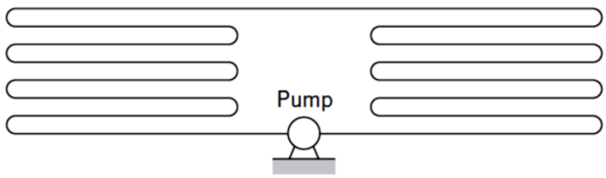
Cognome	Nome	Matricola	Firma

Problema 1. Uno scambiatore di calore consiste in un circuito di tubi di rame, di scabrezza relativa k, diametro interno D e lunghezza totale L. Nel circuito ci sono in totale N gomiti a 180°, ognuno di coefficiente di perdita e_v. Il sistema ospita una pompa la cui curva caratteristica si può descrivere come:



$$\widehat{W} = \widehat{W}_0 \left[1 - \left(\frac{\dot{V}}{\dot{V}_{max}} \right)^3 \right] \tag{1}$$

Nel sistema circola acqua alla temperatura media T.

1. Calcolare le perdite di carico totali per alcuni (almeno tre) valori della velocità media nel tubo nell'intervallo $v_1 \div v_2$;
2. Disegnare un grafico con la velocità media nel tubo in ascissa e, in ordinata: (1) le perdite di carico totali e (2) l'energia specifica conferita al fluido $\widehat{W}$ (equazione 1);
3. Determinare quale sarà la portata di acqua circolante nello scambiatore nelle condizioni in esame, e confrontare tale risultato con il grafico di cui al punto 2.

Dati. $k = 1.5{\cdot}10^{-6}$ m, $D = 15$ mm, $L = 15$ m, $N = 14$, $e_v = 2.2$, $\widehat{W}_0 = 100$ m²/s², $\dot{V}_{max} = 10^{-3}$ m³/s, $T = 40$°C, $v_1 = 1$ m/s, $v_2 = 3$ m/s.

Problema 2. Una parete piana liscia e verticale, di conducibilità k, quadrata di lato H, di spessore S, è investita da un lato da un flusso di acqua alla temperatura media T_w e alla velocità v_w, tangenziale alla parete; mentre dall'altro lato c'è aria alla temperatura T_{a0}, inizialmente ferma. L'ambiente con aria è un recipiente di volume V, le cui altre pareti sono perfettamente adiabatiche.

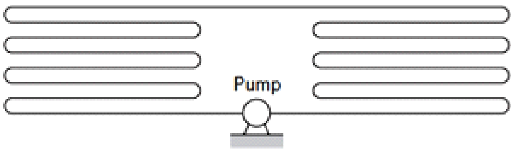
Calcolare:

1. I coefficienti di scambio di calore dai due lati della parete;
2. Il valore iniziale della portata di calore che viene trasferita;
3. La temperatura media dell'aria nel recipiente al tempo t^*, ipotizzando che i parametri fisici rimangano costanti e uguali ai valori iniziali.

Dati. $k =$ 0.45 W/(m·K), $H = 2$ m, $S = 12$ cm, $T_w = 60$ °C, $v_w = 1$ m/s, $T_{a0} = 20$ °C, $V = 1$ m³, $t^* = 10$ min.

Istruzioni: compilare innanzitutto con i propri dati la parte alta di questo foglio; per le risposte utilizzare solo questo foglio.

Problema 1. Uno scambiatore di calore consiste in un circuito di tubi di rame, di scabrezza relativa k, diametro interno D e lunghezza totale L. Nel circuito ci sono in totale N gomiti a 180°, ognuno di coefficiente di perdita e_v. Il sistema ospita una pompa la cui curva caratteristica si può descrivere come:



$$\hat{W} = \hat{W}_0 \left[1 - \left(\frac{\dot{V}}{\dot{V}_{max}}\right)^3\right] \qquad (1)$$

Nel sistema circola acqua alla temperatura media T.

1. Calcolare le perdite di carico totali per alcuni (almeno tre) valori della velocità media nel tubo nell'intervallo $v_1 \div v_2$;
2. Disegnare un grafico con la velocità media nel tubo in ascissa e, in ordinata: (1) le perdite di carico totali e (2) l'energia specifica conferita al fluido $\hat{W}$ (equazione 1);
3. Determinare quale sarà la portata di acqua circolante nello scambiatore nelle condizioni in esame, e confrontare tale risultato con il grafico di cui al punto 2.

Dati. $k = 1.5 \cdot 10^{-6}$ m, $D = 15$ mm, $L = 15$ m, $N = 14$, $e_v = 2.2$, $\hat{W}_0 = 100$ m²/s², $\dot{V}_{max} = 10^{-3}$ m³/s, $T = 40$°C, $v_1 = 1$ m/s, $v_2 = 3$ m/s.

$k := 1.5 \cdot 10^{-6} \cdot m$ $\quad D := 15 \cdot mm$ $\quad \frac{k}{D} = 1 \times 10^{-4}$ $\quad L := 15 \cdot m$ $\quad N := 14$ $\quad e_v := 2.2$

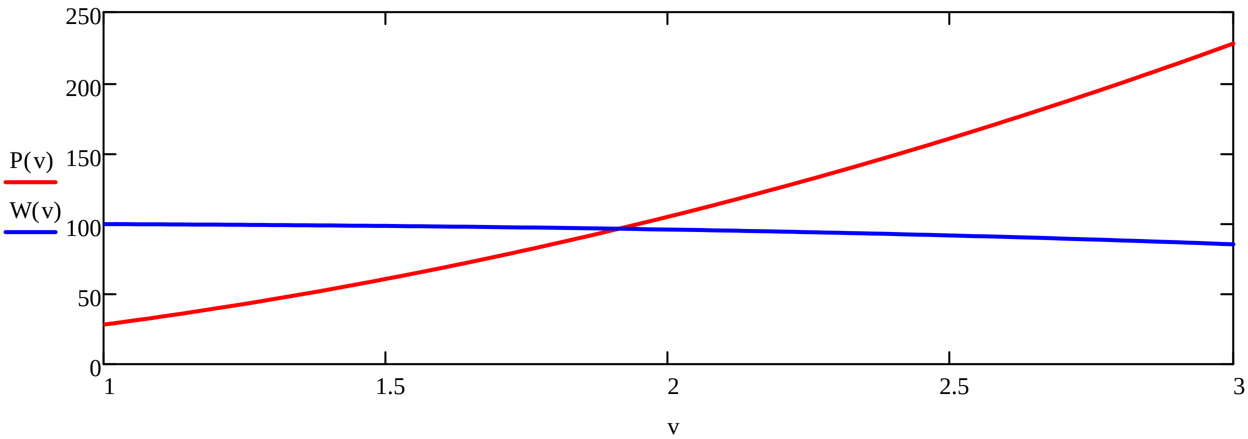
$W_0 := 100 \cdot \frac{m^2}{s^2}$ $\quad V_{pmax} := 10^{-3} \cdot \frac{m^3}{s}$ $\quad T := 40\,°C$ $\quad \rho_w(T) = 991.74 \frac{kg}{m^3}$ $\quad \mu_w(T) = 6.742 \times 10^{-4} \cdot Pa \cdot s$

$v_1 := 1 \cdot \frac{m}{s}$ $\quad v_2 := 3 \cdot \frac{m}{s}$

$$W(v) := W_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v}{V_{pmax}}\right)^3\right] \qquad P(v) := \frac{v^2}{2} \cdot \left(4 \cdot f\left(\frac{v \cdot D \cdot \rho_w(T)}{\mu_w(T)}, \frac{k}{D}\right) \cdot \frac{L}{D} + N \cdot e_v\right) \qquad v := v_1, v_1 + 0.01 \cdot (v_2 - v_1) .. v_2$$

$$N_{Re.1} := \frac{v_1 \cdot D \cdot \rho_w(T)}{\mu_w(T)} = 2.206 \times 10^4 \qquad f_1 := f\left(N_{Re.1}, \frac{k}{D}\right) = 6.323 \times 10^{-3} \qquad P(v_1) = 28.046 \frac{m^2}{s^2}$$

$$N_{Re.2} := \frac{v_2 \cdot D \cdot \rho_w(T)}{\mu_w(T)} = 6.619 \times 10^4 \qquad f_2 := f\left(N_{Re.2}, \frac{k}{D}\right) = 4.95 \times 10^{-3} \qquad P(v_2) = 227.693 \frac{m^2}{s^2}$$



$v := v_1$ Primo tentativo

Given

Bilancio di Energia Meccanica $\quad W(v) = P(v) \quad v := \text{Minerr}(v) = 1.912 \frac{m}{s}$

$$V_p := \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v = 3.379 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Problema 2. Una parete piana liscia e verticale, di conducibilità k, quadrata di lato H, di spessore S, è investita da un lato da un flusso di acqua alla temperatura media T_w e alla velocità v_w, tangenziale alla parete; mentre dall'altro lato c'è aria alla temperatura T_{a0}, inizialmente ferma. L'ambiente con aria è un recipiente di volume V, le cui altre pareti sono perfettamente adiabatiche.

Calcolare:

1. I coefficienti di scambio di calore dai due lati della parete;
2. Il valore iniziale della portata di calore che viene trasferita;
3. La temperatura media dell'aria nel recipiente al tempo t^*, ipotizzando che i parametri fisici rimangano costanti e uguali ai valori iniziali.

Dati. $k = 0.45$ W/(m·K), $H = 2$ m, $S = 12$ cm, $T_w = 60$ °C, $v_w = 3$ m/s, $T_{a0} = 20$ °C, $V = 1$ m³, $t^* = 10$ min.

$k := 0.45 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ $\quad H := 2 \cdot \text{m}$ $\quad S := 12\text{cm}$ $\quad T_w := 60\,°\text{C}$ $\quad v_w := 1 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $\quad T_{a0} := 20\,°\text{C}$ $\quad V := 1 \cdot \text{m}^3$ $\quad t° := 10 \cdot \text{min}$

$N_{Re.C} := 5 \cdot 10^5$

Convezione forzata da piastra piana liscia (anche fig. p. 419)

$$j_H(N_{Re}) := 0.664 \cdot N_{Re}^{-0.5} + \text{if}\left[N_{Re.C} < N_{Re} < 1 \cdot 10^8, \left[1 - \left(\frac{N_{Re.C}}{N_{Re}}\right)^{0.8}\right] \cdot 0.036 \cdot \left(\frac{1}{N_{Re}^{0.2}}\right), 0\right]$$

Convezione naturale da piastra verticale (anche fig. p. 423) $\quad N_{NuA}(N_{Gr}, N_{Pr}) := 0.59 \cdot (N_{Gr} \cdot N_{Pr})^{0.25}$

Lato Acqua

Fluido ad alta densità, scambio in regime di convezione forzata -> alto valore di h atteso -> la temperatura della parete (lato acqua) sarà circa uguale alla Tw, quindi si può assumere (dal lato dell'acqua) Tf = Tw. Questa ipotesi potrà essere verificata una volta calcolata la portata di calore.

$$N_{Re} := \frac{v_w \cdot H}{\nu_w(T_w)} = 4.13 \times 10^6 \qquad N_{Pr.w}(T_w) = 3.067 \qquad j_H(N_{Re}) = 1.721 \times 10^{-3}$$

$$N_{Nu} := j_H(N_{Re}) \cdot N_{Re} \cdot N_{Pr.w}(T_w)^{\frac{1}{3}} = 1.033 \times 10^4 \qquad h_w := \frac{k_w(T_w)}{H} \cdot N_{Nu} = 3.364 \times 10^3 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Lato Aria

$$T_{f0} = \frac{T_{a0} + T_{s0}}{2}$$

$$N_{Gr} = \frac{H^3 \cdot \rho_A(T_{f0})^2 \cdot g}{\mu_A(T_{f0})^2} \cdot \frac{1}{T_{f0}} \cdot |T_{s0} - T_{a0}|$$

in cui T.s0 è la temperatura della parete (lato aria) e T.f0 è la temperatura di film (T.s0+T.a0)/2

$$N_{Pr} = N_{Pr.a}(T_{f0})$$

$$h_a = \frac{k_A(T_{f0})}{H} \cdot N_{Nu}(N_{Gr}, N_{Pr})$$

$T_{s0} := 40\,°C$ primo tentativo

Given

flusso termico dall'acqua alla parete (lato aria) = flusso termico dalla parete (lato aria) all'aria

$$\frac{1}{\frac{1}{h_w}+\frac{1}{\frac{k}{S}}}\cdot\left(T_w - T_{s0}\right) = \frac{k_A\left(\frac{T_{a0}+T_{s0}}{2}\right)}{H}\cdot N_{NuA}\left(\frac{H^3\cdot\rho_A\left(\frac{T_{a0}+T_{s0}}{2}\right)^2\cdot g}{\mu_A\left(\frac{T_{a0}+T_{s0}}{2}\right)^2}\cdot\frac{\left|T_{s0}-T_{a0}\right|}{\frac{T_{a0}+T_{s0}}{2}}, N_{Pr.A}\left(\frac{T_{a0}+T_{s0}}{2}\right)\right)\cdot\left(T_{s0}-T_{a0}\right)$$

$T_{s0} := \mathrm{Minerr}\left(T_{s0}\right) = 42.957\cdot°C$

$$T_f := \frac{T_{a0}+T_{s0}}{2} = 31.479\cdot°C$$

$$N_{Gr} := \frac{H^3\cdot\rho_A\left(T_f\right)^2\cdot g}{\mu_A\left(T_f\right)^2}\cdot\frac{\left|T_{s0}-T_{a0}\right|}{T_f} = 2.272\times 10^{10}$$

$N_{Pr} := N_{Pr.A}\left(T_f\right) = 0.713$ $\quad N_{NuA}\left(N_{Gr}, N_{Pr}\right) = 210.477$

$$h_a := \frac{k_A\left(\frac{T_{a0}+T_{s0}}{2}\right)}{H}\cdot N_{NuA}\left(N_{Gr}, N_{Pr}\right) = 2.781\cdot\frac{watt}{m^2\cdot K}$$

$$Q_0 := H^2\cdot h_a\cdot\left(T_{s0}-T_{a0}\right) = 255.359\cdot watt$$

Temperatura di parete lato acqua
(verifica dell'ipotesi semplificativa)

$$Q_0 = H^2\cdot h_w\cdot\left(T_w - T_{wp}\right) \qquad T_{wp} := T_w - \frac{Q_0}{H^2\cdot h_w} = 59.981\,°C$$

$$\rho_A\cdot C_{P.A}\cdot V\cdot\left(\frac{d}{dt}T_a(t)\right) = H^2\cdot U\cdot\left(T_w - T_a(t)\right) \qquad \frac{1}{U} = \frac{1}{h_w}+\frac{1}{\frac{k}{S}}+\frac{1}{h_a} \qquad T_a(t=0) = T_{a0}$$

$$U := \left(\frac{1}{h_w}+\frac{1}{\frac{k}{S}}+\frac{1}{h_a}\right)^{-1} = 1.596\cdot\frac{watt}{m^2\cdot K} \qquad \tau := \frac{\rho_A\left(T_f\right)\cdot C_{P.A}\left(T_f\right)\cdot V}{H^2\cdot U} = 182.897\,s \qquad T_a(t) := T_w - \left(T_w - T_{a0}\right)\cdot\exp\left(\frac{-t}{\tau}\right)$$

$T_a(t°) = 58.496\cdot°C$

$t := 0\cdot s, 1\cdot s\,..\,20\cdot min$