

Homework N° 1: trasporto di fluidi incomprimibili

a.

Per abbattere la concentrazione di inquinanti nei fumi uscenti da un impianto industriale si utilizza una torre di assorbimento alta 20 m. L'acqua (portata $Q = 20 \text{ l/s}$, densità $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$, viscosità $\mu = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$), sollevata fino alla sommità della torre utilizzando una pompa e una tubazione, viene spruzzata all'interno della torre dove scende per gravità assorbendo in fase liquida l'inquinante presente nel gas che sale lungo la torre. Calcolare:

- la potenza della pompa da installare per realizzare il trasporto se il tubo di sollevamento ha diametro $D = 0.1 \text{ m}$ ed è liscio (utilizzare la formula di Blasius per il calcolo del fattore di attrito);
- la potenza della pompa da installare per realizzare il trasporto se il tubo è rugoso, con scabrezza superficiale $k = 1 \text{ mm}$ (utilizzare la formula di Colebroke per il calcolo del fattore di attrito).

b.

La ciminiera di una centrale termoelettrica scarica gas ricco di vapor d'acqua in atmosfera. Per evitare la ricaduta di gocce acide in prossimità dell'impianto, nella ciminiera è installato un sistema di canalette per la raccolta e l'estrazione della condensa che si forma a parete. Sapendo che la ciminiera è alta 80 m, ha diametro $D = 8 \text{ m}$, il tasso di condensazione è $\dot{q} = 0.01 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ e che le canalette estraggono condensa ogni 4 m di altezza, calcolare quale deve essere il diametro dei tubi di raccolta da utilizzare per convogliare per gravità il liquido raccolto dalle canalette fino al suolo.

c.

Nello schema della figura 1 è mostrato il sistema antincendio installato presso un impianto chimico.

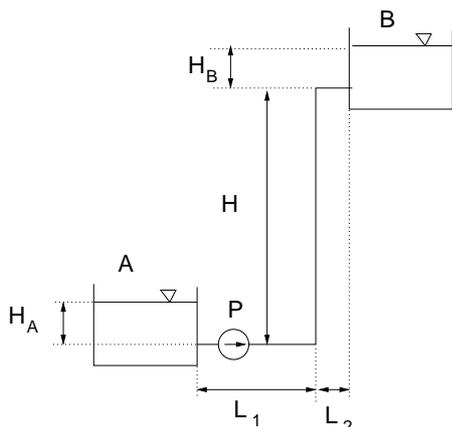


Figura 1. Schema di circuito idraulico antincendio.

Il sistema è formato da due vasche, una (vasca A) al livello del suolo e una sopraelevata (B). La vasca A è uti-

lizzata per riempire periodicamente la vasca B. Dalla vasca B viene prelevata, quando necessario, acqua in pressione per l'uso antincendio. Sapendo che $H_A = 1 \text{ m}$, $H = 60 \text{ m}$, $L_1 = 30 \text{ m}$, $L_2 = 50 \text{ m}$ e $D = 0.1 \text{ m}$, si calcoli quale deve essere la potenza della pompa installata per riuscire a riempire in 2 ore il serbatoio B (volume $V_B = 32 \text{ m}^3$).

d.

Si deve progettare una linea idraulica per trasportare il fluido di processo da un serbatoio A ad un serbatoio B (vedi Figura 2). Sapendo che i tubi sono lisci e che:

- il costo di una tubazione installata è pari a $1.8 \cdot 10^3 D = k_t D$ euro per metro lineare, dove D è il diametro del tubo in metri;
- il costo di una stazione di pompaggio è pari a $3.5 \cdot 10^3 = k_p$ euro per kilowatt installato;
- il costo di esercizio è di $0.150 = k_e$ euro per kilowattora;
- l'ammortamento si può effettuare in $N_y = 20 \text{ anni}$ e la linea è operativa per $N_h = 5000$ ore all'anno.

Determinare:

- Il diametro ottimo della linea per una portata di $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ di acqua se il ramo senza la pompa è chiuso da una valvola.
- Per il diametro determinato al punto precedente, ovvero per un diametro opportunamente scelto, la potenza della pompa P.
- Impostare il calcolo del diametro ottimo della linea se la portata da trasferire tra A e B è sempre $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ma l'acqua può circolare anche nel ramo senza pompa.

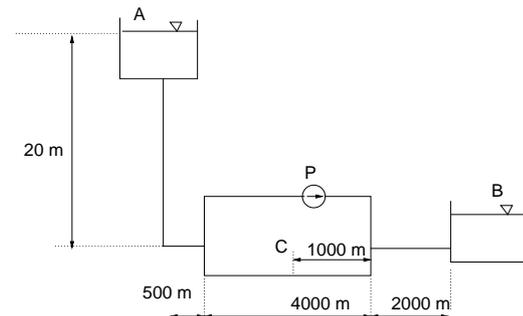


Figura 2. Schema di linea idraulica di distribuzione.

e.

Occorre realizzare un oleodotto per portare una portata di olio combustibile ($\rho_{olio} = 800 \text{ kg/m}^3$ e $\mu_{olio} = 1.2 \cdot 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}$) pari a $W = 1500 \text{ kg/s}$ oltre una collinetta alta 50 m da un bacino di stoccaggio A ad una distanza (secondo la superficie della collina) pari a 8 km . Il vertice della collina è raggiunto dopo 5 km da A . Il tubo utilizzato ha diametro $d = 1.25 \text{ m}$ e rugosità relativa $\epsilon = k/D = 0.001$. Determinare la potenza della pompa necessaria per realizzare il trasporto tenendo presente che la tensione di vapore dell'olio nelle condizioni ambientali di riferimento è $P_v = 2.4 \text{ kPa}$.

f.

Il circuito in figura 2, con parallelo tutto in piano, costituito da tubi lisci di diametro $D = 0.15 \text{ m}$, deve trasmettere una portata $w_0 = 20 \text{ kg/s}$ di acqua al serbatoio B . Supponendo trascurabili le perdite di carico nel tratto verticale (relativamente più corto),

1. determinare la potenza della pompa necessaria per realizzare il trasporto;
2. Nel punto C si verifica una rottura di area 0.5 cm^2 . Calcolare il nuovo valore di portata che viene trasmessa tra i due serbatoi.

g.

Nel circuito in figura 3 la pompa P tratta una portata pari a 28 kg/s di fluido ($\rho = 820 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$). Il diametro della tubazione è pari a 0.12 m e il tubo è liscio. Si determini

1. La potenza della pompa nel caso che la valvola V sia chiusa.
2. La portata trasmessa tra i due serbatoi nel caso che la valvola sia parzialmente aperta e provochi perdite di pressione equivalenti a tratti di tubo lunghi, rispettivamente, a) 1000 m , e b) 100 m .

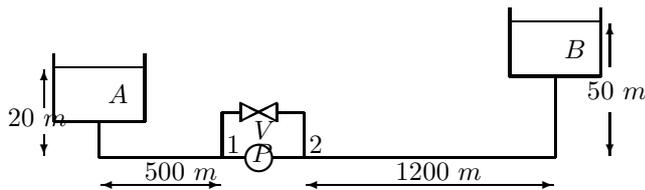


Figura 3. Schema di circuito per il trasporto di fluido tra due serbatoi.

h.

Si debba inviare una portata pari a 50 kg/s di un fluido ($\rho = 880 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$) dal serbatoio A ai serbatoi B e C , in parti uguali, come schematizzato nel circuito della figura 4. Considerato che il circuito è in piano e che il serbatoio C è posto a 30 m di altezza mentre il serbatoio B è posto a 40 m di altezza, si determini:

1. La potenza minima teorica della pompa per tubi di diametro pari a 0.18 m in tutti i tratti di circuito, assumendo che i tubi siano lisci e che delle due valvole una sia completamente aperta e l'altra chiusa quanto necessario per assicurare uguale portata nei due tratti.
2. Il diametro ottimo della tubazione assumendo che il diametro del tubo nel tratto a possa essere diverso da quello nei tratti b e c , e che il costo della tubazione installata sia pari a $1.2 \cdot 10^3 \cdot D = k_t D$ euro per metro lineare, il costo della stazione di pompaggio pari a $k_p = 2 \cdot 10^3$ euro per kilowatt installato ed il costo dell'energia sia $k_e = 0.150$ euro per kwattora. Si effettui l'ammortamento in $N_y = 12$ anni e l'impianto sia operativo $N_h = 5000$ ore all'anno.

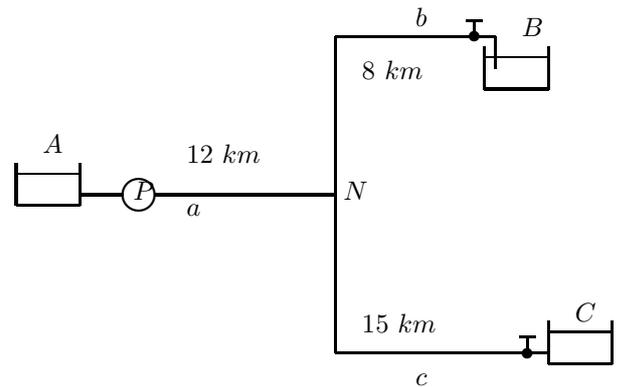


Figura 4. Schema di un circuito idraulico.

i.

L'impianto di raffreddamento di uno stabilimento industriale, rappresentato in Figura 5, è costituito da un serbatoio A in pressione dal quale l'acqua viene inviata alle diverse utenze (B e C) dello stabilimento.

1. Determinare quale dev'essere la pressione del gas nel serbatoio per alimentare una portata $w_B = 9.5 \text{ kg/s}$ al serbatoio B se la valvola V è chiusa.
2. Determinare quale dev'essere la pressione del gas nel serbatoio per alimentare la portata $w_B = 9.5 \text{ kg/s}$ al serbatoio B se la valvola V è aperta e in C deve arrivare una portata $w_C = 8 \text{ kg/s}$. Determinare inoltre il diametro della tubazione nel tratto $N-C$.

Si considerino tubi lisci ($f = 0.079 \cdot Re^{-0.25}$) e i seguenti valori numerici: $h_A = 1 \text{ m}$, $h_C = 2 \text{ m}$, $D_{AB} = 0.1 \text{ m}$, $L_1 = 40 \text{ m}$, $L_2 = 160 \text{ m}$.

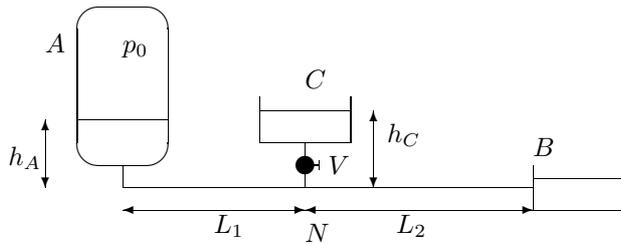


Figura 5. Impianto di raffreddamento.

j.

Un serbatoio cilindrico ($D = 20 \text{ m}$) per lo stoccaggio di olii industriali (densità $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$) è dotato di un condotto di sfioro di diametro d posto a $\bar{h} = 20 \text{ m}$ di altezza ed è alimentato con una portata costante $Q_0 = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Il livello iniziale dell'olio è $h_0 = 1 \text{ m}$. Determinare:

1. il tempo necessario perchè il condotto di sfioro inizi a funzionare;
2. il livello massimo raggiunto dall'olio espresso in funzione del diametro d (incognito) del condotto di sfioro;
3. il valore del diametro d affinché il getto uscente dallo sfioro cada all'interno del recinto di contenimento (diametro $D_m = 40 \text{ m}$); il tempo necessario perchè il livello dell'olio raggiunga il livello di guardia $h^* = 21 \text{ m}$.

k.

In un serbatoio di altezza $H = 10 \text{ m}$ e diametro $D = 10 \text{ m}$ a tenuta stagna sono contenuti olio ($\rho = 800 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) fino ad un'altezza $h = 6 \text{ m}$ e aria ($M = 29$, $R = 8314$) a pressione atmosferica. La valvola V sul tubo (liscio) di scarico dell'olio di diametro $d = 0.1 \text{ m}$ e lunghezza $L = 10 \text{ m}$ viene aperta improvvisamente e l'olio comincia ad uscire. In condizioni isoterme ($T = 20^\circ\text{C}$),

1. Calcolare il livello al quale si arresta l'olio.
2. Impostare la procedura per il calcolo (se possibile calcolare) del tempo necessario perché il livello dell'olio scenda al valore calcolato nella domanda precedente.

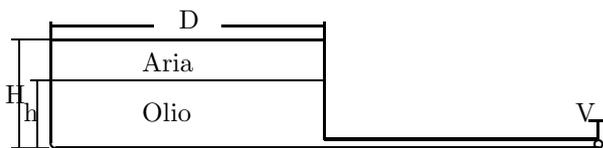


Figura 6. Flusso di olio da serbatoio.