

Esercitazione di Meccanica dei fluidi con Fondamenti di Ingegneria Chimica

Esercitazione 6 - 12 Novembre 2015

Elementi di idraulica e Fluidi non Newtoniani

Esercizio 1 – Moto turbolento in una condotta d'acqua

Una condotta, avente diametro interno pari a 300 mm , percorre un tratto lungo 300 m con un dislivello di 6 m fra l'imbocco e lo scarico.

Si chiede di determinare, prima nell'ipotesi di tubo liscio, e poi nell'ipotesi di tubo scabro (avente scabrezza idraulica assegnata):

1. La velocità media e la portata di acqua fluente nella tubazione;
2. Il valore del numero di Reynolds, del fattore di attrito e della velocità di attrito;
3. La valutazione del profilo di velocità sulla sezione del tubo in termini di velocità massima sull'asse, spessore del sottostato laminare e dello strato di transizione e i valori della viscosità cinematica turbolenta nelle posizioni radiali: $r/R = 0.20, 0.40, 0.60, 0.90$ e 1.00 .

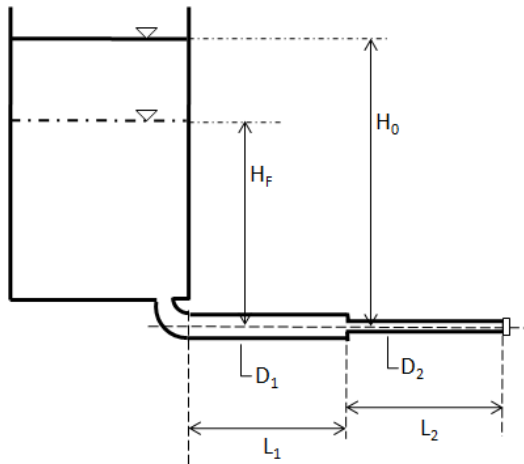
Si assumano costanti la densità dell'acqua ($\rho=1000\text{ kg/m}^3$) e la sua viscosità dinamica ($\mu=1.13\cdot 10^{-3}\text{ Pa}\cdot\text{s}$). La scabrezza della tubazione venga assunta pari a $K=45\text{ }\mu\text{m}$. Per il calcolo del fattore di attrito in condizioni turbolente si faccia riferimento alle correlazioni riportate nella tabella seguente.

Correlazione	Fattore d'attrito
Blasius	$f = \frac{0.0791}{\text{Re}^{1/4}}$ per $\text{Re}<20000$ $f = \frac{0.046}{\text{Re}^{1/5}}$ per $\text{Re}>20000$
Colebrook	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left(\frac{1}{3.7} \frac{K}{D} + \frac{1.255}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$

Esercizio 2 – Svuotamento di un serbatoio

Da un serbatoio a base circolare (di sezione pari a $D=2.5\text{ m}$), contenente olio (viscosità dinamica $\mu=0.04\text{ Pa}\cdot\text{s}$ e densità $\rho=870\text{ kg/m}^3$) si diparte una tubazione liscia costituita da due diversi tronchi: il primo con un diametro interno pari a $(6+0.05C_1)\text{ cm}$ e lunghezza $L_1=35\text{ m}$; il secondo, avente diametro interno di $(2.0+0.05N_3)\text{ cm}$ e lunghezza $L_2=25\text{ m}$, sbocca nell'atmosfera. L'olio riempie inizialmente il serbatoio fino ad un'altezza (misurata rispetto all'asse della tubazione, secondo quanto riportato in figura) pari a $H_0=11\text{ m}$. Trascurando le perdite di carico concentrate, ma tenendo in considerazione quelle distribuite, si determini il tempo necessario ad ottenere lo svuotamento del serbatoio fino ad una altezza $H_f=4\text{ m}$.

Nella scrittura dell'equazione di Bernoulli si trascuri il contributo cinetico sulla sezione di uscita della tubazione.



Moto nelle tubazioni lisce

$$f = \frac{16}{Re_D} \quad Re_D \leq 2300 \quad \text{moto laminare}$$

$$f = \frac{0.079}{Re_D^{0.25}} \quad Re_D > 10000 \quad \text{moto turbolento}$$

Esercizio 3 – Condotta Idraulica con Cambiamento di Sezione

Due bacini d'acqua il cui dislivello è pari a 10 m sono collegati da una tubazione costituita da:

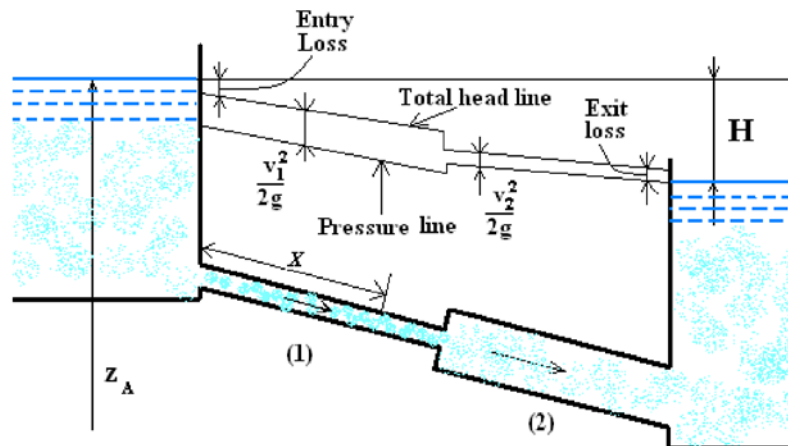
- 1 tronco di tubo con $D_1 = 200\text{mm}$ e $L_1 = 150\text{ m}$
- 1 tronco di tubo con $D_2 = 300\text{mm}$ e $L_2 = 150\text{ m}$

I 2 tronchi, in serie fra di loro, sono realizzati in cemento ($k_1 = k_2 = 0,6\text{ mm}$) e si aprono a spigolo netto nei 2 bacini. Le proprietà fisiche dell'acqua, a 15° C , sono le seguenti: $\rho = 1000\text{ kg/m}^3$, $\mu = 1.3\text{ cP}$.

Si può assumere che il regime idraulico corrisponda a quello di tubo idraulicamente scabro e si consiglia di maggiorare del 20% i fattori di attrito così calcolati.

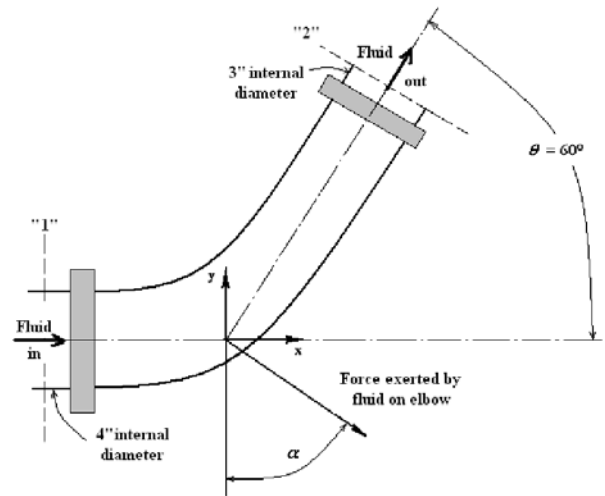
Si chiede di valutare la portata fluente fra i 2 bacini idraulici, valutando perdite di carico distribuite e localizzate, confrontandole fra di loro per importanza relativa. Si chiede altresì di tracciare i diagrammi dei carichi totali e dell'altezza piezometrica lungo la linea. Per il calcolo del fattore di attrito si utilizzi la seguente correlazione:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log_{10} \frac{k/D}{3.7}$$



Esercizio 4 – Spinta su gomito di Tubazione

Dell'acqua, alla temperatura di 20° C, scorre nella misura di 60 l/s, in un gomito a 60° che deflette la corrente verso l'alto. La sezione di entrata nel gomito (Sez₁) ha diametro D₁ = 4" (101,6 mm), la sezione di uscita (Sez₂) ha diametro D₂= 3" (76,2 mm), il volume interno del gomito è stimato in V =1,2 l. Sulla scorta dei dati assegnati e delle proprietà fisiche dell'acqua si chiede di fare le valutazioni e i calcoli intesi stabilire:



1. Se il regime fluidodinamico sia pienamente turbolento ($Re > 10^5$).
2. Le forme appropriate del bilancio di quantità di moto e di energia meccanica che si applicano al problema.
3. Quale sia la differenza di pressione fra entrata e uscita nelle 2 ipotesi:
 - a. assenza di dissipazioni (moto di fluido perfetto non viscoso)
 - b. presenza di dissipazione con legge assegnata.
4. Quale sia la spinta, in modulo e nelle 2 componenti, sul gomito esercitata dell'acqua fluente, e quale sia la direzione, o verso, di applicazione nelle 2 ipotesi citate sub 3.
5. Quale sia l'importanza relativa, sulla forza risultante, del peso della massa d'acqua contenuta nel gomito e della dissipazione di energia.

Si assumano i seguenti dati: $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu=1 \text{ cP}$, $P_2 = 1.07 \text{ atm}$ (assolute), $e_v=0.40$ (coefficiente dell'energia cinetica dissipata).

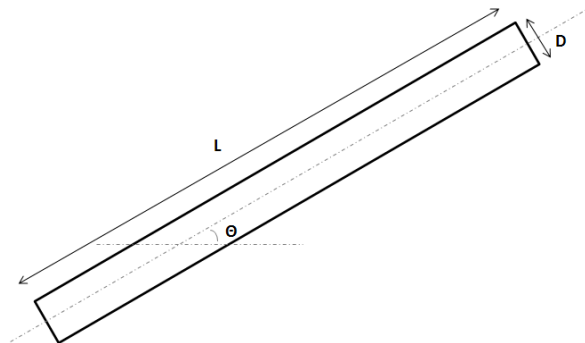
Esercizio 5 – Fluido non newtoniano: legge di potenza a due parametri

L'ossido di propilene ($\rho=0.830 \text{ g/cm}^3$) a temperatura ambiente è un liquido a comportamento non newtoniano, che segue la seguente legge di potenza a due parametri:

$$\mu = m \left(\frac{dv_z}{dr} \right)^{n-1}$$

I parametri m e n dipendono fortemente dalla temperatura, secondo quanto riportato nella tabella seguente:

Temperatura [K]	m [Pa·s ⁿ]	n
293	0.994	0.532
313	0.706	0.544
333	0.486	0.599



Si vuole determinare l'inclinazione rispetto alla superficie orizzontale di un tubo a sezione circolare di lunghezza pari a $(3+0.01C_3)$ m e diametro interno di $(2+0.05C_3)$ cm, affinché al suo interno possa scorrere una portata di ossido di propilene pari a 1 kg/min, supponendo che la temperatura sia di 20 °C. Si determini inoltre la velocità del fluido in corrispondenza dell'asse della tubazione.

Si immagini ora di voler muovere la stessa portata indicata al punto a, avendo però posizionato il tubo in direzione perfettamente orizzontale. La potenza da fornire al fluido è maggiore alla temperatura di 20 °C oppure alla temperatura di 60 °C?

Esercizio 6 – Fluido di Bingham in una tubazione a sezione circolare

All'interno di un tubo cilindrico verticale di lunghezza $L=(1+0.1x)$ m e di diametro interno pari a $D=(2+0.1x)$ cm scorre un fluido alla Bingham. Si chiede di valutare:

1. se il diametro D sia superiore al diametro critico oltre al quale si stabilisce lo scorrimento del materiale per effetto del proprio peso;
2. la portata fluente per effetto del peso della colonna di fluido e il raggio del nucleo centrale in movimento rigido;
3. le velocità assiali media e massima del fluido in corrispondenza di una generica sezione;
4. la differenza di pressione da applicare agli estremi del tubo verticale perché la portata volumetrica calcolata sopra diventi doppia e quanta sia la potenza meccanica da erogare.

Si assumano le seguenti proprietà:

$$\rho = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$\tau_0 = 10^{-4} \text{ bar}$$
$$\mu_0 = 0.80 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Esercizio 7 – Fluido a comportamento non-newtoniano

Si consideri un fluido polimerico a comportamento non newtoniano, che segue la seguente legge di potenza a due parametri:

$$\mu = n \left(\frac{dv_z}{dr} \right)^{m-1}$$

Il fluido percorre una lunga tubazione orizzontale a sezione circolare avente raggio interno R e lunghezza L , spinto da una differenza di pressione pari a $\Delta P = P_0 - P_L$. Si chiede di determinare:

1. l'espressione analitica del profilo di velocità in funzione della coordinata radiale r in una sezione generica della tubazione;
2. l'espressione analitica della portata w con cui il fluido percorre la tubazione.

Assumendo che il fluido abbia una densità di 850 kg/m^3 e parametri $m=1.50$ e $n=0.050 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ e supponendo che il tubo abbia un raggio interno $R=(3+0.05x)$ cm, si determini la forza di pompaggio necessaria per muovere una portata $w=4 \text{ kg/s}$ su una distanza $L=300 \text{ m}$.