \rightarrow \text{MOTO TURBOLENTO!}$$



Convezione

9.4 – Intermedio

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3} \quad \text{con} \quad Pr = \frac{\mu c}{k_{FWID}} = \frac{0,0836 \text{ Pa}\cdot\text{s} \cdot 2035 \text{ J/kg}\cdot\text{K}}{0,141 \text{ W/m}\cdot\text{K}} = 1206,6$$

$$Nu = 0,023 \cdot 15230^{0,8} \cdot 1206,6^{0,3} = 428,9$$

$$Nu = \frac{h D_i}{k_{FWID}} \rightarrow h_2 = \frac{Nu k_{FWID}}{D_i} = \frac{428,9 \cdot 0,141 \text{ W/m}\cdot\text{K}}{0,05 \text{ m}} = 1209 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$



Convezione

Extra – Intermedio

Un processore, di dimensioni di 40 mm x 40 mm con un rivestimento di 0.25 mm di spessore ($k=1.5 \text{ W/mK}$) è montato su di una scheda; quando è in funzione, al suo interno si ha dissipazione di potenza elettrica mentre esternamente è raffreddato da una corrente d'aria ($T=24^\circ\text{C}$, $U=8.2 \text{ m/s}$). Supponendo che la potenza termica dissipata dalle altre facce del processore sia trascurabile, e che il coefficiente medio di scambio termico possa essere calcolato con la correlazione

$$Nu_L = 0.664 Re_L^{0.5} Pr^{1/3}$$

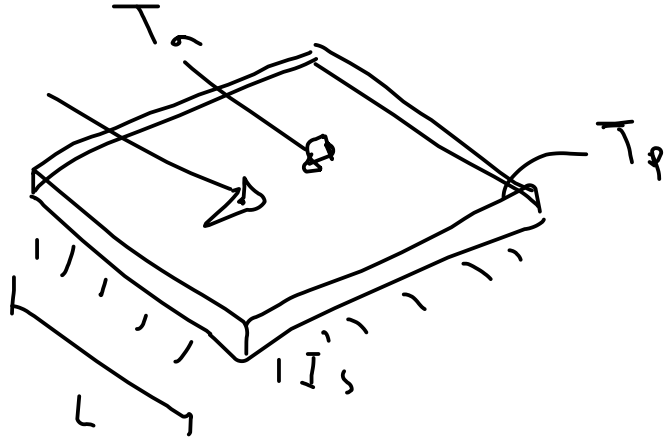
determinare la potenza massima del processore nel caso che la sua temperatura non possa superare 80°C .

(Proprietà termofisiche dell'aria: densità $\rho=1.1181 \text{ kg/m}^3$, calore specifico a pressione costante $c_p=1007.3 \text{ J/kgK}$, viscosità $\mu=19.07\cdot 10^{-6} \text{ kg/ms}$, conduttività termica $k_a=0.0273 \text{ W/mK}$)



Convezione

Extra – Intermedio



DAI,

$$L = 0,04 \text{ m}$$

$$s = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$k_p = 1,5 \text{ W/m}$$

$$T_{f, \text{max}} = 80^\circ \text{C}$$

$$T_a = 21^\circ \text{C}$$

$$h = 8,2 \text{ m/n}$$

$$p, \mu, k_a \quad \text{NOTE}$$

$$Nu = 4(R_i, R_e)$$

INCognITE

$\dot{Q}_{f, \text{max}}$



Convezione

Extra – Intermedio

$$\dot{Q}_{max} = \frac{T_{max,proc} - T_{aria}}{R_{tot}}$$

$$R_{tot} = R_{cond} + R_{conv}$$

$$R_{cond} = \frac{s}{k_{proc}A} = \frac{0.25 * 10^{-3}}{1.5 * (0.04)^2} = 0.10 \text{ K/W}$$

$$R_{cond} = \frac{L}{kS} \quad \begin{matrix} L = s = spessore \\ S = A = Area / superficie \end{matrix}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} = ?$$

$$R_L = \frac{\rho_w L}{k} = \frac{1.181 * 812 * 204}{19.07 * 10^{-6}} = 19231$$

$$R_2 = \frac{\mu_g}{k} = \frac{19.07 * 10^{-6} * 1007.3}{0.0273} = 6906$$



Convezione

Extra – Intermedio

Moto lungo una lastra piana ($\lambda = x, w = w_\infty$):

$$Re_x < 3.5 \cdot 10^5 \quad \text{moto laminare}$$

$$Re_x > 3.5 \cdot 10^5 \quad \text{moto turbolento}$$

Convezione **forzata**: flusso su lastra piana a T_p costante

$$\left. \begin{array}{ll} h = h(x) \text{ locale:} & Nu_x = 0.332 Re_x^{0.5} Pr^{1/3} \\ h \text{ medio:} & \overline{Nu} = 0.664 Re_L^{0.5} Pr^{1/3} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{valide se strato limite } \mathbf{laminare} \\ \text{sull'intera lastra } (L < x_c) \text{ e se} \\ Pr \geq 0.6 \end{array}$$

$$Nu_L = 0.664 \cdot (19231)^{0.5} \cdot (0.704)^{1/3} = \underline{81.8}$$



Convezione

Extra – Intermedio

$$h = \frac{Nu_L \cdot k_a}{L} = 81,8 \cdot \frac{0,0273}{0,04} = 55 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} = \frac{1}{55,8 \cdot (0,04)^2} = 11,2 \text{ K/W}$$

$$\rightarrow R_{tot} = R_{cond} + R_{conv} = 11,30 \text{ K/W}$$

$$\Rightarrow \dot{Q} = \frac{T_{L2} - T_{A12}}{R_{tot}} = 9 \text{ W}$$



Convezione

Extra bis – Intermedio

Una scatola contenente apparecchiature elettroniche viene raffreddata con aria a 20 °C in convezione naturale su una sua faccia verticale. Si supponga che questa faccia sia larga 40 cm e alta 25 cm e che il coefficiente di scambio termico possa essere calcolato con la correlazione

$$Nu = 0.59 Ra^{0.25}$$

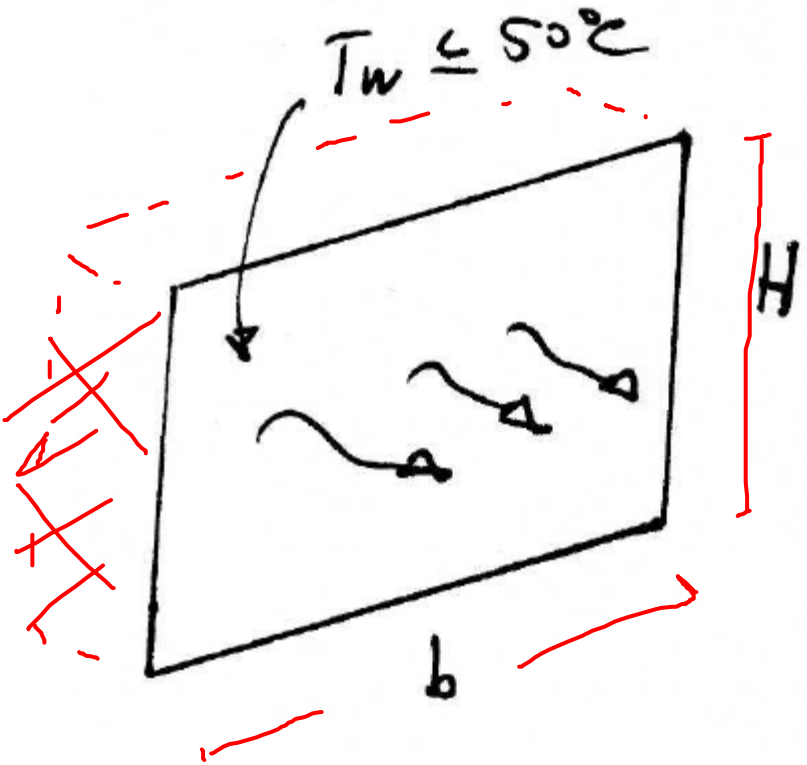
Supponendo che gli scambi termici dalle altre facce della scatola siano trascurabili, determinare la potenza massima dissipabile perché la temperatura della faccia non superi i 50 °C.

(Proprietà termofisiche dell'aria: densità $\rho = 1.1181 \text{ kg/m}^3$, calore specifico a pressione costante $c_p = 1007.3 \text{ J/kgK}$, viscosità $\mu = 19.5 \cdot 10^{-6} \text{ kg/ms}$, conduttività termica $k = 0.0273 \text{ W/mK}$)



Convezione

Extra bis – Intermedio



DATI

$$T_{w, \max} = 50^\circ\text{C}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

$$H = 0,25 \text{ m}$$

$$T_a = 20^\circ\text{C}$$

$$\rho, \mu, \nu, k, \alpha \text{ note}$$

$$Nu = f(Ra)$$

INCOGNITE

$$\dot{Q}_{\text{max}}$$

Convezione

Extra bis – Intermedio

$$\dot{Q} = \frac{T_{w_{me}} - T_a}{R_{conv}} = hA (T_{w_{me}} - T_a)$$

$$R_{conv} = \sum R_i \cdot P_i, \quad g_{el} = \frac{P_i^2 \beta (T_w - T_a) h^3}{\mu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{film}} = \frac{2}{T_w + T_a} = \frac{2}{323 + 293} = 3,25 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$



Convezione

Extra bis – Intermedio

$$\begin{aligned} & \left[g_1 = \dots = 4,88 \cdot 10^{12} \right], \quad \beta = 0,7 \\ & R_a = g_2 \cdot P_a = \underline{3,42 \cdot 10^{12}} \\ & \text{Ranzoni} \rightarrow N_u = \underline{802} \rightarrow h = \frac{N_u \cdot k_{\text{Al}}}{L} = 87,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \\ & \dot{Q} = h A \Delta T = 262,8 \text{ W} \end{aligned}$$

