

8 Calcolo idraulico

8.1 Definizione di idraulica

L'idraulica è quella parte della meccanica dei mezzi continui che studia le leggi che regolano la statica o il moto dei fluidi. Generalmente si distingue in idrostatica e idrodinamica, per indicare le diverse condizioni in cui si studia il comportamento del fluido.

8.1.1 Idrostatica

In questa parte della meccanica dei fluidi si studia l'equilibrio e le pressioni che i fluidi in oggetto esercitano sulle pareti degli elementi che li contengono. Quando i liquidi si trovano a riposo, non esistono pressioni trasversali, ma solo quelle normali alla parete che li contiene. Inoltre i liquidi non sono dotati di forma propria, ma assumono quella del corpo che li contiene senza opporre resistenza.

8.1.2 Idrodinamica

Questa è invece la parte della meccanica che studia il movimento dei fluidi, sia nella loro localizzazione naturale sia nelle installazioni che sono imposte dalle applicazioni pratiche. Si deve perciò considerare la presenza di attrito e la loro viscosità, elementi che permettono di stabilire se il fluido si trovi in condizioni di moto turbolento e laminare.

8.2 Proprietà dell'acqua

Si descriveranno qui di seguito le principali caratteristiche dell'acqua, essendo questo il fluido che generalmente è destinato ad essere trasportato dalle tubazioni in PVC rigido.

8.2.1 Densità

La densità (assoluta) è definita come la massa nell'unità di volume di un corpo e generalmente si esprime in grammi al centimetro cubo (g/cm^3).

La densità relativa invece è il rapporto tra la massa di un volume dato di materia ad una temperatura t e la massa di uno stesso volume di acqua a 4°C .

Per definizione la densità dell'acqua alla temperatura di 4°C si pone uguale a 1 g/cm^3 .

8.2.2 Peso specifico

Il peso specifico assoluto si definisce in modo analogo alla densità, se invece delle masse si considera il peso nell'unità di volume di un corpo.

8.2.3 Coesione

La coesione è la forza che le molecole dei corpi solidi oppongono alla loro dispersione.

I liquidi non possiedono una forza di coesione e si adattano alla forma dei corpi che li contengono. L'acqua quindi non possiede coesione anche se è possibili cambiarne la viscosità variandone la temperatura.

8.2.4 Compressibilità

I liquidi sono praticamente incompressibili. L'acqua sottoposta ad una pressione di 6600 kg/cm^2 , riduce il suo volume di solo $30 \cdot 10^{-6}$.

8.2.5 Fluidità

È la facilità con la quale un liquido può fluire. Il movimento irregolare delle molecole di un fluido permette il movimento. La fluidità è il contrario della viscosità.

8.2.6 Viscosità

Le forze di attrazione molecolare di un liquido originano una resistenza interna allo spostamento relativo di porzioni del medesimo, resistenza che è conosciuta con il nome di viscosità. Quando si vuole definire la viscosità, generalmente ci si riferisce all'esperienza di Newton. Il movimento di una lamina di fluido ad una determinata velocità sarà reso difficoltoso dalla presenza delle forze di coesione che esistono nel fluido. Si stabilirà quindi un gradiente di velocità di spostamento dei diversi filetti fluidi, il quale sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà la viscosità.

La forza tangenziale f necessaria per mantenere una differenza di velocità u tra due lamine parallele alla sezione A che si trovano alla distanza d , è data dall'espressione:

$$f = \eta \frac{u}{d} A$$

nella quale:

f viene espressa in grammi, u in cm/s, d in centimetri, A in cm^2 , η è la viscosità espressa in $\text{g} \cdot \text{s/cm}^2$.

La viscosità cinematica è invece definita come:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

in cui ρ è la densità del fluido.

La viscosità cinematica dipende strettamente della temperatura e nei liquidi diminuisce con l'aumentare della temperatura. Per l'acqua limpida a 12°C la viscosità cinematica è:

$$\nu = 1,24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Per le acque residenziali urbane, il valore medio di viscosità è di $1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

8.2.7 Tensione superficiale

Una molecola che si trova all'interno di un liquido è circondata completamente dalle altre molecole, e per questo, è attratta in tutte le direzioni con la stessa intensità.

tà. Invece, una molecola che si trova sulla superficie libera, sarà sottoposta all'attrazione delle altre molecole di fluido per cui la risultante delle forze avrà una direzione verso il basso. Come conseguenza, si avrà che il liquido tende ad ridurre al minimo la sua superficie che si comporta come una membrana elastica. L'aumento della superficie di un liquido richiede un lavoro per unità di superficie che viene chiamata tensione superficiale.

8.2.8 Celerità di propagazione delle perturbazioni

Quando in una tubazione si stabilisce un regime variabile, dato ad esempio da una variazione di pressione, questa perturbazione si propagherà in tutto il liquido con un movimento ondulatorio.

La velocità di propagazione dell'onda viene chiamata celerità e per la valutazione della sua entità ci si riferisce alla formula di Allievi:

$$a = \sqrt{\frac{g}{\left[\frac{1}{E_l} + \frac{D_e}{E_t e}\right] \gamma}}$$

in cui a è la velocità in m/s, g è l'accelerazione di gravità in m^2/s , E_l è il modulo elastico del liquido (per l'acqua $E_l = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kg/m}^2$), D_e è il diametro esterno del tubo in mm, E_t è il modulo elastico della tubazione (per il PVC $E_t = 3 \cdot 10^8 \text{ kg/m}^2$), γ è il peso specifico dell'acqua (1000 kg/m^3).

Nel caso particolare di acqua in una tubazione di PVC rigido, la celerità si può calcolare con la formula semplificata:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{\frac{6666}{p_n} + 15}}$$

in cui p_n è la pressione nominale della tubazione.

8.2.9 Coefficiente di attrito

L'attrito dell'acqua con le pareti interne delle tubazioni origina una perdita di carico o di pressione. Il fattore che condiziona per la maggior parte tali perdite di carico è la rugosità interna della tubazioni. La perdita di carico influisce sulla portata che può convogliare una tubazione. Quando un liquido si muove con una determinata portata, si avranno variazioni di pressione dovute alle variazioni di velocità causate dalla trasformazioni di energia potenziale in cinetica e alla differenza di quota tra i diversi punti, agli attriti dell'acqua con le pareti e agli attriti addizionali, provocati da cause puntuali accessorie.

La perdita di carico totale all'interno della tubazione si potrà quindi esprimere come la somma di due termini:

$$J = J_t + J_a$$

essendo:

J_t le perdite di carico per attrito proprie della tubazione, e J_a le perdite di cariche per la cause addizionali.

L'attrito interno viene definito dal coefficiente λ , dipendente dalla rugosità della tubazione.

Generalmente ci si riferisce alla rugosità relativa, cioè al rapporto tra la rugosità assoluta e il diametro della tubazione.

Per le tubazioni in PVC per il trasporto di fluidi a pelo libero e in pressione, esistono abachi o tabelle che permettono di valutare le perdite di carico con una determinata portata per un particolare diametro di tubazione.

8.3 Idrostatica e idrodinamica

8.3.1 Principi dell'idrostatica

1. PRINCIPIO DI PASCAL: la pressione esercitata in un punto di un liquido si trasmette con lo stesso valore in tutte le direzioni.
2. La pressione che viene esercitata da un particella fluida su di una parete è sempre perpendicolare al quest'ultima.
3. La pressione esercitata sulle pareti aumenta progressivamente con la distanza dalla superficie liquida.
4. La pressione che si esercita in qualsiasi direzione su di una superficie curva è pari a quella esercitata sulla superficie piana che è la proiezione della curva su di un piano normale alla direzione adottata.
5. A parità di profondità, le pressioni sono proporzionali alla densità del fluido.

8.3.2 Regime di funzionamento

Se si considera il moto dell'acqua in una tubazione si possono distinguere due tipi di moto:

- Il moto laminare;
- Il moto in regime turbolento.

Entrambi i regimi sono possibili, a seconda delle condizioni in cui avviene il moto, cioè dal diametro del tubo, dalla velocità del fluido, dalla rugosità delle pareti interne delle tubazioni, dalla viscosità cinematica del fluido alla temperatura di esercizio.

Il numero di Reynolds (adimensionale) mette in relazione il coefficiente di attrito, la velocità e la viscosità cinematica in questo modo:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

in cui V è la velocità in m/s, D è il diametro interno del tubo in metri e ν è la viscosità cinematica in m^2/s . Si può stabilire il tipo di moto in una tubazione in base al valore assunto dal numero di Reynolds:

- $Re < 2000$: il moto è laminare. In questo regime non sono influenti gli sforzi che corrispondono alla viscosità.
- $Re > 40.000$: il moto avviene in regime turbolento. È importante la scabrezza delle pareti, a cui ci riferisce calcolando il valore del coefficiente λ .

8.3.3 Definizione dei parametri

- Pressione idraulica: è la forza che si esplica su di una superficie piana ed è la stessa di quella che sarebbe applicata al centro di gravità supponendo concentrata in questo punto la pressione che agisce su tutta la superficie. Questa forza, applicata al centro di gravità, è:

$$F = D \cdot h \cdot \gamma$$

in cui F è la forza in kg, S la superficie piana considerata in m², h la distanza dalla superficie del centro di gravità, in metri, γ è il peso specifico dell'acqua.

- Pressione idrostatica: la pressione in punto qualunque dipende soltanto dalla profondità dello stesso dalla superficie:

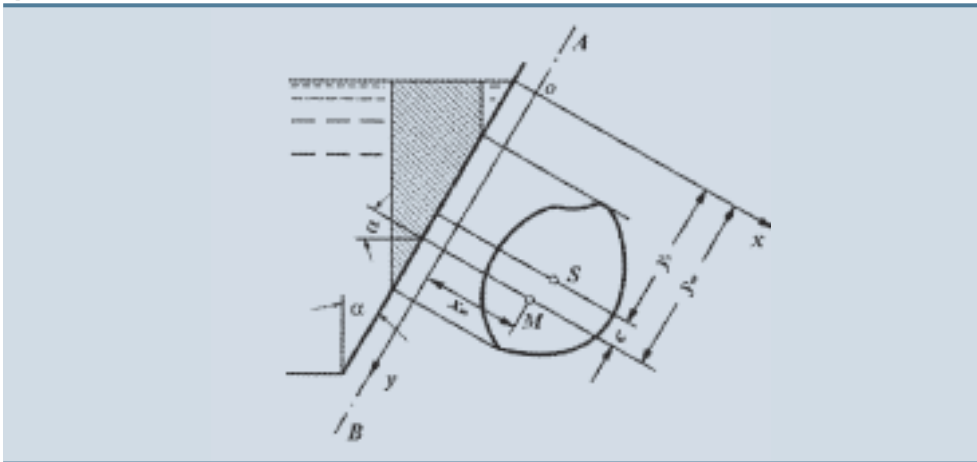
$$p = \gamma \cdot h$$

- Centro di applicazione delle pressioni: la risultante delle pressioni che agiscono su una superficie inclinata di un angolo generico rispetto alla verticale, passa per il centro delle pressioni M e si possono determinare le sue coordinate con le formule:

$$x_m = \frac{J_{xy}}{F \cdot y_s}$$

$$y_m = \frac{J_{xy}}{F \cdot y_s}$$

Figura 8.1



in cui F è la superficie, J_x è il momento d'inerzia rispetto all'asse che passa per il centro di gravità, J_{xy} è il momento centrifugo di F riferito all'origine delle coordinate, y_s è la distanza dalla superficie del centro di gravità.

Nel caso di parete verticale, le pressioni aumentano progressivamente verso il fondo e la risultante delle pressioni passerà per il centro di gravità ad una distanza Z dalla superficie pari a:

$$Z = \frac{2}{3} h$$

- Pressione sulle pareti: è pari al peso della colonna di liquido la cui altezza è data dalla distanza del centro di gravità della superficie considerata fino alla superficie liquida. Conseguentemente la pressione sulle pareti aumenta all'aumentare della distanza dal pelo libero.
- Carico statico: è l'altezza h tra un punto dato e la superficie del liquido. La relazione tra i carichi e la pressione è:

$$h = \frac{P}{\gamma}$$

- Energia potenziale: è l'energia che è in grado di sollevare un'unità di liquido, da un piano di riferimento alla superficie del medesimo. Se quest'ultima distanza è pari a Z , si può dire che l'energia potenziale è pari a Z .
- Energia cinetica: un'unità di liquido dotata di velocità V , avrà energia cinetica, espressa in metri, pari a:

$$\frac{V^2}{2 \cdot g}$$

- Unità di pressione: è una atmosfera pari a 1.033 kg/cm^2 , o ad una colonna d'acqua di $10,33 \text{ m}$ di altezza. Il suo equivalente in mercurio è una colonna di altezza 760 mm a 0°C .

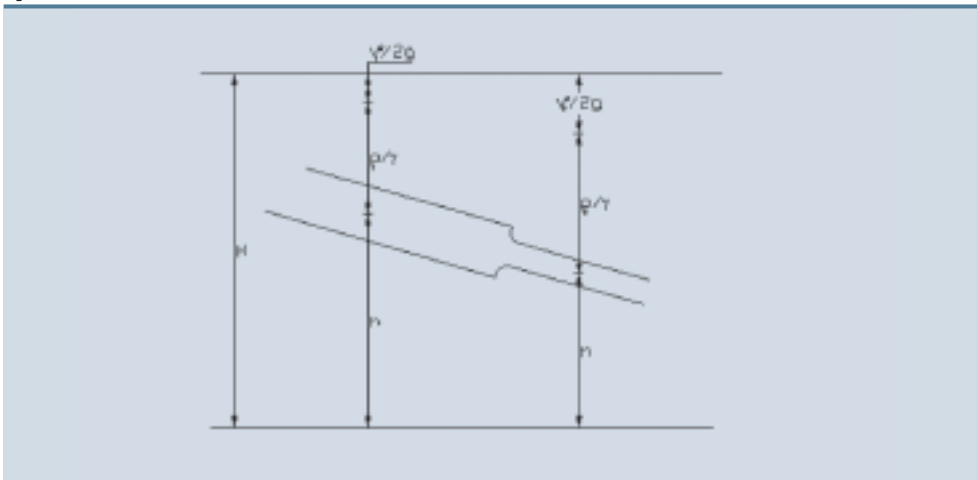
8.3.4 Il teorema di Bernoulli

Il teorema di Bernoulli è applicabile a tutti i liquidi in movimento senza attrito e indica che l'energia totale in ogni punto è costante. Si può esprimere matematicamente come:

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = H = \text{costante}$$

in cui: h è la posizione del punto rispetto al piano di riferimento, p/γ è il carico statico, $v^2/2 \cdot g$ è l'energia cinetica.

Figura 8.2



A questa formulazione si giunge a partire dal principio di conservazione dell'energia applicato ad una linea di corrente e considerando che non si abbiano perdite di carico. Infatti, gli elementi che costituiscono l'energia di un liquido in movimento sono: la sua posizione (h), la sua velocità ($v^2/2 \cdot g$) e la pressione (p/γ).

Il teorema di Bernoulli è valido se sono soddisfatte le seguenti ipotesi:

1. che non ci siano perdite di carico nel sistema, né a causa della viscosità, né per qualsiasi altra causa;
2. che in un punto assegnato la velocità sia costante e uniforme in tutta la sezione;
3. che il moto del fluido all'interno della condotta sia parallelo all'asse della medesima.

Queste tre condizioni, nei casi reali sono difficili da essere soddisfatte, e il teorema viene applicato con opportune correzioni.

8.4 Tipi di moto

Il moto in una tubazione può avvenire secondo due modalità:

1. moto a pelo libero;
2. moto in pressione.

8.4.1 Moto a pelo libero

Alcuni casi pratici in cui si può verificare questo moto sono i seguenti:

- Canalette di trasporto di acqua pluviale;
- Collettori all'interno degli edifici;
- Collettori fognari;
- Drenaggi agricoli;
- Drenaggi per opere civili;
- Drenaggi in impianti sportivi;
- Drenaggi nei muri di sostegno.

In tutti questi casi il moto avviene per gravità, sia perché la loro disposizione è verticale come nel caso delle canalette, sia perché esiste una pendenza che permette il convogliamento dell'acqua fino ad un ricettore finale che può essere un canale o un depuratore.

8.4.2 Moto in pressione

Questo è invece il caso di:

- Tubazioni per il trasporto di acqua potabile;
- Tubazioni di approvvigionamento idrico;
- Tubazioni sanitarie in bassa pressione.

Le tubazioni possono trovarsi in pressione:

- per gravità: esiste in questo caso un dislivello geometrico che permette il trasporto del fluido;
- perché l'energia necessaria al moto viene fornita attraverso una pompa;
- per applicazione congiunta delle precedenti due possibilità.