

# Lez 11 08/11/2016

- Lezioni in [http://www.fisgeo.unipg.it/~fiandrini/didattica\\_fisica/did\\_fis1617/](http://www.fisgeo.unipg.it/~fiandrini/didattica_fisica/did_fis1617/)

# Solidi Liquidi e Gas

- La definizione di capacità termica e calore specifico non è sufficiente per definire correttamente la relazione tra calore e temperatura
- Per i solidi ed i liquidi, le condizioni esterne (temperatura, pressione etc.) non influenzano molto tale relazione...
- ma per i gas le cose vanno diversamente e il calore specifico varia parecchio se viene misurata a volume o pressione costanti...
- In generale si distinguono 2 quantità in funzione del modo in cui il calore viene trasferito:
  - $c_p$  Calore specifico a pressione costante
  - $c_v$  Calore specifico a volume costante
- L'esperienza ci insegna ad esempio che per i gas  $c_v < c_p$
- Questa proprietà è vera anche per i liquidi e i solidi anche se la differenza è minore...

# Caloria

- Il calore, in quanto energia, può essere misurato in Joule, ma per ragioni storiche si utilizza ancora anche la **caloria**.
- La sua definizione storica è:
  - Una caloria è la quantità di calore necessaria per determinare una variazione di  $1^{\circ}\text{C}$  in un grammo di acqua fra  $14,5^{\circ}$  e  $15,5^{\circ}\text{C}$
  - Una chilocaloria è la quantità di calore necessaria per determinare una variazione di  $1^{\circ}\text{C}$  in un chilogrammo di acqua fra  $14,5^{\circ}$  e  $15,5^{\circ}\text{C}$
  - Le “calorie” usate per definire il valore energetico degli alimenti sono in realtà le chilocalorie
- Il simbolo dell’unità di misura della caloria è cal
- La capacità termica si misura quindi in  $\text{cal}\cdot{}^{\circ}\text{K}^{-1}$  e il calore specifico in  $\text{cal}\cdot\text{g}^{-1}\cdot{}^{\circ}\text{K}^{-1}$  (oppure in  $\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot{}^{\circ}\text{K}^{-1}$  )

# Calore latente

- Non sempre ad un assorbimento di calore da parte di un solido o di un liquido corrisponde un aumento di temperatura.
- A volte la sostanza può passare da una fase (stato) ad un'altra.  
Ad esempio: solido – liquido ( fusione)  
liquido – vapore (evaporazione)
- La quantità di calore che deve essere fornita per massa unitaria si chiama calore latente  $\lambda$ .  
$$Q = \lambda \cdot m$$
$$\lambda_v = \text{calore latente di evaporazione}$$
$$\lambda_f = \text{calore latente di fusione}$$
- Togliendo calore alla sostanza avviene il passaggio inverso:  
liquido – solido (solidificazione)  
vapore – liquido (liquefazione)
- Ad una data pressione i passaggi di stato avvengono ad una temperatura fissata. Nel caso dell'acqua:

Fusione  $T=0\text{ }^{\circ}\text{C}$  :  $\lambda_f = 79.5\text{ cal/g} = 6.01\text{ kg/mol} = 333\text{ kJ/kg}$

Evaporazione  $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\lambda_v = 539\text{ cal/g} = 40.7\text{ kJ/mol} = 2.26\text{ MJ/kg}$

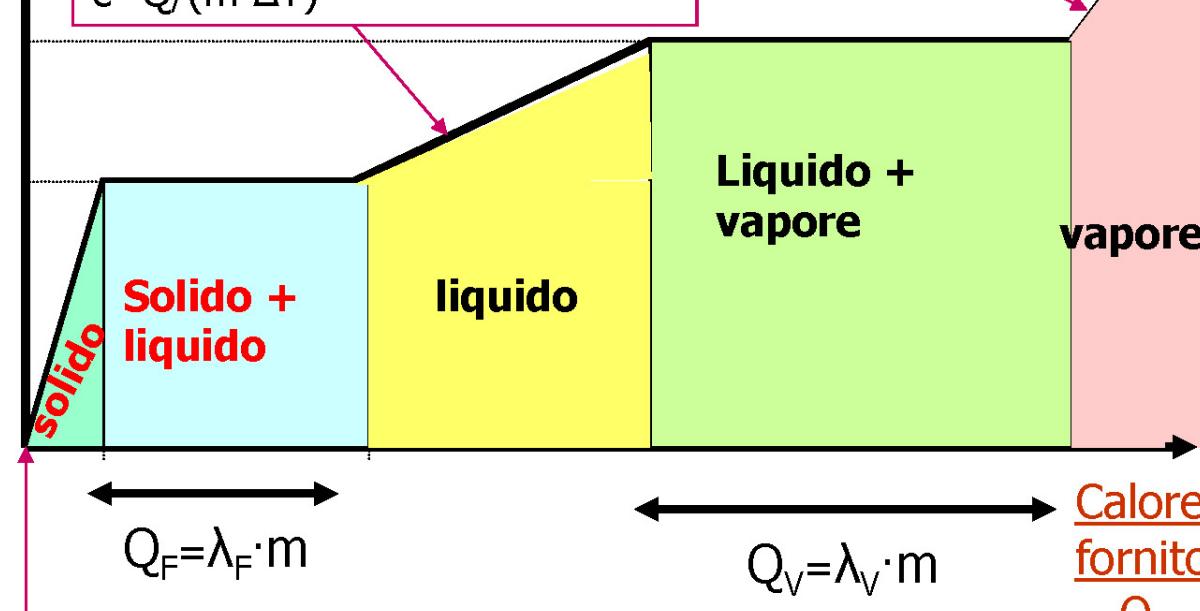
# Passaggi di stato

$T_v$  = temperatura di vaporizzazione

$T_f$  = temperatura di fusione

La pendenza di questa curva da il calore specifico del liquido:  $c=Q/(m \cdot \Delta T)$

La pendenza della curva da il calore specifico del vapore:  $c=Q/(m \cdot \Delta T)$



La pendenza di questa curva da il calore specifico del solido:  $c=Q/(m \cdot \Delta T)$

Ricorda: il calore specifico del vapore dipende dalla modalità di somministrazione di  $Q$

Scaldiamo  $m$  kg di sostanza allo stato solido fino a portarla allo stato di vapore

**NB: la temperatura rimane costante durante il cambiamento di fase**

Ricorda:  $T_v$  e  $T_f$  sono funzione di  $P$

# Ancora Fluidi

Abbiamo introdotto alcune grandezze fisiche nuove per poter studiare il comportamento di sistemi fisici costituiti da un gran numero di particelle. In particolare abbiamo definito lo stato termico di un corpo, qual'e' la grandezza fisica associata e come energia possa essere scambiata come conseguenza dei diversi stati termici dei sistemi che interagiscono.

Dobbiamo ora tornare ai fluidi per definire meglio le proprieta' di alcune grandezze macroscopiche meccaniche, come la pressione.

Dovremo poi trovare la relazione che c'e' fra pressione e stato termico, cioe' temperatura del sistema.

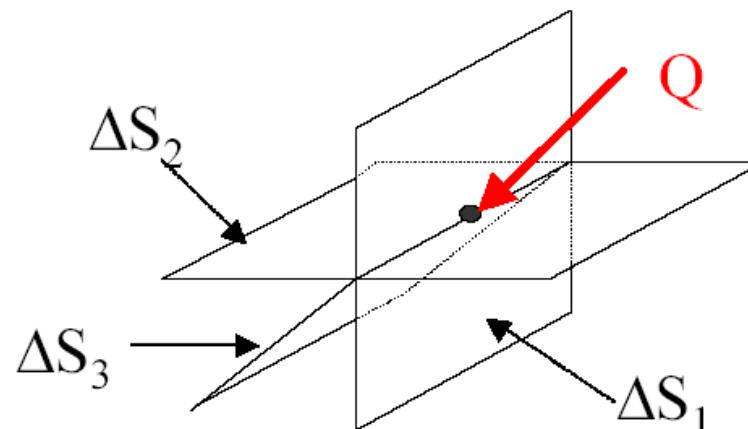
# La pressione

- La pressione è la forza che si esercita su ogni singola unità di superficie.
- Per calcolare la pressione, si misurano la forza  $F$  e la superficie  $S$  e si calcola il loro rapporto:  $p=F/S$  (gioco delle impronte)
- L'unità di misura della pressione nel SI è il pascal (simbolo Pa), che è la pressione prodotta da una forza di 1 N su una superficie di 1 m<sup>2</sup>.
- Pressione in un fluido: si considera in un fluido una superficie immaginaria e la forza che le molecole ci esercitano. La pressione può variare da un punto ad un altro all'interno di un fluido.
- Principio di Pascal: La caratteristica di un fluido è che la forza che si esercita attraverso una superficie non dipende dall'orientamento di questa e quindi la pressione si trasmette in tutte le direzioni.
  - se si gonfia un palloncino, la pressione si trasmette dall'imboccatura a tutti i punti del palloncino, che assume perciò una forma arrotondata
  - se si schiaccia sul fondo una bottiglietta di plastica piena d'acqua, la pressione si trasmette fino in cima e fa salire il livello dell'acqua



# Pressione in un Punto

- Consideriamo un punto Q in un fluido all'equilibrio.
- Consideriamo inoltre diverse areole  $\Delta S_i$  contenenti Q.
- La pressione e' sempre normale all'area considerata
- La pressione "p" non dipende dall'orientamento della areola considerata.
- Quindi possiamo parlare di **pressione nel punto Q** senza alcuna altra specificazione



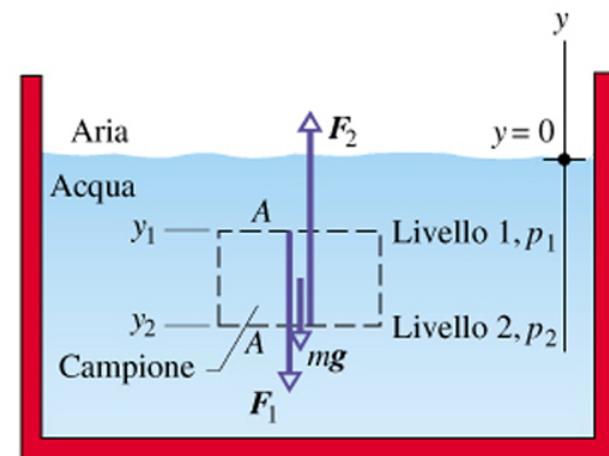
# Pressione in un liquido

Uovo in bottiglia

Cartolina magica

# Leggi fondamentali dell'idrostatica (1)

- Consideriamo un liquido in quiete contenuto in un recipiente
- Prendiamo un elemento di fluido a forma di parallelepipedo
- Il fatto di essere all'equilibrio ci permette di trattare il parallelepipedo come se fosse rigido
- Per definizione di fluido, le forze agenti sulle superfici laterali sono ad esse normali e siccome il liquido è in quiete la risultante di esse è nulla (d'ora in poi le trascuriamo)
- Consideriamo la forza di gravità  $P$  agente sul centro di massa
- Sulla faccia superiore (Livello 1) del parallelepipedo agisce una forza  $|F_1| = p_1 \cdot A$  diretta verso il basso
- Sulla faccia inferiore (Livello 2) del parallelepipedo agisce una forza  $|F_2| = p_2 \cdot A$  diretta verso l'alto



# Leggi fondamentali dell'idrostatica (2)

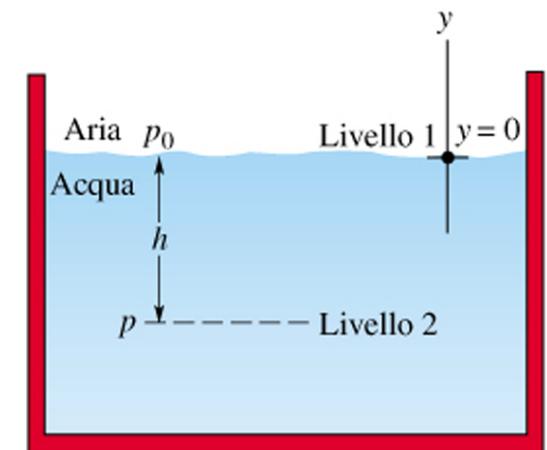
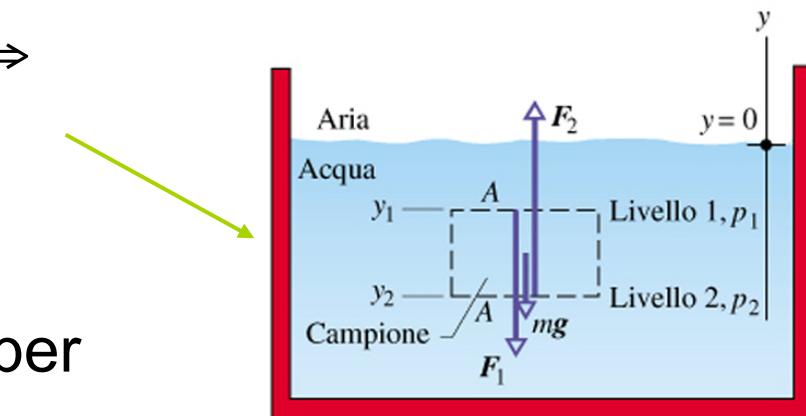
- Il Parallelepipedo è in quiete...
- quindi la risultante delle forze  $F_1 + F_2 + P = 0$  è nulla...  
Con  $P = mg = \rho V = \rho A(y_1 - y_2)$

- cioè  $p_2 A = p_1 A + \rho A g (y_1 - y_2) \Rightarrow$   
$$p_2 = p_1 + \rho g (y_1 - y_2)$$

- Questa è una legge generale valida per i fluidi (quindi anche per l'atmosfera terrestre)

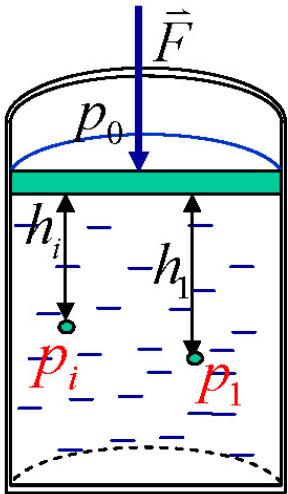
- La pressione in un punto di un fluido in equilibrio statico dipende solo dalla profondità di quel punto

$$p = p_0 + \rho g h$$



# Conseguenze della legge di Stevino

## 1. Legge di Pascal



Dalla legge di Stevino:

$$p_1 = p_0 + \rho gh$$

Con  $p_0$  pressione esterna

Segue che *ogni cambiamento della pressione esterna dà luogo a un uguale variazione di p in tutto il fluido*

$$\begin{cases} p_1 = p_0 + \rho gh_1 \\ p_i = p_0 + \rho gh_i \end{cases}$$

*Se la pressione esterna subisce una variazione:*

$$p_0 \rightarrow p_0 + \Delta p_0$$



$$\begin{cases} p_1' = p_1 + \Delta p_0 \\ p_i' = p_i + \Delta p_0 \end{cases}$$

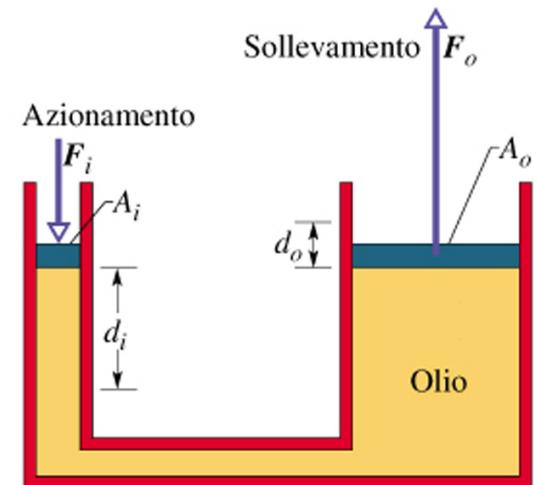
*Tutti i punti nel fluido subiscono la stessa variazione di pressione*

# I Martinetti Idraulici

- L'uniformità della pressione all'interno del fluido ha delle notevoli conseguenze  
→ la pressione e' la stessa in  $A_i$  e  $A_o$ .
- La pressione esercitata sulle pareti del contenitore è la stessa ovunque. Una semplice applicazione di questa osservazione sono le movimentazioni idrauliche.

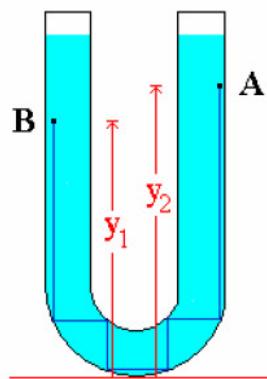
$$p = \frac{F_{in}}{A_{in}} = \frac{F_{out}}{A_{out}} \quad \text{se} \quad A_{in} \ll A_{out} \Rightarrow F_{out} \gg F_{in}$$

NB: l'energia si conserva → il lavoro e' lo stesso per le due superfici  $A_i$  e  $A_o$  →  $L = F_i d_i = F_o d_o$  →  $d_o = (F_o/F_i)d_i = (pA_o/pA_i)d_i = (A_o/A_i)d_i$  dato che  $A_o \gg A_i \rightarrow d_o \ll d_i$



# Conseguenze della legge di Stevino

## 4. Vasi comunicanti



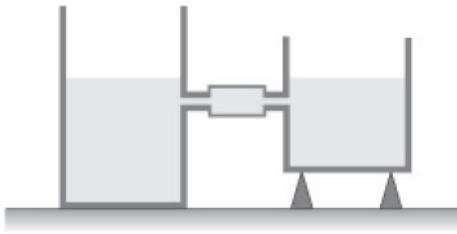
Conseguenza della legge di Stevino è che *in un sistema di vasi comunicanti il fluido contenuto raggiunge la stessa quota indipendentemente dalla forma dei recipienti.*

Nel caso rappresentato in figura la differenza di pressione tra due punti qualsiasi si calcola attraverso la formula:

$$p_2 - p_1 = -\rho g(y_2 - y_1)$$

Poiché, per la legge di Stevino si ha differenza di pressione solo in corrispondenza di variazioni di quota, se le superfici A e B sono soggette alla stessa pressione,  $\Delta p=0$ ,

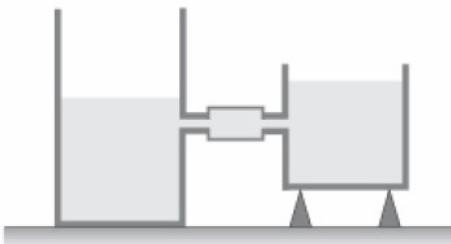
⇒ allora saranno alla stessa quota  $y_2=y_1$



Condizione di equilibrio

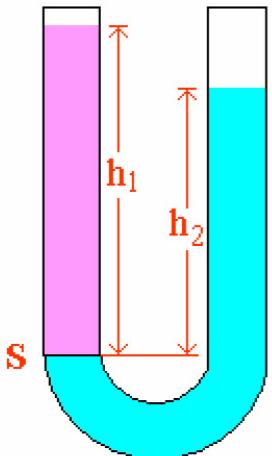


Condizione di non equilibrio. Si osserva un flusso di liquido fino allo stabilirsi della stessa quota



# Conseguenze della legge di Stevino

## 4. Vasi comunicanti - Misura di densità



Se il tubo è riempito con liquidi non miscibili di densità diverse  $\rho_1$  e  $\rho_2$ , le altezze raggiunte dal fluido nei due rami saranno diverse:  $h_1$  e  $h_2$ . Sulla superficie S di separazione tra i due liquidi agiranno rispettivamente verso il basso e verso l'alto le pressioni idrostatiche delle colonne  $h_1$  e  $h_2$ . In condizioni di equilibrio le due pressioni si bilanceranno:

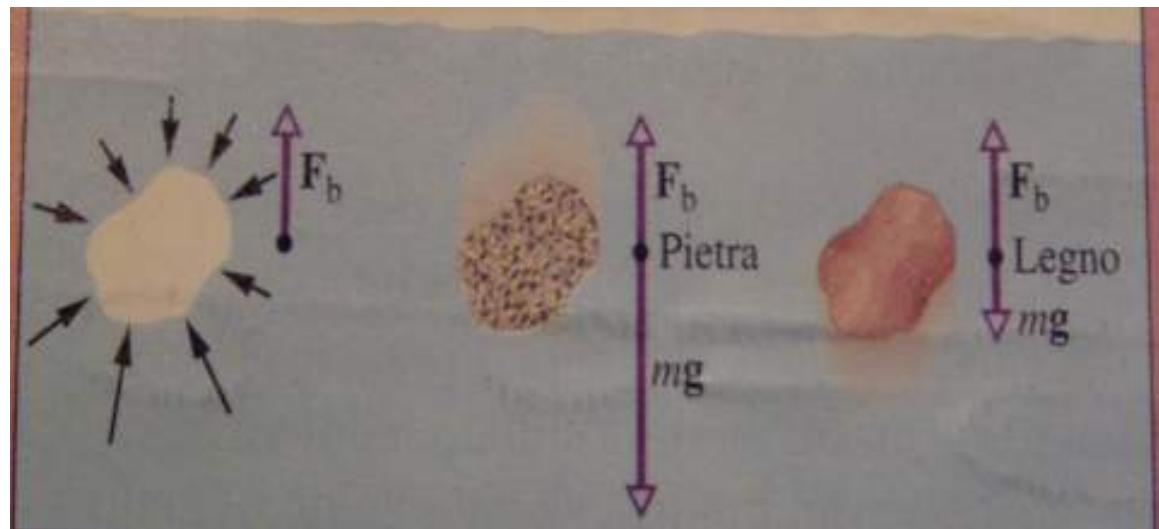
$$\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2 \rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{h_1}{h_2}$$

Pertanto due liquidi non miscibili in vasi comunicanti *raggiungono altezze inversamente proporzionali alle proprie densità*.

# Il principio di Archimede

Un oggetto immerso in un fluido riceve una spinta diretta verso l'alto pari alla forza-peso del fluido spostato

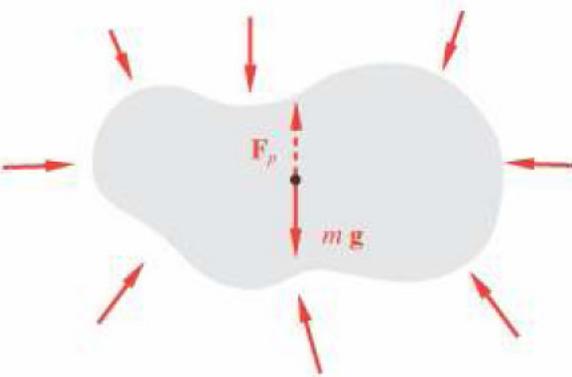
- L'acqua che circonda la cavità esercita forze sui confini della cavità; la risultante è una forza di galleggiamento verso l'alto che agisce su qualsiasi cosa riempia la cavità.
- Per una pietra dello stesso volume della cavità il peso è maggiore della f. di galleggiamento.
- Per un pezzo di legno dello stesso volume il peso è minore della forza di galleggiamento.
- L'oggetto galleggia se sposta, immergendosi, un volume di acqua tale che la forza-peso dell'acqua spostata è pari alla sua propria forza-peso



# Principio di Archimede

$$\vec{F}_p = -m\vec{g} = -\rho V \vec{g}$$

*Forza di pressione esercitata sul fluido di volume  $V$  dal resto del fluido*



Se ora sostituiamo allo stesso volume  $V$  di fluido un identico volume di qualsiasi altra sostanza di densità  $\rho'$  e massa:  $m' = \rho' V$ .

La risultante  $\vec{F}_p$  delle forze di pressione esercitate dal fluido circostante non cambia, mentre varia la forza peso del volume preso in considerazione, dunque la forza risultante risulta:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_p + m' \vec{g} \quad \rightarrow \quad \vec{F}_R = -m \vec{g} + m' \vec{g} = -\rho V \vec{g} + \rho' V \vec{g} = (\rho' - \rho) V \vec{g}$$

$\downarrow$

$$\vec{F}_R = (\rho' - \rho) V \vec{g}$$

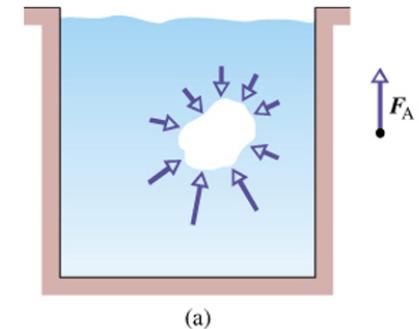
Se  $\rho' > \rho$  la forza risultante ha la stessa direzione e verso di  $\vec{g}$  e quindi il corpo scende nel fluido, se invece  $\rho' < \rho$  il corpo sale

La spinta verso l'alto ricevuta dal corpo è detta spinta di Archimede:  $\vec{F}_A = \vec{F}_p = -\rho V \vec{g}$

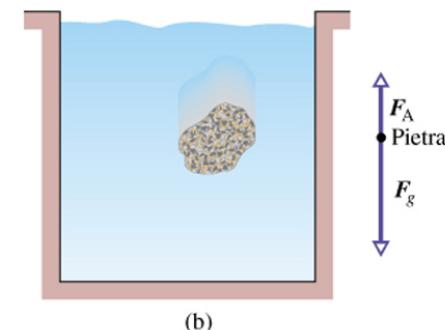
# Principio di Archimede

- Spinta verso l'alto  $F_A = -\rho Vg$
- $F_R = (\rho' - \rho)Vg$
- Se  $\rho' > \rho$ ,  $F_R$  ha lo stesso verso di  $g \rightarrow$  il corpo scende
- Se  $\rho' < \rho$ ,  $F_R$  ha verso opposto a  $g \rightarrow$  il corpo sale
- In ogni caso **un corpo immerso in un fluido riceve una spinta verticale verso l'alto pari al peso del volume di fluido spostato**

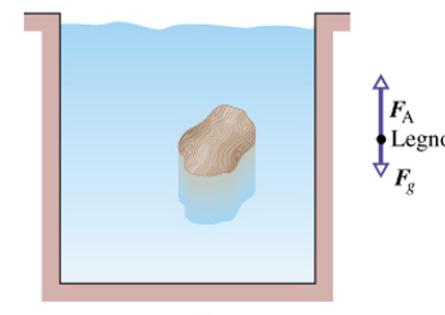
**Il punto di applicazione** della **spinta di Archimede** coincide con **il centro di gravità del fluido spostato** ed è chiamato **centro di spinta**, che in generale **non** coincide con il punto di applicazione della forza peso, cioe' con il baricentro o centro di massa del corpo immerso.



(a)



(b)

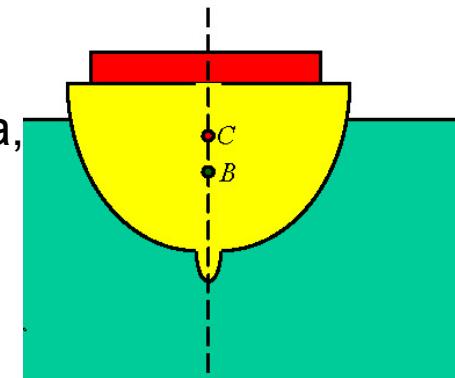


(c)

# Principio di Archimede

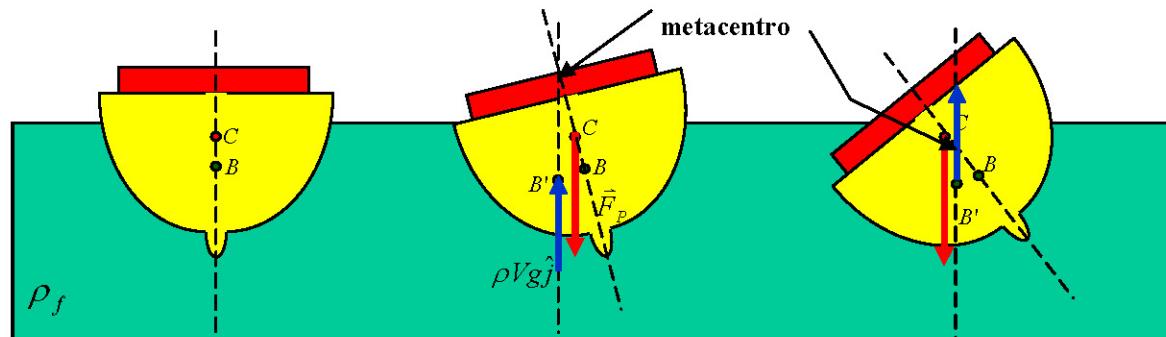
Le navi costruite in metallo, materiale che ha peso specifico maggiore di quello dell'acqua, sono perfettamente in grado di galleggiare, grazie alla loro particolare progettazione: esse, infatti, sono costruite in modo tale che la loro sagoma sposti molta più acqua del loro volume. Ciò consente di aumentare la spinta in modo da sostenere il peso della nave.

Un altro importante problema, che bisogna tener presente nella progettazione delle navi o nella distribuzione del carico nella stiva, è che centro di gravità e centro di spinta, in genere, non coincidono; per cui, se questi due punti non dovessero trovarsi sulla stessa verticale, si creerebbe una coppia tendente a far ruotare l'imbarcazione.



Questo problema può essere risolto facendo in modo che il centro di gravità venga a trovarsi più in basso del centro di spinta. In tal caso, infatti, un eventuale rollio della nave che sposti il centro di gravità e il centro di spinta dalla medesima verticale, genera una coppia che tende a far ritornare la nave nella posizione di equilibrio.

# Principio di Archimede



Profilo di barca

C=centro di massa  
(=baricentro)  
B=centro di spinta

Se il **centro di spinta** ed il **centro di gravita'** non sono sulla **stessa verticale** si hanno momenti che agiscono in modo **da riportare o allontanare dall' equilibrio il sistema**

All' equilibrio: Il centro di spinta di Archimede è sulla verticale per C (centro di massa)

Se **C** è più basso di **B**  $\rightarrow$  eq. stabile

Se **C**  $\equiv$  **B**  $\rightarrow$  eq. indifferente

Se **C** è meno profondo di **B**  $\rightarrow$  eq. instabile

# Il principio di Archimede

Attività connesse col principio di Archimede:

- Immergere un corpo appeso ad un dinamometro in liquidi diversi ed osservare la diminuzione della forza applicata al dinamometro
- Immergere in acqua oggetti di vario peso e forma
- Palloncini ripieni di un gas con densità minore della densità atmosferica (dirigibile, pallone aereostatico)

Esperimento di galleggiamento

