

# STATICA E DINAMICA DEI LIQUIDI

La statica dei fluidi studia il comportamento dei fluidi in quiete ovvero in condizioni d'equilibrio statico. Possiamo avere fluidi incompressibili, quando il volume di una massa di fluido è indipendente dalla pressione applicata, o fluidi comprimibili, quando il volume dipende dalla pressione. Si definisce idrostatica lo studio del comportamento dei liquidi in quiete, e idrodinamica lo studio delle trasformazioni di energia dei liquidi in movimento.

## La pressione idrostatica

La pressione rappresenta la forza applicata sull'unità di superficie. La pressione esercitata da un liquido, calcolata ad una certa profondità si definisce pressione idrostatica. La pressione idrostatica è definita dalla legge di Stevino:  $P = \gamma \cdot H$ . I fluidi presentano l'importante proprietà di trasmettere in tutte le direzioni la pressione applicata in un punto del liquido, secondo quanto postulato dal principio di Pascal. Dalla legge di Stevino si nota che la pressione è una funzione lineare della profondità  $H$ . se vogliamo rappresentare in un piano cartesiano la pressione contro la profondità avremo una linea retta. La misura della pressione può essere effettuata, a prescindere dall'unità di misura impiegata, secondo una scala assoluta o una scala relativa. Nella scala assoluta si attribuisce un valore zero al vuoto assoluto, mentre nella scala relativa si attribuisce il valore zero alla pressione atmosferica. La misura della pressione può essere effettuata con l'ausilio di semplici strumenti: barometri o manometri. Ambedue sono dei semplici tubi connessi ad un'estremità con l'ambiente si deve misurare la pressione: l'altra estremità è aperta nei manometri e chiusa nei barometri. All'interno è contenuto un liquido che presenta un elevato peso specifico. La differenza di livello del liquido tra i due rami rappresenta la pressione interna, che viene misurata nella scala relativa per il manometro ed in quella assoluta per barometro.

## Equazione della statica dei liquidi

L'equazione fondamentale della statica mette in relazione le forme di energia possedute da un liquido in quiete. Un liquido in quiete possiede le seguenti forme di energia:

- Energia interna: dipende, nei sistemi in cui non sono in atto reazioni chimiche, solamente dalle variabili di stato temperatura e pressione. Per i liquidi incomprimibili non dipende dalla pressione, per cui tutte le trasformazioni a temperatura costante la sua variazione sarà nulla.
- Energia potenziale: l'energia posseduta da una massa di liquido posta ad una quota  $h$  rispetto ad un piano di riferimento. Si esprime nella formula:  
 $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h.$
- Energia di pressione. Rappresenta il lavoro che può effettuare il liquido posto ad una certa pressione.

L'equazione fondamentale della statica è la seguente:

$$E_{\text{tot}} = h + P/\gamma = \text{costante}$$

In un liquido in quiete le varie forme di energia possono trasformarsi vicendevolmente ma la loro somma deve rimanere costante.

# I liquidi in movimento

## La portata e l'equazione di continuità

Un flusso di liquido in movimento viene chiamato corrente. Tra le grandezze che caratterizzano una corrente abbiamo la portata volumetrica e la portata di massa. La portata rappresenta la quantità di volume che attraversa, nell'unità di tempo, una sezione trasversale al flusso. Un'altra grandezza che caratterizza una corrente è la velocità media di flusso. La portata volumetrica e la velocità sono legate dalla relazione:  $Q_v = v \cdot S$ . La portata volumetrica è anche legata alla portata di massa dalla relazione:  $\rho \cdot Q_v = Q_m$ . Una corrente si definisce stazionaria o permanente, o anche in regime stazionario, quando la portata, la velocità o altre grandezze non variano nel tempo. Si ha un regime transitorio quando vi sono punti in cui non è verificata la distanza nel tempo.

## La viscosità

Quando un fluido è in movimento si manifestano su di esso delle sollecitazioni. I fluidi, quando sono sottoposti a sollecitazioni, subiscono deformazioni a cui si oppongono con una resistenza. La natura e l'entità di tale resistenza è determinata dalla viscosità. Maggiore è la sollecitazione, maggiore sarà la velocità alla quale si muoverà lo strato superficiale. La maggior parte dei gas e dei liquidi risponde alle sollecitazioni secondo la relazione:  $\tau = \mu \cdot v/y$ .

## **Moto laminare e turbolento**

Quando un fluido scorre in una tubazione o in un canale il flusso può assumere caratteristiche differenti in funzione delle proprietà fisiche, della velocità di flusso e della geometria del sistema. Per ogni particolare liquido si verificano due tipi di moto:

- Moto laminare: a velocità relativamente basse il liquido colorato assumeva una traiettoria rettilinea parallela all'asse del tubo di vetro, indicando con ciò che il flusso avviene sotto forma di traiettorie parallele che non interferiscono tra loro.
- Moto turbolento: superato una certa velocità il flusso di liquido colorato si disperdeva su tutta la sezione del tubo di vetro.

Le caratteristiche dei due tipi di moto sono le seguenti:

### moto laminare

- Il moto avviene per traiettorie parallele
- La velocità di ogni singola particella di liquido è in ogni istante ed in ogni punto parallela all'asse della tubazione
- Non ci sono spostamenti di massa in direzione trasversale

### Moto turbolento

- Durante il moto si hanno trasferimenti di massa in direzioni perpendicolare a quella del flusso
- La velocità di ogni singola particella del liquido varia continuamente nel tempo in modulo direzione e verso
- Il profilo di velocità è più schiacciato e la velocità si mantiene vicina al valore massimo anche in prossimità della parete

Reynolds accertò che l'instaurarsi di un moto laminare o turbolento dipende:

- Dalla velocità del flusso
- Dalla caratteristiche fisiche del fluido (densità e viscosità)
- Dalla geometria del sistema

Il numero di Reynolds si definisce:

$$\text{Re} = (\rho \cdot v \cdot d) / \mu$$

Per valori di Re inferiori a 2100 il moto si presenta laminare, mentre per valori superiori a 2100 il moto è turbolento.

## DINAMICA DEI LIQUIDI IDEALI

L'idrodinamica studia le trasformazioni di energia che si manifestano nei liquidi in movimento. I liquidi ideali sono liquidi che non oppongono resistenza durante il movimento e quindi presentano viscosità nulla. Un liquido in movimento possiede energia sotto diverse forme: quelle già viste per un fluido statico più l'energia cinetica, l'energia relativa ad una massa  $m$  che si muove con velocità  $v$ . Nell'ipotesi che il liquido si comporti in maniera ideale, l'energia dovrà rimanere costante durante il moto del liquido.

L'equazione sarà:

$$E_{\text{tot}} = h + P/\gamma + v^2/2g$$

il principio di Bernoulli dice che l'energia totale è uguale nella sezione A alla sezione B solo per i liquidi ideali.

La sua equazione è:

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} - \sum y$$

L'aumento di sezione determina una diminuzione di velocità e di, conseguenza, di energia cinetica. Per conto deve aumentare l'energia di pressione. La misura dell'energia di pressione in metri è strettamente associata al tipo di liquido.

## I liquidi reali e le dissipazioni

La caratteristica dei liquidi reali è quella di avere una viscosità diversa da zero, cosa che comporta, durante il movimento, la dissipazione di energia e la progressiva diminuzione dell'energia totale posseduta del liquido via via che procede nel suo moto. Il bilancio di energia per il liquidi reali segue l'equazione di Bernoulli dove  $\Sigma y$  è rappresenta le perdite di carico. Esse si misurano in metri e sono sempre positive. Le perfide di carico non abbassano tutte le forma di energia ma influenzano solamente l'energia di pressione lasciando inalterate le altre forme di energia.

### La determinazione delle perdite di carico

Le perdite di carico di distinguono in continue, che si manifestano in maniera continua lungo la tubazione, e perdite localizzate, determinate da cause locali. L'espressione usata per per il calcolo delle perdite di carico è quella di Fanning:

$$\Sigma y = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Il fattore di attrito  $f$  dipende da  $Re$  e dalla scabrezza relativa. La scabrezza relativa caratterizza lo strato superficiale del condotto e dipende del tipo di materiale.

La scabrezza relativa si indica con:

$$\text{scabrezza relativa} = \varepsilon / d$$

Nel moto laminare  $f$  non dipende dalla scabrezza relativa ma da  $Re$ . Nel moto laminare  $f = 64 / Re$ , invece nel moto turbolento  $f$  si ricerca tramite l'abaco di Moody.

### **Le perdite localizzate**

La valutazione delle perdite di carico localizzate può essere effettuata tramite l'espressione di Fanning, attribuendo ad ogni particolare perdita una lunghezza equivalente  $L_{eq}$ . La determinazione della  $L_{eq}$  si effettua utilizzando il nomogramma, avendo come dati il diametro della tubazione e il tipo di elemento di linea.