Capitolo 19

L'**idraulica** è quella parte della tecnica che si occupa di liquidi in quiete (**idrostatica**) oppure in moto (**idrodinamica**).

Ricordiamo alcuni concetti importanti:

- la **densità** (o massa volumica) di un fluido è il rapporto tra la massa m del fluido stesso e il suo volume V: $\boldsymbol{\rho = m / V}$ [kg/m³] (19.1). In generale, per i liquidi la densità è indipendente dalla pressione e dalla temperatura, mentre ciò non è vero per i gas (fluidi comprimibili);
- il **volume specifico** (o volume massico) si definisce come volume dell'unità di massa, ed è l'inverso della densità: $\boldsymbol{v = V / m}$ [m³/kg];
- la **dilatabilità** di un corpo è la tendenza da esso manifestata a variare il proprio volume in funzione delle oscillazioni di temperatura cui è sottoposto; dalla 19.1 si ha che **rimanendo invariata la massa del corpo, l'aumento di volume comporta una riduzione della densità**.

Le molecole di una sostanza sono soggette a forze di attrazione reciproche più o meno intense (*forze di coesione*) che caratterizzano, con la loro intensità, il suo *stato fisico*:

- **solido**: forma propria e volume invariabile;
- **liquido**: proprio volume ma non forma propria; si tratta di un **fluido** pressoché **incomprimibile** e **indilatabile** (per quanto concerne l'idraulica);
- **aeriforme**: assume forma e volume del recipiente che lo contiene; si tratta di un **fluido comprimibile**.

Un solido appoggiato su un piano orizzontale grava con il suo peso P su una porzione A di tale piano; si definisce **pressione** p esercitata dal solido sul piano di appoggio il rapporto fra il peso P del solido e l'area A su cui tale peso agisce:

$$p = \frac{P}{A} \qquad (19.3)$$

In generale, nel caso di una forza qualsiasi F_0 comunque orientata, agente su una superficie piana, la pressione che ne deriva è data dal rapporto fra la componente F normale al piano e l'area A del piano stesso: $p = F / A$. L'unità di misura è il **pascal** (Pa): pressione esercitata dalla forza di 1 N applicata perpendicolarmente a una superficie di area 1 m².

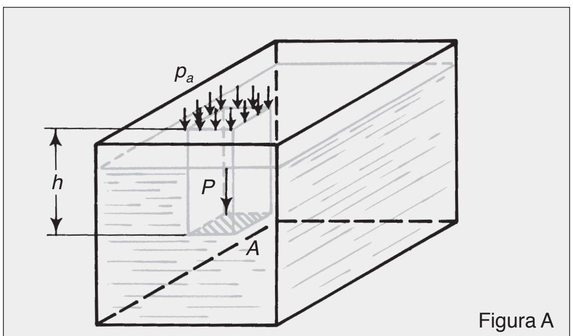


Figura A

La pressione dovuta alla massa di aria che avvolge il nostro pianeta prende il nome di **pressione atmosferica** ed è funzione della temperatura, dell'altitudine e delle condizioni meteorologiche. Se non diversamente specificato si fa riferimento convenzionalmente ad un valore medio definito **atmosfera fisica** (atm $\cong$ 101325 Pa cioè **una colonna di mercurio alta 760 mm** o **una colonna d'acqua alta 10,33 m**): pressione media esercitata dalla massa di aria che avvolge la terra, misurata al livello del mare.

Se un oggetto viene immerso in un liquido, fino a una certa profondità h sotto il pelo libero, esso è soggetto, oltre alla pressione atmosferica p_a (che agisce sulla superficie del liquido) anche alla pressione p_i dovuta alla massa di liquido che lo sovrasta; quest'ultima viene definita **pressione idrostatica**. La pressione totale p che agisce sul corpo sommerso si chiama pressione assoluta:

$$p = p_i + p_a \qquad (19.6)$$

Considerando un prisma retto liquido di altezza h (figura A) e di base A, il suo peso vale: $P = \rho \cdot g \cdot A \cdot h$ e quindi ogni punto di A sopporta una pressione idrostatica definita dalla *Legge di Stevino*:

$$p_i = P / A = \rho \cdot g \cdot h \qquad (19.7)$$

e una pressione assoluta:

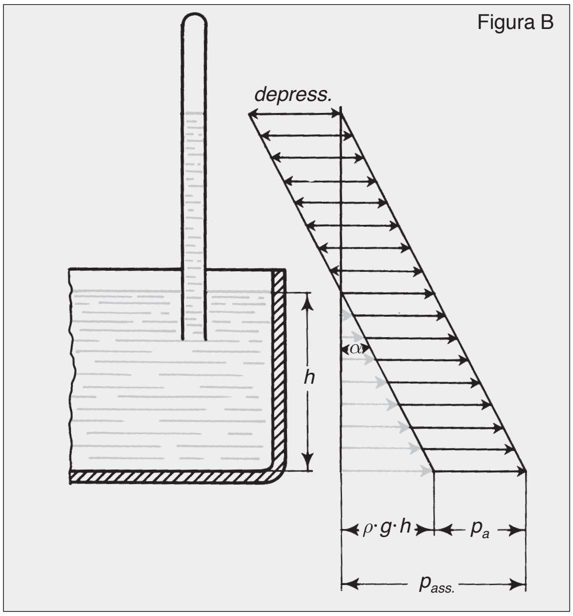
$$p = p_i + p_a = \rho \cdot g \cdot h + p_a \qquad (19.8)$$

Dalle due relazioni soprascritte si deduce che:

- la pressione idrostatica dipende – a parità di profondità – dalla densità del liquido sovrastante;
- su tutti i punti di una superficie piana orizzontale agisce la stessa pressione idrostatica;
- la pressione idrostatica varia linearmente con la profondità a cui si trova l'oggetto considerato;
- il diagramma di variazione della pressione in funzione della profondità (figura B) è triangolare; se calcoliamo la tangente dell'angolo α formato con l'asse verticale risulta:

$$tg\alpha = \frac{\rho \cdot g \cdot h}{h} = \rho \cdot g$$

- noto il diagramma rappresentativo della pressione idrostatica si ottiene quello della pressione assoluta aggiungendo, in ogni punto di esso, una quantità costante uguale alla pressione atmosferica p_a;
- la pressione idrostatica è nulla per tutti i punti appartenenti alla superficie libera del liquido.



Se in un condotto scorre un fluido sottoposto alla pressione assoluta p e si inserisce un tubo verticale (figura C) aperto ai due estremi (**tubo piezometrico**), il liquido, spinto dalla pressione, risale nel tubo fino a una certa altezza h:

$$h = \frac{p - p_a}{\rho \cdot g}$$

Si definisce **pressione effettiva** p_e agente sul fluido la differenza fra la pressione assoluta e quella atmosferica:

$$p_e = p - p_a \tag{19.9}$$

e pertanto l'altezza h raggiunta dal liquido nel tubo piezometrico (**altezza piezometrica**) risulta:

$$h = \frac{p_e}{\rho \cdot g} \tag{19.10}$$

Il liquido, una volta raggiunta tale altezza, godrà di una certa *energia potenziale di pressione*:

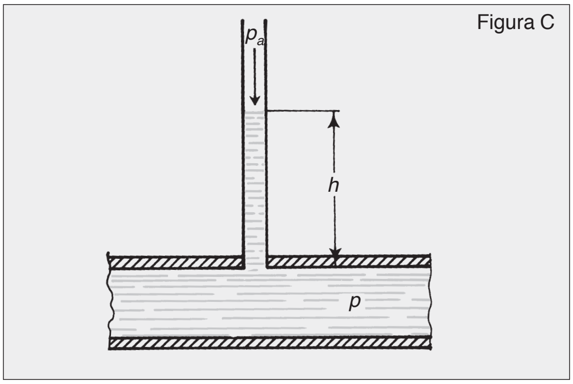
$$E_p = m \cdot g \cdot h = m \cdot p_e / \rho \tag{19.12}$$

In mancanza del tubo piezometrico, il fluido, pur non potendo elevarsi entro di esso, possiede tuttavia la stessa energia essendo quest'ultima funzione della pressione effettiva e della densità del liquido scorrente.

Valutiamo ora l'intensità della spinta S che una parete sommersa sopporta da parte del liquido che preme su una delle sue facce:

- se la superficie è disposta orizzontalmente (fondo di un recipiente) la pressione idrostatica è costante in ogni suo punto: $\rho \cdot g \cdot h$. Supponendo una superficie rettangolare di lati a e b, essa è soggetta a una forza risultante che viene definita **spinta idrostatica**:

$$S = \rho \cdot g \cdot h \cdot a \cdot b \tag{19.13}$$



- se la superficie è disposta verticalmente la pressione varia linearmente da zero fino a $\rho \cdot g \cdot$ h. Non essendo costante la pressione, facciamo riferimento alla pressione media:

$$p_m = \rho \cdot g \cdot \frac{h}{2} \tag{19.14}$$

da cui la spinta idrostatica:

$$S = \rho \cdot g \cdot \frac{h^2}{2} \cdot b \tag{19.15}$$

agisce su un punto (**centro di spinta**) sull'asse verticale di simmetria della superficie che giace **alla stessa altezza del baricentro del diagramma triangolare rappresentativo della pressione**: distante 2/3 · h dal pelo libero;

- se si tratta di una superficie verticale non affiorante (figura D), la pressione agente su di essa varia fra i valori $\rho \cdot g \cdot h_1$ e $\rho \cdot g \cdot h_2$; il suo diagramma rappresentativo è un trapezio e la pressione media e la spinta idrostatica risultano rispettivamente:

$$p_m = \frac{\rho \cdot g}{2} \cdot \left(h_1 + h_2\right) \tag{19.16}$$

$$S = \frac{\rho \cdot g}{2} \cdot \left(h_2^2 - h_1^2\right) \cdot b \tag{19.17}$$

Il centro di spinta si trova, anche in questo caso, nel baricentro del diagramma rappresentativo delle pressioni;

- se la superficie non è disposta verticalmente ma comunque inclinata (figura E) valgono gli stessi ragionamenti esposti ma la spinta idrostatica non risulterà orizzontale.

Ricordiamo alcuni principi fondamentali.

- **Principio di Pascal**: la pressione esercitata in un punto qualunque di una massa liquida in quiete, si trasmette con la stessa intensità in ogni punto del liquido e in ogni direzione. Ciò è sfruttato in numerose applicazioni per amplificare le forze o trasmetterle da un punto a un altro tramite tubazioni piene di liquido come nel torchio idraulico che consente di equilibrare una forza elevata con l'appli-

Figura D

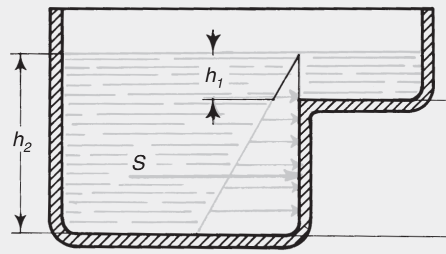
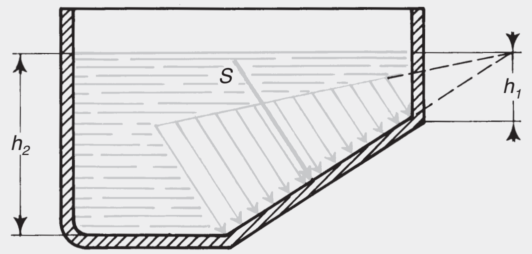


Figura E



cazione di una forza piccola mediante due cilindri di diametro molto diverso, collegati tra loro da una tubazione. All'equilibrio:

$$F_2 = F_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

Altra comune applicazione pratica del principio di Pascal è il sistema di frenatura degli autoveicoli che consente una uguale ripartizione della forza frenante sulle quattro ruote, cosa che non sarebbe possibile ottenere con una trasmissione meccanica.

- **Principio dei vasi comunicanti**: un liquido in quiete contenuto in diversi recipienti, fra loro comunicanti, raggiunge in tutti lo stesso livello, indipendentemente dalla profondità e dalla forma di questi. Tuttavia se qualcuno dei vasi è di sezione molto piccola (tubo capillare), il principio suddetto non è rigorosamente rispettato a causa dell'adesione del liquido alle pareti.

- **Principio di Archimede**: un corpo immerso in un fluido in quiete, riceve da questo una spinta, diretta dal basso verso l'alto, la cui intensità è uguale al peso di fluido spostato. Indicando infatti con P il peso del corpo e con S la spinta esercitata su di esso dal liquido, possono verificarsi le tre eventualità espresse dalla relazione

$$P \lesseqgtr S \qquad (19.18)$$

ovvero

$$\rho \lesseqgtr \rho_i$$

La spinta *S* del liquido è applicata nel baricentro *C* della parte immersa considerata omogenea; tale punto C, si definisce **centro di carena**. Se la coppia costituita dal peso P e dalla spinta S, produce una rotazione tendente a riportare il galleggiante nella posizione primitiva **possiamo affermare che l'equilibrio è stabile**.