

ARGOMENTI DEL PRE-CORSO

1. Introduzione:

- a. Grandezze fisiche e unità di misura
- b. Richiami di matematica

2. Vettori

3. Meccanica

- a. Cinematica (velocità e accelerazione)
- b. Dinamica del punto materiale, Lavoro ed Energia
- c. Meccanica dei Fluidi



4. Calorimetria e Termodinamica

- a. Temperatura, scambi di calore
- b. Principi della Termodinamica



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO

Dipartimento di
Medicina
Veterinaria



Lezioni di Fisica

Meccanica dei Fluidi Fluidostatica

Dott. Nicola Nicassio
Dipartimento di Fisica
Nicola.Nicassio@uniba.it

...in questa lezione

- ✓ Stati di aggregazione della materia
- ✓ Pressione nei fluidi e legge di Stevino
- ✓ Pressione atmosferica
- ✓ Il Principio di Pascal
- ✓ Strumenti di misurazione della pressione
- ✓ Galleggiamento e Principio di Archimede
- ✓ Capillarità

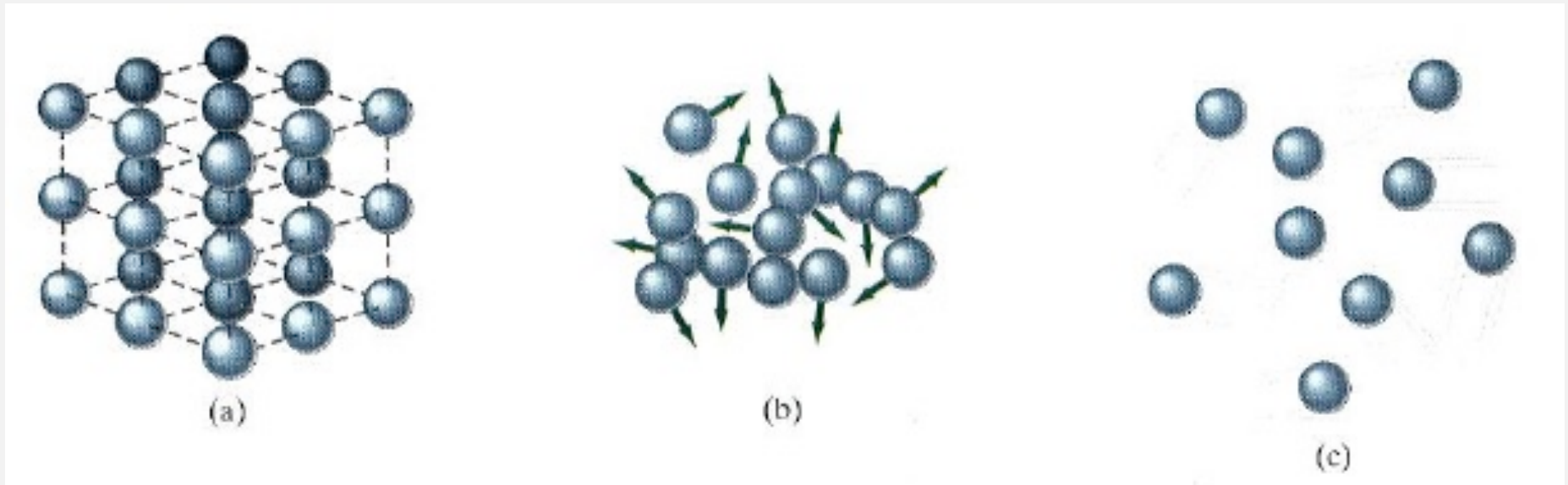
Stati di aggregazione della materia

- **Stato solido:** la sostanza ha **volume** e **forma** ben definiti.
- **Stato liquido:** la sostanza ha **volume** ben definite, ma assume la **forma** del recipiente che lo contiene.
- **Stato aereiforme o gassoso:** la sostanza ha non ha un **volume** e **forma** propri, ma occupa sempre tutto lo spazio a disposizione.

Poichè liquidi e gas non hanno una forma prefissata ed entrambi hanno la capacità' di fluire, ci si riferisce ad essi con il nome collettivo di **FLUIDI**.

Stati di aggregazione della materia

Disposizione degli atomi in un (a) solido cristallino, un (b) liquido, (c) gas.



Densità

La **densità** ρ di una sostanza e' definita come la sua massa per unita' di volume:

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

Unita' di misura nel S.I. e' il kg/m^3

Unita' di misura nel cgs e' il g/cm^3

La densita' **relativa** di una sostanza e' definita come il rapporto tra la sua densita' e quella dell'acqua a 4.0 C° .

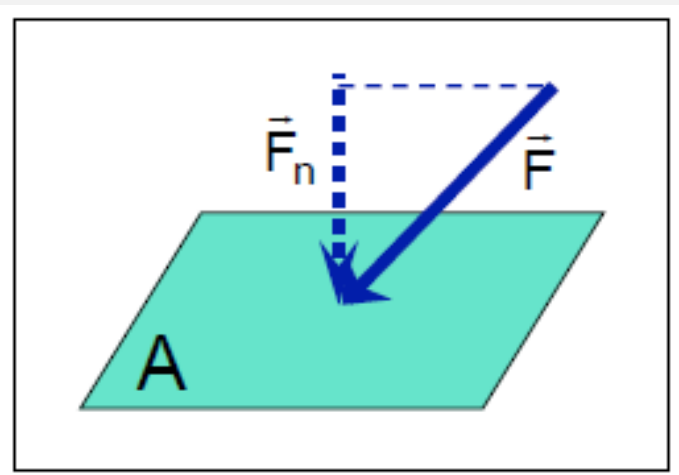
TABLE 10-1
Densities of Substances[†]

Substance	Density, ρ (kg/m^3)
<i>Solids</i>	
Aluminum	2.70×10^3
Iron and steel	7.8×10^3
Copper	8.9×10^3
Lead	11.3×10^3
Gold	19.3×10^3
Concrete	2.3×10^3
Granite	2.7×10^3
Wood (typical)	$0.3 - 0.9 \times 10^3$
Glass, common	$2.4 - 2.8 \times 10^3$
Ice (H_2O)	0.917×10^3
Bone	$1.7 - 2.0 \times 10^3$
<i>Liquids</i>	
Water (4°C)	1.000×10^3
Sea water	1.025×10^3
Blood, plasma	1.03×10^3
Blood, whole	1.05×10^3
Mercury	13.6×10^3
Alcohol, ethyl	0.79×10^3
Gasoline	$0.7 - 0.8 \times 10^3$
<i>Gases</i>	
Air	1.29
Helium	0.179
Carbon dioxide	1.98
Water (steam) (100°C)	0.598

[†]Densities are given at 0°C and 1 atm pressure unless otherwise specified.

Pressione

Si definisce pressione il rapporto tra il modulo della componente normale della forza agente su di una superficie F_n e l'area A della superficie.



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

Unità di misura nel **S.I.**

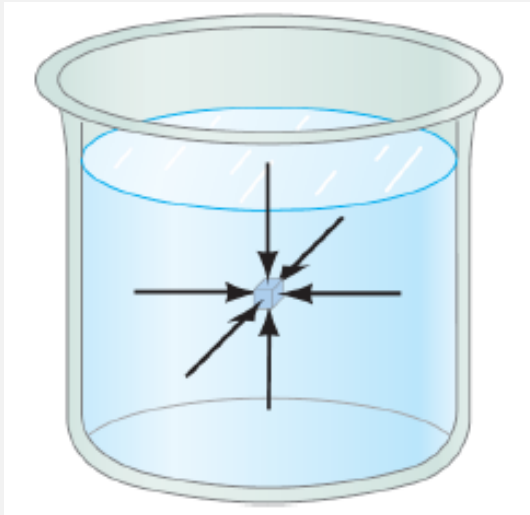
$$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa (pascal)}$$

Unità di misura nel **C.G.S.**

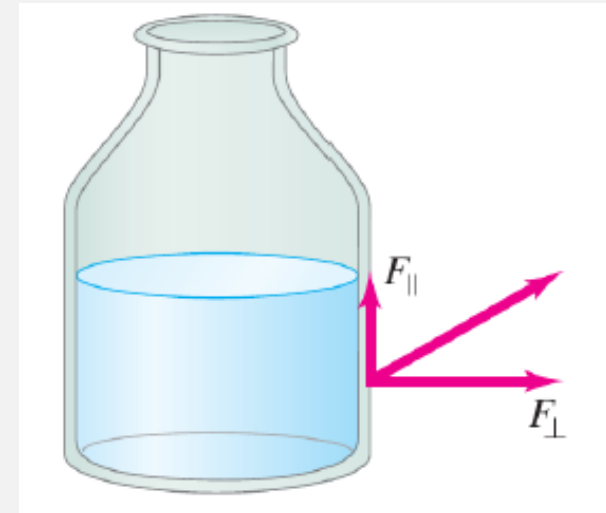
$$\frac{\text{dina}}{\text{cm}^2} = \text{baria}$$

Proprietà' dei fluidi in quiete

- Un **fluido** si dice **in quiete** se è fermo e non fluisce in nessuna direzione. Si trova sperimentalmente che:



La pressione in un fluido ad una data profondità e' la stessa **in ogni direzione**; se così' non fosse il fluido sarebbe in moto.



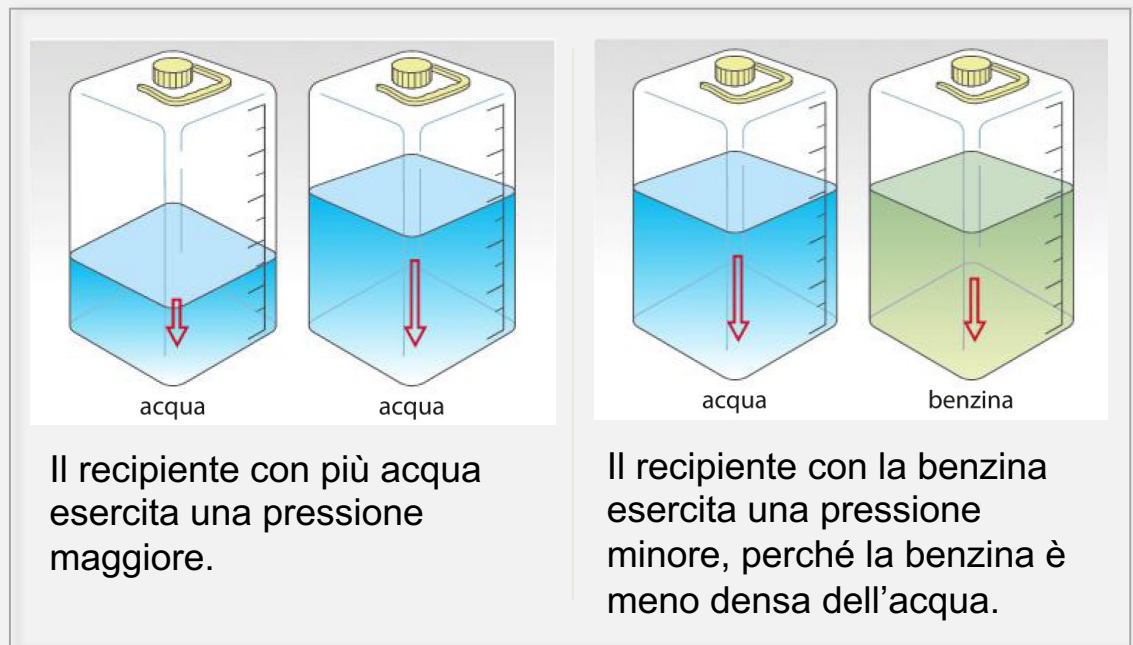
La forza dovuta alla pressione del fluido agisce sempre **perpendicolarmente** a qualsiasi superficie solida con cui e' in contatto, $F_{\parallel} = 0$

Proprietà' dei fluidi in quiete

■ La **pressione idrostatica** è la pressione esercitata da un **liquido in equilibrio**.

■ Osservazioni sperimentali

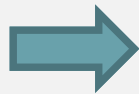
La **pressione idrostatica** dipende dalla **profondità** e dalla **natura** del liquido.



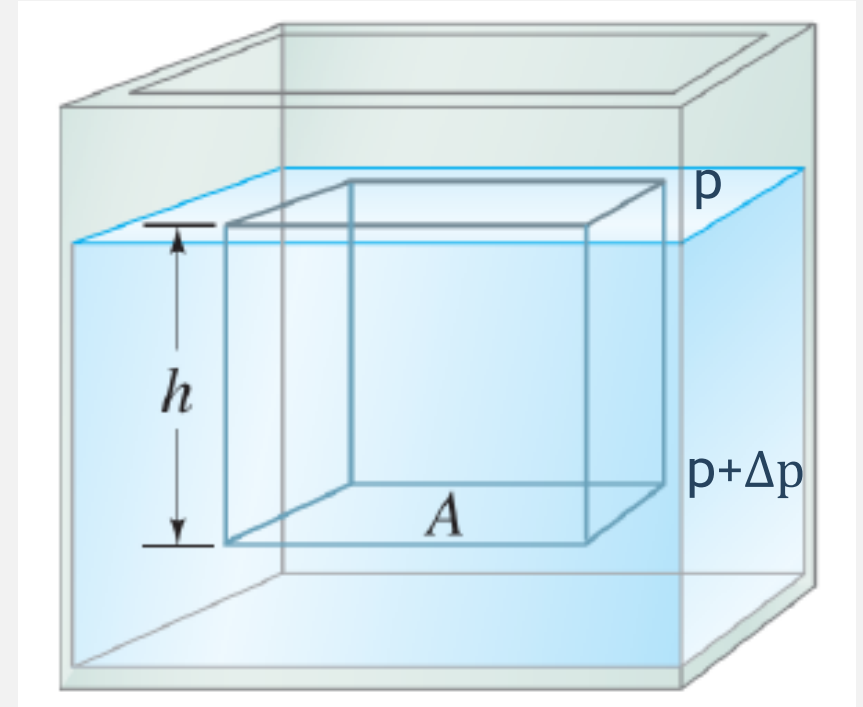
Legge di Stevino

- La pressione in un liquido di densità uniforme varia con la profondità.
 - La pressione sulla superficie superiore del liquido è P ;
 - La variazione di pressione ΔP alla profondità h , è dovuta al peso della colonna di liquido sovrastante.

$$F = mg = \rho V g = \rho Ahg$$



$$\Delta P = \frac{F}{A} = \rho gh$$



RICORDA

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$ è la costante di proporzionalità che lega il peso P e la massa m : $P = m \times g$

Pressione atmosferica e relativa

- L'aria è un fluido ed esercita una pressione. In un dato luogo, essa varia leggermente con le condizioni metereologiche.

Al livello del mare è mediamente:

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 101.3 \text{ kPa}$$

- Tutti gli strumenti di misurazione della pressione registrano il valore di scostamento della pressione rispetto a quello della pressione atmosferica.

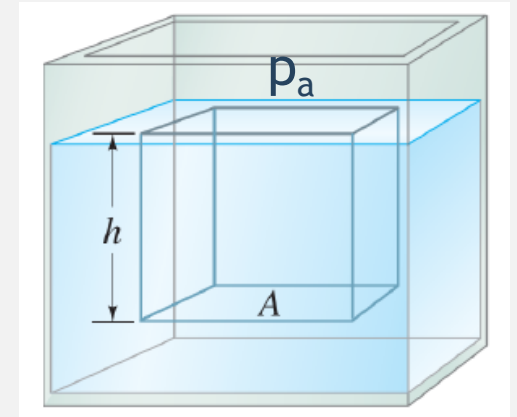
$P = P_A + P_S$

pressione assoluta pressione relativa

Legge di Stevino generalizzata

■ Legge di Stevino generalizzata

$$\Delta P = \frac{F}{A} = \rho g h \quad \longrightarrow \quad p = g \cdot d \cdot h + p_a$$



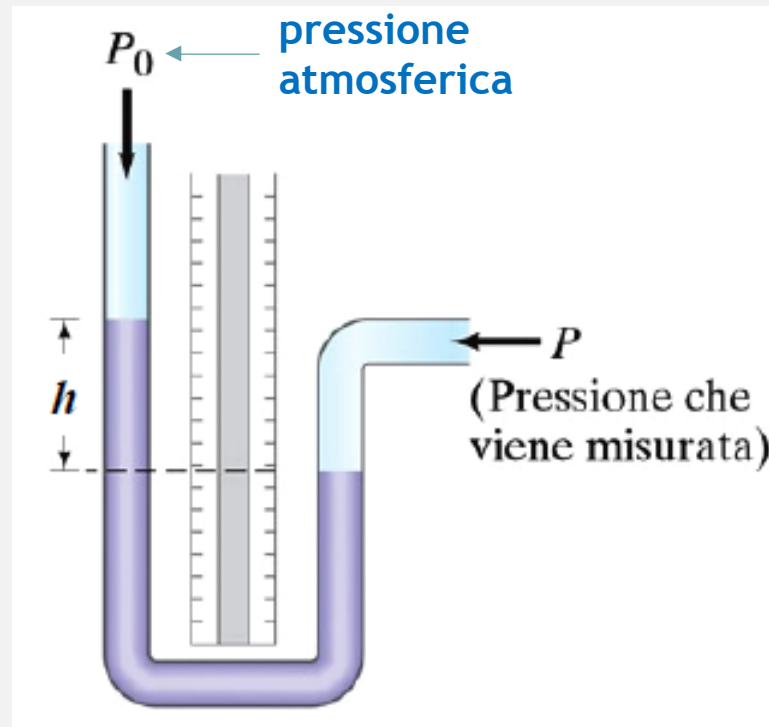
p : pressione alla base della colonna di liquido

p_a : pressione atmosferica che agisce sulla superficie libera del liquido

– La pressione alla base è la **somma** della **pressione esterna** (la pressione atmosferica p_a) e della pressione dovuta al **peso della colonna di liquido** $g \cdot d \cdot h$

Misuratore di pressione

Manometro a tubo aperto

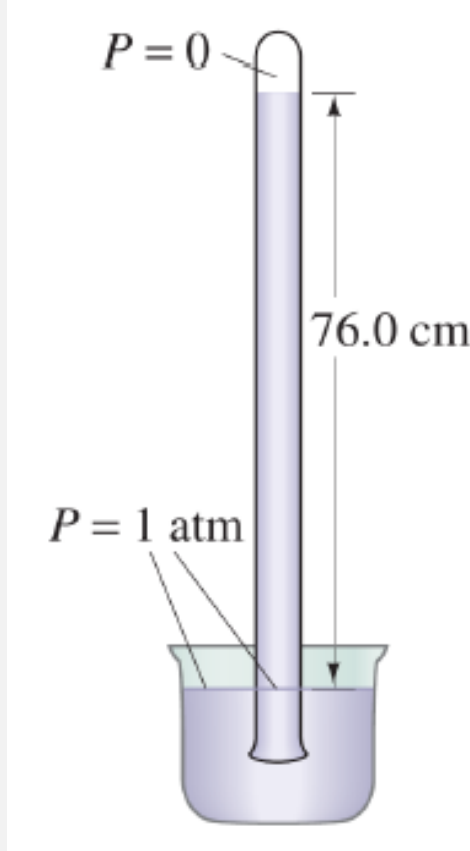


P misurata è legata alla differenza di altezza Δh tra i due livelli del liquido.

$$P = P_0 + \rho g \Delta h,$$

Barometri

Barometro a mercurio (Torricelli)



La pressione esercitata dall'atmosfera è pari alla pressione esercitata da una colonna di mercurio alta 76 cm.

Il tubo di vetro viene riempito di mercurio e capovolto in un recipiente contenente mercurio stesso.

Barometro ad acqua

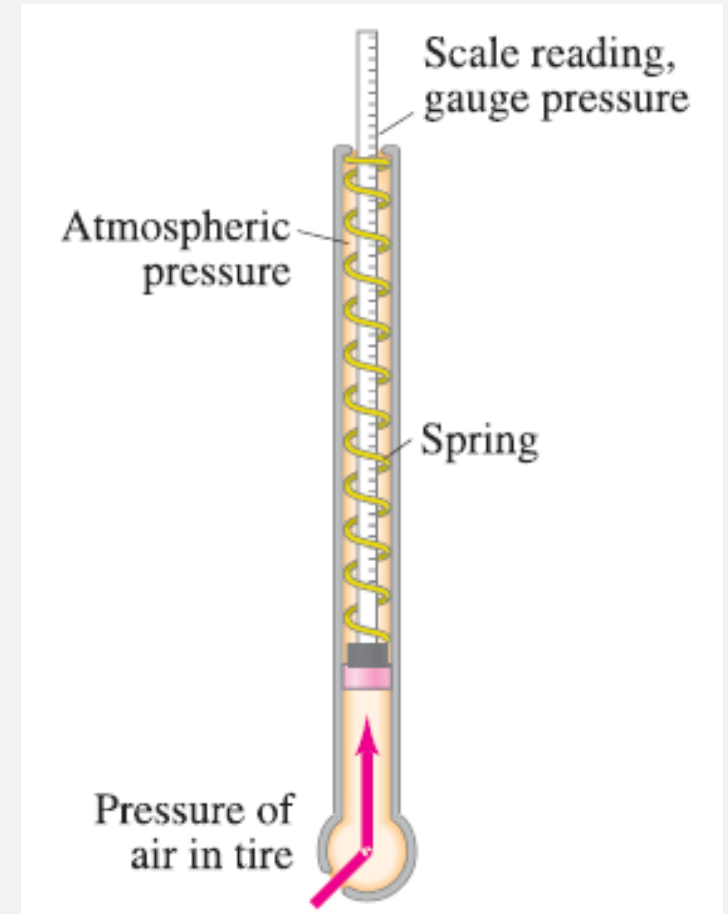


Manometri per pneumatici



La pressione dell'aria degli pneumatici è maggiore di quella atmosferica.

Allora una molla viene compressa e si può leggere il valore di pressione da una scala graduata (precedentemente tarata)



Unità di misura della pressione

1 mmHg o torr = pressione esercitata da una colonnina di mercurio alta 1mm

1 cmH₂O = pressione esercitata da una colonnina di acqua alta 1cm

$$1 \text{ mmHg} = 1.36 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$1 \text{ atm} = 764 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ atm} \sim 100 \text{ KPa}$$

1 Pa = 1 N/m²	Relativamente a 1 atm
1 atm = $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 101.3 \text{ kPa}$	1 atm = $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
1 bar = $1.000 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	1 atm = 1.013 bar
1 dyne/cm ² = 0.1 N/m ²	1 atm = $1.013 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$
1 lb/in ² = $6.90 \times 10^3 \text{ N/m}^2$	1 atm = 14.7 lb/in ²
1 lb/ft ² = 47.9 N/m ²	1 atm = $2.12 \times 10^3 \text{ lb/ft}^2$
1 cmHg = $1.33 \times 10^3 \text{ N/m}^2$	1 atm = 76 cmHg
1 mmHg = 133 N/m ²	1 atm = 760 mmHg
1 torr = 133 N/m ²	1 atm = 760 torr
1 mmH ₂ O (4°C) = 9.81 N/m ²	1 atm = $1.03 \times 10^4 \text{ mmH}_2\text{O} (4^\circ\text{C})$

Fisica della circolazione

Lo studio dei fluidi ha molte applicazioni in campo biologico, soprattutto per quanto riguarda il funzionamento dei principali apparati di “**distribuzione**” dei nutrienti o dei gas respiratori.

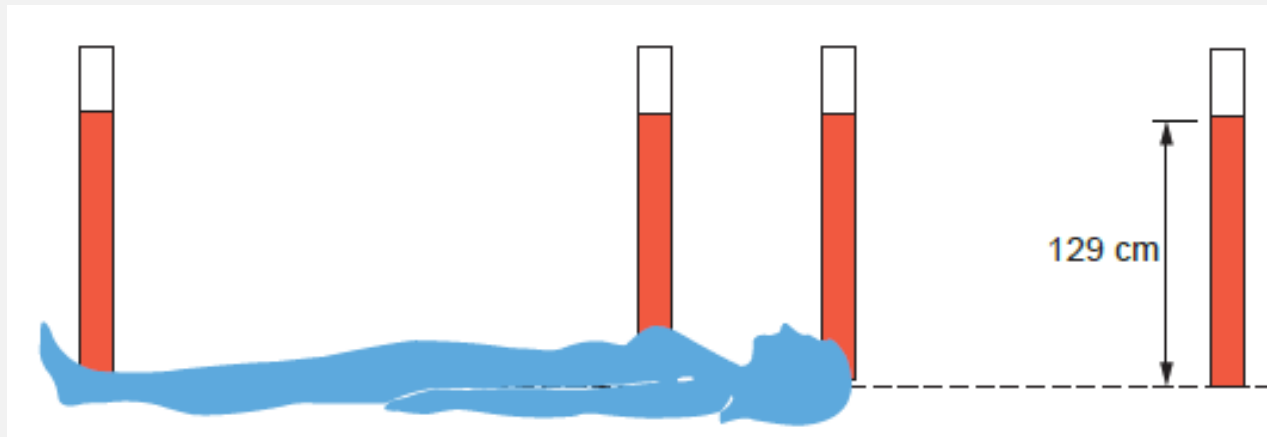
Sistema vascolare

Il sistema vascolare si articola in *distretti* posti tra loro *in parallelo*.

- **Arterie ed arteriole** : vasi che portano il sangue ai tessuti.
- **Venule e vene** : vasi che drenano, trasportando rifiuti e scarti.
- **Capillari** : vasi che scambiano nutrienti e gas.

Pressione idrostatica nel corpo umano

Quando il corpo è in posizione orizzontale, la **pressione arteriosa media** è approssimativamente **costante in tutto il corpo** dato che la caduta di pressione nelle arterie principali è piccola.



pressione arteriosa media ~ 100 mmHg

In base alla legge di Stevino, la nostra pressione arteriosa potrebbe supportare una colonna di sangue alta 129 cm.

Pressione idrostatica nel corpo umano

In posizione eretta, la **pressione saunguigna nelle arterie non è uniforme** nelle varie parti del corpo:

peso del sangue

Ricorda:

- $P_{\text{cuore}} \approx 100 \text{ mmHg}$

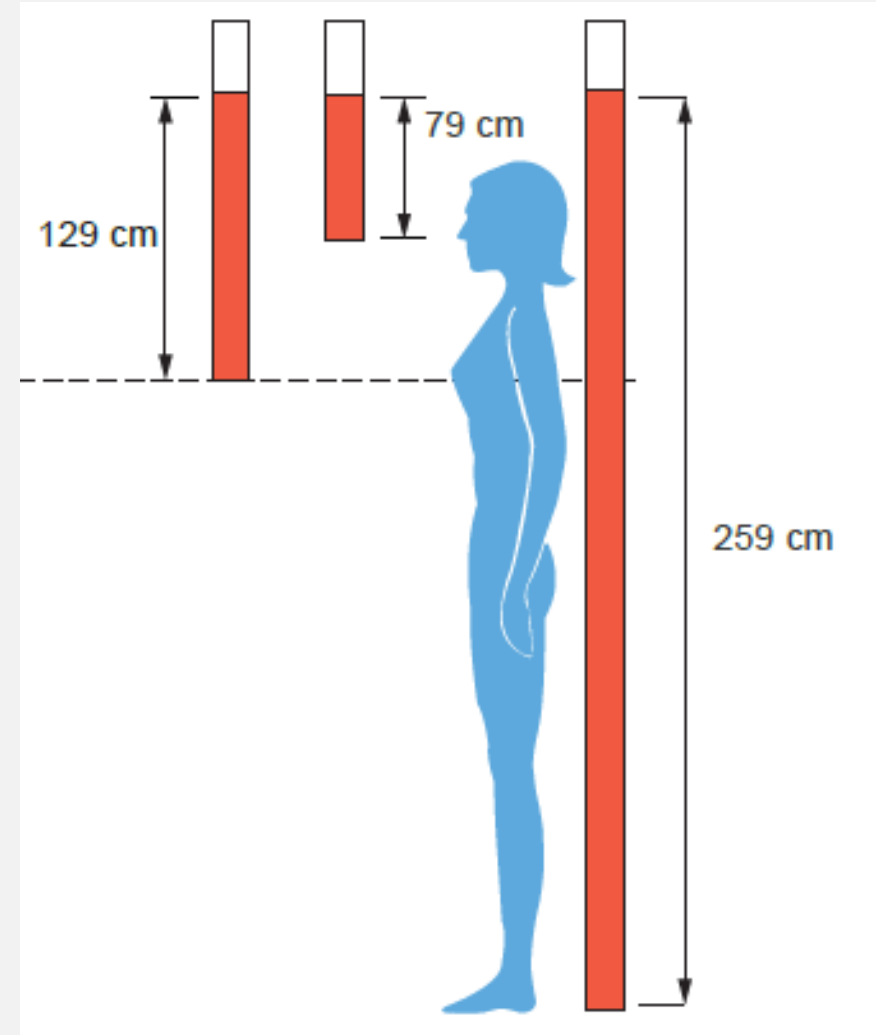
Esempi:

- Arteria della testa:
 - 50 cm sopra il cuore,
 - densità del sangue = 1.05 g/cm^3

$$P_{\text{testa}} = P_{\text{cuore}} - \rho gh = 61 \text{ mmHg}$$

- Arteria dei piedi:
 - 130 cm sotto il cuore,
 - densità del sangue = 1.05 g/cm^3

$$P_{\text{piedi}} = P_{\text{cuore}} + \rho gh = 200 \text{ mmHg}$$



Pressione idrostatica nel corpo umano

- Il sistema cardiovascolare ha vari meccanismi di controllo del flusso per compensare le variazioni di pressione arteriosa causati dal cambiamento delle posizioni del corpo.
- La **pressione del sangue nelle vene è inferiore** rispetto alle arterie:
 - in posizione eretta è appena sufficiente a forzare il sangue dai piedi al cuore.
- La pressione sanguigna nella maggior parte degli animali è nello stesso intervallo di quella degli esseri umani.

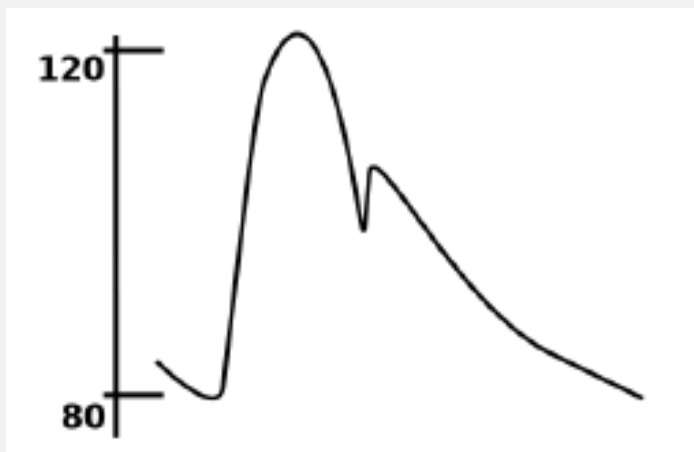
Esempi: pressione sistolica di maiale, gatto, cane = 120 mmHg.

Eccezione: giraffa (collo molto al di sopra del cuore) = 240/160 mmHg.

Sfigmomanometro

La pressione sanguigna corrisponde alla pressione esercitata dal sangue che circola tra le pareti ed i vasi sanguigni.

La **pressione arteriale** si misura in mmHg.



Lo **sfigmomanometro manuale** è composto da una camera d'aria ricoperta da un manicotto di tela e collegata a una peretta. Il bracciale viene infilato al braccio del paziente e allacciato all'altezza del bicipite brachiale; tra il braccio e il manicotto viene posto uno stetoscopio. Utilizzando la peretta si gonfia la camera d'aria, esercitando così una pressione sull'arteria brachiale tale da interrompere il flusso sanguigno. Si procede poi pian piano ad abbassare la pressione finché non si avverte uno "schiocco": è il sangue che ha ripreso a fluire, questa misurazione corrisponde alla cosiddetta "**massima**". Si continua a far scendere la pressione fino a che il rumore si smorza ed è costante: in questo momento è possibile misurare la "**minima**".

Il Principio di Pascal

Il **principio di Pascal** afferma che *se ad un fluido racchiuso in un recipiente viene applicata una pressione esterna, in ogni punto del fluido la pressione aumenta della stessa quantità.*

$$P_{out} = P_{in}$$

(sapendo che:
 $P = F/A$)

$$\frac{F_{out}}{A_{out}} = \frac{F_{in}}{A_{in}},$$

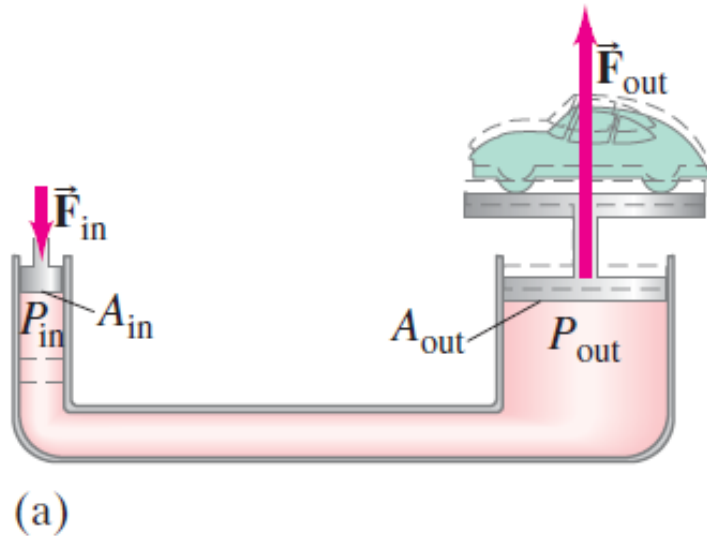
(o equiv.)

$$\frac{F_{out}}{F_{in}} = \frac{A_{out}}{A_{in}}$$

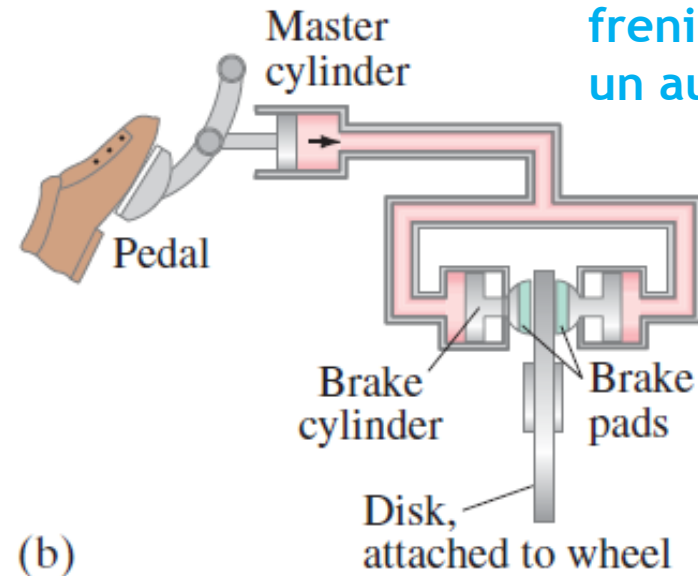
vantaggio
meccanico

Applicazioni del principio di Pascal:

martinetto idraulico

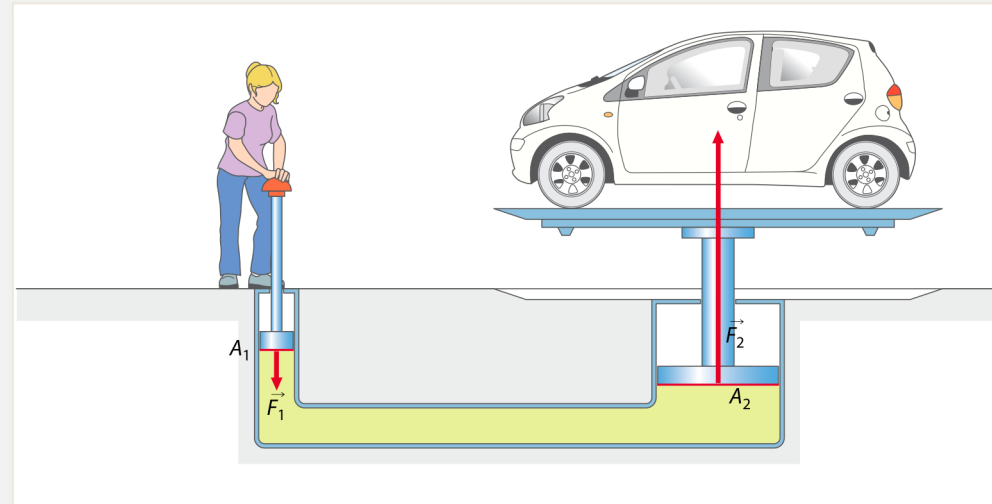


freni idraulici di un'automobile



Il Principio di Pascal - Applicazione

■ Nel sollevatore idraulico la pressione p_1 sul pistone del cilindro piccolo si trasmette invariata alla superficie inferiore del pistone del cilindro più grande.



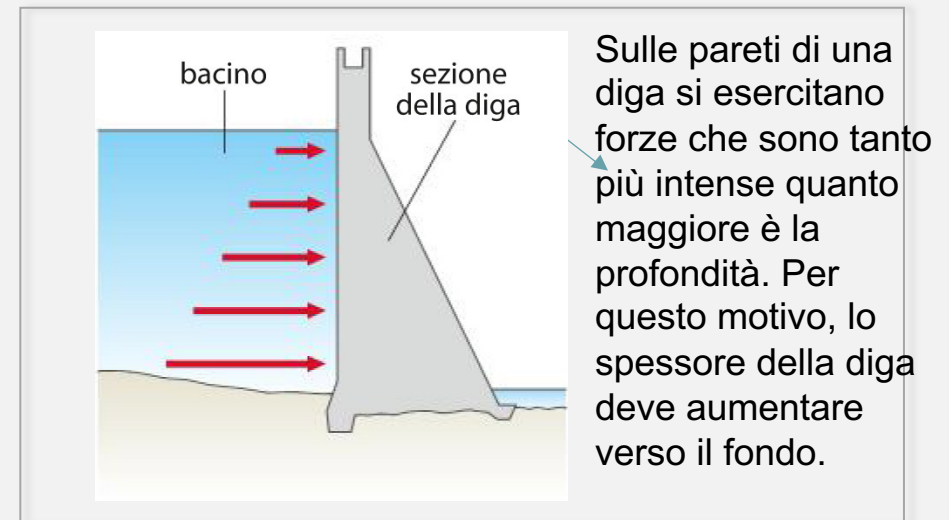
$$p_1 = p_2 \longrightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \longrightarrow F_1 : A_1 = F_2 : A_2 \longrightarrow F_1 : F_2 = A_1 : A_2$$

Le **forze** esercitate dai pistoni sono **direttamente proporzionali** all'area della **superficie** dei pistoni stessi: $A_2 > A_1$, quindi $F_2 > F_1$

Il Principio di Pascal - Applicazione

Il **principio di Pascal** afferma che *se viene applicata una pressione esterna, ad un fluido racchiuso in un recipiente, in ogni punto del fluido la pressione aumenta della stessa quantità.*

■ La pressione esercitata da un liquido si trasmette sulle pareti del recipiente che lo contengono. La pressione, e quindi la forza sulle pareti, aumenta con la profondità.



ESEMPIO 1 A 10 m di profondità la pressione sulla parete della diga è:

$$p = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9,8 \text{ N/kg}) \times (10 \text{ m}) = 98\,000 \text{ N/m}^2 = 9,8 \times 10^4 \text{ Pa}$$

A 20 m la pressione è doppia, a 30 m è tripla e così via.

Il Principio di Pascal - Applicazione

Il **principio di Pascal** afferma che *se viene applicata una pressione esterna, ad un fluido racchiuso in un recipiente, in ogni punto del fluido la pressione aumenta della stessa quantità.*

■ Una **pressione esercitata sulla superficie** di un liquido **si trasmette con la stessa intensità** a ogni altra superficie a contatto con il liquido, indipendentemente da come essa è orientata



La pressione esercitata sulla parete esterna della bottiglia si trasmette all'interno e fa uscire l'acqua.

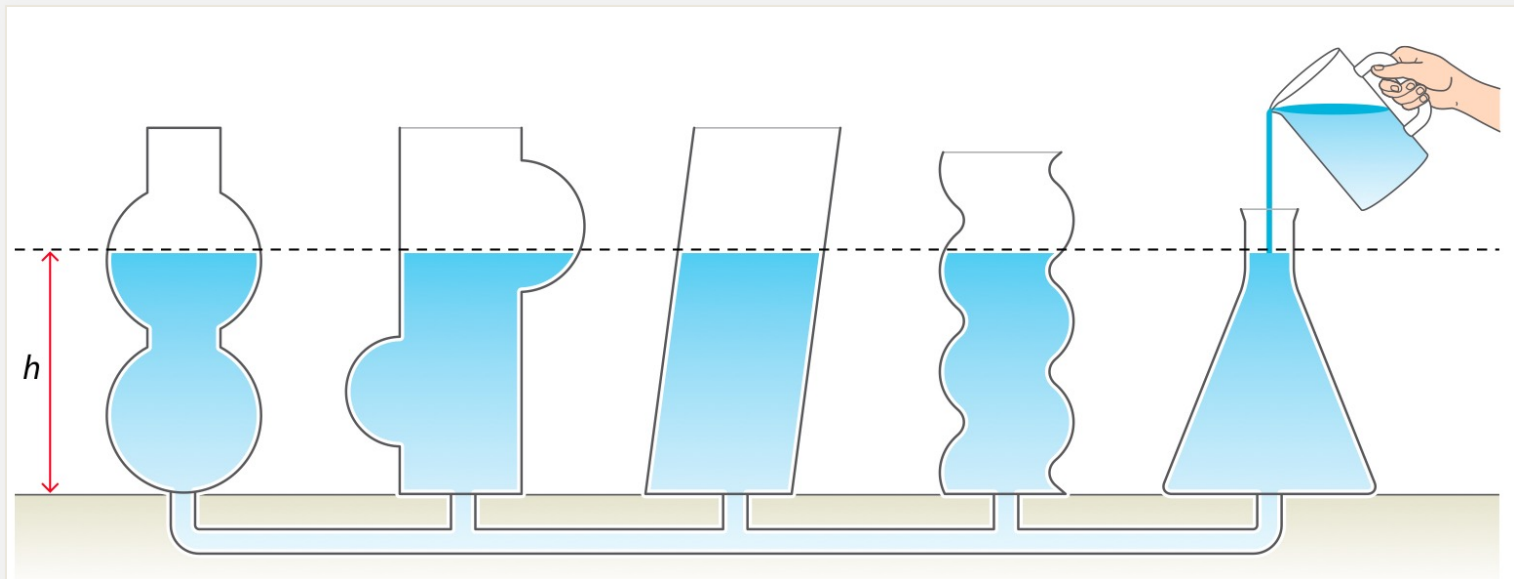
Applicazione - I vasi comunicanti

■ Osservazione sperimentale

Un liquido, posto in vasi comunicanti, raggiunge lo stesso livello in tutti i vasi

Applicazione - I vasi comunicanti

- **Principio dei vasi comunicanti:** dati più recipienti, anche di forma diversa, comunicanti fra loro, un liquido versato in uno di essi raggiunge lo **stesso livello** in tutti i recipienti.



Applicazione - I vasi comunicanti

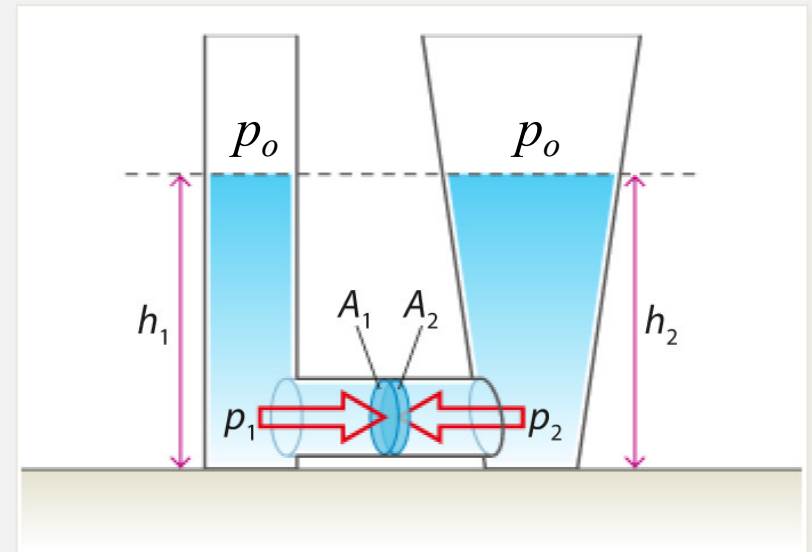
- Nel tubo di collegamento, il volume liquido compreso tra A_1 e A_2 è in equilibrio: le pressioni p_1 e p_2 sono uguali.

Per la legge di Stevino, p_1 e p_2 dipendono dal **livello** del liquido:

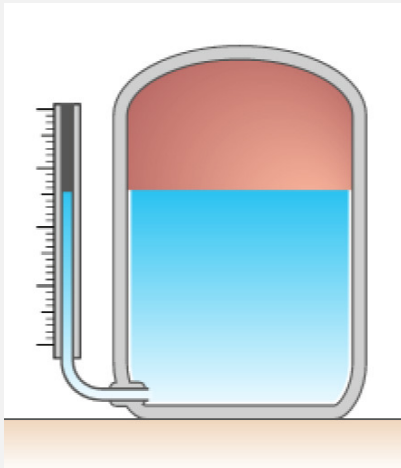
$$p_1 = p_o + g \cdot d \cdot h_1; \quad p_2 = p_o + g \cdot d \cdot h_2$$

g e d sono **costanti**, quindi:

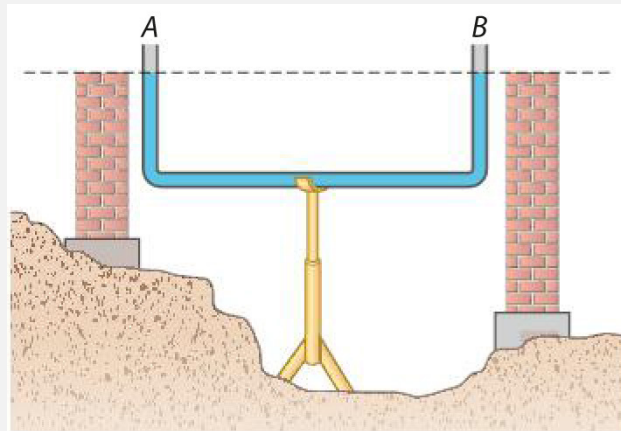
$$h_1 = h_2$$



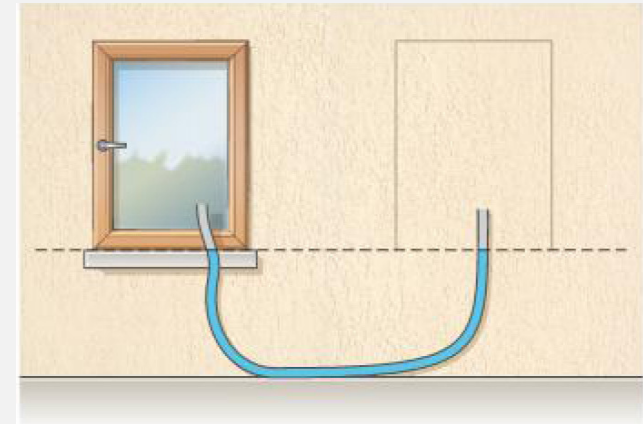
Applicazione - I vasi comunicanti



Il livello del liquido nel tubo graduato è identico al livello nella cisterna.



Con la livella ad acqua si allineano *A* e *B* alla stessa altezza rispetto al livello del mare.



Livella ad acqua utilizzata dai muratori; il livello del liquido all'estremità destra del tubo permette di stabilire l'altezza a cui va bucato il muro per mettere la nuova finestra.

La spinta di Archimede

■ Osservazione sperimentale

I corpi immersi nei fluidi ricevono una spinta dal basso verso l'alto

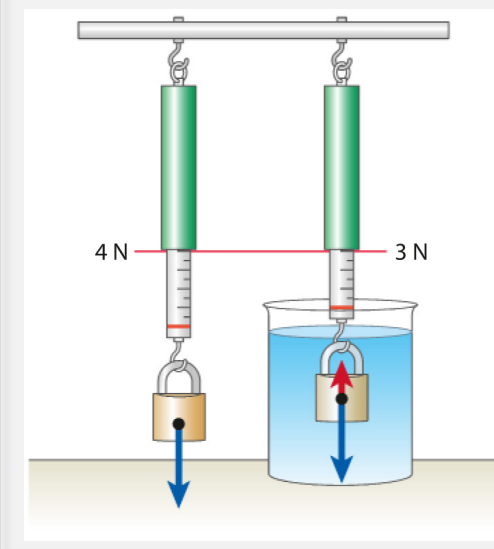
La spinta di Archimede

■ Un corpo solido immerso in un liquido risente di una forza orientata verso l'alto, detta **spinta idrostatica**.

■ Se il corpo è immerso, il dinamometro segna un **peso minore**: $P' = 3 \text{ N}$

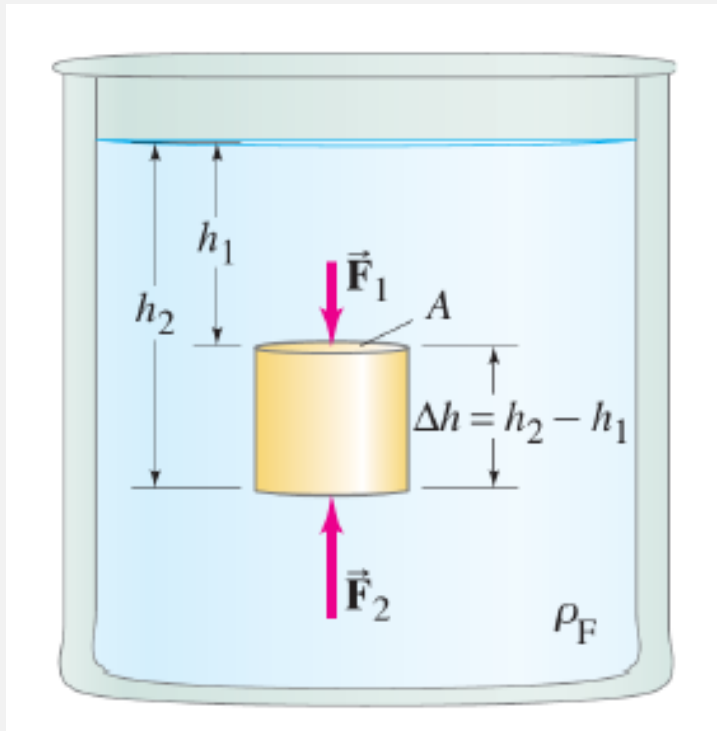
– Il corpo immerso nel liquido pesa di meno perché è sottoposto alla **forza-peso diretta verso il basso** e alla **spinta idrostatica diretta verso l'alto**

In aria, il lucchetto pesa 4 N. Nel liquido il lucchetto pesa di meno, perché su di esso agisce la spinta idrostatica. Il dinamometro misura la differenza fra il peso e la spinta.



La spinta di Archimede

- La pressione in un fluido aumenta con la profondità.
- La **pressione verso l'alto** sulla superficie inferiore di un corpo immerso in un fluido **è maggiore** della **pressione verso il basso**, sulla superficie superiore.



$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \rho_F h_1 A g \\ F_2 &= \rho_F h_2 A g \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Ottenute ricordando} \\ \text{Definizione pressione} \\ \text{e legge di Stevino} \end{array}$$

$$F_B = F_2 - F_1 = \rho_F \Delta h A g = \rho_F V g$$

(dove $V = A \Delta h$, volume del cilindro, $\rho_F V$, massa del fluido che occupa un volume pari a quello del cilindro.)

$$\boxed{F_B = m_F g}$$

La risultante delle pressioni agenti sul corpo da origine ad una forza verso l'alto chiamata forza di spinta.

La spinta di Archimede

■ Un corpo immerso in un liquido riceve da questo una **spinta** verso l'alto **uguale al peso del liquido che sposta**.

– Il corpo è immerso: volume liquido spostato = volume corpo

$$\text{peso liquido spostato} = m_{\text{liquido}} \cdot g = d_{\text{liquido}} \cdot V_{\text{liquido}} \cdot g = d_{\text{liquido}} \cdot V_{\text{corpo}} \cdot g$$

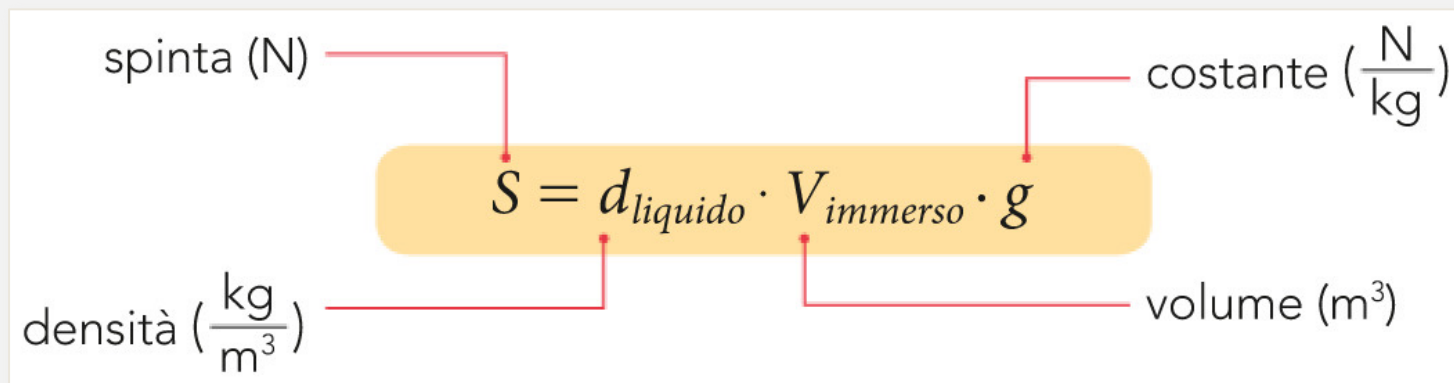


Diagram illustrating the formula for the buoyant force (spinta) S acting on a submerged body:

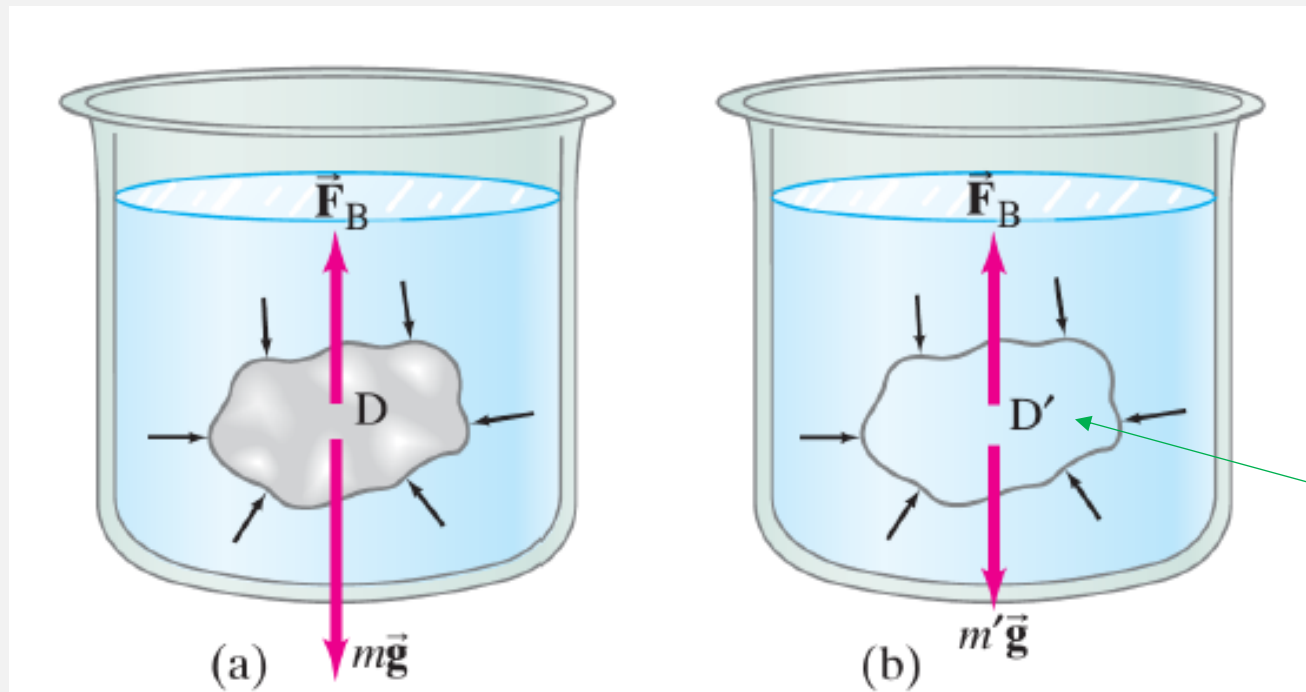
$$S = d_{\text{liquido}} \cdot V_{\text{immerso}} \cdot g$$

The variables are defined as follows:

- S : spinta (N)
- d_{liquido} : densità ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
- V_{immerso} : volume (m^3)
- g : costante ($\frac{\text{N}}{\text{kg}}$)

La spinta di Archimede

- Un corpo immerso in un liquido riceve da questo una spinta verso l'alto uguale al peso del liquido che sposta.

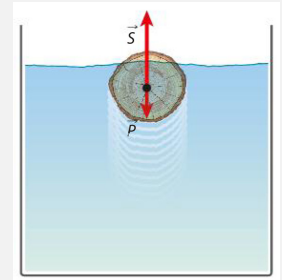


corpo di fluido,
fluido in quiete

$$F_B = m'g,$$

La spinta di Archimede

- Su un corpo immerso in un liquido agiscono due forze, il peso P verso il basso e la spinta di Archimede S verso l'alto



$$P = m \cdot g = d_{\text{corpo}} \cdot V_{\text{corpo}} \cdot g$$

$$S = d_{\text{liquido}} \cdot V_{\text{corpo}} \cdot g$$

- Il **corpo** ha una **densità maggiore** del liquido:

$$d_{\text{corpo}} > d_{\text{liquido}} \quad P > S \quad \text{il corpo affonda}$$

- Il **corpo** ha una **densità minore** del liquido:

$$d_{\text{corpo}} < d_{\text{liquido}} \quad P < S \quad \text{il corpo emerge parzialmente, fino a quando peso e spinta si equilibrano e quindi il corpo galleggia.}$$

La spinta di Archimede

- Se un corpo galleggia, solo una **parte** è immersa nel liquido
- Nel calcolare la spinta si considera **solo il volume della parte immersa**.

Per esempio, in un *iceberg*, il volume che emerge è molto piccolo rispetto al volume della parte immersa. Ciò è dovuto alla piccola differenza tra la densità del ghiaccio e quella dell'acqua di mare.



La spinta di Archimede

■ La spinta di Archimede agisce su un **corpo immerso in qualsiasi fluido**, quindi anche in un **gas**.

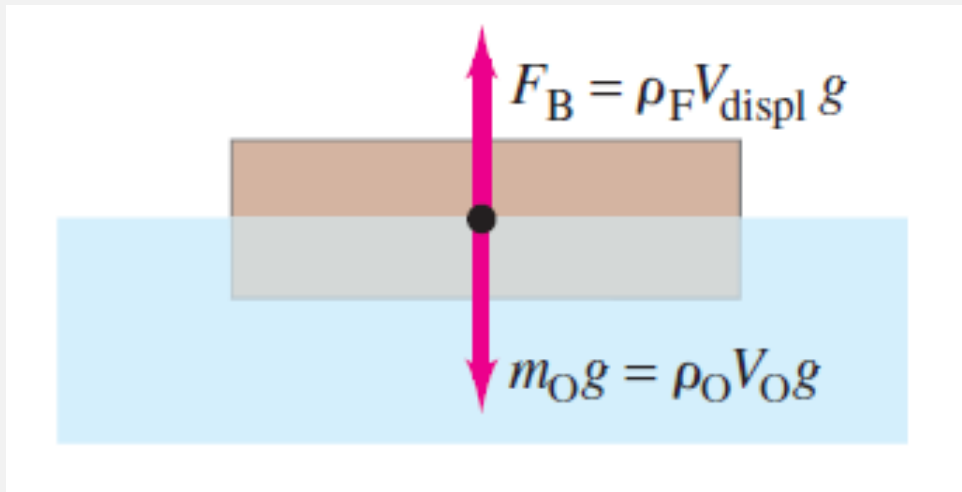
In **aria** è detta **spinta aerostatica** e si calcola con la formula:

$$S = d_{\text{aria}} \cdot V_{\text{corpo}} \cdot g$$

- Un palloncino in aria è soggetto a una spinta aerostatica diretta verso l'alto di intensità uguale al peso del volume di aria che il palloncino sposta.

Galleggiamento

- Un oggetto galleggia in un fluido se la sua densità è minore di quella del fluido.



L'equilibrio viene raggiunto quando il peso del fluido spostato **uguaglia** il peso del corpo che galleggia.

V_O = Volume totale oggetto

V_{displ} = Volume immerso

$$\begin{aligned} F_B &= m_O g \\ \rho_F V_{\text{displ}} g &= \rho_O V_O g, \end{aligned}$$

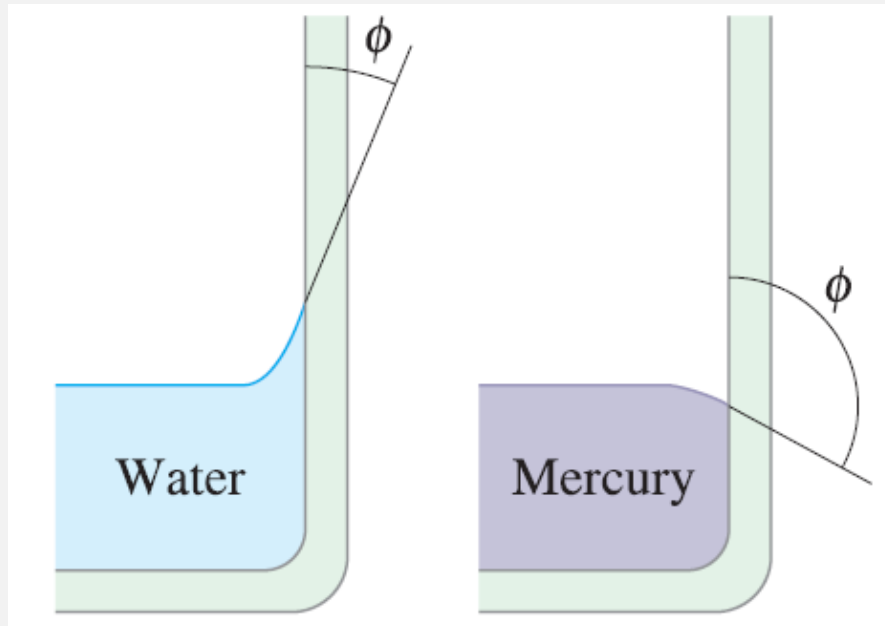


$$\frac{V_{\text{displ}}}{V_O} = \frac{\rho_O}{\rho_F}$$

- Anche l'aria è un fluido ed esercita una spinta di Archimede.
(Ex. Palloni pieni di elio *fluttuano*, perchè $\rho_{\text{elio}} < \rho_{\text{aria}}$)

Capillarità

L'acqua "*bagna*" la superficie del vetro, mentre il mercurio no.



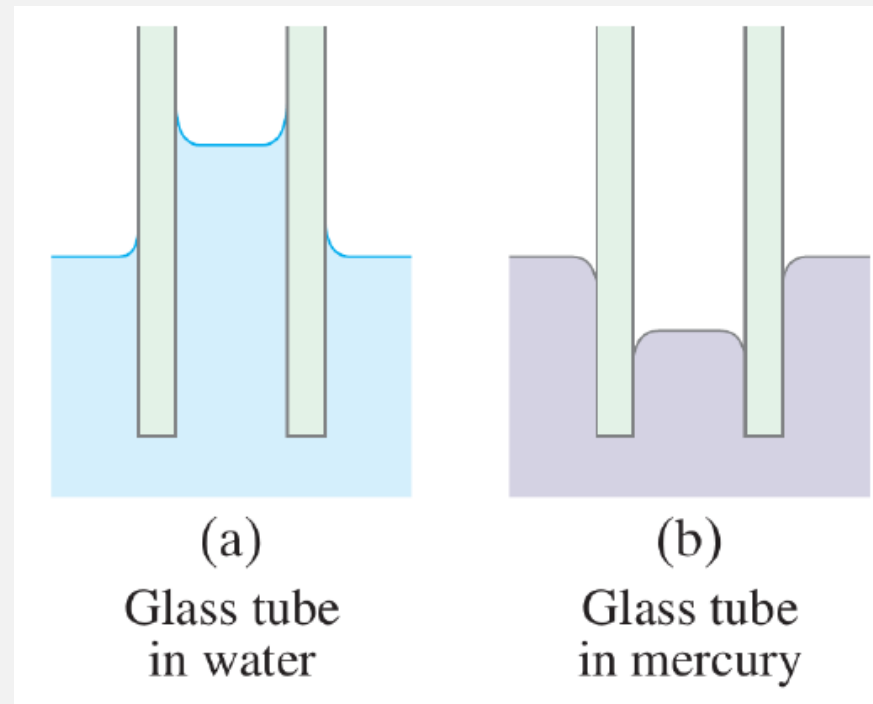
La capacità di un liquido di bagnare o meno la superficie di un solido è determinate dall'intensità relativa tra la forza di *coesione* tra le molecole del liquido, rispetto alle forze di *adesione* tra le molecole del liquido e quelle del contenitore.

Coesione = forza tra molecole dello stesso tipo.

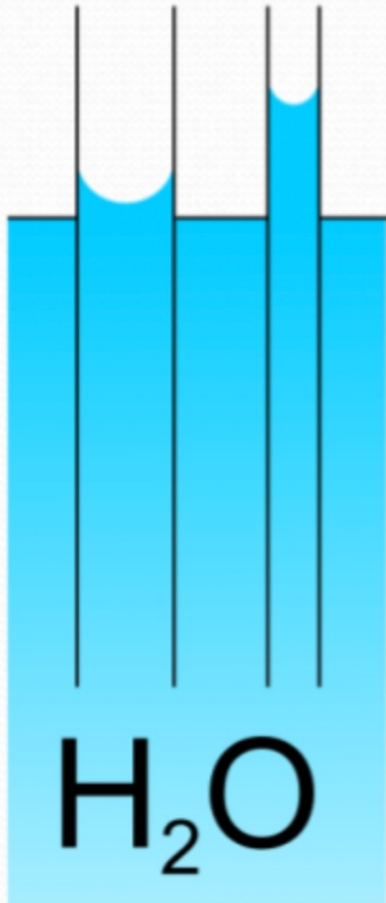
Adesione = = forza tra molecole di tipo diverso.

Capillarità

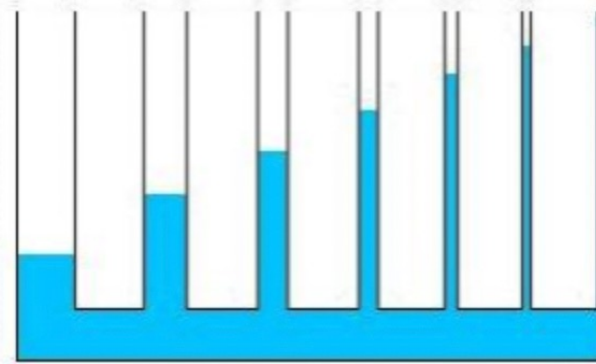
- In tubi con diametro molto piccolo, si osserva che i liquidi salgono o scendono rispetto al livello del liquido circostante.
- Tale fenomeno è detto **capillarità** e tali tubi sono detti **capillari**.



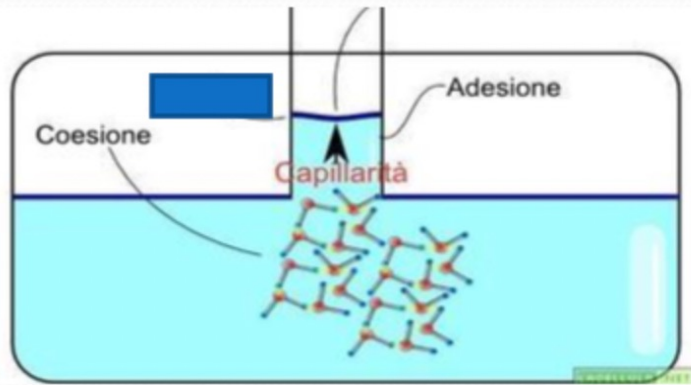
Capillarità



La capillarità è un fenomeno che permette all'acqua di salire in tubicini molto sottili.



Capillarità



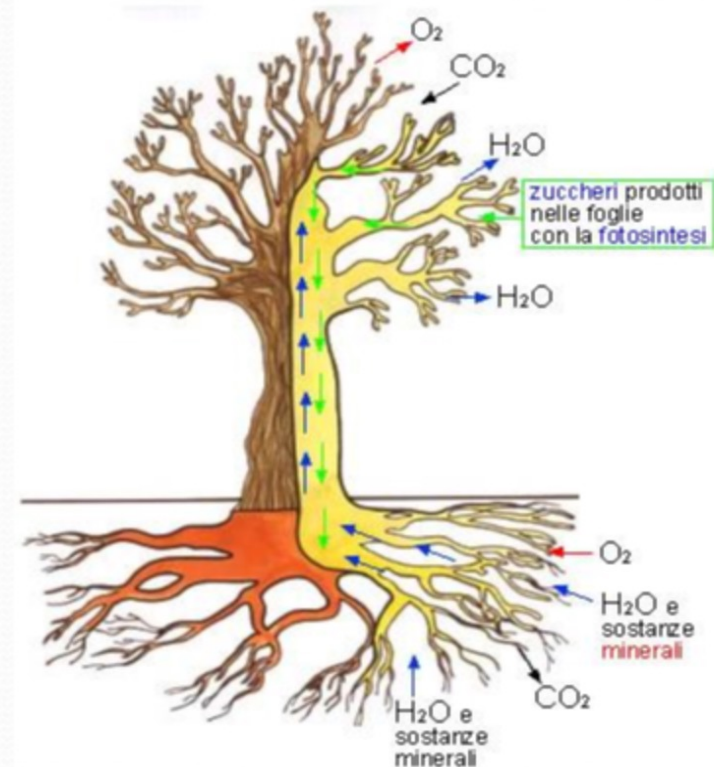
Questo fenomeno è spiegato dall'esistenza di forze di attrazione tra le molecole dell'acqua e le pareti del tubicino

Forza di coesione: Tiene unite le molecole d'acqua tra di loro

Forza d'adesione: Spinge le molecole d'acqua ad attaccarsi alle pareti del tubicino

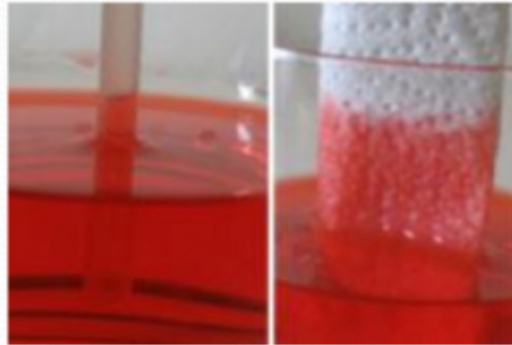
Capillarità

Le piante assorbono l'acqua e i sali minerali disciolti nel terreno grazie alla capillarità: Infatti l'acqua dal terreno passa attraverso le radici e si propaga lungo il fusto fino alle foglie



Capillarità

Ci sono molti esempi del fenomeno della capillarità:



La carta assorbente che si imbeve rapidamente di inchiostro



Lo zucchero che assorbe i liquidi

Riassunto: L'equilibrio dei fluidi

