

## STATICA DEI FLUIDI

### Introduzione

Dal punto di vista macroscopico, è utile classificare la materia in solidi e fluidi, un **fluido** è una sostanza che può scorrere e comprende quindi liquidi e gas, ma tale classificazione non è sempre netta dato che alcuni fluidi come il vetro e la pece, corrono così lentamente da comportarsi come solidi almeno negli intervalli di tempo nei quali abbiamo a che fare con essi. Il plasma che è un gas altamente ionizzato, non appartiene a nessuna delle categorie citate; spesso è chiamato "quarto stato della materia" per distinguerlo dallo stato solido liquido e gassoso.

Anche la distinzione tra un liquido e un gas non è netta, poiché, variando opportunamente pressione e temperatura, è possibile trasformare un liquido (esempio acqua) in un gas (vapore) senza ebollizione; la densità e la viscosità variano in modo continuo durante tutto il processo (si devono usare pressioni superiori alla cosiddetta pressione critica che per l'acqua è 218 Atm).

In questo capitolo definiremo il fluido come è solitamente inteso e ci occuperemo solo di quelle proprietà dei fluidi connesse con la loro capacità di scorrere, perciò le stesse leggi fondamentali regolano il comportamento statico e dinamico sia dei liquidi che dei gas nonostante le differenze osservate tra essi alle ordinarie pressioni.

Poiché i fluidi cambiano facilmente forma e, nel caso dei gas, hanno un volume uguale a quello del recipiente che li contiene, dobbiamo introdurre nuove tecniche per la risoluzione dei problemi della meccanica dei fluidi.

### Pressione e densità.

Una forza superficiale agisce in modo ben diverso su un fluido o su un solido, mentre su quest'ultimo non vi sono limitazioni alla direzione di tale forza, per un fluido in quiete la forza superficiale deve sempre essere perpendicolare alla superficie.

Un fluido in quiete non può rimanere in equilibrio sotto l'azione di una forza tangenziale, poiché gli strati fluidi scivolerebbero uno sull'altro sotto l'azione di tale forza, ed è proprio l'incapacità dei fluidi a sopportare tali forze tangenziali che li rende capaci di cambiare forma o di scorrere. Conviene quindi descrivere la forza agente sul fluido precisando la **pressione** ( $P$ ) definita come il modulo della forza perpendicolare alla superficie.

La pressione viene trasmessa alle superfici di separazione dei solidi o ad arbitrarie sezioni di fluido perpendicolarmente in ogni punto di tali superfici di separazione o sezioni.

$$P = \frac{F}{S}$$

dove  $F$  rappresenta la forza espressa in [N] ed ( $S$ ) è la superficie espressa in [ $m^2$ ], per cui l'unità di misura della pressione è il [ $N/m^2$ ] chiamato Pascal.

Si definisce **densità** ( $\rho$ ) o massa volumica di un fluido omogeneo il rapporto tra la sua massa ( $m$ ) e il suo volume ( $V$ ), dato che la massa è espressa in [Kg] e il volume in [ $m^3$ ], l'unità di misura della densità è [ $Kg/m^3$ ]

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La densità dipende da molti fattori, quali la temperatura e la pressione del fluido stesso, nel caso dei liquidi la densità varia molto poco con la pressione e la temperatura, cosicché anche per ampie variazioni di queste ultime, noi la potremo considerare costante nel nostro studio.

Al contrario la densità di un gas è molto sensibile alla variazione di pressione e temperatura. Nella tabella seguente sono riportati i valori di densità di alcuni materiali e presenta gli intervalli di densità che si possono avere in natura.

MATERIALI	DENSITA' [Kg/m <sup>3</sup> ]
Spazio interstellare	10 <sup>-19</sup> ÷ 10 <sup>-21</sup>
Miglior vuoto di laboratorio	10 <sup>-16</sup>
Idrogeno a 0° C e 1 Atm	0,09
Aria : a 0° C e 1 Atm	1,3
a 100 ° C e 1 Atm	0,95
a 0° C e 50 Atm	6,5
Ghiaccio	920
Acqua : a 0° C e 1 Atm	1000
a 100 ° C e 1 Atm	958
a 0° C e 50 Atm	1002
Alluminio	2700
Mercurio	13600
Platino	21400
Terra : densità media	5520
densità del nucleo	9500
densità della crosta	2800
Sole : densità media	1400
densità nel centro	160000
Stelle bianche nane (al centro)	10 <sup>8</sup> ÷ 10 <sup>15</sup>
Nucleo di uranio	10 <sup>17</sup>

**Variazione di pressione in un fluido a riposo**

Se un fluido è in equilibrio lo è pure ogni sua parte, considera riamo un prisma di fluido compreso tra due quote Z e Z + dZ.

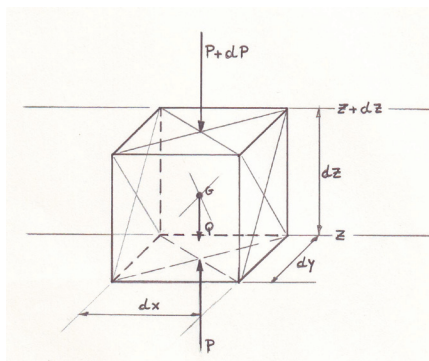


Fig.1 - Cubo di fluido compreso tra due quote

Come si vede nella fig.1 sulla faccia inferiore agisce una pressione P, sulla faccia superiore agisce una pressione P + dP, nel baricentro il peso Q.

Per l'equilibrio alla traslazione lungo l'asse z :

$$P \, dx \, dy - Q - (P + dP) \, dx \, dy = 0$$

$$P \, dx \, dy - \rho \, g \, dx \, dy \, dz - (P + dP) \, dx \, dy = 0$$

$$-dP \, dx \, dy = \rho \, g \, dx \, dy \, dz$$

$$-dP = \rho g dz$$

che rappresenta la **legge di LAPLACE** e dalla quale si evidenzia che il gradiente di pressione risulta negativo uguale al peso specifico che a sua volta diminuisce con la quota.

Risolvendo questa equazione differenziale si ottengono le formule che consentono di determinare la pressione, la densità e il peso specifico a qualsiasi quota nella Troposfera (vedi Modulo III - Capitolo 1).

Per quanto riguarda i liquidi, essendo la densità praticamente costante e considerando sempre costante l'accelerazione di gravità ( $g$ ) si ottiene :

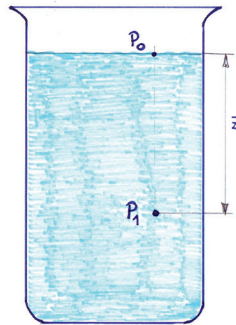
$$P_2 - P_1 = -\rho g (z_2 - z_1)$$

Se il liquido ha una superficie libera, questa rappresenta il naturale livello di riferimento rispetto a cui misurare la quota ( $z$ ).

Considerando quindi come livello di riferimento la superficie libera su cui si preme la pressione atmosferica ( $P_0$ ), la pressione ( $P$ ) alla profondità ( $z$ ) sarà:

$$P = P_0 + \rho g z$$

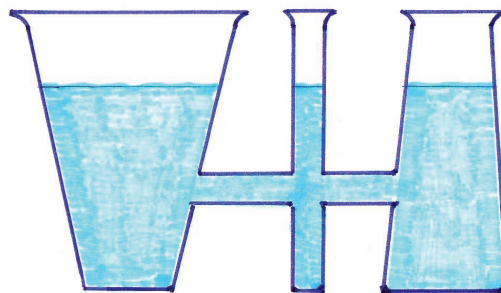
Da cui si può notare che la pressione è la stessa in tutti alla stessa profondità.



*Fig. 2 - Liquido la cui superficie è esposta all'atmosfera.*

In un recipiente pieno di gas (densità molto piccola) la pressione esistente può essere considerata costante, ma se si considera l'atmosfera terrestre (miscuglio gassoso) al variare della quota la variazione di pressione è notevole (vedi Modulo III Capitolo 1).

La pressione esistente in due punti qualsiasi di un fluido risulta indipendente dalla forma del contenitore (principio dei vasi comunicanti).



*Fig. 3 - Liquido contenuto in vasi comunicanti.*

Come si vede nella figura, la differenza di pressione tra i punti A e B dipende solo dalla profondità rispetto al pelo libero.

### Principi di Pascal e di Archimede.

Consideriamo un fluido contenuto in un cilindro munito di pistone mobile (figura 4), con la formula vista precedentemente siamo in grado di determinare la pressione a profondità (z).

$$P = P_0 + \rho g z$$

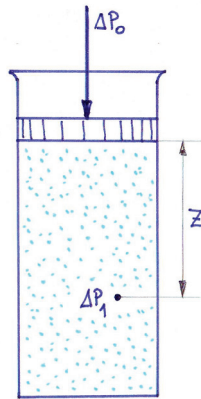


Fig. 4 - Fluido contenuto in un cilindro con pistone mobile.

Premendo il pistone, aumentiamo ora la pressione di una quantità ( $\Delta P_0$ ), se il fluido è un liquido la densità rimane sempre costante e quindi questo aumento di pressione si manifesterà in ogni punto del liquido ad ogni profondità. Questo fu scoperto dallo scienziato francese Blaise Pascal (1623 - 1662) e viene detto perciò **Principio Pascal** enunciato così:

- *La pressione esercitata su un fluido si trasmette senza diminuzioni ad ogni porzione del fluido e alle pareti del recipiente che lo contiene.*

Tale principio, con lievi modifiche, risulta valido anche per i gas, per i quali si manifestano grandi variazioni di volume, al variare della pressione.

Anche il principio di Archimede e' una conseguenza delle leggi della statica dei fluidi, infatti se un corpo è interamente immerso in un fluido, quest'ultimo esercita delle pressioni su ogni parte della superficie del corpo in contatto con il fluido. La pressione e' maggiore sulle parti più profondamente immerse, e la risultante di tutte queste pressioni determina una forza diretta verso l'alto detta **spinta di Archimede**, che non dipende dal materiale di cui è composto il corpo.

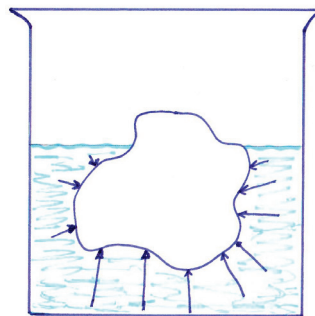


Fig. 5 - Principio di Archimede.

Il **Principio di Archimede** si enuncia così:

→ *Un corpo immerso interamente o parzialmente in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso del fluido spostato.*

La sua applicazione nel campo aeronautico ha consentito all'uomo di volare per la prima volta con la Mongolfiera, l'Aerostato e il Dirigibile (vedi Modulo III, Capitolo 2).

### Misurazione della pressione.

Evangelista Torricelli (1608 - 1647) ideò un metodo per misurare la pressione atmosferica con la sua invenzione del barometro a mercurio (1643), che consiste in un lungo tubo di vetro riempito di mercurio e immerso, con l'estremità aperta in una bacinella piena anch'essa di mercurio.

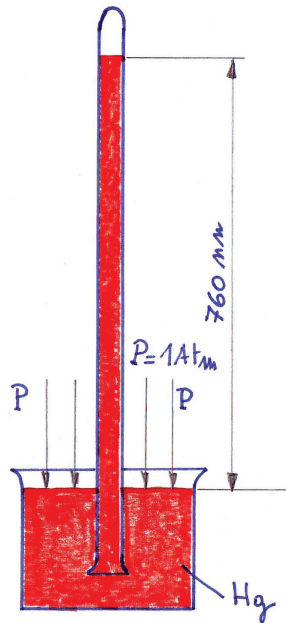


Fig. 6 - Barometro di Torricelli.

Lo spazio al di sopra della colonna di mercurio contiene solo vapori di mercurio, la cui pressione è così piccola che può essere considerata uguale a zero.

Con la formula precedente si può quindi dire che:

$$P = \rho g z$$

Al livello del mare la colonna di mercurio rilevata da Torricelli risulta essere alta 760 mm, a cui è stato dato il nome di una atmosfera [atm].

Quindi:

$$1 \text{ [atm]} = 101325 \text{ [Pascal]} = 760 \text{ [mmHg]}.$$

Per misurare pressioni differenziali si utilizza il manometro a tubo aperto (fig. 7), che consiste in un tubo a U contenente un liquido: un'estremità del tubo è aperta all'atmosfera e l'altra è connessa al sistema di cui vogliamo misurare la pressione.

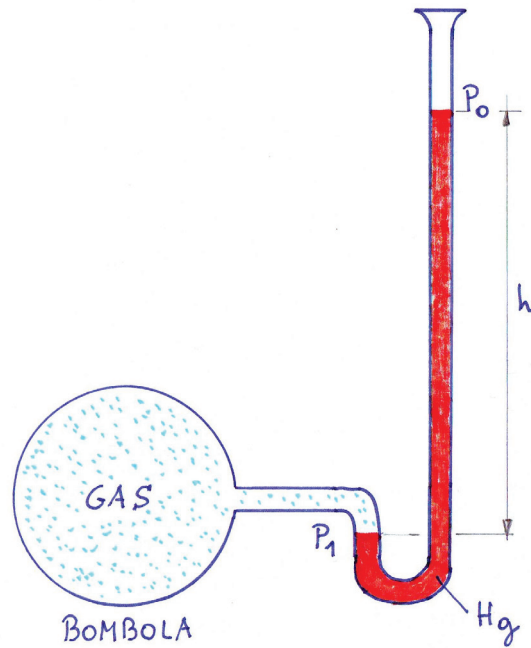


Fig. 7 - Manometro a tubo aperto.

La pressione differenziale,  $P - P_0$ , e' proporzionale alla differenza fra le altezze delle colonne di liquido nel tubo a U.

A seconda che la pressione esistente nella bombola sia più o meno grande, converrà usare liquidi di più o meno elevata densità.

### Curiosita'.

Torricelli fu il successore di Galileo come professore di matematica all'Accademia di Firenze. Egli descrive i suoi esperimenti con il barometro a mercurio in due lettere indirizzate nel 1644 all'amico M. A. Ricci, in tali lettere era scritto che il fine di tali ricerche non era solo quello di creare il vuoto, ma anche quello di ottenere uno strumento che indicasse *i mutamenti dell'aria, ora più pesante e densa, ora più leggera e sottile*.

Venuto a conoscenza degli esperimenti che si facevano in Italia, Blaise Pascal si convinse che, se era vero che la colonna di mercurio era sostenuta solo dalla pressione dell'aria, tale colonna sarebbe stata più corta a grandi altitudini. Egli tentò di verificare questo fatto in cima ad un campanile di Parigi, ma, desiderando risultati più decisivi, pregò suo cognato di fare l'esperimento sul Puy de Dome, un'alta montagna nell'Auvergne.

Fu constatato così una differenza di 8 cm nell'altezza della colonna di mercurio, fatto questo che destò grande ammirazione e stupore. Pascal stesso ripeté poi l'esperimento usando del vino rosso e un tubo di vetro lungo circa 14 m.

Il principale significato che questi esperimenti avevano a quel tempo era quello di dimostrare la possibilità di creare uno spazio vuoto. Aristotele credeva che il vuoto non potesse esistere, e anche uno scrittore relativamente moderno come Descartes pensava nello stesso modo. Per duemila anni i filosofi avevano parlato dell'orrore che la natura ha per lo spazio vuoto, il famoso *horror vacui*.

Per via di questo orrore si diceva che la natura impediva la formazione di qualunque vuoto, istantaneamente occupandolo con la materia più vicina.

Pertanto il vino e il mercurio avrebbero dovuto riempire completamente il tubo di vetro capovolto. Gli esperimenti di Torricelli e di Pascal dimostrarono che non sempre la natura riusciva a riempire gli spazi vuoti e la meraviglia che essi suscitavano fu grande.

La produzione del vuoto divenne possibile in pratica con lo sviluppo delle pompe da parte di Otto von Guericke in Germania verso il 1650 e di Robert Boyle in Inghilterra verso il 1660. per quanto queste pompe fossero relativamente rozze, esse tuttavia fornirono la possibilità di fare esperimenti quali lo studio di come le proprietà del calore, della luce e del suono (e più tardi dell'elettricità e del magnetismo) fossero influenzate da un atmosfera sempre più rarefatta.

Per quanto neppur oggi si riesca a eliminare ogni traccia di gas all'interno di un recipiente, questi esperimenti nel diciassettesimo secolo liberarono la scienza dal tabù dell'horror vacui e stimolarono le tecniche per la produzione di vuoto sempre più spinto.