

Fluidostatica

- Densità e pressione
- Principio di Pascal
- Legge di Stevino e pressione idrostatica
- Torricelli e la pressione atmosferica
- Il manometro
- Spinta di Archimede e galleggiamento

Stati di aggregazione della materia

I diversi stati di aggregazione della materia dipendono dalle forze di legame interatomiche o intermolecolari.

SOLIDI → hanno volume e forma propri

**F
L
U
I
D
I**

LIQUIDI → hanno volume proprio ma assumono la forma del recipiente che li contiene

AERIFORMI

GAS

VAPORI

→ non hanno nè volume nè forma propri

Molte sostanze possono essere solide, liquide o gassose in funzione della pressione e della temperatura.

La densità

La densità di un corpo di massa m e volume V è definita come

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

La densità:

- è una grandezza scalare
- ha dimensioni: $[M/L^3]$ >> **Unita' di misura SI: kg/m^3**

Sostanza	Aria	Polistirolo espanso	Olio di oliva	Acqua dolce	Acqua di mare	Alluminio	Ferro	Oro
Densita' (kg/m^3)	1.29	100	920	1000	1025	2700	7860	19300


$$\rho_{ARIA} = \sim 1 \text{ kg/m}^3$$


$$\rho_{ACQUA} = 10^3 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$$

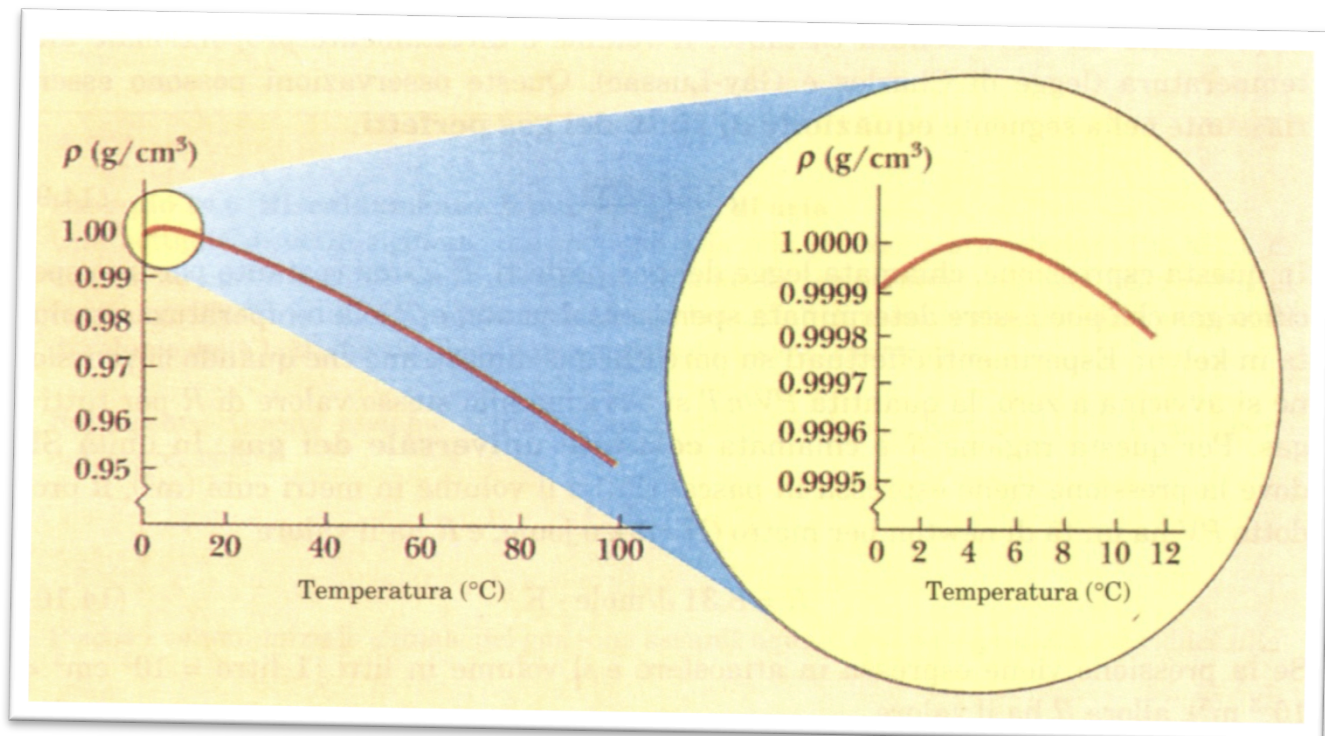
La densità dipende dalla temperatura

- La densità dipende dalla temperatura: **normalmente, al diminuire della temperatura** diminuisce il volume e quindi **si ha un aumento della densità**.
- I solidi di quasi tutte le sostanze hanno densità maggiore dei loro liquidi.

Esistono eccezioni → Es: acqua/ghiaccio

Al diminuire della temperatura ($T > 0^\circ\text{C}$) la densità dell'acqua allo stato liquido inizialmente aumenta, raggiunge il massimo $\sim 5^\circ\text{C}$ e poi diminuisce.

Ghiaccio ha densità minore dell'acqua



La pressione

La **pressione** è il rapporto tra l'intensità di una forza esercitata perpendicolarmente su una superficie e l'area A della superficie stessa.

$$p = \frac{F_n}{A}$$

>> **Unità di misura SI: Pa (pascal) = N/m²**

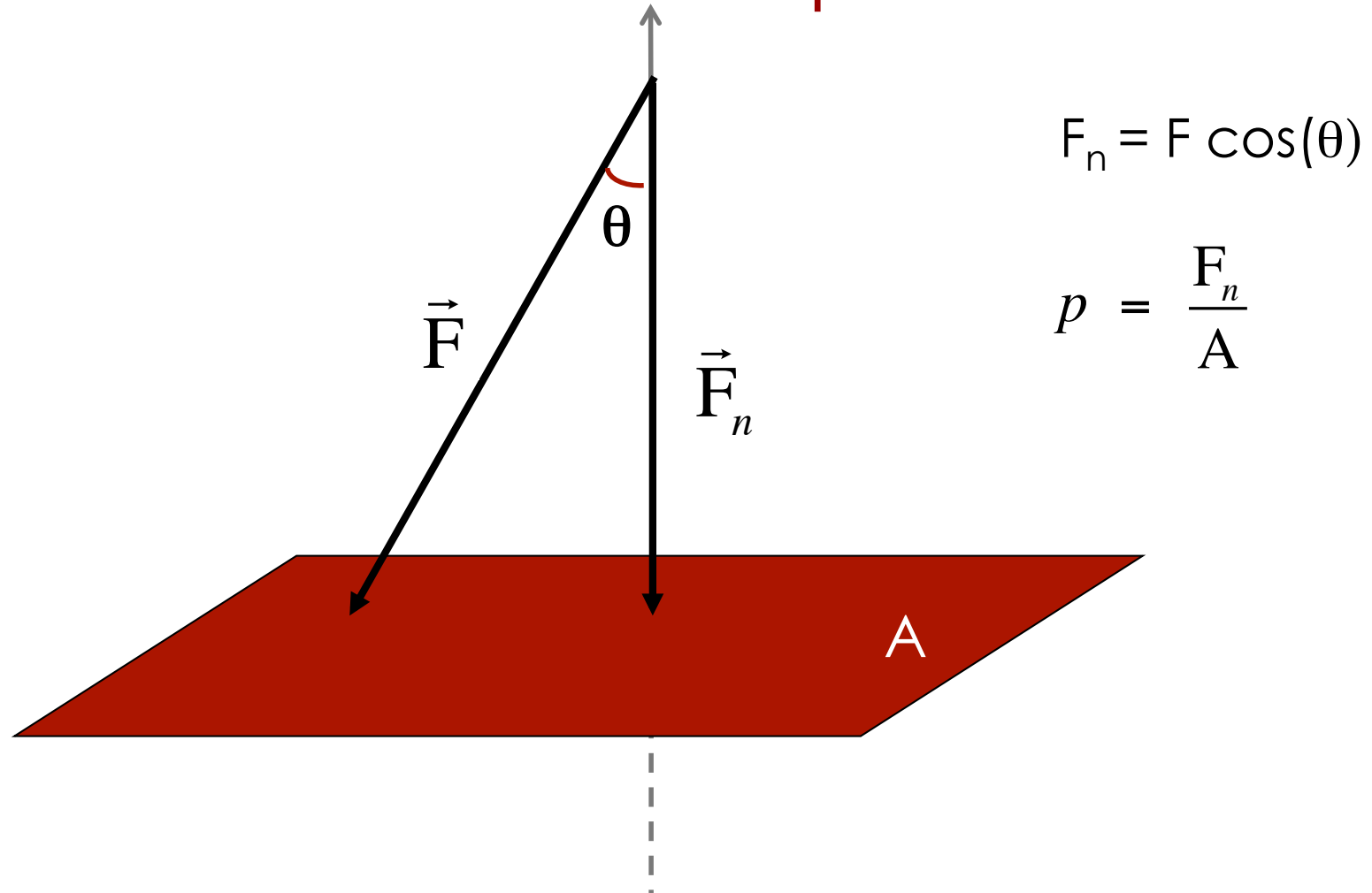
$$[p] = Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot \frac{1}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Unità di misura pratiche:

- **mmHg o torr** → 760 mmHg = 1,013 · 10⁵ Pa
- **atm** → 1 atm = 1,013 · 10⁵ Pa
- **bar** → 1 bar = 10⁵ Pa

La pressione è una grandezza scalare !

Che forza si deve usare per determinare la pressione?

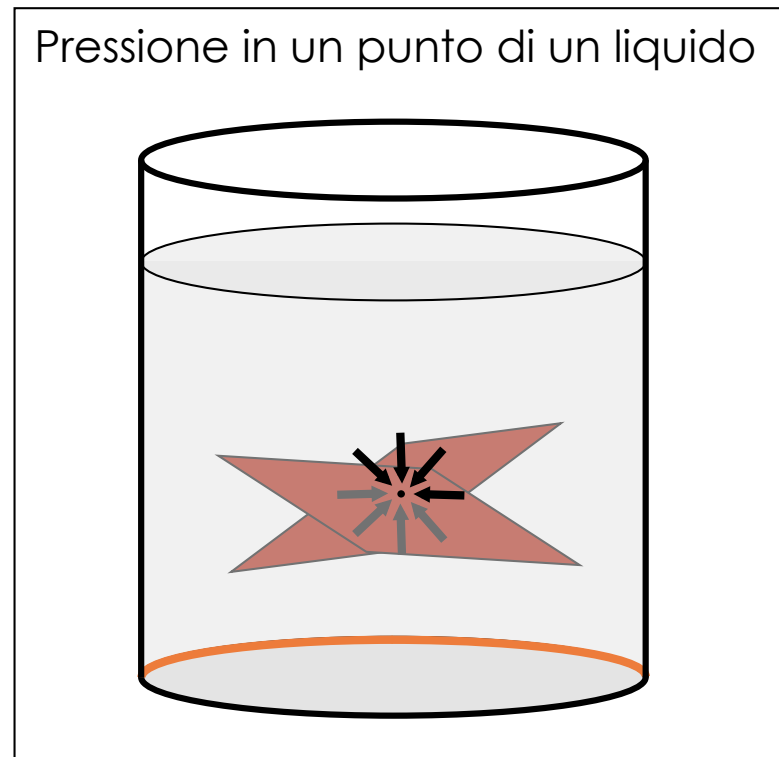


Nel calcolo della pressione, si deve sempre usare la componente della forza perpendicolare (normale) alla superficie

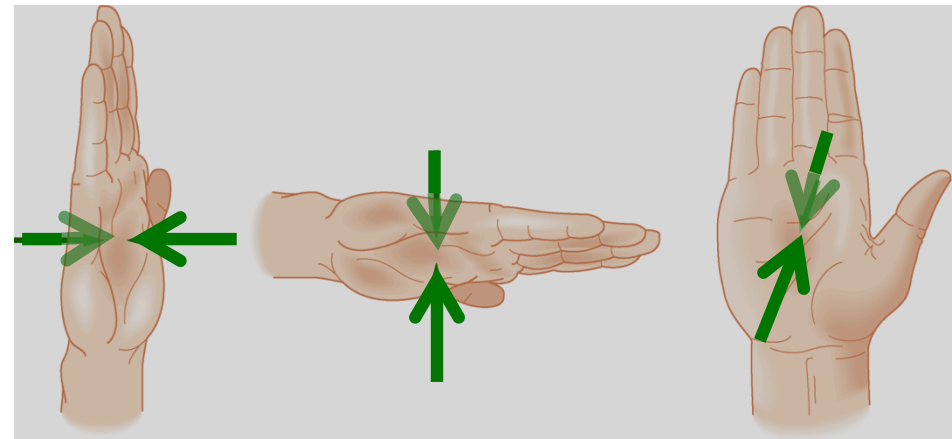
La pressione è una grandezza scalare

La pressione è una **grandezza scalare** !

Rispetto ad un punto, ovvero a tutte le superfici che passano per il punto, **agisce in modo uguale in tutte le direzioni** !



Pressione atmosferica (vd. più avanti)



Area grande = Pressione piccola (a parità di forza)

Esempio: Calcolare la pressione esercitata sulla pelle, quando si preme con una forza di 3 N con un dito (area= 10^{-4} m^2) o con un ago di sezione $2 \times 10^{-7} \text{ m}^2$

$$p_{\text{dito}} = \frac{3 \text{ N}}{10^{-4} \text{ m}^2} = 3 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$p_{\text{ago}} = \frac{3 \text{ N}}{2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2} = 1.5 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$



Conversioni di unità di misura

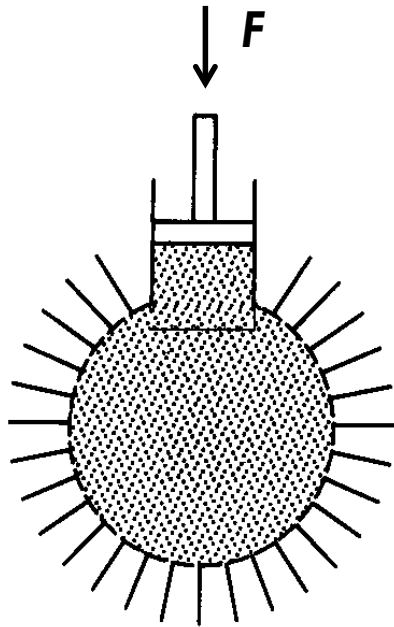
Una persona adulta sana ha una pressione arteriosa massima di 120 mmHg. A quanti Pa corrispondono?

$$120 \text{ mmHg} : x = 760 \text{ mmHg} : 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$x = \frac{120 \text{ mmHg} \cdot 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{760 \text{ mmHg}} = 0.158 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 15800 \text{ Pa}$$

Principio di Pascal

Se una forza esterna determina una pressione in un punto della superficie limite di un fluido, questa pressione si trasmette inalterata in ogni punto del fluido ed in tutte le direzioni

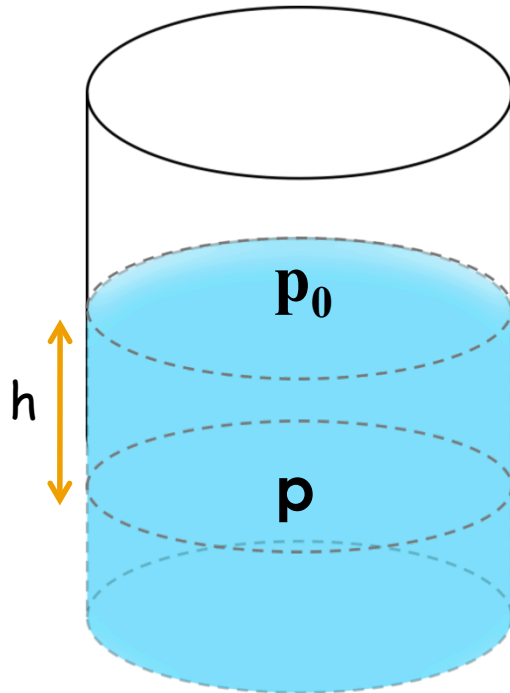


N.B.: Stiamo **trascuando il peso del fluido** oppure siamo in assenza di gravità

Ad esempio, con buona approssimazione, questa è la situazione di un gas in un contenitore

Legge di Stevino (I)

La pressione totale che agisce ad una profondità h all'interno di un fluido di densità ρ è pari a



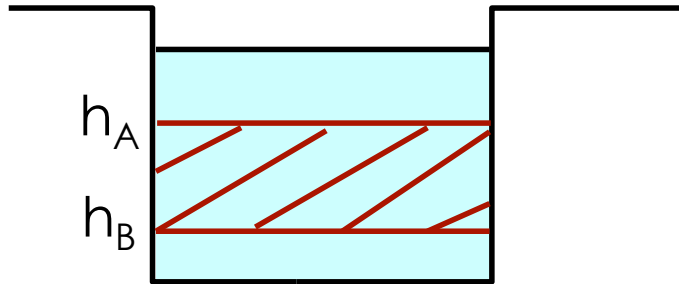
$$p = p_0 + \rho gh$$

- p_0 è la pressione che agisce sulla superficie libera del fluido
- ρgh è detta **pressione idrostatica** ed è la pressione che una colonna di fluido di altezza h esercita sulla sua base

L' aumento della pressione all' aumentare della profondità è dovuto all' aumento dello "spessore" (h) di fluido sovrastante

Legge di Stevino (II)

Ricaviamo la legge di Stevino in una forma più generale:



Consideriamo per semplicità un contenitore a pareti verticali e di superficie trasversa S con all'interno un liquido di densità ρ

Nota la pressione alla quota A, la pressione alla quota B può essere così calcolata:

$$p_B = p_A + \frac{mg}{S} = p_A + \frac{\rho Vg}{S} = p_A + \frac{\rho S(h_A - h_B)g}{S} = p_A + \rho g(h_A - h_B)$$

Forza peso del liquido contenuto tra A e B

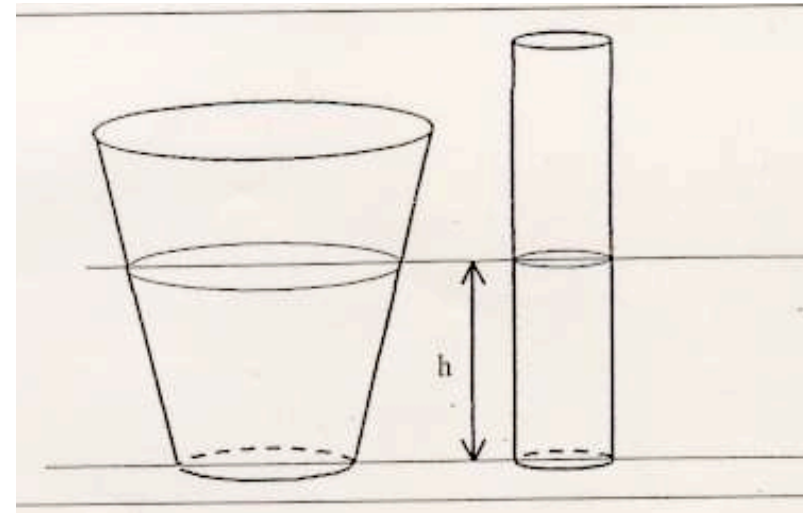
Spesso (ma non necessariamente) la quota A corrisponde alla superficie libera del liquido $\Rightarrow p_A = p_{atm}$

Domanda

Sono dati due recipienti di forma e volume diversi ma riempiti con uno stesso tipo di liquido. Sulla superficie libera dei due recipienti si esercita la stessa pressione. Se nei due recipienti si raggiunge la stessa altezza di liquido rispetto alle rispettive superfici di fondo (piane e orizzontali), in quale di essi la pressione sul fondo sarà maggiore?

- [a] In quello che contiene un maggior volume di liquido
- [b] In quello che ha una maggiore superficie libera
- [c] In entrambi i recipienti la pressione sul fondo sarà uguale
- [d] In quello che ha una maggiore superficie di fondo
- [e] In quello che ha una minore superficie di fondo

$$p = p_0 + \rho gh$$



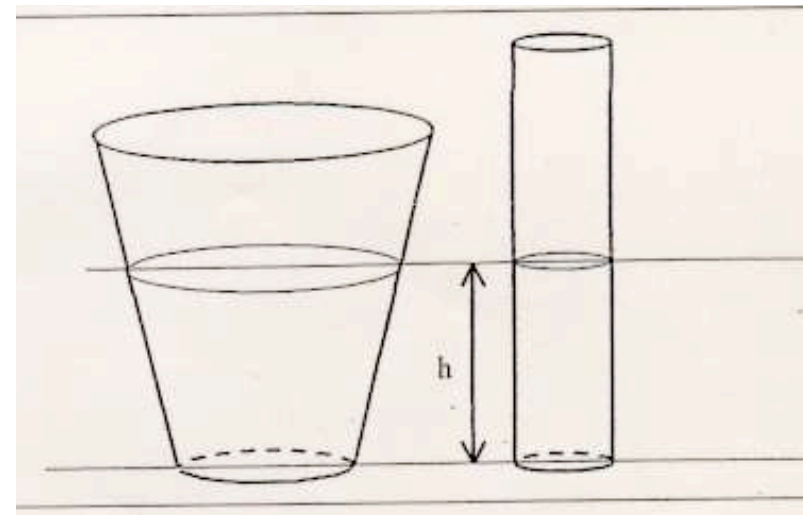
Domanda

Sono dati due recipienti di forma e volume diversi ma riempiti con uno stesso tipo di liquido. Sulla superficie libera dei due recipienti si esercita la stessa pressione. Se nei due recipienti si raggiunge la stessa altezza di liquido rispetto alle rispettive superfici di fondo (piane e orizzontali), in quale di essi la pressione sul fondo sarà maggiore?

- [a] In quello che contiene un maggior volume di liquido
- [b] In quello che ha una maggiore superficie libera
- [c] In entrambi i recipienti la pressione sul fondo sarà uguale
- [d] In quello che ha una maggiore superficie di fondo
- [e] In quello che ha una minore superficie di fondo



$$p = p_0 + \rho gh$$



Domanda

Mentre nuota sott'acqua, un ragazzo lascia uscire una bolla dalla bocca. Man mano che la bolla sale verso la superficie il suo diametro:


[a] aumenta

[b] diminuisce

[c] rimane costante

Domanda

Mentre nuota sott'acqua, un ragazzo lascia uscire una bolla dalla bocca. Man mano che la bolla sale verso la superficie il suo diametro:

- [a] aumenta 
- [b] diminuisce
- [c] rimane costante

Domanda

Un sommozzatore si immerge raggiungendo la pressione di 350 kPa. Nota la pressione atmosferica, $p_{atm} \sim 10^5$ Pa, la profondità raggiunta è

- [a] 5m
- [b] 15m
- [c] 25m
- [d] 35m
- [e] 45m

La pressione che agisce su un subacqueo alla profondità h è:

$$p = \rho gh + p_{atm} \quad \Rightarrow \quad \rho gh = p - p_{atm} \quad \Rightarrow \quad h = \frac{p - p_{atm}}{\rho g}$$

Domanda

Un sommozzatore si immerge raggiungendo la pressione di 350 kPa. Nota la pressione atmosferica, $p_{atm} \sim 10^5 \text{ Pa}$, la profondità raggiunta è

[a] 5m

[b] 15m

[c] 25m 

[d] 35m

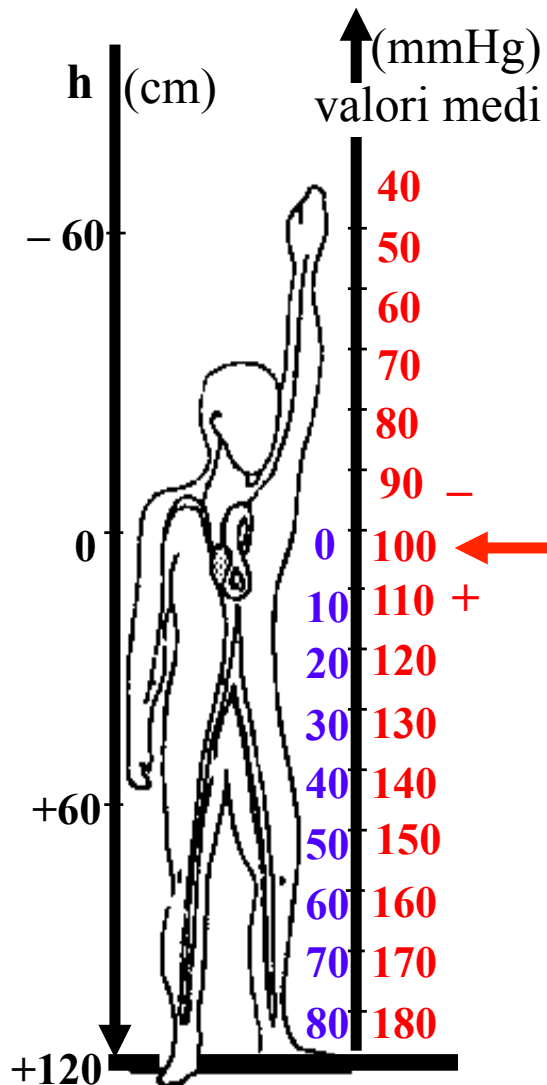
[e] 45m

La pressione che agisce su un subacqueo alla profondità h è:

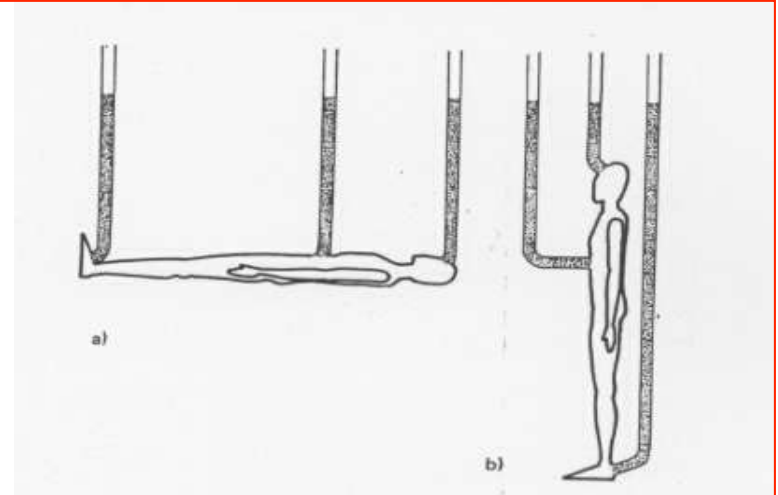
$$p = \rho g h + p_{atm} \quad \Rightarrow \quad \rho g h = p - p_{atm} \quad \Rightarrow \quad h = \frac{p - p_{atm}}{\rho g}$$

$$h = \frac{(350 - 100) \cdot 10^3 \text{ Pa}}{9.8 \text{ m/s}^2 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3} \cong 25 \text{ m}$$

Effetti della pressione idrostatica



La pressione nei diversi punti del corpo varia quando da sdraiati ci portiamo in posizione eretta



posizione eretta

$$p = p_{aorta} + \rho g \Delta h$$

$$\Delta h(\text{cuore}) = 0$$

Attenzione ad alzarsi troppo rapidamente !

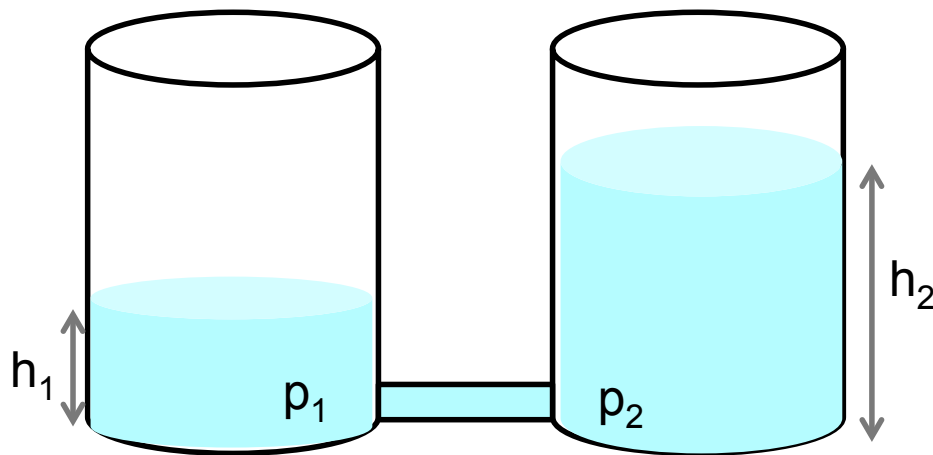
p_v p_a
pressione venosa **pressione arteriosa**

Vasi comunicanti



3 bottiglie (anche di forma differente), comunicanti con un tubicino, sono parzialmente riempite di acqua. Il livello dell'acqua è lo stesso nelle 3 bottiglie

Viene aggiunta acqua in una bottiglia; il livello dell'acqua si alza ma resta uguale nelle tre bottiglie



$$p_1 = p_0 + \rho g h_1$$

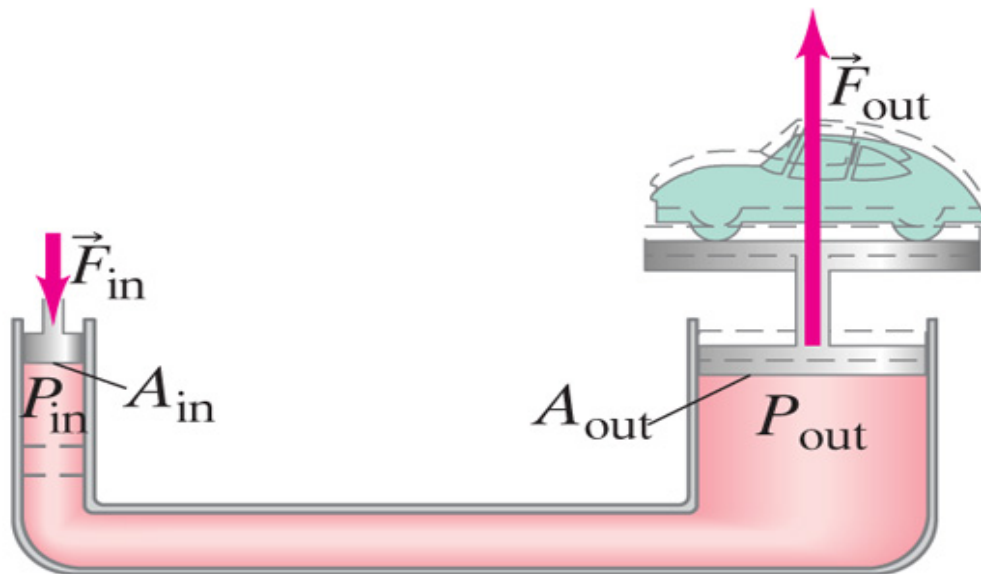
$$p_2 = p_0 + \rho g h_2$$

Essendo $h_2 > h_1 \rightarrow p_2 > p_1 \rightarrow$ il fluido scorre attraverso il tubicino dal contenitore 2 al contenitore 1 finchè le pressioni p_2 e p_1 diventano uguali, ossia finchè $h_2 = h_1$

Nei vasi comunicanti, punti alla stessa quota sono sottoposti ad uguale pressione !

Torchio idraulico

- Punti alla stessa quota sono sottoposti ad uguale pressione
- Se una forza esterna determina una pressione in un punto della superficie limite di un fluido, questa pressione si trasmette inalterata in ogni punto del fluido ed in tutte le direzioni



$$P_{OUT} = P_{IN}$$

$$\frac{F_{OUT}}{A_{OUT}} = \frac{F_{IN}}{A_{IN}}$$

$$F_{OUT} = \frac{A_{OUT}}{A_{IN}} F_{IN}$$

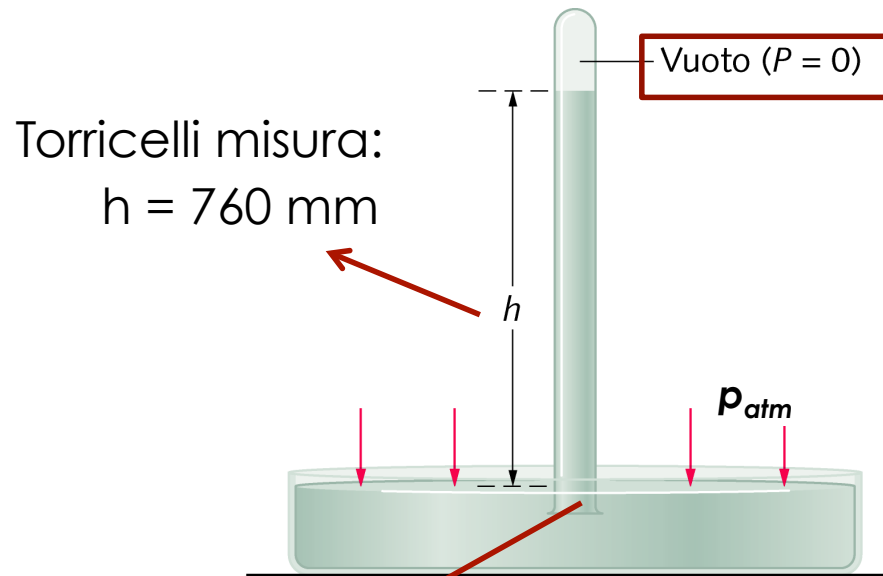
La forza F_{IN} applicata al pistone di superficie piccola determina una forza più grande F_{OUT} sul pistone di superficie più grande.

Pressione atmosferica

È la pressione esercitata dalla colonna di aria (atmosfera) che sta al di sopra della superficie terrestre

$$p_{\text{atm}} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1.013 \text{ bar}$$

Misurata da Torricelli nel 1643 con un barometro a mercurio



$$\begin{aligned} p_{\text{atm}} &= \rho_{\text{Hg}} g h = \\ &= 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.76 \text{ m} = \\ &= 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Il manometro (I)

Strumento destinato alla **misurazione della pressione**. Esempi:

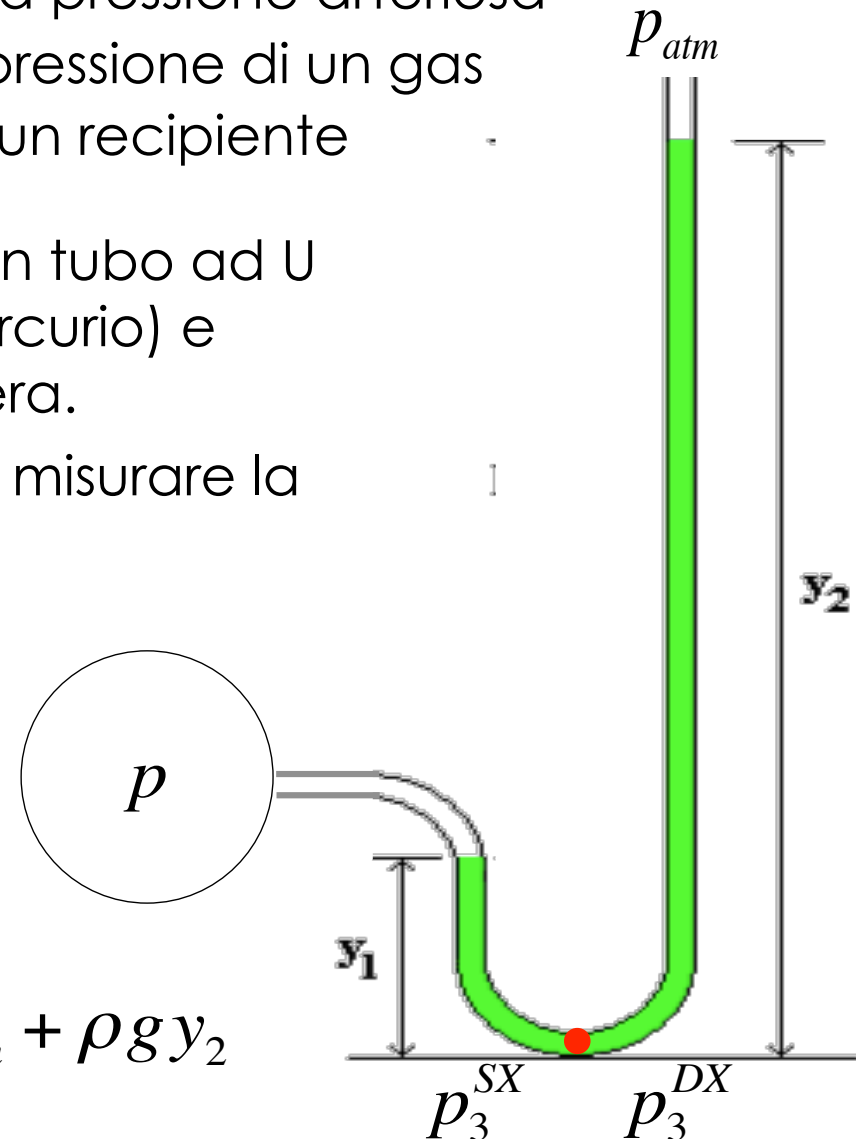
- **barometro** → misura della pressione atmosferica
- **sfigmomanometro** → misura della pressione arteriosa
- **manometro a U** → misura della pressione di un gas contenuto in un recipiente

Il manometro ad U è costituito da un tubo ad U contenente un liquido (di solito mercurio) e avente un ramo aperto all'atmosfera.

Il contenitore del gas di cui si vuole misurare la pressione si collega all'altro ramo.

Nel punto più basso (in rosso) le pressioni a destra e a sinistra sono uguali

$$p_3^{SX} = p + \rho g y_1$$
$$p_3^{SX} = p_3^{DX}$$
$$p_3^{DX} = p_{atm} + \rho g y_2$$



Il manometro (II)

$$p + \rho g y_1 = p_{atm} + \rho g y_2$$

$$p = p_{atm} + \rho g y_2 - \rho g y_1$$

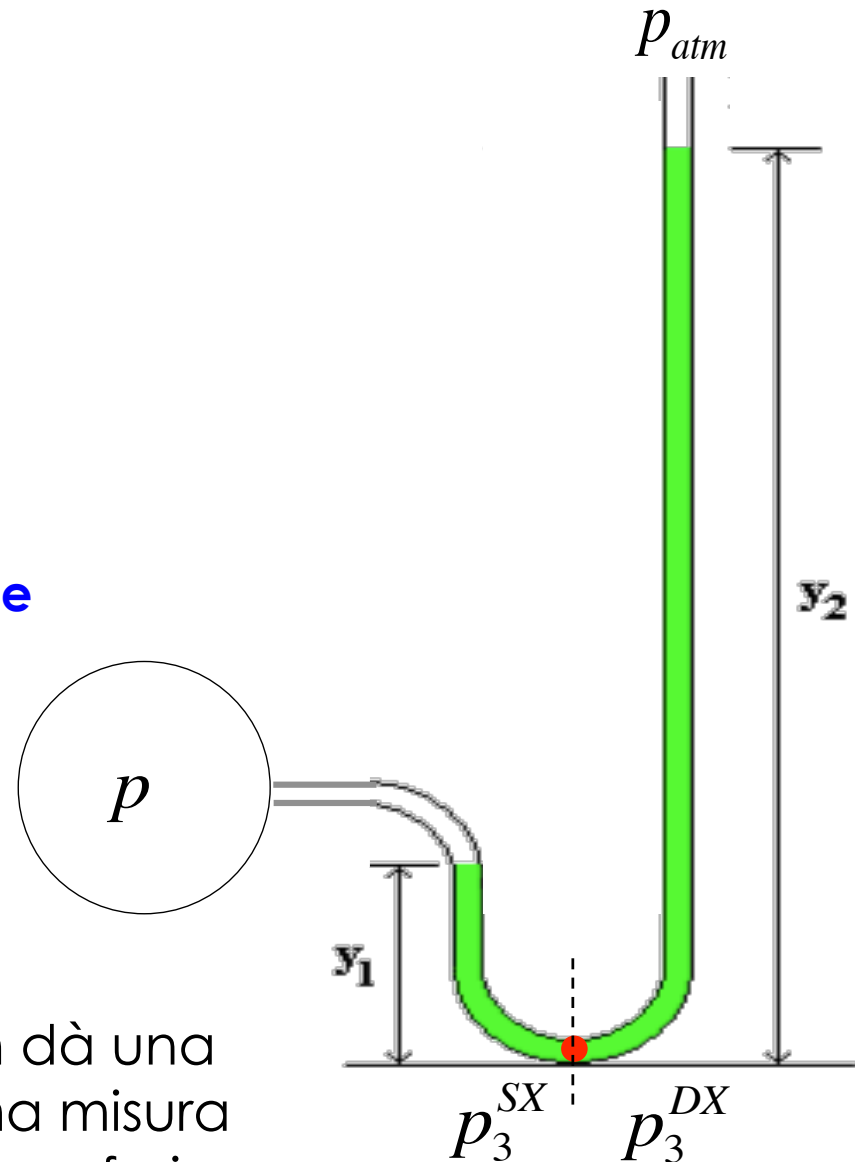
$$p = p_{atm} + \rho g (y_2 - y_1)$$

Grandezza misurabile

$$p - p_{atm} = \rho g h$$

Pressione relativa !

Il manometro è differenziale → non dà una misura assoluta della pressione p ma misura la differenza tra p e la pressione atmosferica



Principio di Archimede (I)

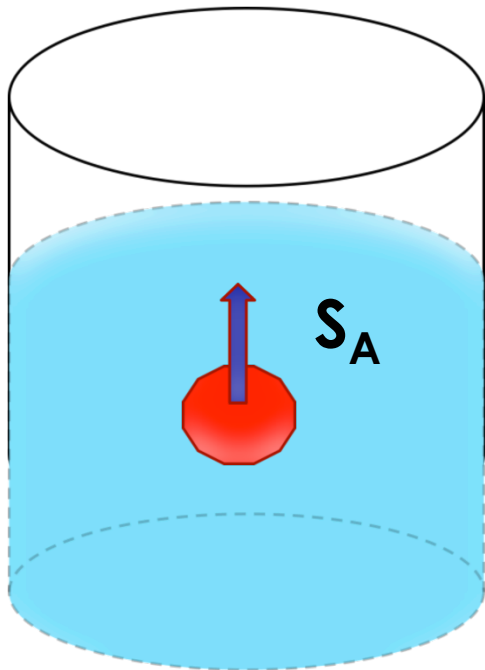
Ogni corpo totalmente o parzialmente immerso in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso del volume di fluido spostato.

Spinta di Archimede = Forza

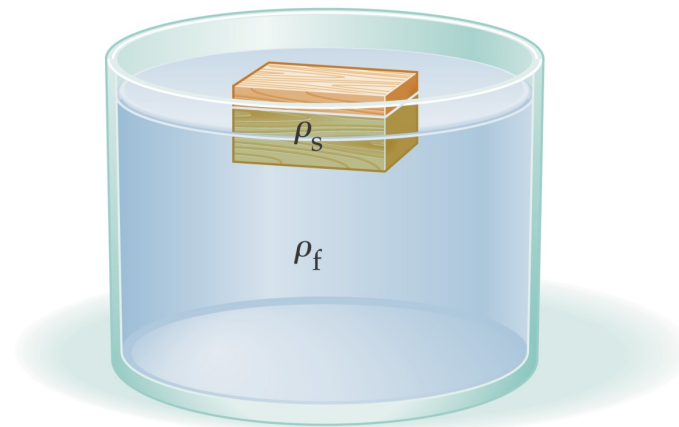
Direzione: retta verticale passante per il baricentro del corpo

Verso: verso l'alto

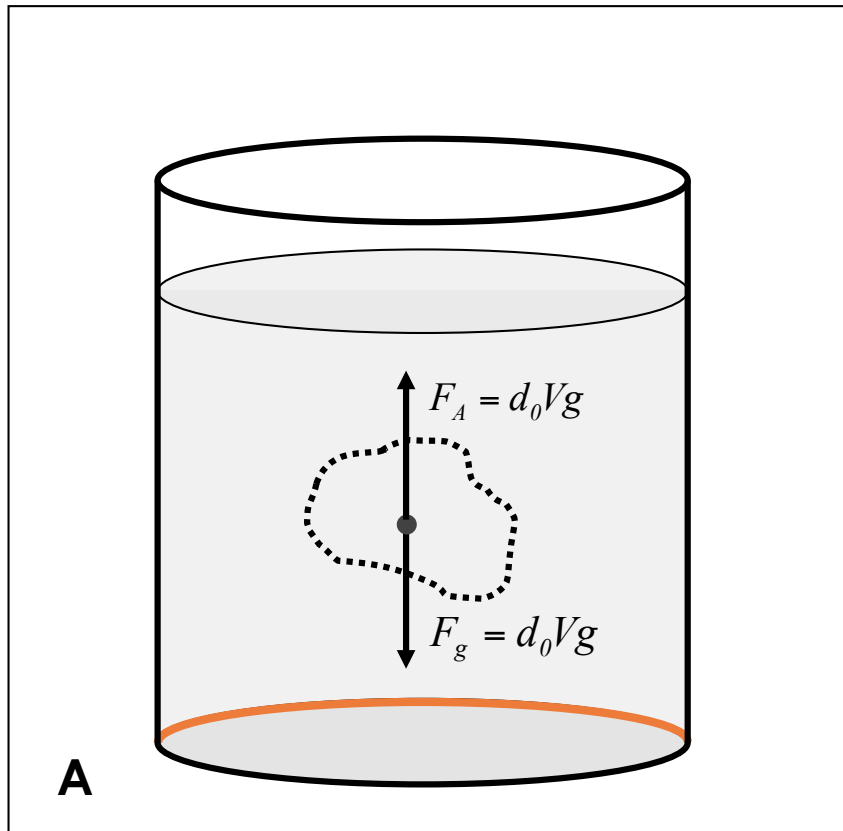
Modulo: $S_A = \rho_{FLUIDO} V_{IMM} g$



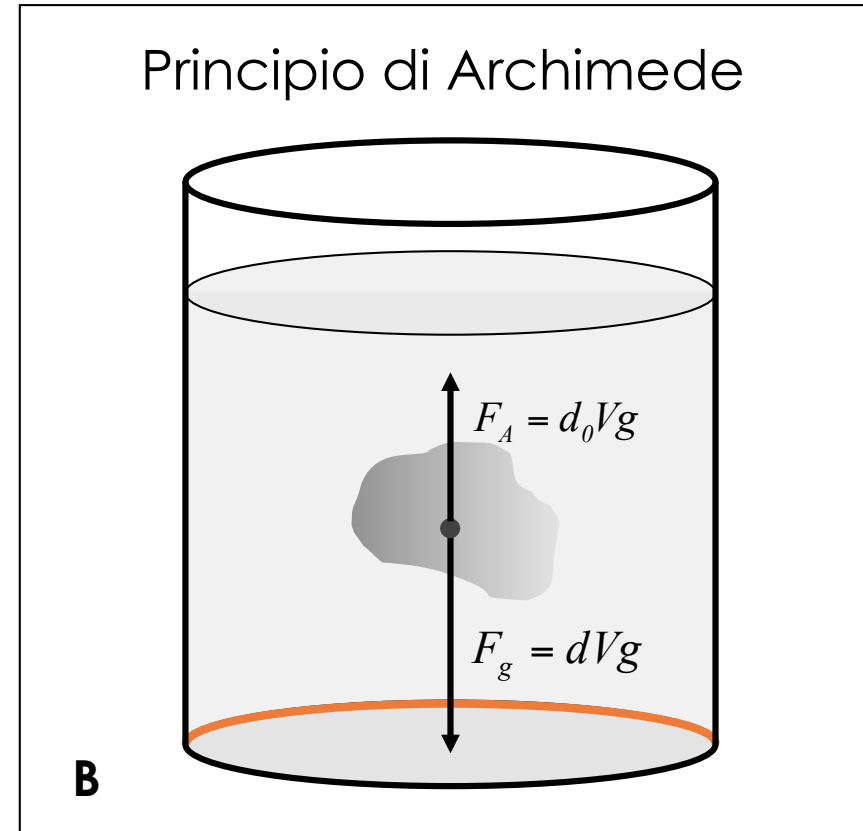
V_{IMM} = volume del corpo **immerso** nel fluido (può differire dal volume totale del corpo)



Principio di Archimede (II)



Forze agenti su un volume V di fluido in equilibrio



Forze agenti su un corpo di uguale volume V immerso nel fluido

La spinta di Archimede è dovuta alla risultante delle forze esercitate dal fluido circostante sul volume V

Domanda


Le spinte di Archimede esercitate su un pezzo di sughero e su un pezzo di ferro di uguale volume completamente immersi in acqua:

- 1) sono uguali
- 2) è maggiore quella del sughero
- 3) è maggiore quella del ferro
- 4) è assente per il ferro perchè va a fondo
- 5) Nessuna delle precedenti risposte è corretta

$$S_A = \rho_{FLUIDO} V g$$

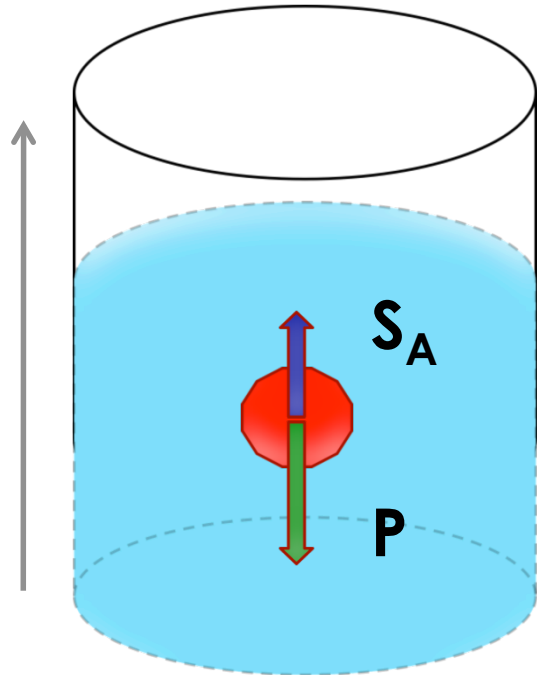
Domanda

Le spinte di Archimede esercitate su un pezzo di sughero e su un pezzo di ferro di uguale volume completamente immersi in acqua:

- 1) sono uguali 
- 2) è maggiore quella del sughero
- 3) è maggiore quella del ferro
- 4) è assente per il ferro perchè va a fondo
- 5) Nessuna delle precedenti risposte è corretta

$$S_A = \rho_{FLUIDO} V g$$

Cosa fa il corpo completamente immerso in un fluido?



$$S_A = \rho_{FLUIDO} Vg$$

$$P = m \cdot g = \rho_{CORPO} Vg$$

$$R = S_A - P = \rho_{FLUIDO} Vg - \rho_{CORPO} Vg$$

Forze applicate
al baricentro !

$$R = (\rho_{FLUIDO} - \rho_{CORPO}) Vg$$

$\rho_{CORPO} < \rho_{FLUIDO}$ corpo risale

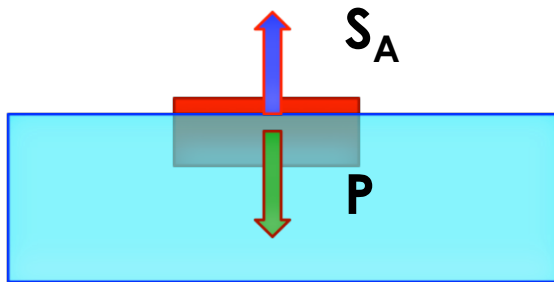
$\rho_{CORPO} = \rho_{FLUIDO}$ corpo fermo

$\rho_{CORPO} > \rho_{FLUIDO}$ corpo affonda

N.B.: Il corpo è sottoposto ad una risultante di forze

→ **moto uniformemente accelerato !**

Condizione di galleggiamento

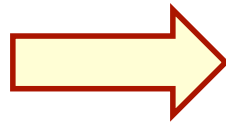


$$\rho_{CORPO} < \rho_{FLUIDO}$$

Il corpo è in equilibrio quando:

$$R = S_A - P = 0$$

$$R = S_A - P = \rho_{FLUIDO} V_{IMM} g - \rho_{CORPO} V g = 0$$



$$\frac{V_{IMM}}{V} = \frac{\rho_{CORPO}}{\rho_{FLUIDO}}$$

Domanda


Un corpo che ha una massa di 60 g e un volume di 50 cm³ viene completamente immerso in acqua. Cosa succede?

- [a] Galleggia sulla superficie
- [b] Affonda ma non è possibile prevedere a quale profondità
- [c] Resta sospeso in prossimità della superficie
- [d] Resta sospeso in un punto intermedio tra la superficie e il fondo
- [e] Affonda e va ad adagiarsi sul fondo

Calcolo la densità del corpo e la confronto con la densità dell'acqua

Domanda

Un corpo che ha una massa di 60 g e un volume di 50 cm³ viene completamente immerso in acqua. Cosa succede?

- [a] Galleggia sulla superficie
- [b] Affonda ma non è possibile prevedere a quale profondità
- [c] Resta sospeso in prossimità della superficie
- [d] Resta sospeso in un punto intermedio tra la superficie e il fondo
- [e] Affonda e va ad adagiarsi sul fondo 

Calcolo la densità del corpo e la confronto con la densità dell'acqua

$$\rho_{\text{CORPO}} = 60\text{g}/(50 \text{ cm}^3) = 1.2 \text{ g/cm}^3 > \rho_{\text{ACQUA}}$$

Domanda

Un oggetto omogeneo galleggia sull'acqua. La metà del suo volume è immersa. La densità del corpo è:

[a] 1000 kg/m^3

[b] 500 kg/m^3

[c] 2000 kg/m^3

[d] non ci sono sufficienti elementi per rispondere

[e] 0.5 kg/m^3

Domanda

Un oggetto omogeneo galleggia sull'acqua. La metà del suo volume è immersa. La densità del corpo è:

[a] 1000 kg/m^3

[b] 500 kg/m^3 ←

[c] 2000 kg/m^3

[d] non ci sono sufficienti elementi per rispondere

[e] 0.5 kg/m^3

$$P = m \cdot g = \rho_{\text{CORPO}} V g$$

$$S_A = \rho_{\text{FLUIDO}} V_{\text{IMM}} g = \rho_{\text{FLUIDO}} \frac{V}{2} g = \frac{\rho_{\text{FLUIDO}}}{2} V g$$

Il corpo galleggia se $P = S_A$, ossia se

$$\rho_{\text{CORPO}} = \frac{\rho_{\text{FLUIDO}}}{2} = \frac{10^3 \text{ kg/m}^3}{2} = 500 \text{ kg/m}^3$$

