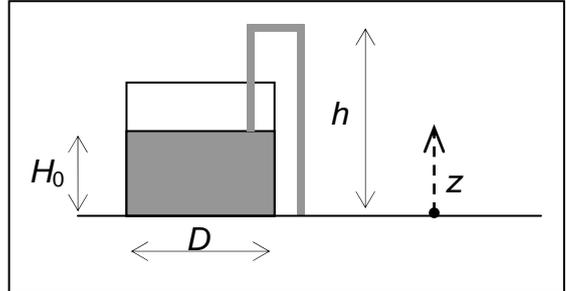


Principi di Ingegneria Chimica  
Anno Accademico 2009-2010

Cognome	Nome	Matricola	Firma

**Problema 1.** Un serbatoio cilindrico di diametro  $D$  è pieno fino al livello  $H_0$  di un sale metallico fuso (di densità  $\rho$  e di viscosità  $\mu$ ). Occorre svuotare il serbatoio, e si vuol farlo usando un tubo liscio di diametro  $d$ , lunghezza totale  $L$ , disposto a sifone con la curva del sifone all'altezza  $h$ , con lo sbocco alla quota 0. Sapendo che la tensione di vapore del sale alla temperatura del processo vale  $P_s$ , calcolare:



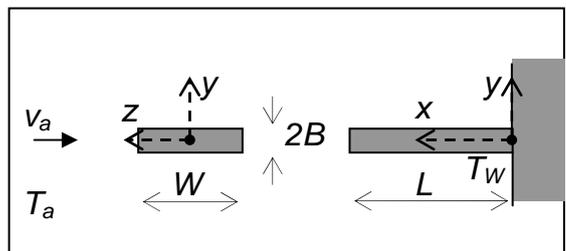
1. Il valore massimo dell'altezza  $h_{max}$  per la curva del sifone (trascurando le perdite),
2. La portata iniziale di fluido, se la curva è posta a  $h < h_{max}$  (tenendo conto delle sole perdite distribuite).

Descrivere inoltre:

3. Un modello per il calcolo del tempo di svuotamento del serbatoio.

Dati:  $\rho = 5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $\mu = 10^2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ,  $P_s = 0.1 \text{ bar}$ ,  $D = 6 \text{ m}$ ,  $H_0 = 2 \text{ m}$ ,  $d = 5 \text{ cm}$ ,  $L = 10 \text{ m}$ .

**Problema 2.** Una laminetta di acciaio (densità  $\rho$ , calore specifico  $C_P$  e conducibilità  $k$ ), a sezione rettangolare, spessa  $2B$ , larga  $W$  e lunga  $L$ , è calettata a una superficie dello stesso metallo che è a temperatura  $T_W$ . La laminetta è investita, perpendicolarmente all'asse orizzontale della sezione come riportato in figura, da aria fredda a temperatura  $T_a$  con velocità  $v_a$ . Calcolare:



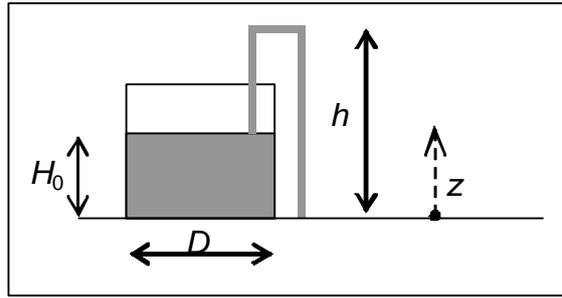
1. Il coefficiente di scambio per convezione, valutando le proprietà del fluido ad una temperatura media tra  $T_W$  e  $T_a$  e considerando l'aletta come una lastra piana investita ortogonalmente da un flusso di fluido.
2. La portata di calore dissipata dalla laminetta, trascurando il calore disperso dalla punta.

Dati.  $\rho = 8000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $C_P = 0.5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $k = 43 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $B = 0.25 \text{ cm}$ ,  $W = 2 \text{ cm}$ ,  $L = 10 \text{ cm}$ ,  $T_W = 200^\circ\text{C}$ ,  $T_a = 20^\circ\text{C}$ ,  $v_a = 45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Istruzioni:** compilare con i propri dati la parte alta di questo foglio; per le risposte ai problemi utilizzare tutte e sole le facciate di questo foglio.



**Problema 1.** Un serbatoio cilindrico di diametro  $D$  è pieno fino al livello  $H_0$  di un sale metallico fuso (di densità  $\rho$  e di viscosità  $\mu$ ). Occorre svuotare il serbatoio, e si vuol farlo usando un tubo liscio di diametro  $d$ , lunghezza totale  $L$ , disposto a sifone con la curva del sifone all'altezza  $h$ , con lo sbocco alla quota 0. Sapendo che la tensione di vapore del sale alla temperatura del processo vale  $P_s$ , calcolare:



1. Il valore massimo dell'altezza  $h_{max}$  per la curva del sifone (trascurando le perdite),
2. La portata iniziale di fluido, se la curva è posta a  $h < h_{max}$  (tenendo conto delle sole perdite distribuite).

Descrivere inoltre:

3. Un modello per il calcolo del tempo di svuotamento del serbatoio.

Dati:  $\rho = 5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $\mu = 10^2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ,  $P_s = 0.1 \text{ bar}$ ,  $D = 6 \text{ m}$ ,  $H_0 = 2 \text{ m}$ ,  $d = 5 \text{ cm}$ ,  $L = 10$

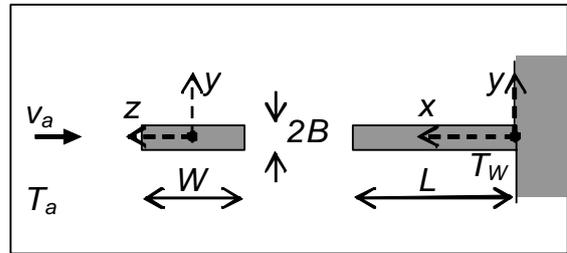
$$D := 6 \cdot \text{m} \quad H_0 := 2 \cdot \text{m} \quad d := 5 \cdot \text{cm} \quad L := 10 \cdot \text{m} \quad P_s := 0.1 \cdot \text{bar} \quad P_1 := 1 \cdot \text{bar} \quad \rho := 5 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 10^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$h_{max} := H_0 + \frac{P_1 - P_s}{\rho \cdot g} = 3.835 \text{ m}$$

$$v_t := 0.5 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Given} \quad g \cdot H_0 = \frac{v_t^2}{2} \cdot \left( 1.45 + \frac{f \left( \frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right) \cdot L}{4 \cdot d} \right) \quad v_{t, \text{min}} := \text{Minerr}(v_t) = 0.123 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad f \left( \frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right) = 52.238 \quad \frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu} = 0.306$$

**Problema 2.** Una laminetta di acciaio (densità  $\rho$ , calore specifico  $C_P$  e conducibilità  $k$ ), a sezione rettangolare, spessa  $2B$ , larga  $W$  e lunga  $L$ , è calettata a una superficie dello stesso metallo che è a temperatura  $T_W$ . La laminetta è investita, perpendicolarmente all'asse orizzontale della sezione come riportato in figura, da aria fredda a temperatura  $T_a$  con velocità  $v_a$ . Calcolare:



1. Il coefficiente di scambio per convezione, valutando le proprietà del fluido ad una temperatura media tra  $T_W$  e  $T_a$  e considerando l'aletta come una lastra piana investita ortogonalmente da un flusso di fluido.
2. La portata di calore dissipata dalla laminetta, trascurando il calore disperso dalla punta.

Dati.  $\rho = 8000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $C_P = 0.5 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ,  $k = 43 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $B = 0.25 \text{ cm}$ ,  $W = 2 \text{ cm}$ ,  $L = 10 \text{ cm}$ ,  $T_W = 200^\circ\text{C}$ ,  $T_a = 20^\circ\text{C}$ ,  $v_a = 45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

$$\rho := 8000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad k := 43 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \quad C_P := 0.5 \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \quad B := 0.25 \cdot \text{cm} \quad W := 2 \cdot \text{cm} \quad L := 10 \cdot \text{cm} \quad T_W := 200^\circ\text{C}$$

$$v_a := 45 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad T_a := 20^\circ\text{C}$$

$$T_f := \frac{T_W + T_a}{2} = 110^\circ\text{C} \quad N_{\text{Re},W} := \frac{v_a \cdot W}{\nu_A(T_f)} \quad N_{\text{Re},W} = 3.728 \times 10^4$$

$$N_{\text{Pr}} := N_{\text{Pr},A}(T_f) \quad N_{\text{Pr}} = 0.703$$

$$\nu_A(T_f) = 2.414 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$j_H := 2 \cdot 0.332 \cdot N_{\text{Re},W}^{-0.5} \quad N_{\text{Nu}} := j_H \cdot N_{\text{Re},W} \cdot N_{\text{Pr}}^{0.33} \quad N_{\text{Nu}} = 114.107$$

$$h_m := \frac{N_{\text{Nu}} \cdot k_A(T_f)}{W} \quad h_m = 182.31 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\rho_A(T_f) = 0.925 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{p}{S} = \frac{2 \cdot B + 2 \cdot W}{2B \cdot W} = \frac{1}{B} \quad N := \sqrt{\frac{h_m \cdot 1}{k} \cdot \frac{1}{B} \cdot L^2} \quad N = 4.118$$

$$k_A(T_f) = 0.032 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{K}} \cdot \text{watt}$$

**Caso 1** (Flusso termico nullo in punta)

$$C_1 := \frac{e^N}{e^N + e^{-N}} \quad C_1 = 1$$

$$q_0 := -k \cdot \frac{T_W - T_a}{L} \cdot N \cdot (1 - 2 \cdot C_1) \quad q_0 = 319 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \quad q_0 \cdot 2 \cdot B \cdot W = 31.857 \cdot \text{watt}$$

$$1 - 2 \cdot C_1 = -0.999$$

$$\tanh(N) = 0.999$$