Principi di Ingegneria Chimica
Anno Accademico 2013-2014

Cognome	Nome	Matricola	Firma

E-mail:

Problema 1. Si deve trasportare dell'acqua a temperatura T da un punto (1) ad un altro punto (2) di un impianto, mediante un tubo di scabrezza relativa k e diametro interno d. La lunghezza totale della tubazione è L, i punti (1) e (2) sono a pressione atmosferica e il punto (2) è localizzato ad una quota H soprastante il punto (1). Lungo la tubazione ci sono N_G gomiti a 90° a largo raggio, una valvola a saracinesca aperta, e una pompa di potenza P e rendimento η.

1. Calcolare la portata volumetrica di acqua, $\dot{V}$, che scorre nel tubo.

Questa portata d'acqua è inviata in un serbatoio cilindrico di diametro D, sul fondo del quale c'è un foro, da cui l'acqua può defluire, di diametro $d/2$.

2. Calcolare il valore del battente di acqua che si stabilisce a regime nel serbatoio.
3. Proporre un modello per descrivere il transitorio di riempimento del serbatoio appena comincia ad arrivare la portata d'acqua $\dot{V}$, se questo è inizialmente vuoto.

Dati. $T = 25°\text{C}$, $k = 0.001$, $d = 10$ cm, $L = 100$ m, $H = 30$ m, $N_G = 4$, $P = 5$ kW, $\eta = 75\%$, $D = 2$ m.

Problema 2. Una sferetta di un solido (di diametro D, densità ρ, calore specifico $\hat{C}_P$) è inizialmente alla temperatura T_0, quando viene immersa in aria alla temperatura T_a. Dopo un tempo t_1, la superficie della sfera si porta alla temperatura T_{s1} e il centro della sfera alla temperatura T_{c1}. Calcolare:

1. Il numero di Biot e il numero di Fourier per il sistema al tempo t_1 ($N_{Bi} = hR/k$, $N_{Fo} = \tau_1 = \alpha t_1/R^2$);
2. La conducibilità termica della sfera, k, e il coefficiente di scambio interfase, h, tra sfera e aria;
3. La velocità con cui l'aria scorre attorno alla sfera (assumendo per questo calcolo che i parametri fisici dell'aria siano costanti e siano quelli valutati a T_a).

Dati. $D = 10$ cm, $\rho = 2000$ kg/m³, $\hat{C}_P = 2.5$ kJ/(kg·K), $T_0 = 20°\text{C}$, $T_a = 200°\text{C}$, $t_1 = 2.5$ ore, $T_{s1} = 192°\text{C}$, $T_{c1} = 188°\text{C}$.

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

Problema 1. Si deve trasportare dell'acqua a temperatura T da un punto (1) ad un altro punto (2) di un impianto, mediante un tubo di scabrezza relativa k e diametro interno d. La lunghezza totale della tubazione è L, i punti (1) e (2) sono a pressione atmosferica e il punto (2) è localizzato ad una quota H soprastante il punto (1). Lungo la tubazione ci sono N_G gomiti a 90° a largo raggio, una valvola a saracinesca aperta, e una pompa di potenza P e rendimento η.

1. Calcolare la portata volumetrica di acqua, $\dot{V}$, che scorre nel tubo.

Questa portata d'acqua è inviata in un serbatoio cilindrico di diametro D, sul fondo del quale c'è un foro, da cui l'acqua può defluire, di diametro $d/2$.

2. Calcolare il valore del battente di acqua che si stabilisce a regime nel serbatoio.
3. Proporre un modello per descrivere il transitorio di riempimento del serbatoio appena comincia ad arrivare la portata d'acqua $\dot{V}$, se questo è inizialmente vuoto.

Dati. $T = 25°C$, $k = 0.001$, $d = 10$ cm, $L = 100$ m, $H = 30$ m, $N_G = 4$, $P = 5$ kW, $\eta = 75\%$.

$T := 25\,°C \quad k := 0.001 \quad d := 10\cdot cm \quad L := 100\cdot m \quad H := 30\cdot m \quad N_G := 4 \quad e_{gom} := 0.5 \quad e_v := 0.2$

$P := 5\cdot kW \quad \eta := 75\% \quad D := 2\cdot m$

Si assuma come incognita la velocità dell'acqua nel tubo. Dal bilancio di energia meccanica si ha che la potenza della pompa deve vincere le perdite di carico e il dislivello:

$$P\cdot\eta = \left(v\cdot\rho_w(T)\cdot\frac{\pi\cdot d^2}{4}\right)\cdot\left[g\cdot H + \frac{v^2}{2}\cdot\left(\frac{4\cdot f\left(\frac{v\cdot d}{\nu_w(T)},k\right)\cdot L}{d} + N_G\cdot e_{gomiti} + e_{valvola}\right)\right]$$

Da risolvere per tentativi

$v := 1\cdot\frac{m}{s}$ Given

$$P\cdot\eta = \left(v\cdot\rho_w(T)\cdot\frac{\pi\cdot d^2}{4}\right)\cdot\left[g\cdot H + \frac{v^2}{2}\cdot\left(\frac{4\cdot f\left(\frac{v\cdot d}{\nu_w(T)},k\right)\cdot L}{d} + N_G\cdot e_{gom} + e_v\right)\right]$$

$v := \mathrm{Minerr}(v) = 1.495\,\frac{m}{s} \qquad V_p := v\cdot\frac{\pi\cdot d^2}{4} = 0.012\,\frac{m^3}{s} \qquad g\cdot H = 294.2\,\frac{m^2}{s^2}$

$\frac{v^2}{2}\cdot\frac{4\cdot f\left(\frac{v\cdot d}{\nu_w(T)},k\right)\cdot L}{d} = 23.608\,\frac{m^2}{s^2} \qquad \frac{v^2}{2}\cdot\left(N_G\cdot e_{gom} + e_v\right) = 2.458\,\frac{m^2}{s^2} \qquad f\left(\frac{v\cdot d}{\nu_w(T)},k\right) = 5.282\times10^{-3} \qquad \frac{v\cdot d}{\nu_w(T)} = 1.637\times10^{5}$

A regime nel serbatoio l'acqua che entra (dal tubo) è uguale all'acqua che esce (dal foro). La portata di acqua che esce dal foro è determinata dall'equazione di Torricelli (bilancio di energia meccanica tra il pelo libero e il foro):

$$H_{ss} = \frac{v_{foro}^2}{2\cdot g}$$

La velocità di efflusso si ottiene dall'equazione di continuità $\quad v\cdot d^2 = v_{foro}\cdot\left(\frac{d}{2}\right)^2 \qquad v_{foro} := 4\cdot v = 5.98\,\frac{m}{s}$

$$H_{ss} := \frac{v_{foro}^2}{2\cdot g} = 1.823\,m$$

Il modello in transitorio ACC = IN - OUT

$$\rho\cdot\frac{\pi\cdot D^2}{4}\cdot\left(\frac{d}{dt}H(t)\right) = \rho\cdot V_p - \rho\cdot v_{foro}(t)\cdot\frac{\pi\cdot d^2}{4} \qquad \text{con} \qquad v_{foro}(t) = \sqrt{2\cdot g\cdot H(t)}$$

$H(t = 0) = 0$ La soluzione di stato stazionario è la risposta al punto 2.

Problema 2. Una sferetta di un solido (di diametro D, densità ρ, calore specifico $\hat{C}_P$) è inizialmente alla temperatura T_0, quando viene immersa in aria alla temperatura T_a. Dopo un tempo t_1, la superficie della sfera si porta alla temperatura T_{s1} e il centro della sfera alla temperatura T_{c1}. Calcolare:

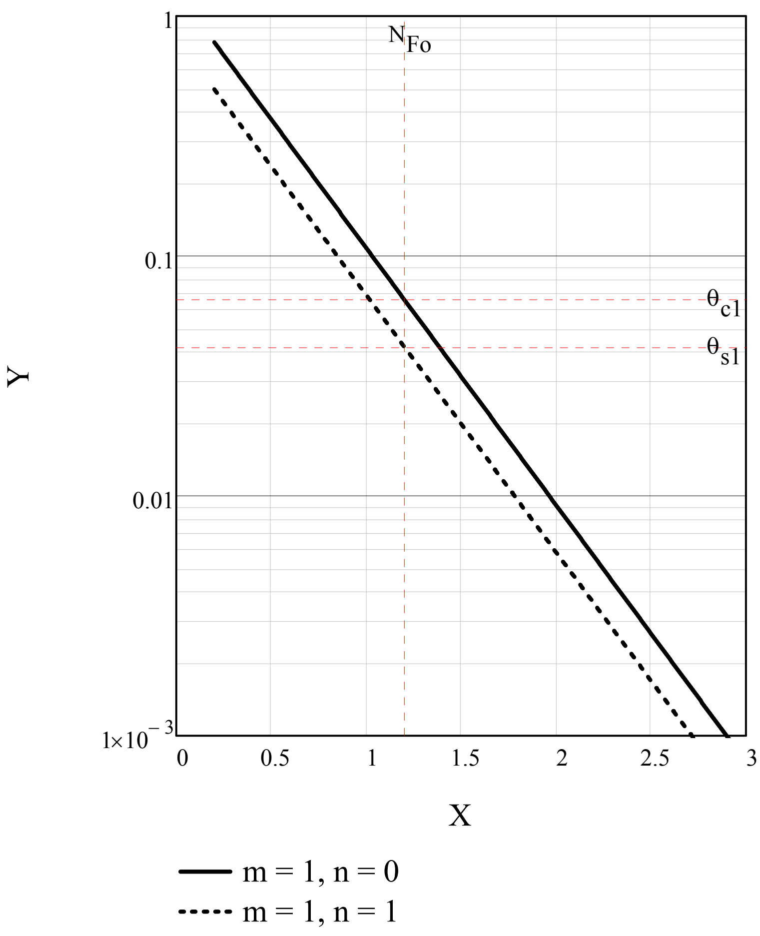
1. Il numero di Biot e il numero di Fourier per il sistema al tempo t_1 ($N_{Bi} = hR/k$, $N_{Fo} = \tau_1 = \alpha t_1/R^2$);
2. La conducibilità termica della sfera, k, e il coefficiente di scambio interfase, h, tra sfera e aria;
3. La velocità con cui l'aria scorre attorno alla sfera (assumendo per questo calcolo che i parametri fisici dell'aria siano costanti e siano quelli valutati a T_a).

Dati. $D = 10$ cm, $\rho = 2000$ kg/m³, $\hat{C}_P = 2.5$ kJ/(kg·K), $T_0 = 20$°C, $T_a = 200$°C, $t_1 = 2.5$ ore, $T_{s1} = 192$°C, $T_{c1} = 188$°C.

$T_0 := 20\,°C \qquad T_{c1} := 188\,°C \qquad D := 10\cdot cm \qquad R := \frac{D}{2} \qquad \rho := 2000\cdot\frac{kg}{m^3} \qquad C_P := 2.5\cdot\frac{kJ}{kg\cdot K} \qquad t_1 := 2.5\cdot hr$

$T_a := 200\,°C \qquad T_{s1} := 192\,°C$

Nomogramma per la sfera (ridisegnato)



$$\theta_{c1} := \frac{T_{c1} - T_a}{T_0 - T_a} = 0.066$$

$$\theta_{s1} := \frac{T_{s1} - T_a}{T_0 - T_a} = 0.042$$

Dal grafico dei transitori per la sfera, per m = 1 e n = 1

$N_{Fo} := 1.2$

m = 1 significa $N_{Bi} := 1$

$$\alpha := \frac{N_{Fo}\cdot R^2}{t_1} = 3.333\times 10^{-7}\,\frac{m^2}{s}$$

$$k := \alpha\cdot\rho\cdot C_P = 1.667\cdot\frac{W}{m\cdot K}$$

$$h := N_{Bi}\cdot\frac{k}{R} = 33.333\cdot\frac{W}{m^2\cdot K}$$

Primo tentativo sulla velocità

$v := 1\cdot\frac{m}{s}$ essendo $N_{Nu} = 2 + 0.6\cdot N_{Re}^{0.5}\cdot N_{Pr}^{0.33}$

Given

$$\frac{h}{\frac{k_A(T_a)}{D}} = 2 + 0.6\cdot\left(\frac{v\cdot D\cdot\rho_A(T_a)}{\mu_A(T_a)}\right)^{0.5}\cdot N_{Pr.A}(T_a)^{0.33}$$

$$v := \mathrm{Minerr}(v) = 9.011\,\frac{m}{s}$$