

FISICA

Equilibrio dei Fluidi

*Autore: prof. Pappalardo Vincenzo
docente di Matematica e Fisica*



L'equilibrio dei Fluidi

Studia le leggi che regolano lo stato dei liquidi in quiete

Nell'idrostatica tutte le leggi enunciate valgono per un liquido perfetto, cioè un liquido che ha le seguenti tre proprietà:

1. Fluidità: gli strati di molecole del liquido possono scorrere gli uni sugli altri.
2. Incomprimibilità: il liquido mantiene il suo volume anche se viene sottoposto a forti pressioni.
3. Elasticità: è facile modificare la forma del liquido.

1. Stati aggregazione della materia

Per consuetudine nella materia si distinguono tre stati di aggregazione:

□ solidi hanno forma e volume propri, sono resistenti alle deformazioni e difficilmente comprimibili



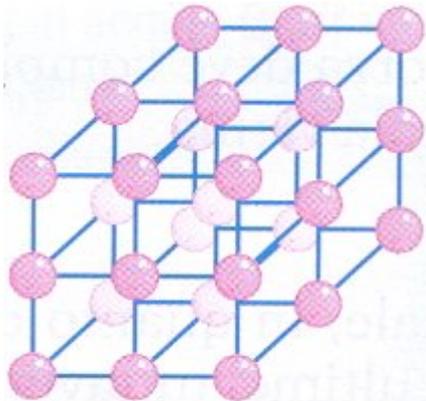
□ liquidi hanno volume definito e forma dipendente dal recipiente che li contiene

□ g a s o c c u p a n o
completamente il volume
disponibile e sono
facilmente comprimibili

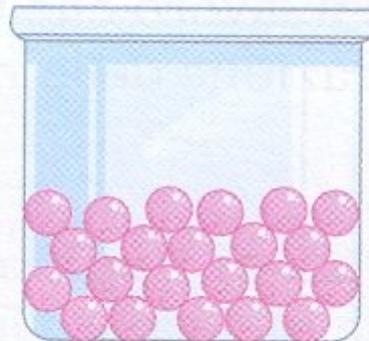


Però un diamante, un pezzo di legno, una porcellana sono oggetti solidi che presentano caratteristiche strutturali notevolmente differenti. Pertanto, per poter classificare gli stati di aggregazione in modo più preciso è necessaria dunque un'analisi microscopica della struttura della materia.

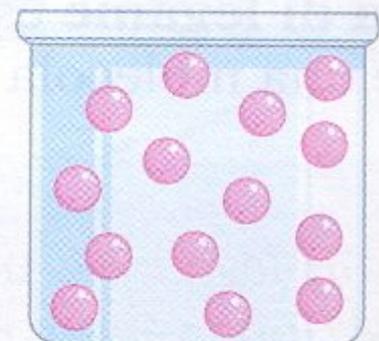
- ❖ I **solidi** hanno una *struttura cristallina* ben definita, con distanza tra gli atomi fisse.
- ❖ Nei **liquidi** le molecole, mantenendo sensibilmente invariate le mutue distanze, possono scorrere a gruppi, mescolandosi continuamente.
- ❖ Negli **aeriformi** le molecole si muovono liberamente in tutte le direzioni.



solido



liquido



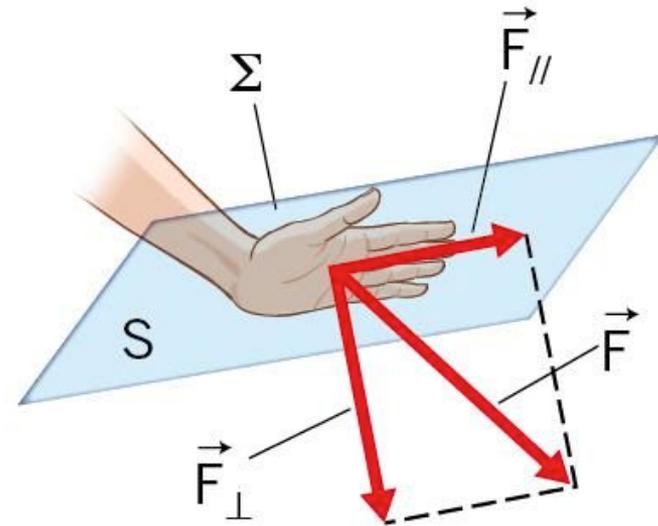
aeriforme

2. La pressione

Per descrivere l'effetto di una forza \mathbf{F} che agisce su una superficie Σ , si introduce la grandezza scalare pressione (simbolo p). La pressione è dovuta alla componente perpendicolare \mathbf{F}_\perp della forza \mathbf{F} che si esercita sulla superficie:

$$p = \frac{F_\perp}{S}$$

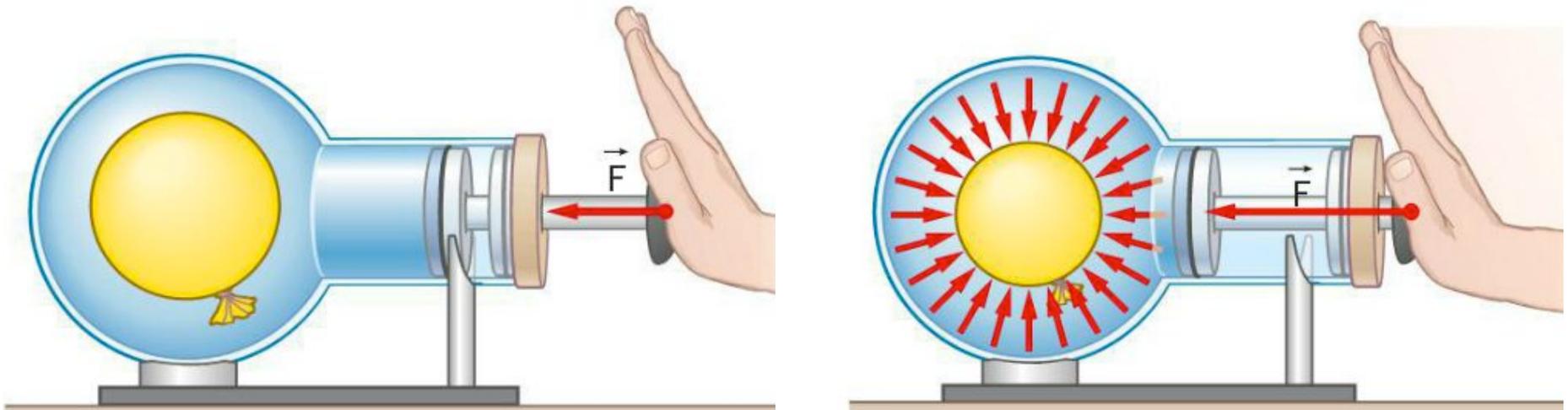
Unità di misura:
 $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$ (si legge Pascal)



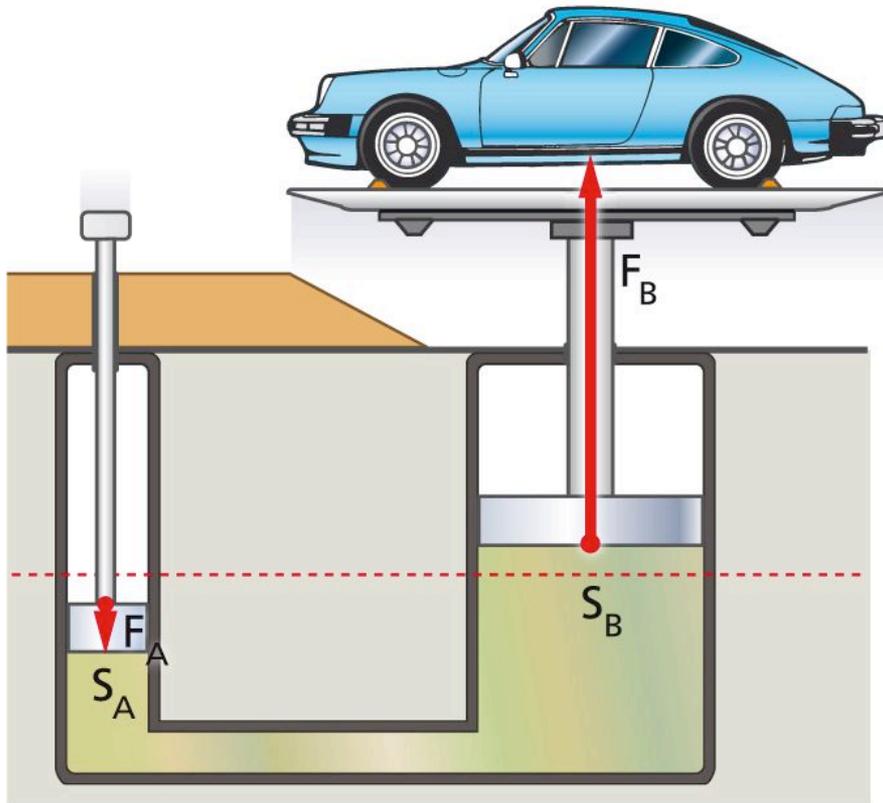
Il vettore \mathbf{F}_\parallel , componente di \mathbf{F} parallelo alla superficie Σ , non è rilevante in questo contesto perché non preme su Σ .

Principio di Pascal

La pressione esercitata su qualunque superficie di un liquido si trasmette inalterata su ogni altra superficie a contatto con il liquido



Sul principio di Pascal si basa il **torchio idraulico**:



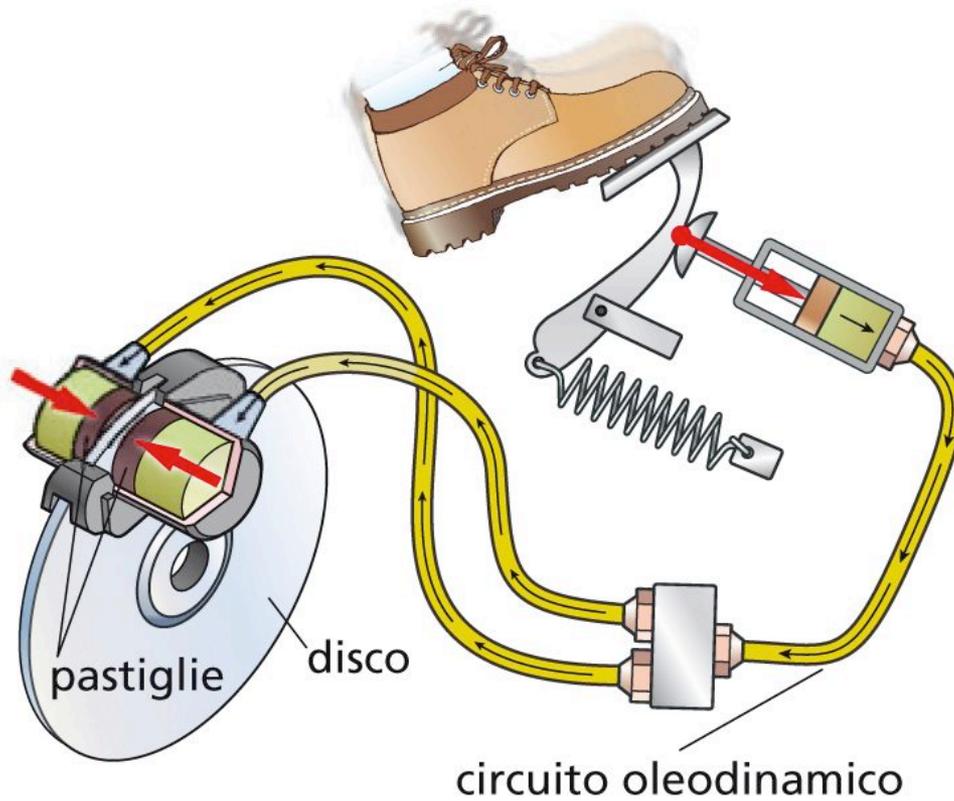
Per il principio di Pascal, la pressione è la stessa sia su S_A che su S_B . Quindi:

$$p_A = p_B \Rightarrow \frac{F_A}{S_A} = \frac{F_B}{S_B} \Rightarrow F_B = F_A \cdot \frac{S_B}{S_A}$$

poichè $S_B > S_A$ allora $F_B > F_A$

Pertanto, con il torchio idraulico è possibile sollevare un peso applicando una forza inferiore.

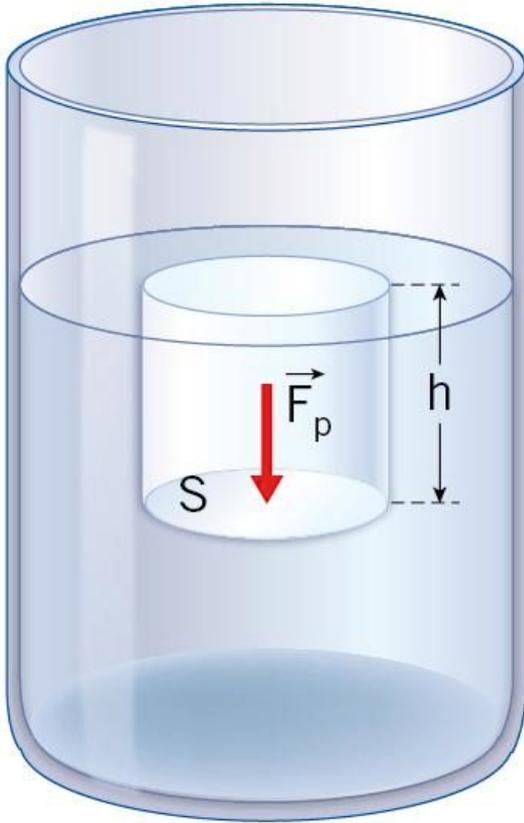
Freno a disco



Martinetto idraulico



4. La legge di Stevino



Consideriamo una superficie ideale orizzontale, di area S , posta a una profondità h rispetto alla superficie libera del liquido che ha densità d .

La pressione che si esercita sulla superficie S a causa del peso della colonna di liquido che sovrasta tale superficie è data da:

$$p_L = \frac{F_P}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{dVg}{S} = \frac{dShg}{S}$$

Legge di Stevino

pressione esercitata
da un liquido (Pa)

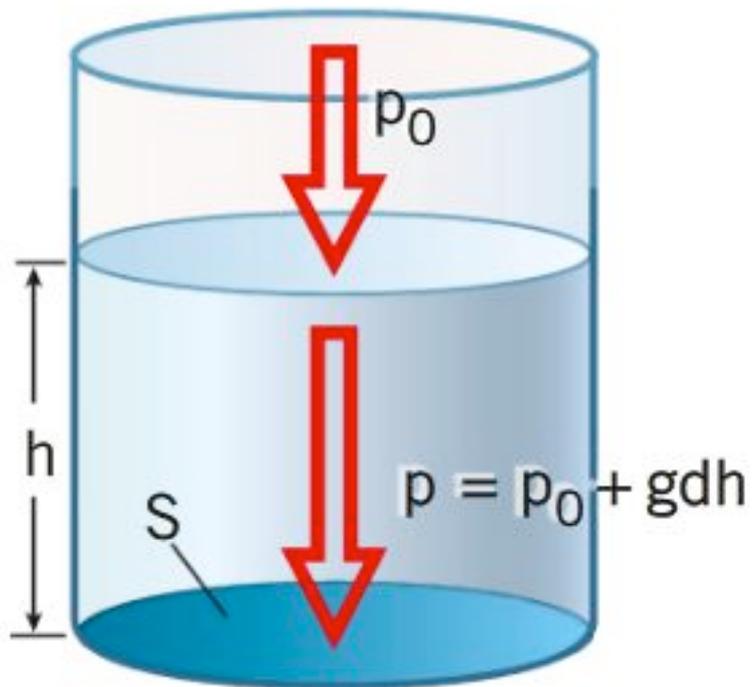
$$p = \rho g h$$

costante g (N/kg)

densità
di liquido (kg/m^3)

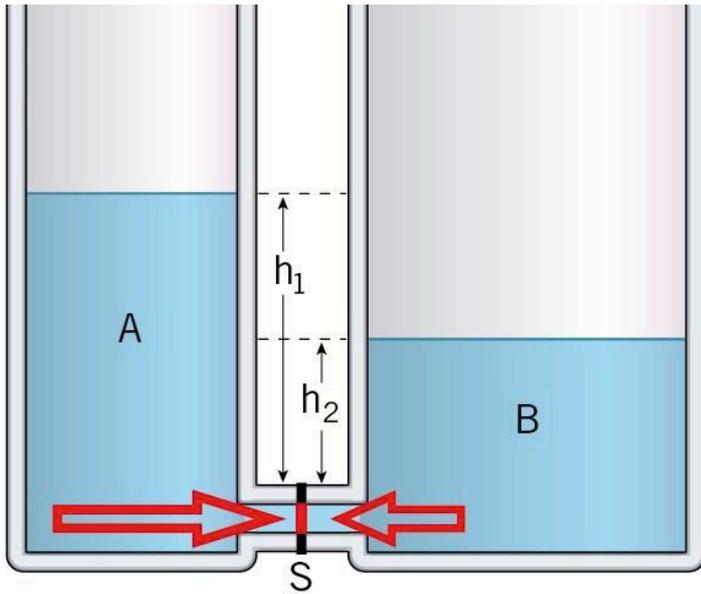
profondità
del liquido (m)

Se sulla superficie libera del liquido agisce una pressione esterna p_0 , come la pressione atmosferica, per la legge di Pascal questa pressione si trasmette inalterata su ogni superficie a contatto con il liquido, per cui la pressione sul liquido alla profondità h è data da:



$$p = p_0 + dgh$$

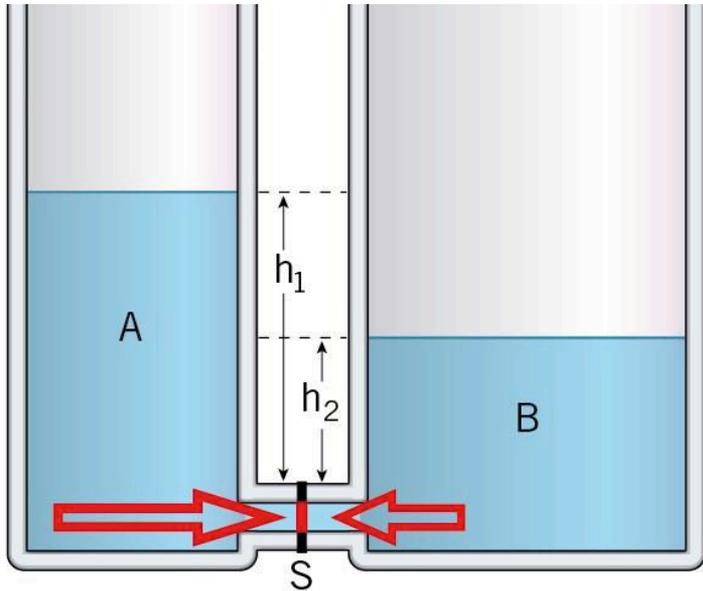
5. Principio vasi comunicanti



Consideriamo due **vasi comunicanti** riempiti con lo stesso liquido ed esaminiamo cosa accade su una superficie S di liquido posta nel tubo di collegamento.

Se l'altezza h_1 del liquido nel recipiente di sinistra è maggiore di h_2 , anche la pressione che agisce su S da sinistra è maggiore di quella da destra.

La superficie S è spinta verso destra: si ha così un flusso di liquido dal recipiente in cui il liquido ha un'altezza maggiore verso l'altro.



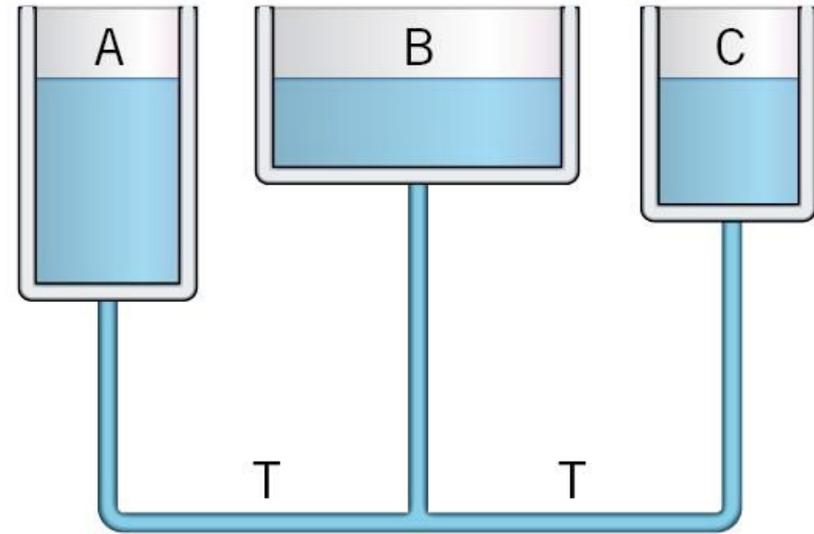
Per avere l'equilibrio occorre che la pressione idrostatica p_1 esercitata su S dal liquido (di altezza h_1) alla sua sinistra sia uguale alla pressione p_2 esercitata a destra dal liquido di altezza h_2 .

Per la legge di Stevino si ha:

$$p_1 = p_2 \rightarrow + dgh_1 = dgh_2 \rightarrow h_1 = h_2$$

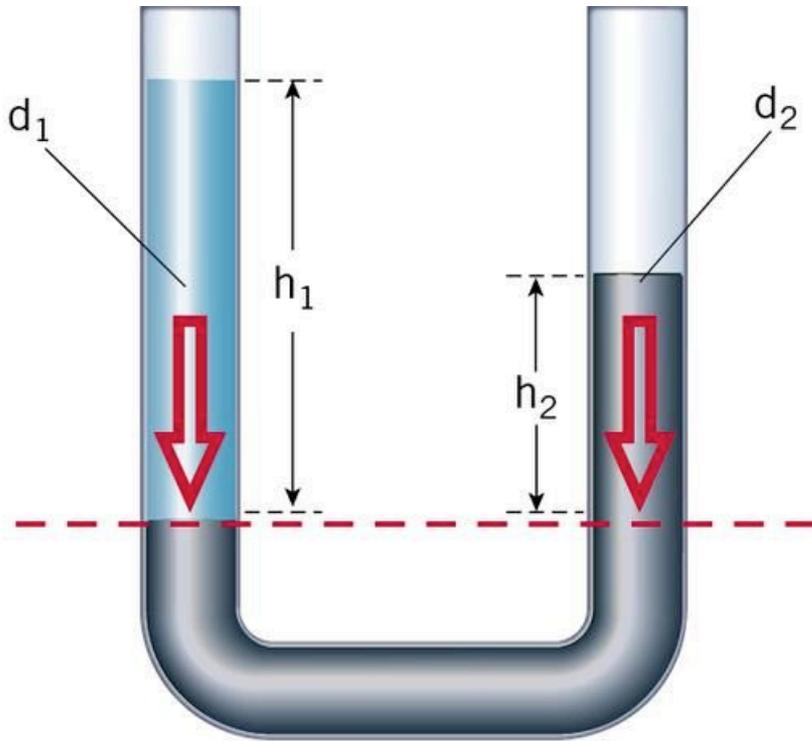
PRINCIPIO DEI VASI COMUNICANTI

Un liquido versato in un sistema di vasi comunicanti raggiunge in tutti i recipienti lo stesso livello.



Questa proprietà è valida qualunque sia la forma dei recipienti, purché siano abbastanza ampi. Infatti, il modello dei vasi comunicanti che abbiamo appena utilizzato ha un campo di validità limitato: cessa di essere valido quando alcuni dei tubi che collegano i recipienti sono molto sottili (detti capillari).

Vasi comunicanti con liquidi diversi

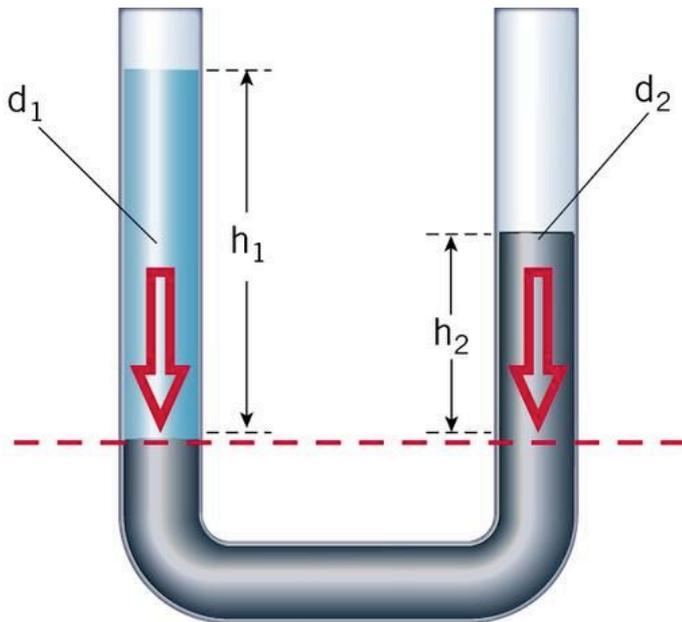


Consideriamo il caso più generale, in cui i vasi comunicanti contengono due liquidi diversi (di densità d_1 e d_2) che non si mescolano (mercurio e acqua).

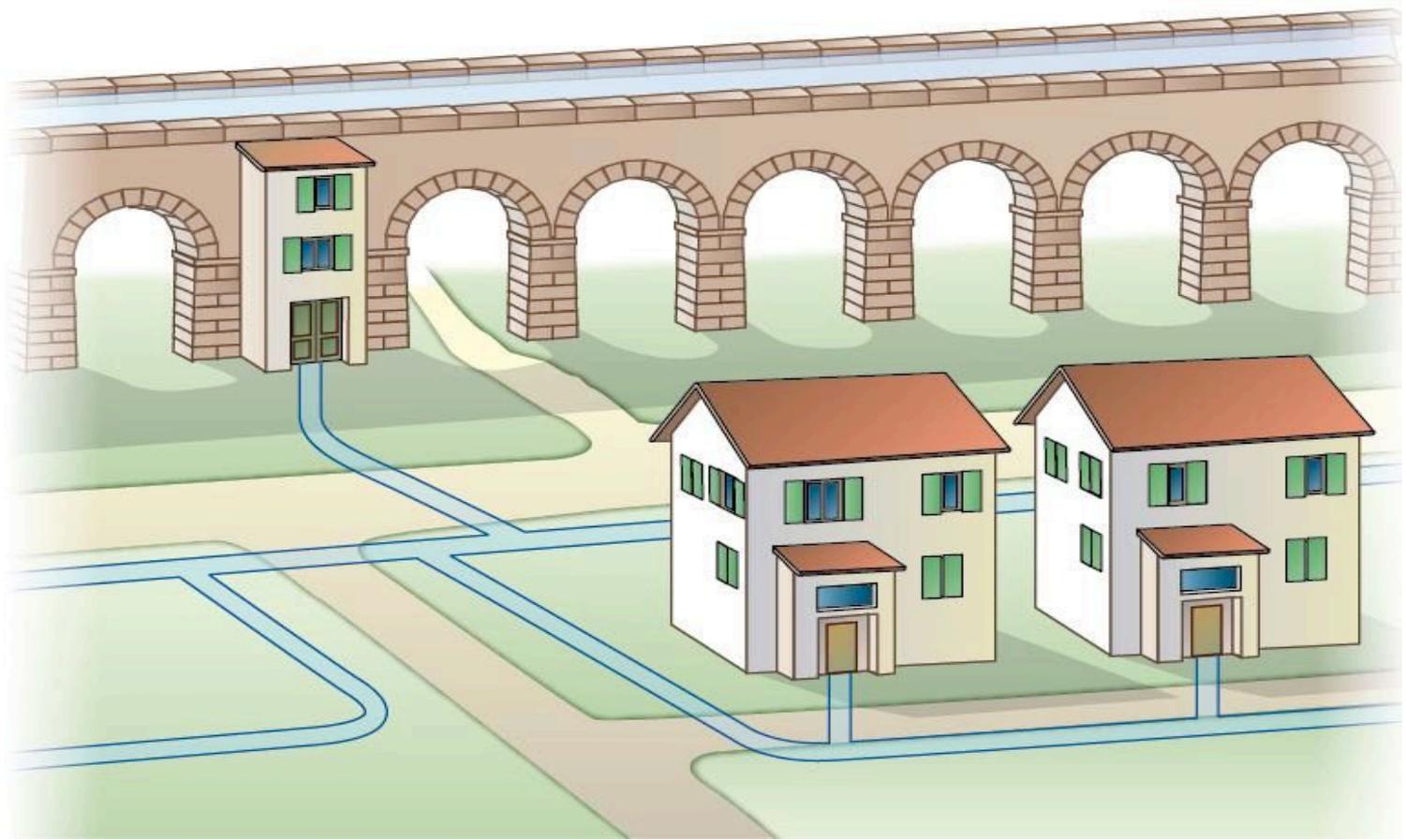
Il sistema è in equilibrio se sono uguali le due pressioni esercitate dalle due colonne di liquido (alte h_1 e h_2) sulla loro base.

$$p_1 = p_2 \rightarrow d_1 g h_1 = d_2 g h_2 \rightarrow \frac{h_1}{h_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Le altezze a cui si portano due liquidi in un tubo ad U sono inversamente proporzionali alle loro densità.



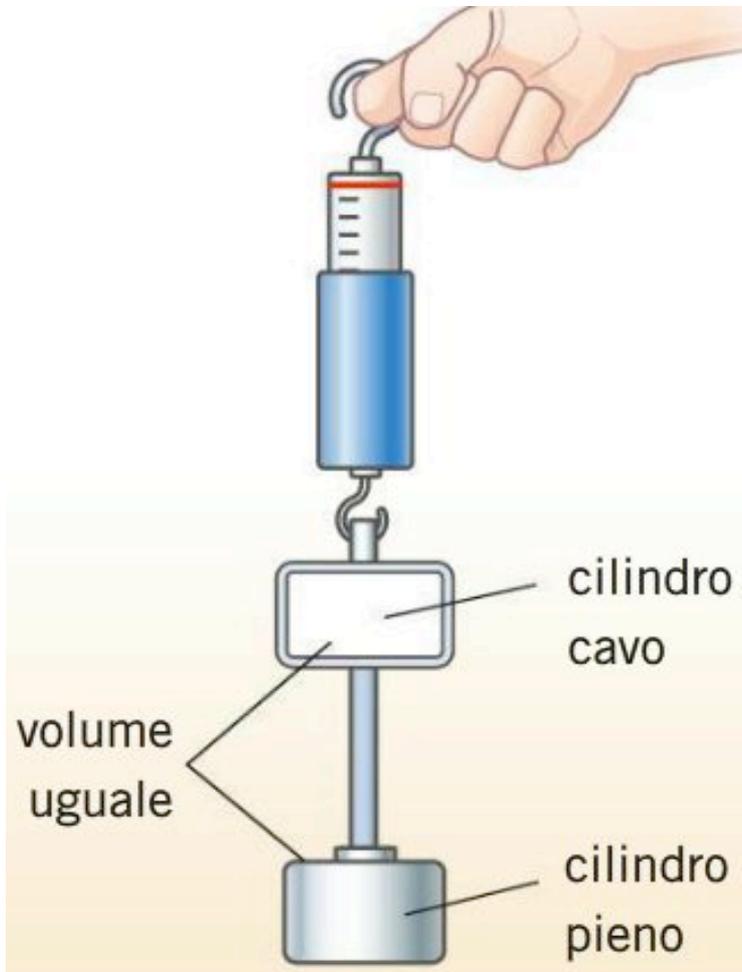
All'equilibrio il mercurio, che è più denso, raggiunge un'altezza minore dell'acqua.



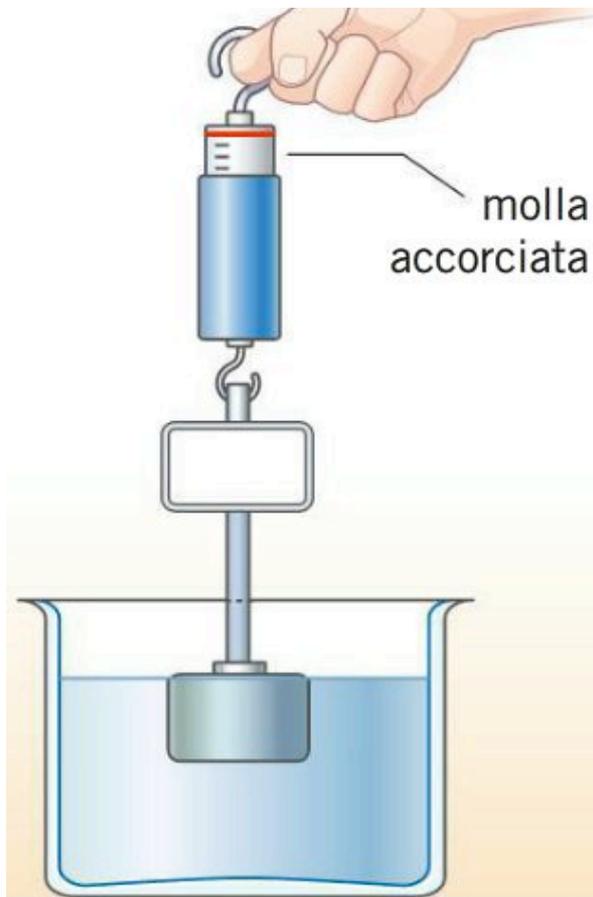
Il sistema idrico di un acquedotto è un insieme di vasi comunicanti. L'acqua viene pompata in un serbatoio sopraelevato, in modo che possa raggiungere la stessa quota anche all'interno degli edifici.

6. Principio di Archimede

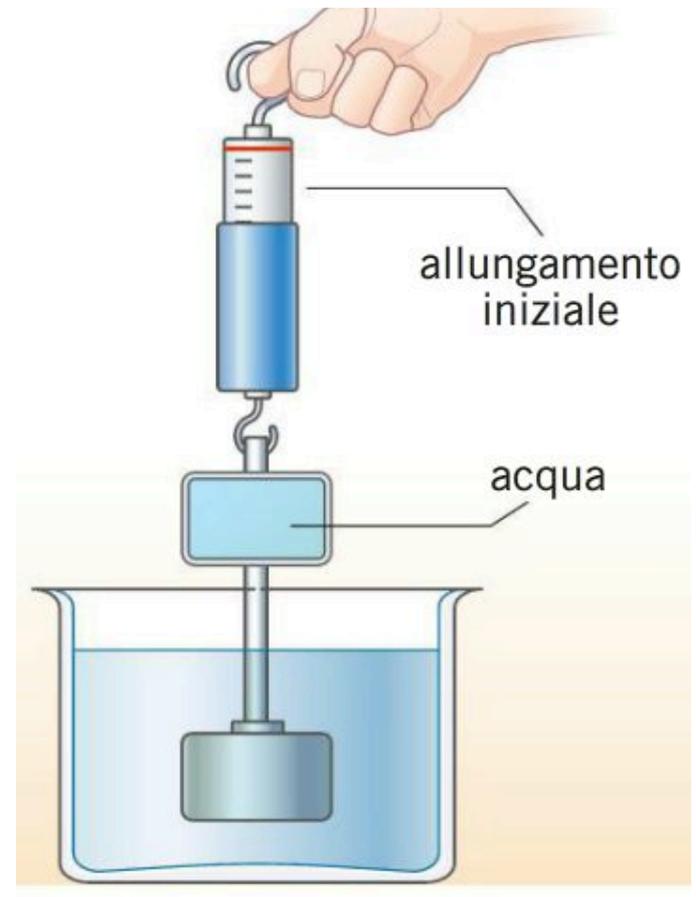
Facciamo il seguente esperimento:



Appendiamo due cilindri. Il dinamometro misura una certa forza.



Immergiamo il cilindro pieno in acqua. Il dinamometro misura una forza inferiore.



Riempiamo di acqua il cilindro vuoto. Il dinamometro misura la forza iniziale.

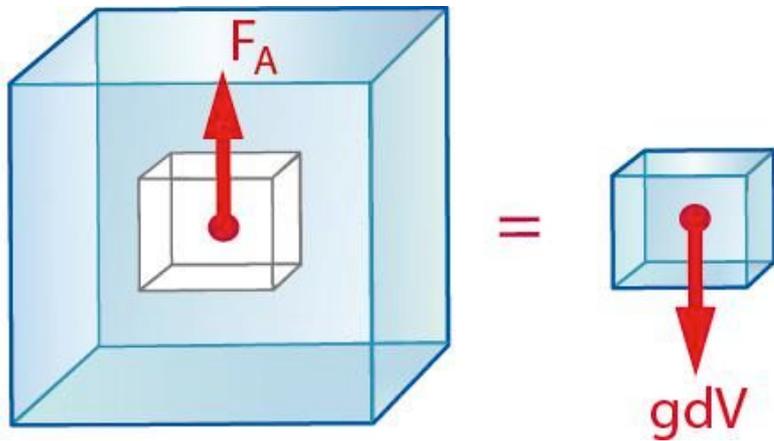
Cosa è successo?

- 1) Quando il cilindro pieno viene immerso nell'acqua, riceve una spinta verso l'alto, chiamata **spinta di Archimede**.



- 2) Questa forza (la spinta di Archimede) è uguale al peso dell'acqua che sta dentro il volume del cilindro vuoto.
- 3) Il cilindro vuoto ha lo stesso volume del cilindro pieno, quindi tale forza è uguale al peso dell'acqua spostata dal cilindro pieno.

L'acqua e gli altri liquidi esercitano su un corpo immerso (anche parzialmente) una forza verso l'alto, chiamata **spinta di Archimede**.



LEGGE DI ARCHIMEDE

Un corpo immerso in un liquido subisce una forza diretta verso l'alto di intensità uguale al peso del volume del liquido spostato

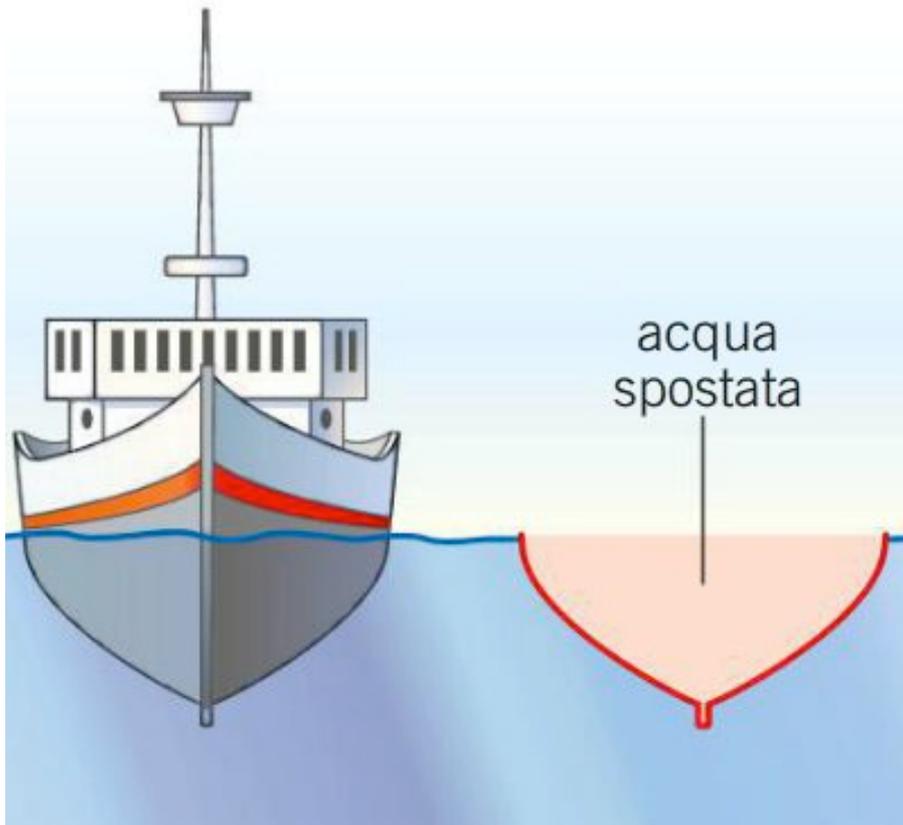
spinta di Archimede (N) ————

costante g (N/kg)

densità di liquido (kg/m^3)

$$F_A = g d V$$

————— volume del liquido spostato (m^3)



La nave galleggia perché la forza peso che agisce sullo scafo di ferro (che è cavo) è compensata dalla spinta di Archimede che è rivolta verso l'alto.

La spinta di Archimede è pari al peso del volume di acqua spostata dalla parte immersa della nave.



La legge di Archimede
vale anche per i gas.

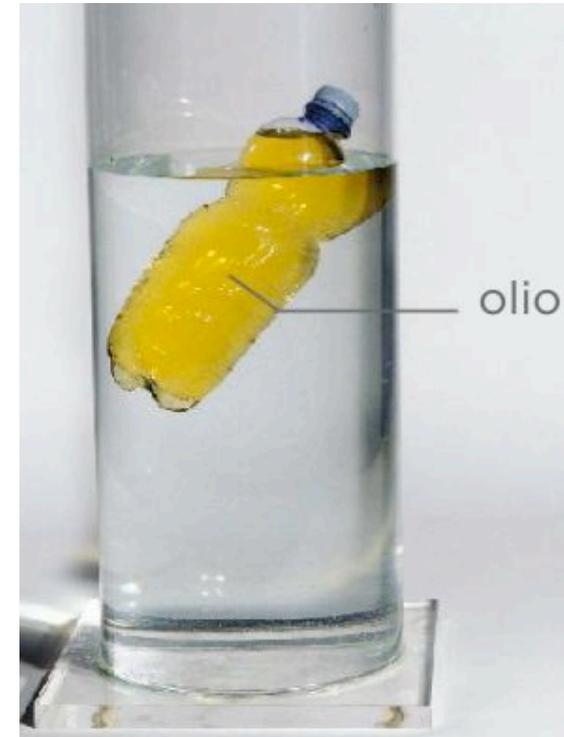
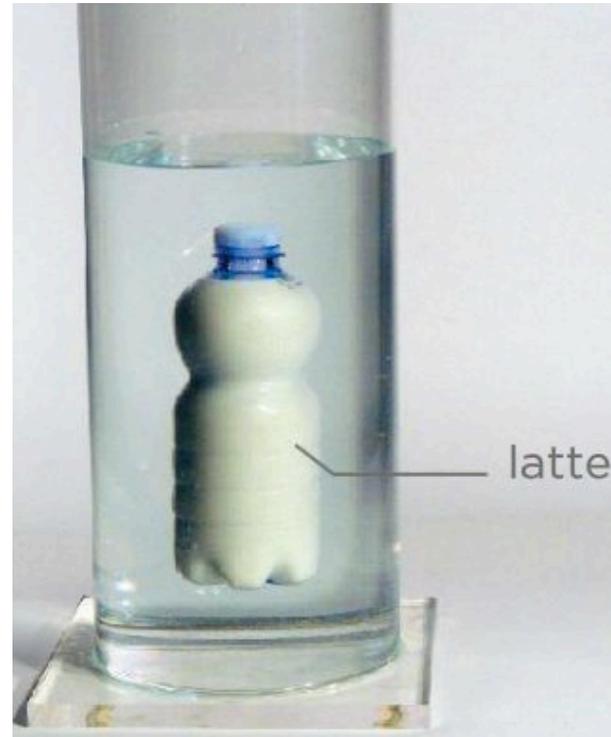
In definitiva:

Galleggiamento dei corpi

Un corpo affonda, galleggia, o sale quando la sua densità è rispettivamente maggiore, uguale o minore di quella del liquido in cui è immerso.

Esempio:

Immergiamo in acqua ($d=1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) tre bottiglie: la prima contiene sabbia ($d=1,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$); la seconda latte ($d=1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$); la terza olio ($d=0,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$)



La bottiglia di sabbia affonda perché la sua densità è maggiore di quella dell'acqua.

La bottiglia di latte galleggia perché la sua densità è uguale a quella dell'acqua.

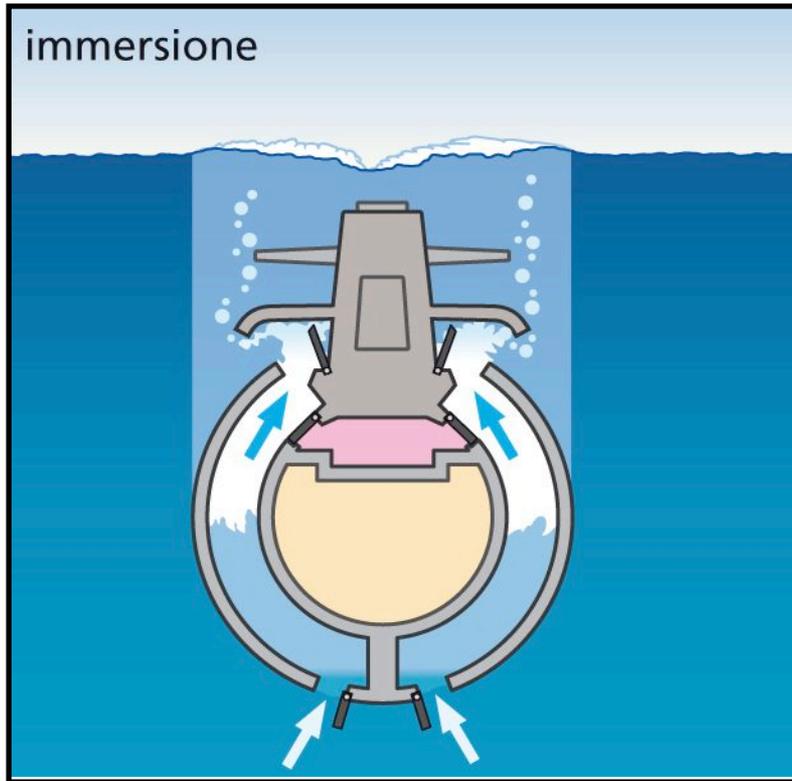
La bottiglia di olio sale perché la sua densità è minore a quella dell'acqua.

Il Mar Morto

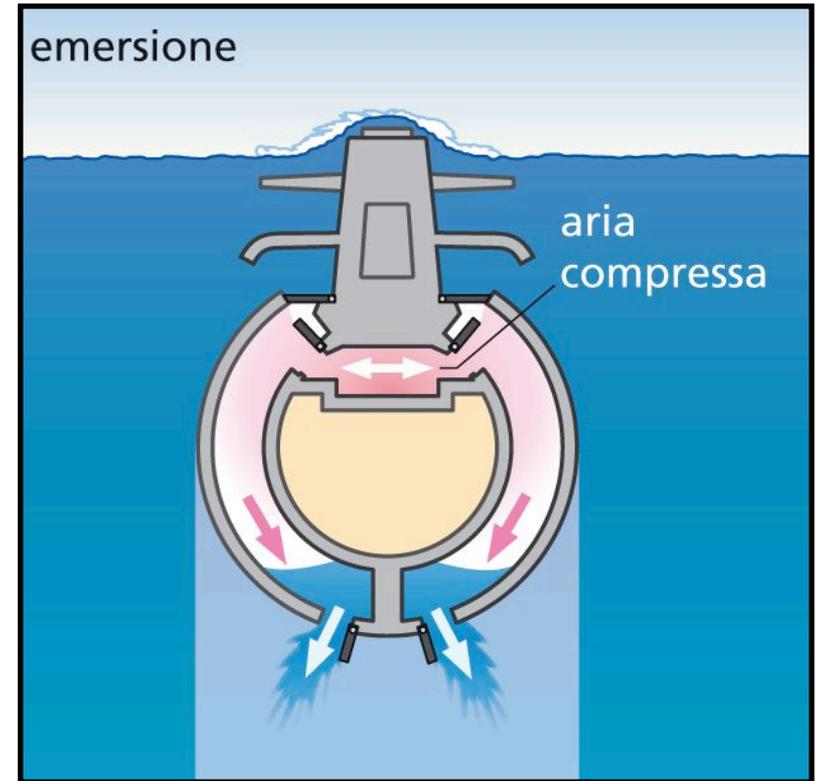
Il Mar Morto è un lago salato che si trova al confine tra Israele e Giordania nella depressione più profonda della Terra, a -418 m s.l.m. La caratteristica che rende famoso il Mar Morto, tuttavia, è la salinità delle sue acque, che intorno ai 40 m di profondità contengono 300 g di sale per chilogrammo d'acqua, un valore 8 volte superiore a quello degli oceani. L'elevata salinità del Mar Morto fa sì che la densità delle sue acque sia considerevole anche in superficie ($1,240 \text{ kg/dm}^3$). Così, a causa della spinta di Archimede, diventa difficile nuotare mentre è facilissimo restare a galla.



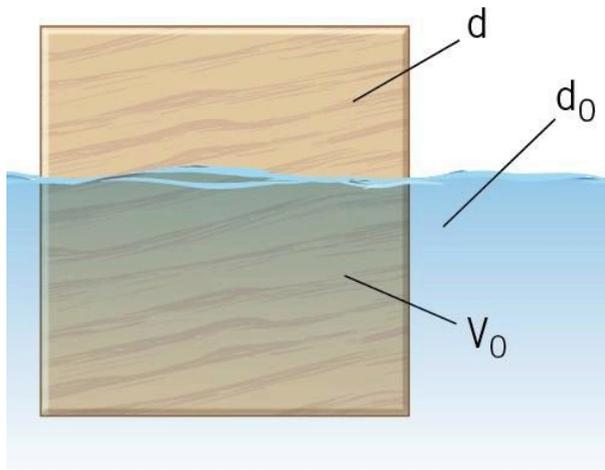
Sommergibili



Per ottenere l'immersione, si imbarca acqua. In questo modo la densità media del sommergibile è maggiore di quella dell'acqua.



Per riemergere, l'acqua viene pompata fuori. In questo modo la densità media del sommergibile è minore di quella dell'acqua.



Conoscendo la spinta di Archimede possiamo calcolare qual è la condizione che permette a un oggetto immerso in un liquido di fluttuare in equilibrio indifferente, ossia di galleggiare.

Per conseguire l'equilibrio la forza-peso F_P del corpo (verticale e rivolta verso il basso) deve avere lo stesso modulo della spinta di Archimede F_A (rivolta verso l'alto) che agisce su di esso:

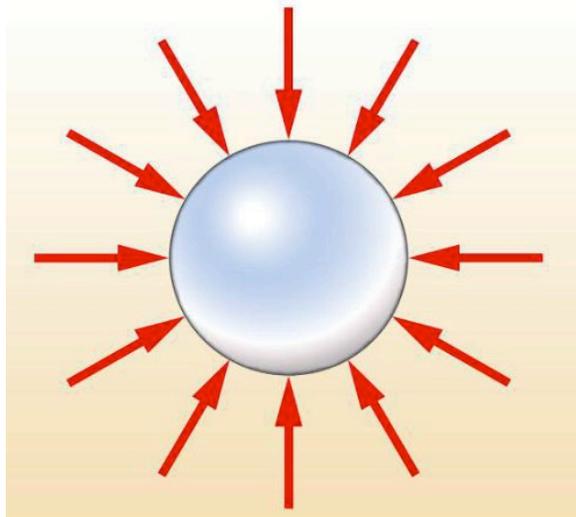
Condizione di galleggiamento

$$F_P = F_A \rightarrow dVg = d_0 V_0 g \rightarrow \frac{V_0}{V} = \frac{d}{d_0}$$

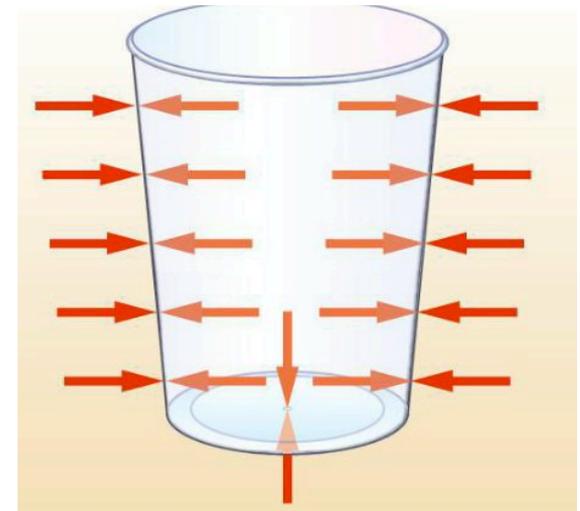
d = densità del corpo
 V = volume del corpo
 d_0 = densità del liquido
 V_0 = volume parte immersa (liquido spostato)

7. La pressione atmosferica

Tutti siamo sottoposti alla pressione atmosferica, esercitata dal peso della colonna d'aria che si trova sopra di noi. Ma non ci rendiamo conto di questa pressione perché, per la legge di Pascal, si esercita con lo stesso valore su tutte le superfici a contatto con l'aria.



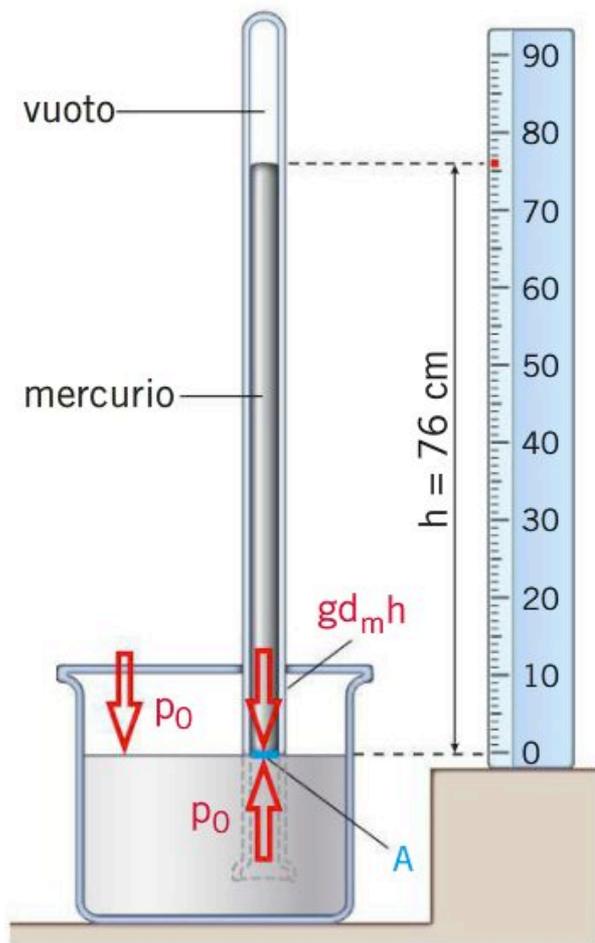
Un oggetto massiccio risente di *forze*, dovute alla pressione atmosferica, che si equilibrano esattamente. Quindi non si sposta.



Un oggetto cavo subisce *forze*, dovute alla pressione atmosferica, sulle superfici esterne e interne: non si deforma e non si sposta.

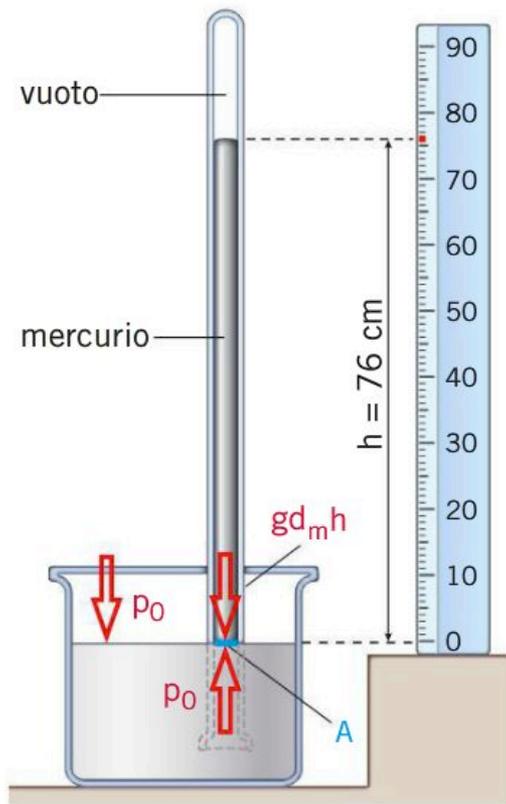
Come possiamo misurare questa pressione atmosferica?

La pressione atmosferica fu misurata da **Evangelista Torricelli** (1608–1647), attraverso il seguente esperimento.



Un tubo di vetro riempito di mercurio viene immerso in una bacinella di mercurio. **Cosa si osserva?**

La colonna di mercurio nel tubo (al livello del mare) si abbassa fino a 76 cm.



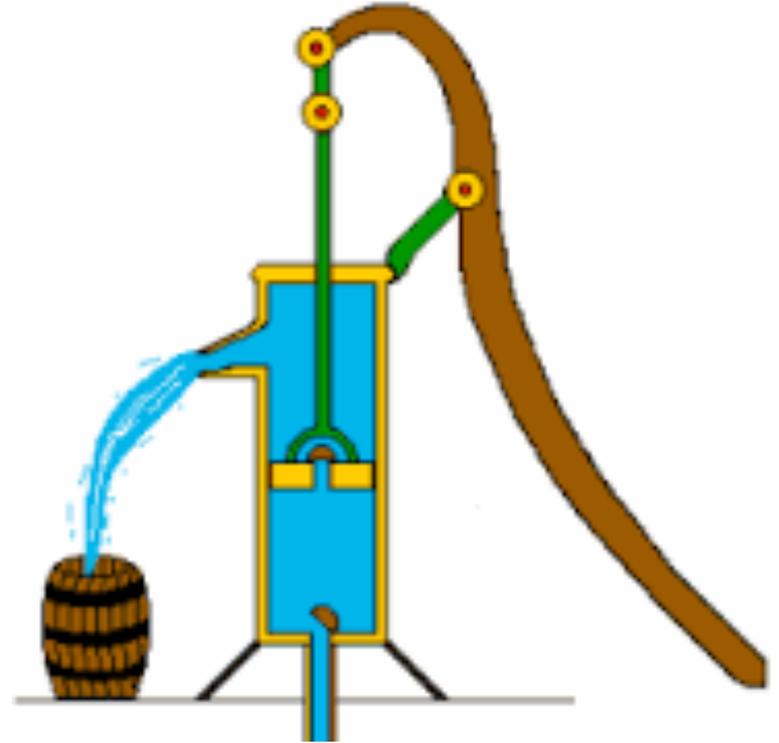
Cosa è successo?

Per il principio di Pascal, la pressione atmosferica p_0 , che agisce sulla superficie di mercurio della bacinella, si trasmette inalterata anche sulla superficie del tubo immersa nel mercurio.

La pressione esercitata dalla colonna di 76 cm di mercurio è pari proprio a quella atmosferica. Per la legge di Stevino, vale:

$$p_0 = gdh = 9,81 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \cdot 0,76 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$$

Una pompa aspirante che solleva acqua funziona con lo stesso principio. Queste pompe non possono sollevare l'acqua a un'altezza superiore ai 10 m circa, perché una colonna d'acqua più alta esercita verso il basso una pressione maggiore di quella atmosferica:



$$p_0 = gdh = 10 \cdot 1,0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cong 10^5 \text{ Pa}$$

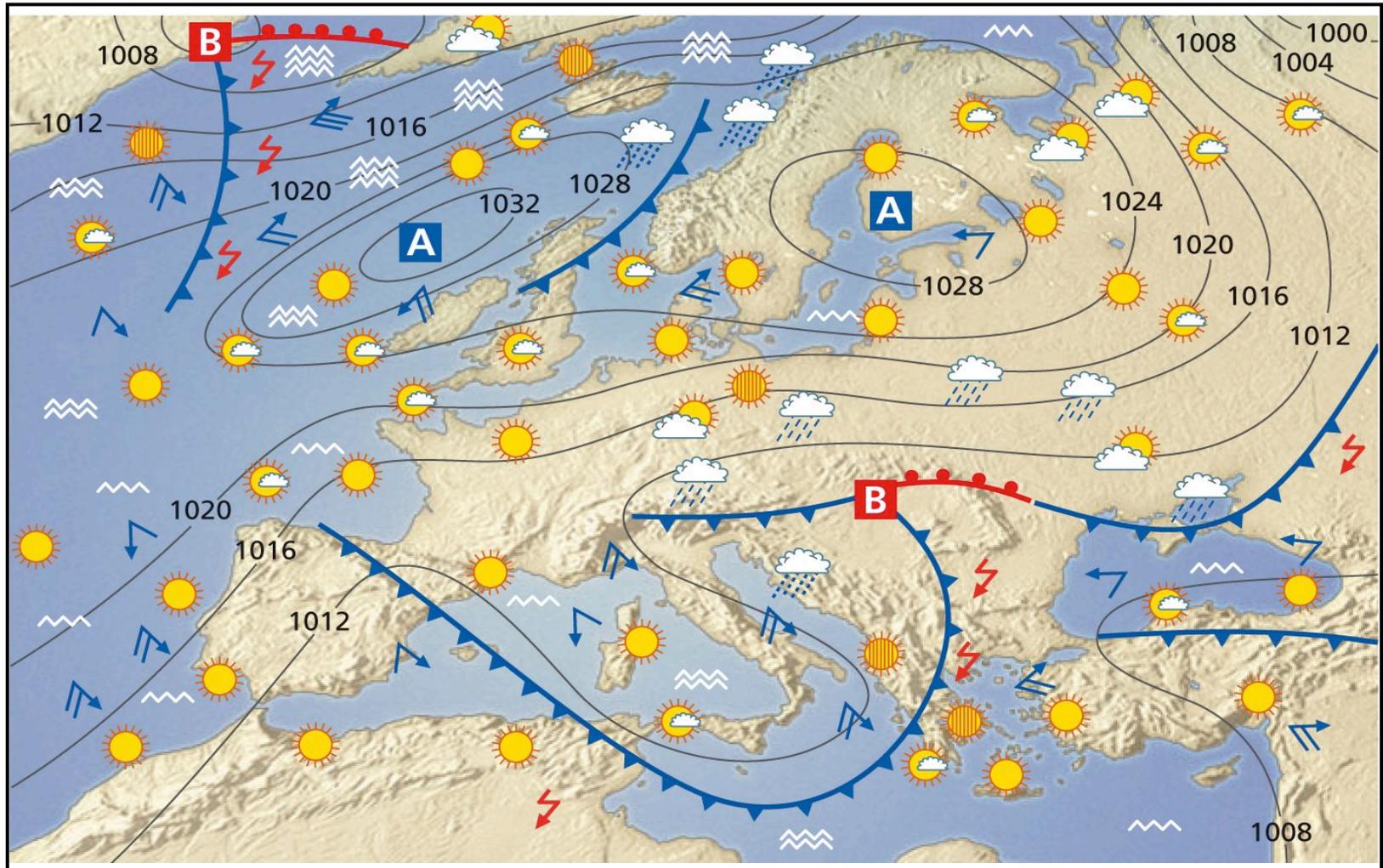
La variazione della pressione atmosferica



La pressione atmosferica diminuisce con l' aumentare dell' altitudine, perché diminuisce il peso della colonna d' aria che ci sovrasta.

La diminuzione della pressione atmosferica è pari a circa 1300 Pa per ogni 100 m di innalzamento.

Le previsioni del tempo



1bar = 10^5 Pa (multiplo del pascal)