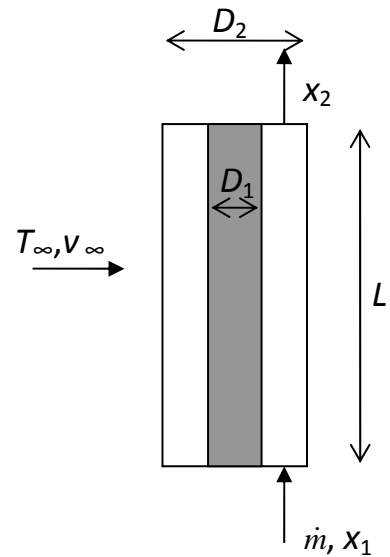


# Principi di Ingegneria Chimica

## Anno Accademico 2010-2011

Cognome	Nome	Matricola	Firma

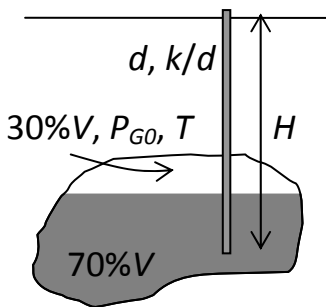
**Problema 1.** Un cilindro di diametro  $D_1$  e lunghezza  $L$  è sede di una generazione di calore volumetrica  $G$ . Il calore prodotto viene assorbito da una corrente di vapore umido che scorre in una intercapedine di diametro esterno  $D_2$ , alla portata  $\dot{m}$ . Il vapore entra alla temperatura  $T_v$ , alla pressione  $P$  e al titolo iniziale  $x_1$ , e esce alle stesse temperatura e pressione, ma al titolo  $x_2$ . Il coefficiente di scambio termico nell'intercapedine sia  $h_i$ . Il tubo esterno, di spessore trascurabile, è investito da un flusso d'aria alla temperatura  $T_\infty$  e alla velocità  $v_\infty$ .



Calcolare:

1. La temperatura esterna del tubo,
2. La portata di vapore da inviare nell'intercapedine.

Dati:  $D_1 = 5 \text{ cm}$ ,  $L = 2 \text{ m}$ ,  $G = 1000 \text{ kW/m}^3$ ,  $D_2 = 10 \text{ cm}$ ,  $P = 1 \text{ bar}$ ,  $T_v = 100^\circ\text{C}$ ,  $x_1 = 0.1$ ,  $x_2 = 0.9$ ,  $h_i = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ ,  $v_\infty = 3 \text{ m/s}$ .



**Problema 2.** Un giacimento sotterraneo di petrolio di volume totale  $V$  è pieno per il 70% del suo volume di greggio (densità  $\rho$ , viscosità  $\mu$ ), mentre la restante parte è piena di metano alla pressione iniziale  $P_{G0}$ . Il sistema è isoterma alla temperatura  $T$ , ed è posto alla quota  $H$  sotto il livello stradale. Mediante una perforazione si raggiunge il giacimento con un tubo di diametro  $d$ , scabrezza relativa  $k/d$

e lunghezza totale  $L$ . Calcolare:

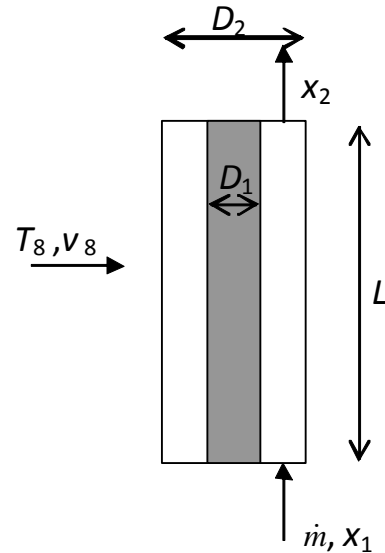
1. La portata iniziale con cui il petrolio fuoriesce naturalmente dal tubo di estrazione,
2. Per quale valore della pressione nel giacimento il greggio smette di fuoriuscire naturalmente e occorre iniziare ad estrarlo mediante pompe,
3. Quale volume di greggio sarà stato estratto prima della necessità di accendere le pompe (ipotizzare che il metano sia un gas ideale).

Dati.  $V = 5000 \text{ m}^3$ ,  $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu = 4 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,  $P_{G0} = 7 \text{ MPa}$ ,  $T = 5^\circ\text{C}$ ,  $d = 40 \text{ cm}$ ,  $k/d = 0.001$ ,  $H = L = 500 \text{ m}$ .

**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 cilindro di diametro  $D_1$  e lunghezza  $L$  è sede di una generazione di calore volumetrica  $G$ . Il calore prodotto viene assorbito da una corrente di vapore umido che scorre in una intercapedine di diametro esterno  $D_2$ , alla portata  $\dot{m}$ . Il vapore entra alla temperatura  $T_v$ , alla pressione  $P$  e al titolo iniziale  $x_1$ , e esce alle stesse temperatura e pressione, ma al titolo  $x_2$ , realizzando un coefficiente di scambio termico  $h_i$ . Il tubo esterno, di spessore trascurabile, è investito da un flusso d'aria alla temperatura  $T_8$  e alla velocità  $v_8$ . Calcolare:



1. La temperatura esterna del tubo,
2. La portata di vapore da inviare nell'intercapedine.

Dati:  $D_1 = 5 \text{ cm}$ ,  $L = 2 \text{ m}$ ,  $G = 1000 \text{ kW/m}^3$ ,  $D_2 = 10 \text{ cm}$ ,  $P = 1 \text{ bar}$ ,  $T_v = 100^\circ\text{C}$ ,  $x_1 = 0.1$ ,  $x_2 = 0.9$ ,  $h_i = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $T_8 = 20^\circ\text{C}$ ,  $v_8 = 3 \text{ m/s}$ .

$$D_1 := 5 \cdot \text{cm} \quad L := 2 \cdot \text{m} \quad D_2 := 10 \cdot \text{cm} \quad G := 10^3 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{m}^3}$$

$$P := 1 \cdot \text{bar} \quad T_v := 100^\circ\text{C} \quad x_1 := 0.1 \quad x_2 := 0.9$$

$$\Delta H := 540 \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$h_i := 500 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_{\text{inf}} := 20^\circ\text{C} \quad v_{\text{inf}} := 10 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_e(T_2) := \begin{cases} T_f \leftarrow \frac{T_2 + T_{\text{inf}}}{2} \\ N_{\text{Re}} \leftarrow v_{\text{inf}} \cdot D_2 \cdot \frac{\rho_A(T_f)}{\mu_A(T_f)} \\ N_{\text{Pr}} \leftarrow N_{\text{Pr},A}(T_f) \\ N_{\text{Nu}} \leftarrow \left( 0.4 \cdot N_{\text{Re}}^{0.5} + 0.06 \cdot N_{\text{Re}}^{\frac{2}{3}} \right) \cdot N_{\text{Pr}}^{0.4} \\ \frac{k_A(T_f)}{D_2} \cdot N_{\text{Nu}} \end{cases}$$

IN = OUT

$$T_2 := 80^\circ\text{C} \quad \text{primo tentativo}$$

$$\text{Given} \quad h_e(T_2) \cdot (T_2 - T_{\text{inf}}) = h_i \cdot (T_v - T_2)$$

$$T_{2,\text{Minerr}} := \text{Minerr}(T_2) = 93.519^\circ\text{C}$$

oppure in alternativa

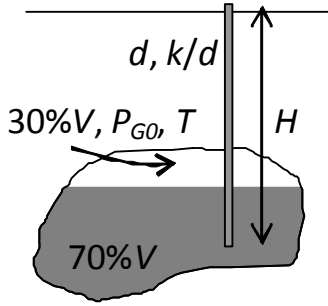
$$\text{Given} \quad h_e(T_2) \cdot (T_2 - T_{\text{inf}}) = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e(T_2)}} \cdot (T_v - T_{\text{inf}})$$

$$T_{2,\text{Minerr}} := \text{Minerr}(T_2) = 93.519^\circ\text{C}$$

$$\text{Bilancio di energia sul vapore} \quad \dot{m} \cdot \Delta H \cdot x_1 + \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot L \cdot G = \dot{m} \cdot \Delta H \cdot x_2 + \pi \cdot D_2 \cdot L \cdot h_e(T_2) \cdot (T_2 - T_{\text{inf}})$$

$$\dot{m} := \frac{\frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot G \cdot L}{\Delta H \cdot (x_2 - x_1) - \pi \cdot D_2 \cdot L \cdot h_e(T_2) \cdot (T_2 - T_{\text{inf}})} = 1.045 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

**Problema 2.** Un giacimento sotterraneo di petrolio di volume totale  $V$  è pieno per il 70%



del suo volume di greggio (densità  $\rho$ , viscosità  $\mu$ ), mentre la restante parte è piena di metano alla pressione iniziale  $P_{G0}$ . Il sistema è isoterma alla temperatura  $T$ , ed è posto alla quota  $H$  sotto il livello stradale. Mediante una perforazione si raggiunge il giacimento con un tubo di diametro  $d$ , scabrezza relativa  $k/d$  e lunghezza totale  $L$ . Calcolare:

1. La portata iniziale con cui il petrolio fuoriesce naturalmente dal tubo di estrazione,
2. Per quale valore della pressione nel giacimento il greggio smette di fuoriuscire naturalmente e occorre iniziare ad estrarlo mediante pompe,
3. Quale volume di greggio sarà stato estratto prima della necessità di accendere le pompe.

Dati.  $V = 5000 \text{ m}^3$ ,  $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu = 4 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,  $P_{G0} = 7 \text{ MPa}$ ,  $T = 5^\circ\text{C}$ ,  $d = 20 \text{ cm}$ ,  $k/d = 0.001$ ,  $H = L = 500 \text{ m}$ .

$$\rho := 850 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{mPa} := 10^{-3} \cdot \text{Pa} \quad \mu := 4 \cdot \text{mPa}\cdot\text{s} \quad P_{G0} := 7 \cdot \text{MPa} \quad T := 5^\circ\text{C} \quad d := 40 \cdot \text{cm} \quad k_d := 0.001$$

$$R := 8.314 \cdot \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \quad H := 500 \cdot \text{m} \quad L := 500 \cdot \text{m} \quad V := 5000 \cdot \text{m}^3 \quad P_{\text{atm}} := 1 \cdot \text{bar}$$

$$v := \sqrt{2 \cdot \left( \frac{P_{G0} - P_{\text{atm}}}{\rho} - g \cdot H \right)} = 80.179 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Given} \quad v = \sqrt{\frac{2}{f\left(\frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}, k_d\right) \cdot \frac{4 \cdot L}{d} + 1.45} \cdot \left( \frac{P_{G0} - P_{\text{atm}}}{\rho} - g \cdot H \right)} \quad \underline{v} := \text{Minerr}(v) = 15.65 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_p := \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v = 1.967 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\frac{P_G - P_{\text{atm}}}{\rho} - g \cdot H = 0$$

$$P_G := P_{\text{atm}} + H \cdot \rho \cdot g = 1 \cdot \text{MPa}$$

$$V_{L0} := 70\% \cdot V = 3.5 \times 10^3 \cdot \text{m}^3$$

$$n_{\text{metano}} := \frac{P_{G0} \cdot (V - V_{L0})}{R \cdot T} = 4.54 \times 10^6 \text{ mol}$$

$$V_G := \frac{n_{\text{metano}} \cdot R \cdot T}{P_G} = 2.46 \times 10^3 \cdot \text{m}^3 \quad \text{volume occupato dal metano}$$

$$V_L := V - V_G = 2.54 \times 10^3 \cdot \text{m}^3 \quad \text{volume occupato dal greggio}$$

$$V_{L0} - V_L = 960.269 \cdot \text{m}^3$$

volume di greggio estratto "naturalmente"