

## Homework N° 2: trasporto/stoccaggio di fluidi comprimibili

a.

In un impianto in cui si utilizza azoto ( $M = 28 \text{ kg/kmole}$ ,  $\mu = 1.78 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ) per la verniciatura di pezzi metallici, è necessario caricare periodicamente il serbatoio del reparto (A) (volume  $V_A = 5 \text{ m}^3$ ) prelevando il gas dal serbatoio di stoccaggio esterno (B) di volume molto più grande e mantenuto a pressione  $P_B = 25 \text{ atm}$  (costante). La linea di collegamento tra i due serbatoi è lunga  $L = 50 \text{ m}$  e ha diametro  $D = 0.05 \text{ m}$ .

1. Calcolare la portata di gas trasferita lungo la linea quando la valvola di intercettazione posta tra i due serbatoi viene aperta (pressione iniziale nel serbatoio A pari alla pressione atmosferica); ipotizzare trasformazioni isoterme ( $T = 293 \text{ K}$ ) e coefficiente di attrito  $f = 0.003$ ;
2. Calcolare la massa trasferita da B ad A per caricare il serbatoio A fino ad una pressione  $P_A = 15 \text{ atm}$ ;
3. Se la valvola tra B ed A non viene chiusa, la pressione nel serbatoio A può salire fino ad un massimo di  $20 \text{ atm}$  prima che si rompa un disco di rottura ( $d = 2.5 \text{ cm}$ ). Calcolare se, in caso di rottura del disco, il flusso di azoto in uscita è sonico.
4. Determinare per quanto tempo dura l'efflusso sonico se viene interrotta l'erogazione di azoto dal serbatoio B.

b.

Un serbatoio (di volume  $V = 40 \text{ m}^3$ ) contiene etilene ( $M = 28 \text{ kg/kmole}$ , viscosità  $\mu = 1.1 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ) inizialmente a pressione  $p_0 = 30 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  e temperatura  $T = 200 \text{ K}$  ed è collegato attraverso un tubo lungo  $L = 1500 \text{ m}$  di diametro  $d = 0.2 \text{ m}$  a un reattore che funziona a pressione atmosferica.

1. determinare la portata alimentata al reattore quando la valvola del condotto di collegamento viene aperta (ipotizzare tutte le trasformazioni isoterme e assumere  $f = 0.003$ );
2. determinare il tempo necessario perché la pressione nel serbatoio si dimezzi;
3. determinare la quantità di gas uscita fino a quel momento.

c.

Un serbatoio a temperatura  $T = 20^\circ\text{C}$  e pressione iniziale  $p_0 = 10 \text{ atm}$  contiene metano ( $M = 16 \text{ kg/kmole}$ ). Il volume del serbatoio è pari a  $10 \text{ m}^3$ . Il serbatoio è dotato di una valvola di sfiato  $V_1$  ( $d = 2 \text{ cm}$ ) ed è collegato attraverso una valvola  $V_2$  a un tubo ( $L = 250 \text{ m}$ ,  $D = 2.5 \text{ cm}$ ) che scarica in atmosfera. All'istante

iniziale la valvola  $V_1$  è aperta e la valvola  $V_2$  è chiusa. Ipotizzando che tutte le trasformazioni subite dal gas siano isoterme, si chiede di:

1. stabilire se il flusso di metano in uscita dalla valvola  $V_1$  è critico;
2. dopo  $40 \text{ s}$  la valvola  $V_1$  viene chiusa e viene aperta la valvola  $V_2$ . Calcolare la massa di gas uscita dalla serbatoio fino a quel momento;
3. calcolare la portata di gas uscente dalla valvola  $V_2$  (assumere  $f = 0.003$ ).

d.

Un serbatoio di gas (volume  $V = 10 \text{ m}^3$ ,  $T = 293 \text{ K}$ ) è alimentato da una portata costante  $w_{in} = 2.50 \text{ kg/s}$  di gas naturale (massa molare  $M = 16 \text{ kg/kmole}$ ,  $\mu = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ ) che viene inviato isotericamente attraverso un condotto di diametro  $D = 0.1 \text{ m}$  e lungo  $L = 800 \text{ m}$  in un bruciatore che funziona a pressione atmosferica.

1. Determinare il valore della pressione nel serbatoio nelle condizioni di funzionamento a stazionario;
2. Durante periodiche operazioni di manutenzione del bruciatore l'alimentazione lungo il condotto viene interrotta chiudendo una valvola, mentre il gas continua ad essere alimentato al serbatoio aumentando la pressione. Una valvola di sicurezza evita che la pressione salga oltre le  $20 \text{ atm}$ . Determinare il tempo per l'apertura della valvola;
3. Determinare la portata specifica di gas uscente dalla valvola all'apertura (ipotizzare efflusso adiabatico dalla valvola).

e.

Un serbatoio di gas naturale ( $M = 16 \text{ kg/kmole}$ ) di volume  $V = 10 \text{ m}^3$  è collegato attraverso una condotta lunga  $L = 100 \text{ m}$  di diametro  $D = 5 \text{ cm}$  ad un bruciatore a pressione atmosferica. Inizialmente la valvola V che collega la condotta al bruciatore è chiusa, la pressione nel serbatoio è  $p_0 = 8 \text{ atm}$  e la temperatura è  $T = 25^\circ\text{C}$ .

1. Determinare il flusso specifico G uscente dal serbatoio nel momento in cui viene aperta la valvola V considerando la trasformazione del gas lungo il tubo isoterma e assumendo  $f = 0.003$ .
2. Determinare quanto dura la fase di efflusso sonico.
3. Determinare la massa di gas che è uscita in questo tempo.

f. \_\_\_\_\_

Un metanodotto ( $M_{CH_4} = 16 \text{ kg/kmole}$ ,  $R = 8314 \text{ J/kmoleK}$ ) è costituito da tratti di tubazione di diametro  $D = 0.3 \text{ m}$  lunghi  $4 \text{ km}$  e da stazioni di compressione. Si ipotizzi flusso isoterma a  $293 \text{ K}$  e coefficiente di attrito  $f = 0.003$ .

1. Supponendo che nel metanodotto la pressione non debba mai scendere sotto il valore  $1.5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ , si calcoli la pressione alla quale ogni stazione di compressione deve portare il gas per garantire una portata  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{s}$  a temperatura  $293 \text{ K}$  e pressione  $1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .
2. A causa di un incidente, il tubo viene tranciato di netto nella sezione immediatamente precedente il compressore. Determinare la portata in uscita dalla rottura e la pressione alla sezione di rottura ( $A = 3 \text{ cm}^2$ ).

g. \_\_\_\_\_

In un serbatoio cilindrico di volume  $V = 10 \text{ m}^3$  contenente un reagente chimico ( $M = 24 \text{ kg/kmole}$ ,  $\gamma = 1.4$ ) alla pressione iniziale  $p_i = 2 \text{ atm}$  e temperatura  $T = 300 \text{ K}$  si innesca improvvisamente una reazione a catena che produce un aumento del numero di moli secondo la legge:

$$\dot{n}(t) = \dot{n}_0 \exp[kt] \quad (1)$$

con  $k = 0.1 \text{ s}^{-1}$  e  $\dot{n}_0 = 0.1 \text{ mole/s}$ . Quando la pressione nel serbatoio raggiunge  $15 \text{ atm}$  entra in funzione una valvola di sicurezza (sezione  $A = 5 \text{ cm}^2$ ) che scarica il gas in atmosfera.

1. Determinare dopo quanto tempo si apre la valvola di sicurezza (considerare isoterme le trasformazioni dentro il serbatoio);
2. Determinare come varia la pressione all'interno del serbatoio dopo che si è aperta la valvola di sicurezza (ipotizzare l'efflusso da serbatoio adiabatico).

h. \_\_\_\_\_

Un serbatoio a temperatura  $T = 20^\circ \text{ C}$  e pressione iniziale  $p_0 = 10 \text{ atm}$  contiene metano ( $MM = 16 \text{ kg/kmole}$ ). Il volume del serbatoio è pari a  $10 \text{ m}^3$ . Per motivi accidentali, sul serbatoio viene prodotto un piccolo foro di diametro  $D = 2 \text{ cm}$ , attraverso il quale il metano è libero di fuoriuscire. Ipotizzando che tutte le trasformazioni subite dal gas siano adiabatiche, si chiede di:

1. stabilire se il flusso di metano in uscita dal serbatoio è critico;
2. calcolare la portata specifica uscente all'istante iniziale;

3. calcolare il tempo  $t$  necessario affinché la pressione all'interno del serbatoio si riduca a  $3 \text{ atm}$ ;
4. calcolare la massa complessiva di gas fuoriuscita dal serbatoio nel tempo  $t$ .

i. \_\_\_\_\_

Per trasportare una portata di ossigeno ( $MM = 32 \text{ kg/kmole}$ ,  $\mu = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ )  $w = 0.80 \text{ kg/s}$  da un serbatoio  $A$  ad un serbatoio  $B$  si utilizza un condotto di diametro  $D = 5 \text{ cm}$  e lunghezza  $L = 300 \text{ m}$ .

1. Sapendo che il serbatoio  $B$  è mantenuto a pressione atmosferica, che il tubo è liscio e che è possibile considerare isoterme ( $T = 298 \text{ K}$ ) tutte le trasformazioni che il gas subisce, stabilire se il flusso è sonico allo sbocco nel serbatoio  $B$ .
2. Determinare la pressione del serbatoio  $A$  di alimentazione che consente di trasportare la portata di progetto.
3. Determinare la portata uscente dal serbatoio  $A$  nel caso che, per motivi accidentali, si produca un foro di  $d = 2 \text{ cm}$ .

j. \_\_\_\_\_

Si debba trasportare un gas da un serbatoio  $A$  ad un serbatoio  $B$  al quale è collegato un tubo lungo  $L$  inclinato verso l'alto di  $\alpha$  gradi rispetto all'orizzontale. Le pressioni  $p_A$  e  $p_B$  siano entrambe molto maggiori della pressione atmosferica, per cui la densità del gas risulta elevata. Assumendo che il trasporto sia isoterma, si chiede di determinare, date  $p_A$  e  $p_B$ , la portata tra i due serbatoi

1. nel caso che le perdite per attrito risultino trascurabili rispetto alle perdite gravitazionali ( $\rho gh$ );
2. nel caso che le perdite per attrito abbiano grandezza paragonabile alle perdite gravitazionali.

k. \_\_\_\_\_

Per estrarre gas metano ( $M = 16 \text{ kg/kmole}$ ,  $\mu = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ) da un pozzo ( $T = 293 \text{ K}$ ,  $V = 100000 \text{ m}^3$ ,  $p_o = 25 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ) si utilizza una tubazione di diametro  $D = 0.1 \text{ m}$  lunga  $L = 800 \text{ m}$ .

1. Assumendo tutte le trasformazioni isoterme, determinare la portata uscente all'istante iniziale di apertura del pozzo (pressione nell'ambiente di sbocco atmosferica).
2. Per trasportare il gas al serbatoio di stoccaggio è sufficiente avere una pressione in testa pozzo pari a  $1.5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ . Si decide di inserire lungo il tubo una valvola per la regolazione del flusso. Se la portata di gas estratta è mantenuta pari a  $G = 180 \text{ kg/m}^2\text{s}$ , determinare il tempo di esaurimento del giacimento.

*l.*

---

Un serbatoio cilindrico di volume pari a  $10 \text{ m}^3$  contenente cloro gassoso ( $R=8314$ ,  $M=34$ ,  $\mu = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ) a pressione  $p = 1 \text{ MPa}$  scarica in atmosfera attraverso un condotto orizzontale di diametro  $d = 0.05 \text{ m}$  lungo  $50 \text{ m}$ . Ipotizzando tutte le trasformazioni isoterme a  $T = 293 \text{ K}$

1. Calcolare il tempo durante il quale il deflusso rimane critico;
2. Calcolare il tempo durante il quale il deflusso rimarrebbe critico se il serbatoio scaricasse direttamente in atmosfera (attraverso un condotto di lunghezza trascurabile di diametro  $d = 0.05 \text{ m}$ ).