

# *Fisica Generale*

*Settimana 10 - Lezione 25 + 26*

*Facoltà di Ingegneria*

*Livio Lanceri*



# Fluidi: introduzione

---

- *Motivazione*

- Galleggiamento e propulsione di un'imbarcazione
- Volo di un aereo
- Moto di fluidi in tubature, macchine; etc.

- *Statica dei fluidi*

- Forze "di volume" e "di superficie"; pressione; densita`
- Fluidi in equilibrio meccanico: leggi di Stevino, Pascal, Archimede
- Misura della pressione

- *Dinamica dei fluidi "ideali"*

- Prossima lezione (cenni)

- *Fluidi "reali"*

- Viscosita`, turbolenza: testo, corsi successivi



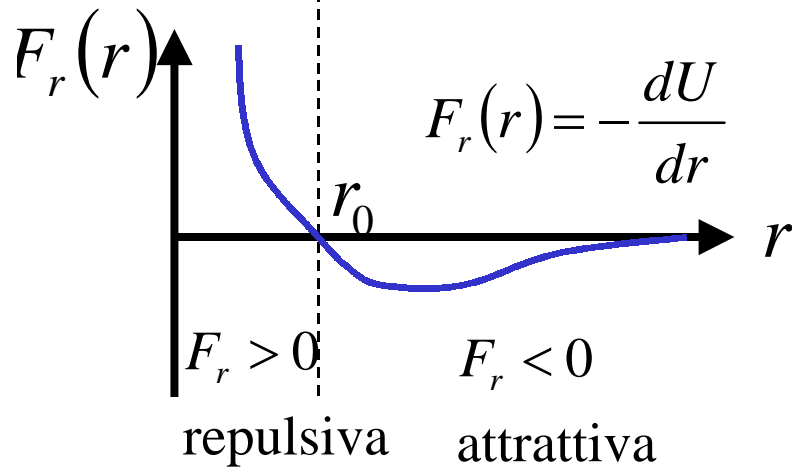
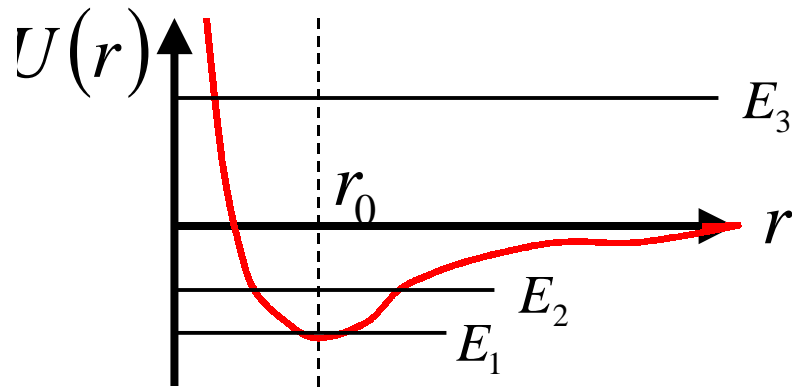
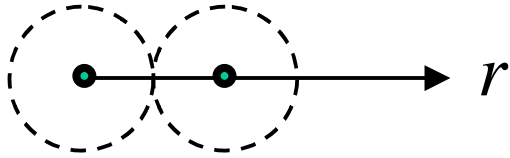
# *Motivazione*

---

- *Vedi slides su plastica*



# Fluidi = ?



- *Schematicamente e qualitativamente: interazioni tra molecole e stati di aggregazione della materia*

- Energia totale  $(U \xrightarrow{r \rightarrow \infty} 0)$

$$E = K + U$$

- A seconda dell'energia cinetica:

• Legate  $E_1 \Rightarrow K \ll |U|$

$E_2 \Rightarrow K < |U|$

• Libere  $E_3 \Rightarrow K > |U|$



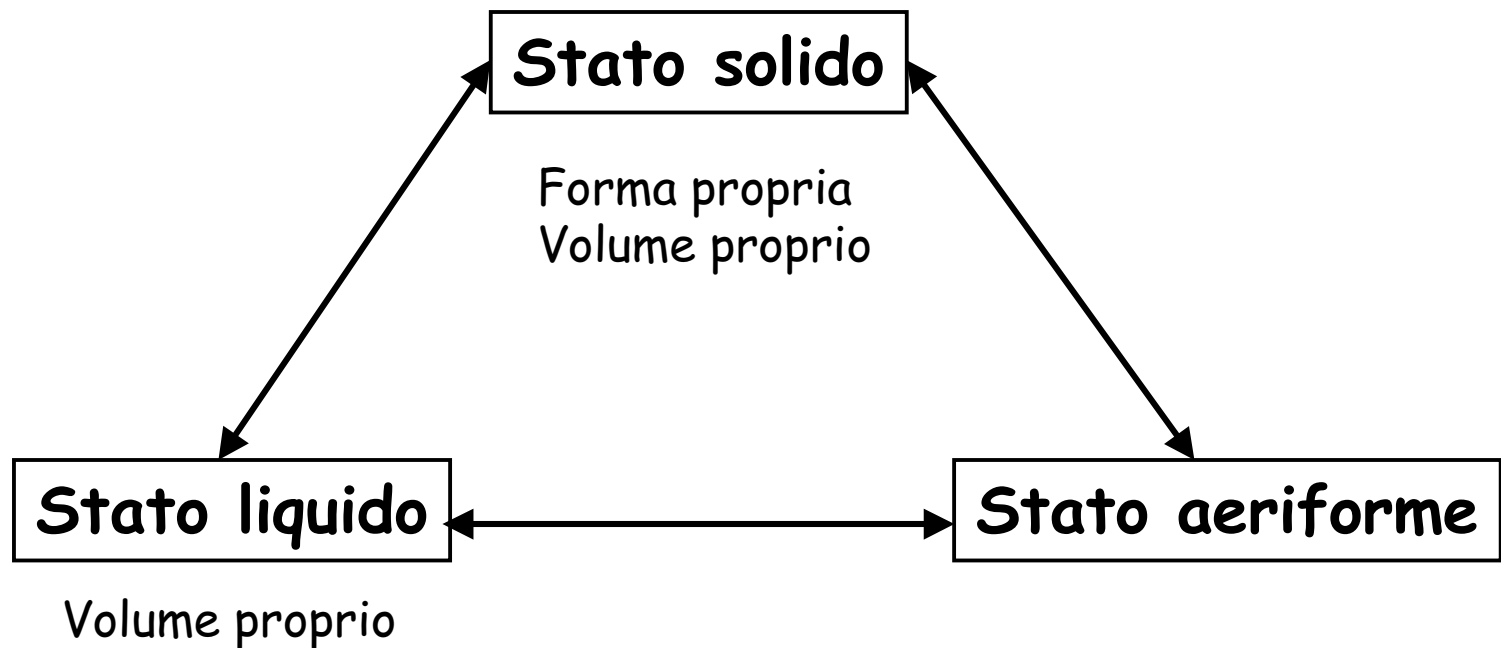
# Fluidi = ?

---

## Stati (fasi) di aggregazione della materia (semplificati !!!)

Caratterizzazione macroscopica ("forma", "volume")

Transizioni di fase ottenute aggiungendo/togliendo energia

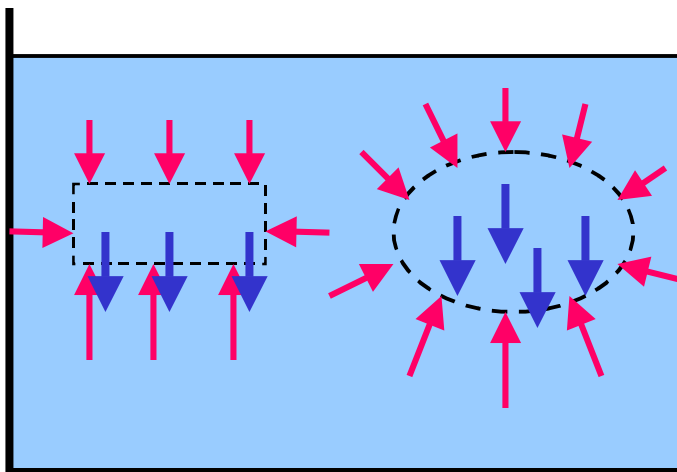


Liquidi, aeriformi: "fluidi"



# Statica dei fluidi - 1

- *All'interno di un fluido* (su una parte del fluido stesso):
  - "Forze di volume"
  - "Forze di superficie o di contatto"
- *Per capire il ruolo di questa classificazione, analogie:*
  - Muro di mattoni, o meglio: cisterna riempita con sacchetti di sabbia
- **Equilibrio**  $\Leftrightarrow$  **Risultante nulla** ( $F.\text{volume} + F.\text{superficie}$ )



## Forze di volume:

p.es. Gravità e forze inerziali

## Forze di superficie:

"contatto" tra fluido e contenitore  
o tra diverse parti del fluido



# Statica - 2

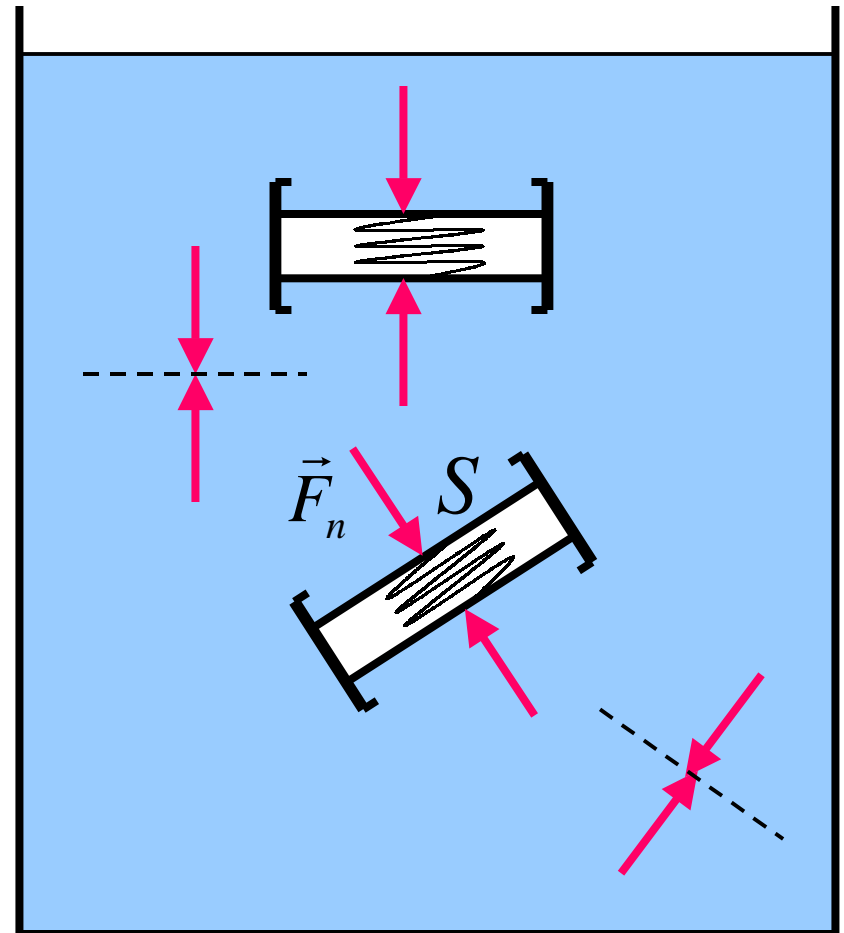
- *Pressione*

$$p = \frac{|F_n|}{S}$$

- Forza: vettore
- Pressione: scalare !!!

- *Fluidi in quiete:*

- forze di contatto (o di superficie) sempre ortogonali alla superficie considerata
- Componenti tangenziali implicherebbero movimento!



# Pressione - unità di misura

---

- *Dimensioni*

$$[p] = \left[ \frac{F}{S} \right] = [M \ L T^{-2} \ L^{-2}] = [M \ L^{-1} \ T^{-2}]$$

- *Unità di misura*

- S.I.  $1 \text{ pascal} = 1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$

- Pratiche:  $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1.01 \text{ bar} = 760 \text{ mmHg}$





# Statica - 3

---

- *Densita`*

- Come per i solidi (vedi lezioni precedenti)
- (Media, oppure variabile da punto a punto...)

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

- *Compressibilita` isoterma*

- Il volume  $V$  dei corpi, a temperatura (...) costante, diminuisce all'aumentare della pressione esterna applicata  $p$

$$\Delta V = - c V \Delta p$$

- Il coefficiente di compressibilita` isoterma  $c$  è:

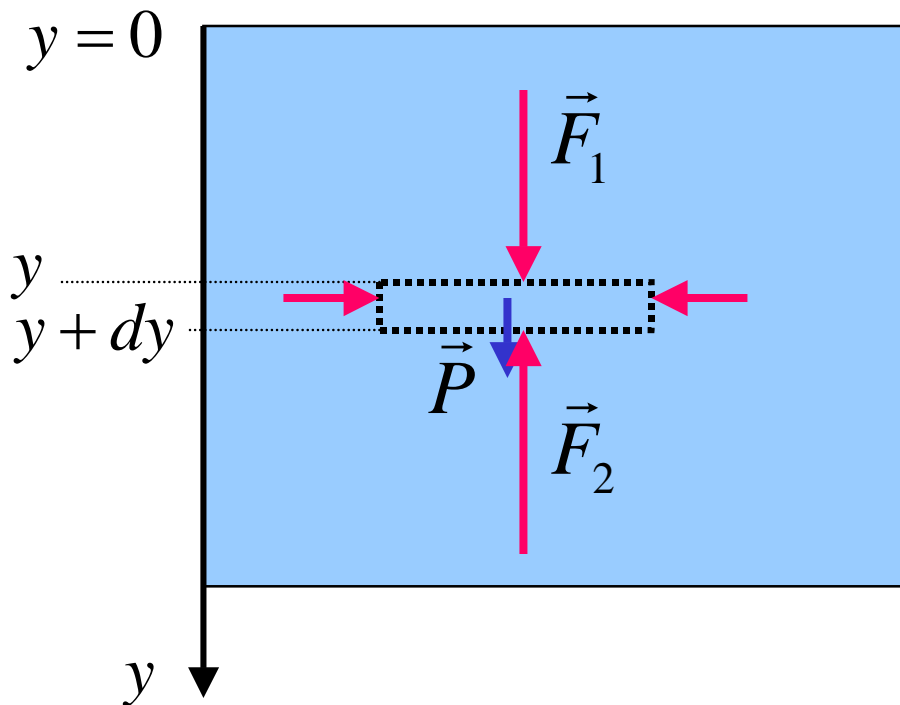
- Grande per i gas o aeriformi

- Molto piccolo per i liquidi: p.es.  $c_{H_2O} \approx 10^{-10} Pa^{-1}$



# Statica - 4

- *Equilibrio: come varia la pressione con la posizione in un fluido, se sono presenti forze di volume, p.es. gravità ?*
  - Usando le componenti delle forze di volume ( $\vec{P}$ ) e superficie ( $\vec{F}_1$  ed  $\vec{F}_2$ ) lungo l'asse  $y$ , diretto verticalmente verso il basso, la condizione di equilibrio meccanico implica:



$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{P} = 0 \quad \Rightarrow \quad |\vec{F}_1| - |\vec{F}_2| + |\vec{P}| = 0$$

$$|\vec{F}_1| = p(y)S \quad |\vec{F}_2| = (p(y) + dp)S$$

$$|\vec{P}| = mg = (\rho S dy)g$$

$$p(y)S + \rho g S dy = (p(y) + dp)S$$

$$dp = \rho g dy \quad \frac{dp}{dy} = \rho g$$

$$\text{se } \rho = \text{cost} \quad \Rightarrow \quad p = p(0) + \rho g y$$



# Statica - 4b

- *Per i piu` raffinati:*

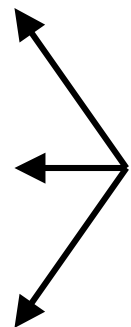
- il ragionamento fatto per ottenere:  $\frac{dp}{dy} = \rho g$  Forza di volume per unita` di volume

- si generalizza facilmente a forze di volume arbitrarie in direzioni qualsiasi:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = f_x$$

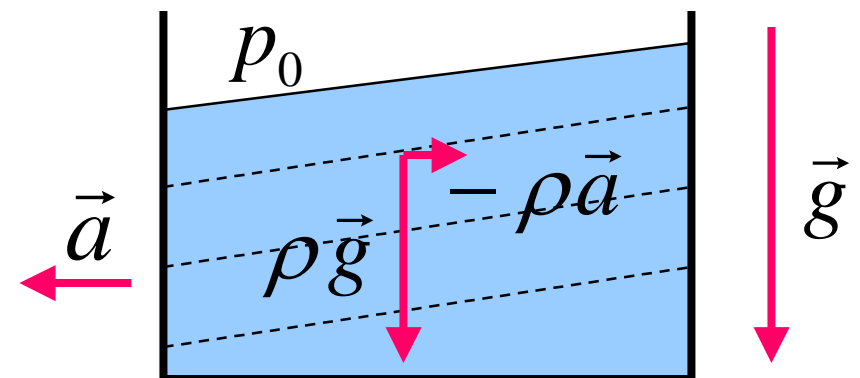
$$\frac{\partial p}{\partial y} = f_y$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = f_z$$



Forza di volume per unita` di volume ("gradiente" della pressione)

Esempio:  
Gravita` e  
Forza inerziale



# Statica - 5

---

- *legge di Pascal*

- *Una variazione della pressione esterna (p.es.  $p(0)$  sulla superficie "libera" del fluido) su di un liquido incompressibile si traduce in una eguale variazione di pressione in ogni punto del fluido*
- Nel caso considerato precedentemente: immediato da:

$$p = p_0 + \rho gy$$

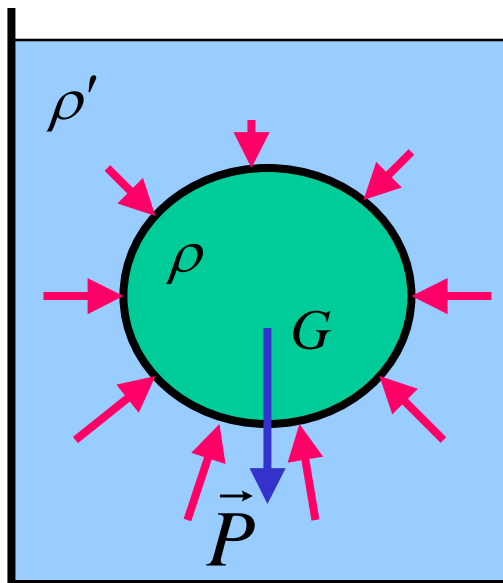
- Applicazioni: p.es. Pressa idraulica, etc



# Statica - 6

- *legge di Archimede: spinta idro-(aero-)statica*

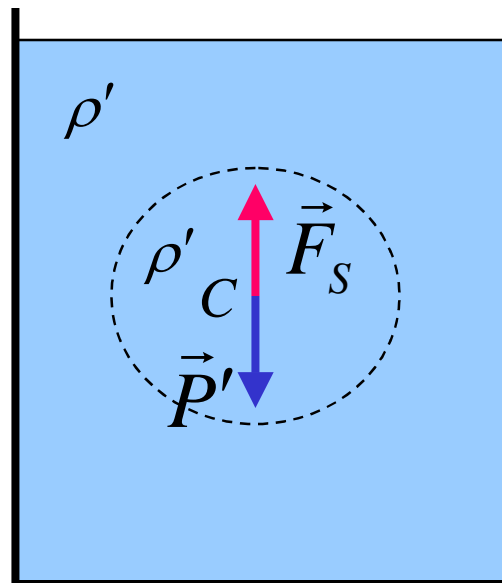
- È la risultante delle forze di superficie sul corpo immerso nel fluido



$G$  centro di gravita`  
del corpo

$$\vec{P} = \rho V \vec{g}$$

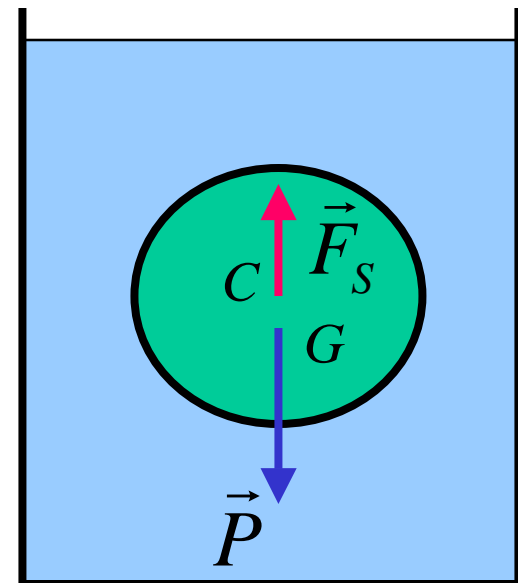
$$\vec{F}_s = ?$$



$C$  centro di gravita`  
del fluido "spostato"

$$\vec{P}' = \rho' V \vec{g}$$

$$\vec{F}_s = -\vec{P}' = -\rho' V \vec{g}$$



$C$  "centro di spinta"

$$\vec{P} = \rho V \vec{g}$$

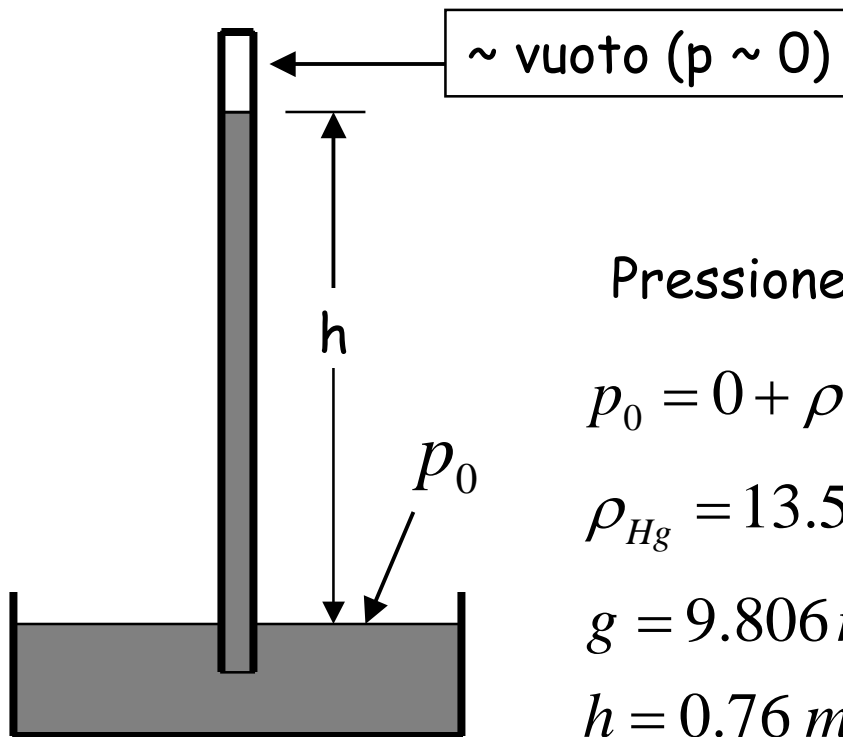
$$\vec{F}_s = -\rho' V \vec{g}$$



# Esempi - 1

- **Misura della pressione atmosferica**

- Barometro di Torricelli (pressione dell'atmosfera equilibrata da colonna di Hg alta circa 760 mm):



Pressione "normale":

$$p_0 = 0 + \rho_{Hg} gh = \rho_{Hg} gh = 1atm = 1.013 \times 10^5 Pa$$

$$\rho_{Hg} = 13.595 kg/m^3$$

$$g = 9.806 m/s^2$$

$$h = 0.76 m$$

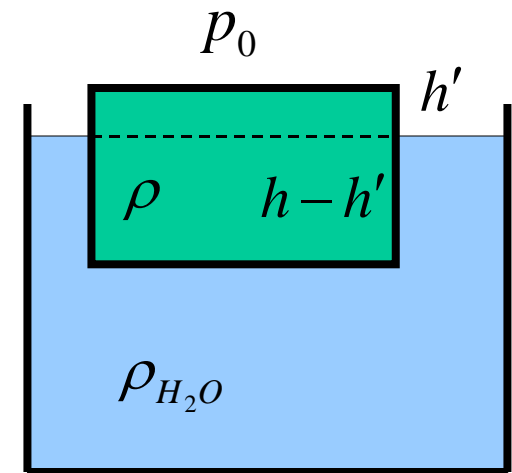


# Esempi - 2

- *Un problema (risolto alla lavagna):*

- Un corpo omogeneo a forma di parallelepipedo galleggia in un recipiente contenente acqua, in modo che una parte  $h' = 2.5$  cm della sua altezza  $h = 10.0$  cm sta sopra la superficie libera dell'acqua, ed è immerso nell'aria sovrastante di pressione  $p_0$ ; nell'aria le variazioni di pressione per differenze di quota dell'ordine di  $h'$  possono essere considerate trascurabili rispetto a quelle dell'acqua.

1. Tracciare il diagramma di corpo libero delle forze applicate al corpo;
2. Classificare le forze applicate al corpo in forze di volume e forze di superficie, spiegando il motivo della classificazione;
3. Valutare il rapporto tra la densità del corpo e quella dell'acqua



$$\rho_{H_2O} = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{aria} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$



# Esempi - 2

## Problema: traccia della soluzione (3)

Trascurando le variazioni di pressione nell'aria:  
Equilibrio tra forza peso  $P$  e spinta di Archimede  $F_s$

$$\vec{P} + \vec{F}_s = 0$$

$$\rho S h g + (-\rho_{H_2O} S (h - h') g) = 0$$

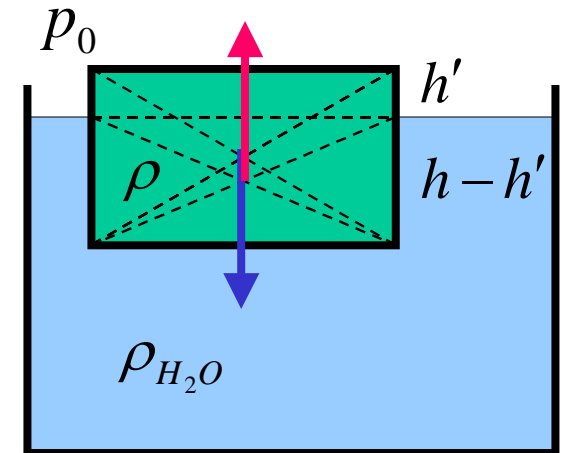
$$\frac{\rho}{\rho_{H_2O}} = \frac{h - h'}{h} = 0.75$$

Oppure: direttamente equilibrio tra forze di volume (forza peso) e forze di superficie, in questo caso facili da calcolare direttamente; il risultato e' lo stesso

$$\vec{P} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$$

$$\rho S h g + p_0 S + (- (p_0 + \rho_{H_2O} (h - h') g) S) =$$

$$= \rho S h g - \rho_{H_2O} S (h - h') g = 0$$



$$\rho_{H_2O} = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{aria} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$





# Esempi - 2

*Come si modifica la soluzione tenendo conto della variazione di pressione e spinta di Archimede nell'aria (densita'  $\rho'$ )?*

Usando la legge di Archimede:

$$\vec{P} + \vec{F}_S = 0 \quad \boxed{\text{acqua}} \quad \boxed{\text{aria}}$$
$$\rho S h g + (-\rho_{H_2O} S (h - h') g - \rho' S h' g) = 0 \Rightarrow \rho h = \rho_{H_2O} (h - h') + \rho' h'$$
$$\frac{\rho}{\rho_{H_2O}} = \frac{(h - h')}{h} + \frac{\rho'}{\rho_{H_2O}} \frac{h'}{h} = 0.750 + (1.2 \times 10^{-3} \times 0.75) = 0.751 \cong 0.75$$

Valutando direttamente le forze di superficie:

$$\vec{P} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0 \quad \boxed{\text{aria, sup.}} \quad \boxed{\text{acqua, inf.}}$$
$$\rho S h g + (p_0 - \rho' h' g) S + (- (p_0 + \rho_{H_2O} (h - h') g) S) = 0$$
$$\rho h - \rho' h' - \rho_{H_2O} S (h - h') g = 0 \Rightarrow \dots$$

$$\rho_{H_2O} = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho' = \rho_{\text{aria}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$



# Conclusioni

---

- *Per i fluidi abbiamo discusso:*
  - Forze di volume e forze di superficie o contatto
  - Pressione
  - Variazione della pressione con la posizione, in presenza di forze di volume (legge di Stevino)
  - Conseguenze:
    - legge di Pascal (correlazione tra variazioni di pressione in diverse posizioni)
    - legge di Archimede (spinta idro- e aero-statica)
- *Nella prossima lezione:*
  - Un po' di dinamica per fluidi ideali in condizioni stazionarie
  - (Fluidi reali: viscosità, turbolenze; vedi testo)

