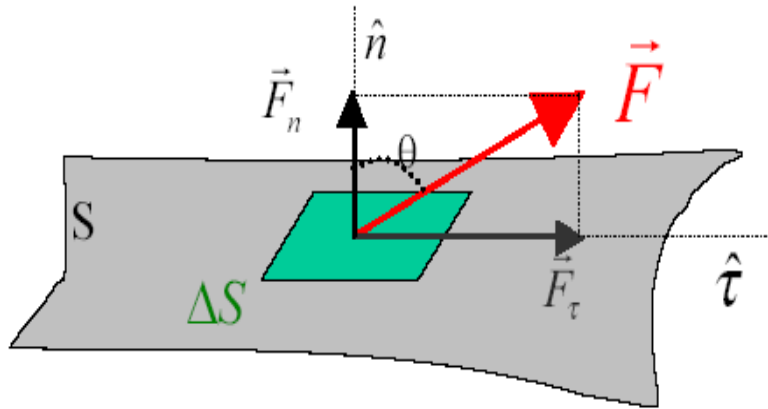


# Lez 12 10112015

# Fluidi

- Sistemi che possono essere trattati come continui
- Fissato un elemento arbitrario del fluido possiamo applicare le leggi della meccanica di Newton ad esso: agiscono forze dovute alle interazioni dell'elemento di fluido con l'ambiente circostante (p. es. gravita') e con il resto del fluido.
- Definizione intuitiva: sistemi continui non dotati di forma e volume propri, come i solidi, a cui possiamo applicare le stesse considerazioni



$$\left. \begin{aligned} F_t^{(s)} &\Rightarrow \frac{dF_t^{(s)}}{dS} = \tau \\ F_n^{(s)} &\Rightarrow \frac{dF_n^{(s)}}{dS} = p \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{scalari}$$

Le forze che agiscono su un elemento di fluido sono:

Forze di volume: per ciascun elemento di massa  $dm = \rho dV$ , sono le forze proporzionali al volume dell'elemento, come la forza peso  $P = gdm = g \rho dV$

Forze di superficie: sono dovute alle interazioni degli elementi di fluido contigui e avvengono sulla superficie dell'elemento preso in considerazione e sono proporzionali alla superficie.

Possono essere scomposte in due forze: una parallela alla superficie, detta Forza di taglio  $F_\tau$  e una perpendicolare, detta forza normale  $F_n$ .

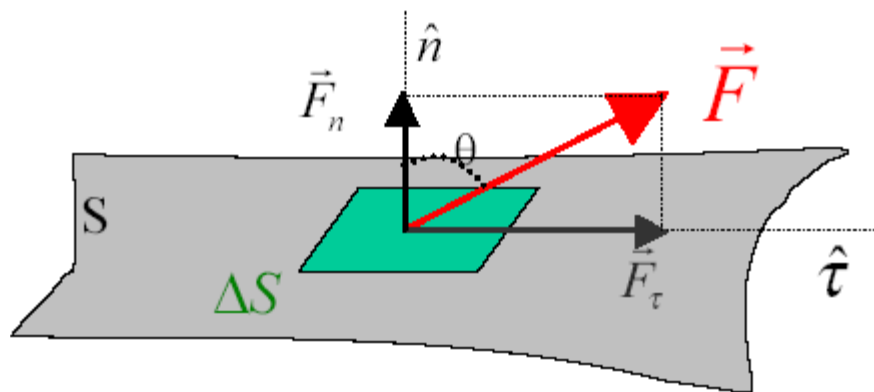
Per la descrizione del fluido si considerano le FORZE PER UNITA' DI SUPERFICIE dato che la superficie, come l'elemento di fluido, e' arbitraria.

# Forze normali e tangenziali

- Si definisce sforzo normale o **pressione** la forza normale per unita' di superficie

$$p \equiv \frac{F_n}{\Delta S} = \frac{|\vec{F}| \cos \theta}{\Delta S}$$

- Si definisce sforzo tangenziale o di taglio la forza parallela alla superficie per unita' di superficie



$$\tau \equiv \frac{F_t}{\Delta S} = \frac{|\vec{F}| \sin \theta}{\Delta S}$$

NB: lo sforzo e' una forza per unita' di superficie: la forza TOTALE agente agente sulla superficie e' **sforzo\*superficie** su cui agisce

# Pressione

*La pressione per un fluido non ha caratteristiche direzionali*, essa è funzione scalare del punto che si considera all'interno del fluido e non dipende dall'orientazione della superficie su cui è misurata

La pressione in un punto di un fluido è il rapporto tra la forza agente su una superficie infinitesima che circonda il punto e l'area della superficie stessa

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} = \frac{dF}{dS} \quad \Rightarrow \quad p = \frac{dF}{dS} \quad p = \frac{F}{S} \quad \text{Se } F \text{ costante e' applicata a una superficie finita } S$$

## Unità di misura SI

$$\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow (\text{Pa})$$

## Dimensioni:

$$[\text{MLT}^{-2}] \cdot [\text{L}^{-2}] = [\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}]$$

*la pressione in un fluido si misura ad es con il Barometro aneroide (scatola deformabile)*

**La PRESSIONE è uno scalare**

altre unità:  $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \\ 1 \text{ atm} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} = 1.013 \text{ Bar} \\ 1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm Hg} \Rightarrow 760 \text{ mm Hg} = 760 \text{ Torr} = 1 \text{ atm} \end{array} \right.$

# Cosa sono i Fluidi?

- **Definizione Intuitiva:** I Fluidi sono sostanze non aventi forma propria
  - Liquidi: fluidi dotati di volume proprio
  - Aeriformi: fluidi non dotati di volume proprio, cioè tendono a occupare tutto il volume a disposizione
- **Definizione Corretta:** I Fluidi sono sostanze in cui, all'equilibrio, tutti gli sforzi interni (vedremo cosa sono) hanno direzione normale alle rispettive superfici (in una gelatina questo non succede), cioè NON ci sono sforzi di taglio
  - Liquido: fluido dotato di bassissima compressibilità isoterma
  - Aeriforme: fluido dotato di elevata compressibilità isoterma

# Solido e fluido

- Si può dare una definizione di solido e fluido in base alla resistenza agli sforzi di taglio
- Un solido è un corpo che si oppone alla deformazione dovuta a sforzi di taglio con una forza che per piccole deformazioni è elastica
- Un fluido non offre resistenza agli sforzi di taglio

# Solido e fluido

- Possiamo dire che i solidi sono sistemi in cui e' necessario uno sforzo di taglio per produrre una deformazione, mentre i fluidi non offrono resistenza agli sforzi di taglio, cioe' alle deformazioni.
- La caratteristica dei fluidi e' che i differenti elementi di fluido possono scorrere gli uni rispetto agli altri. Nei fluidi reali lo sforzo di taglio e' proporzionale alla differenza di velocita' dei due elementi di fluidi in moto relativo, o piu' precisamente a  $\Delta v / \Delta x$ , dove  $dx$  e' la distanza fra i due elementi.  $\Delta v / \Delta x$  si chiama GRADIENTE di velocita'. Il coefficiente di proporzionalita' si chiama viscosita' del fluido ed e' l'analogo dell'attrito nei sistemi meccanici,  $dF = \eta dS dv/dx$



# Solido e fluido

- La viscosita' fa si che un elemento di fluido tende a trascinare quelli con cui e' a contatto, e allo stesso tempo viene rallentato dal trascinamento.
- E' necessaria quindi una forza per mantenere un elemento di fluido in moto a velocita' costante, analogamente a quanto accade quando c'e' attrito fra due superfici in moto relativo.
- A causa della viscosita', l'elemento di fluido a contatto con una parete solida e' **SEMPRE** in quiete rispetto alla parete, cioe' e' solidale ad essa (quindi viene trascinato se la parete e' in moto).

# Solido e fluido

I corpi non sono in realta' continui, ma discreti a causa della natura atomica della materia. Le caratteristiche macroscopiche come la forma e volume o, come si dice, gli stati di aggregazione, dipendono dalla natura delle interazioni a livello atomico e molecolare, cioe' microscopico.

**Solidi** → forza di legami tra i componenti atomi o molecole tale che restano fisse o oscillano attorno a posizione di equilibrio . Solidi difficili da deformare  
alto valore di modulo di Young

**Liquidi** → legame meno forte, componenti si muovono, ma restano legati (no forma propria, impossibilità a resistere a sforzo di taglio, incompressibilità)

**Gas** → molecole in movimento e molto distanti tra loro. Forze intermolecolari decrescono con distanza, non riescono a tenere legate le molecole (no forma e volume proprio, facilmente compressibili, no resistenza a sforzi di taglio)

# Passaggi di stato

Lo stato di aggregazione non è immutabile, si può passare da uno stato di aggregazione all'altro con continuità'.

Cioè un corpo, un sistema fisico può passare dallo stato solido a quello fluido e viceversa, come risultato delle sue interazioni con l'ambiente circostante, cioè come risultato dei suoi scambi di energia con l'ambiente.

Sono ben noti:

Solido → liquido : fusione (inverso: solidificazione)

Liquido → gas : evaporazione (inverso: condensazione)

Solido → gas : sublimazione (inverso: brinamento)

A questo punto, però, occorre sviluppare dei concetti nuovi per spiegare questi fenomeni prima di procedere con lo studio delle proprietà dei fluidi.

# Termodinamica: introduzione

- Prendete un cubetto di ghiaccio dal frigorifero e poggiatelo sul tavolo.

Potete misurare varie grandezze meccaniche:

- massa, volume, densità, forza normale, coefficiente di attrito, etc...
- Allontanatevi ... tornate ... trovate una pozza d'acqua al posto del cubetto di ghiaccio.
- Con i concetti studiati in meccanica non si riesce a spiegare in modo “semplice” il fenomeno.

# Termodinamica: introduzione (2)

- ❑ Prendete un gas, aria per esempio e riempitene un pallone.
- ❑ Scaldate l'aria nel pallone, p es con una fiamma (come negli aerostati).
- ❑ Il pallone si dilata (se non e' rigido), non ruota, non trasla → il suo centro di massa non si sposta...ma qualcosa nello stato del sistema e' cambiato: se ora sganciamo il pallone dall'ancoraggio a terra, esso sale (se e' "caldo" abbastanza)!
- ❑ Poiche' non si e' spostato durante il tempo in cui la fiamma e' stata a contatto con l'aria nel pallone, la sua energia meccanica e' rimasta la stessa. Da dove ha preso l'energia per salire contro la gravita'?

Anche in questo caso, le leggi della meccanica non riescono a spiegare in modo semplice il fenomeno

# Termodinamica: introduzione (3)

Per descrivere questi processi e altri simili si può osservare che i sistemi in questione sono formati da un gran numero di particelle (molecole, atomi) che costituiscono il corpo delle quali non interessa conoscere singolarmente, istante per istante, lo stato di moto, mentre si desidera conoscere il comportamento globale dell'insieme nel processo in esame, come il riscaldamento e la fusione. Un sistema del genere viene descritto mediante un numero limitato di grandezze fisiche, la cui introduzione è suggerita dall'esperienza (volume, pressione, temperatura,...). La descrizione del processo in questi termini conduce alla termodinamica

Occorre introdurre nuove grandezze fisiche per descrivere questi processi, come per esempio:

- ☐ Temperatura
- ☐ Calore

# Termodinamica: definizione

- Studia il **bilancio energetico** di sistemi fisici nel modo più generale, compresi scambi di energia non meccanici (**calore**)
- La termodinamica è quella parte della fisica che studia il comportamento di sistemi complessi composti, da un punto di vista microscopico, da un numero molto elevato di **particelle**, utilizzando poche grandezze fisiche macroscopiche complessive del sistema (termodinamico) stesso, come volume, pressione, densità, temperatura,...).

# La Termodinamica

Esperienze come quelle descritte nell'introduzione suggeriscono che i processi visti dipendano dallo stato "termico" del corpo, distinto da quello meccanico.

Lo stato termico del corpo e' misurato da una nuova grandezza fisica, la temperatura

I concetti di stato termico e temperatura sono suggeriti anche dalle sensazioni che si provano nel toccare corpi in diversi stati termici (provate a toccare un pezzo di ferro incandescente o lo stesso pezzo immerso in un bagno di azoto liquido...), le quali vanno rese oggettive mediante l'uso di appositi strumenti

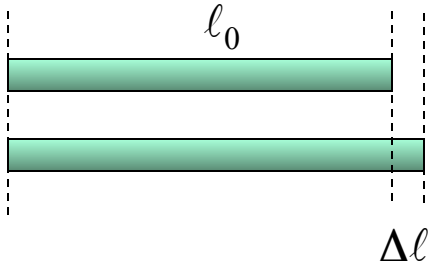


# Temperatura

- La grandezza fisica temperatura deve essere definita operativamente, cioè definendo le modalità con cui viene misurata
- Partiamo da osservazioni sperimentali:
  - Se poniamo due corpi, uno che “sentiamo” più caldo e uno che “sentiamo” più freddo, a contatto essi pervengono ad uno stato di equilibrio termico, cioè si trovano nello stato termico, dopo un tempo sufficientemente lungo.
  - Possiamo dire che la grandezza temperatura (non ancora ben definita!) assume in questo caso lo stesso valore per entrambi i corpi
  - Al variare dello stato termico variano i valori che assumono certe grandezze fisiche come lunghezza, volume, densità, etc..

# Termologia

Dilatazione termica. E' una delle proprietà termometriche con cui si misura la temperatura



$$\Delta \ell = \ell_0 \lambda \Delta T$$

$$\lambda = \frac{1}{\ell_0} \frac{\Delta \ell}{\Delta T}$$

coefficiente di  
espansione lineare.

**Esempi** ( $\lambda$  in  $\text{K}^{-1}$ ):

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| acciaio     | $1.1 \cdot 10^{-5}$ |
| rame        | $1.7 \cdot 10^{-5}$ |
| vetro pyrex | $3.2 \cdot 10^{-6}$ |

In generale  $\lambda > 0$  (il riscaldamento provoca espansione, quasi sempre). Per l'espansione volumica:

$$\Delta V = V_0 \alpha \Delta T$$

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta T} = (1 + \lambda)^3 - 1 \approx 3\lambda$$

**Esempi:**

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| acqua          | $1.8 \cdot 10^{-4}$  |
| Alcool etilico | $10.4 \cdot 10^{-4}$ |
| Hg             | $1.8 \cdot 10^{-4}$  |

E' ciò che si sfrutta nei termometri a mercurio

# Misuriamo la Temperatura

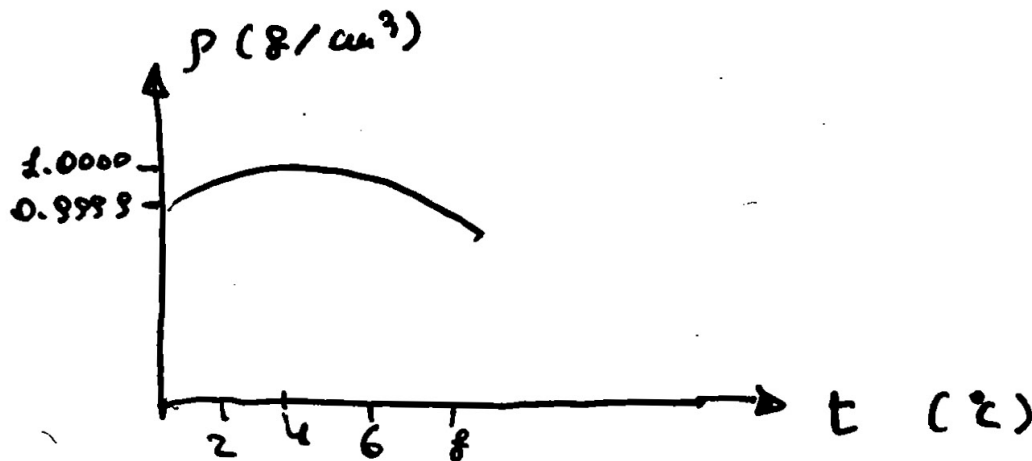
- Possiamo quindi usare un corpo (sostanza termometrica) e mettere in relazione la variazione di una grandezza fisica (proprietà termometrica) con la variazione di dello stato termico di un corpo e costruire uno strumento (**termoscopio**) per misurare lo stato termico del corpo
- Diremo che due corpi o sistemi si trovano nello stesso stato termico, cioè hanno la stessa temperatura, se posti successivamente a contatto con il termoscopio, la grandezza termometrica assume lo stesso valore per ciascuno di essi (p. es lo stesso allungamento di una sbarra metallica, la stessa dilatazione di un volume di mercurio,...)

# Comportamento anomalo dell'acqua

A  $T > 4$  C, l'acqua si espande come tutti le sostanze. Fra 0 e 4 C invece si contrae → a  $T > 4$  C la densità diminuisce, a  $T < 4$  C aumenta, cioè a  $T = 4$  C la densità ha un max.

Questo fa sì che l'acqua cominci a gelare dalla superficie : man mano che l'acqua di superficie viene raffreddata, pesa a partire da 10 C verso il punto di congelamento, essa diventa più densa e quindi affonda.

Sotto i 4 C però ulteriori raffreddamenti rendono l'acqua meno densa dell'acqua che sta sotto, perciò rimane in superficie fintanto che ghiaccia. Il ghiaccio è meno denso dell'acqua perché quando ghiaccia l'acqua aumenta di volume



Se i laghi gelassero a partire dal fondo, il ghiaccio così formato non si scioglierebbe durante l'estate essendo isolato dall'acqua soprastante. Dopo pochi anni molti laghi delle zone temperate sarebbero completamente gelati tutto l'anno...la vita acquatica sarebbe completamente diversa e forse non ci sarebbe

# Principio Zero della Termodinamica

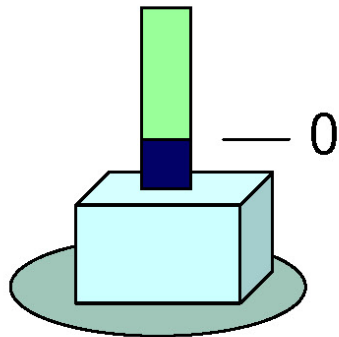
- Con lo strumento (termometro) che ci siamo appena costruiti, possiamo verificare se due corpi sono alla stessa temperatura, cioè sono all'equilibrio termico fra di loro.
- Si trova che:  

Se un corpo A è all'equilibrio termico con un corpo B, e il corpo B è all'equilibrio termico con un corpo C, allora A è all'equilibrio termico con C.
- La legge zero viene utilizzata continuamente, infatti si misura la temperatura del termometro che si suppone all'equilibrio termico con il corpo e la si chiama "temperatura del corpo"

# Scale Termometriche

- Abbiamo visto come possiamo misurare (in maniera approssimata) la temperatura
- Dobbiamo definire una scala termometrica
- Esistono almeno 3 diverse scale termometriche usate nel mondo... **Scala Centigrada o Celsius, assoluta o Kelvin, e fahrenheit:**
  - Si sceglie come  $0^{\circ}\text{C}$  e  $100^{\circ}\text{C}$  la temperatura di fusione ed ebollizione dell'acqua alla pressione di 1 atmosfera
  - Gli americani usano invece la scala Fahrenheit dove le 2 temperature suddette sono rispettivamente  $32^{\circ}\text{F}$  e  $212^{\circ}\text{F}$
- La scala Celsius è anche quella che più rispecchia l'andamento della scala assoluta delle temperature (che ancora dobbiamo definire)

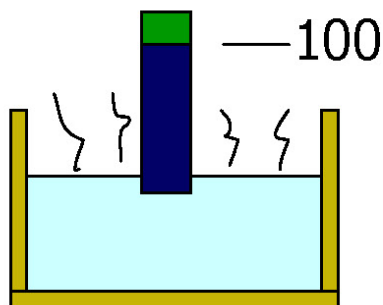
■ Mettiamo a contatto il termometro a mercurio con un cubetto di ghiaccio che sta fondendo:



All'altezza raggiunta dal mercurio nel tubicino si fa corrispondere la temperatura di  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

## Taratura del termoscopio: scala Celsius

■ Mettiamo ora a contatto il termometro con l'acqua che sta bollendo:



All'altezza raggiunta dal mercurio nel tubicino si fa corrispondere la temperatura di  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Si divide ora la distanza tra  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  in 100 parti uguali, in modo tale che il grado Celsius (centigrado) corrisponda alla centesima parte della differenza di temperatura tra il ghiaccio che fonde e l'acqua che bolle.
- Problema: l'acqua non bolle sempre alla stessa temperatura, ma dipende dalla pressione atmosferica.

# Scala Fahrenheit

■ Negli Stati Uniti utilizzano una diversa scala per misurare la temperatura:

- la temperatura del ghiaccio fondente è 32 °F
- la temperatura dell'acqua che bolle è 212 °F
- la differenza di temperatura tra questi due punti è 180 °F.

■ Quindi  $\Delta T = 100\text{ °C} = 180\text{ °F}$

$$\Rightarrow 1\text{ °C} = \frac{180}{100}\text{ °F} = \frac{9}{5}\text{ °F} = 1.8\text{ °F}$$

■ Per passare da °C a °F si fa:

$$T_F = 1.8 T_C + 32$$

■ Per passare da °F a °C si fa:

$$T_C = (T_F - 32) \cdot 5/9$$

esempio: 100 °F -> °C

$$T_C = (100 - 32) \cdot 5/9 = 37.8\text{ °C}$$



# Il Calore

- Sappiamo sperimentalmente che dati due corpi a temperatura diversa, messi a contatto fra loro, raggiungono l'equilibrio termico (cioe' la stessa temperatura) dopo un tempo sufficientemente lungo
- Questo era spiegato (nel 18° secolo) come il flusso di un fluido invisibile ed imponderabile da un corpo all'altro, il **calorico**
- La **teoria del calorico** prevedeva che questo fluido fosse contenuto nei corpi e passasse da un corpo all'altro
- La teoria del calorico fu dimostrata erronea con gli esperimenti di Joule sull'equivalenza fra calore ed energia

# Il Calore ed energia

- ❑ La temperatura di un corpo cambia come risultato dello scambio di calore con l'ambiente esterno
- ❑ La variazione è dovuta allo **scambio di energia di natura non meccanica** tra il sistema e l'ambiente esterno.
- ❑ Questa energia è **energia interna del sistema**, dovuta alla somma delle energie cinetiche e potenziali associate ai moti delle particelle fondamentali (molecole, atomi) che costituiscono il corpo macroscopico
- ❑ L'energia interna scambiata da un sistema all'altro a causa delle differenze di temperatura fra l'ambiente e il sistema prende il nome di calore, mentre quella scambiata senza che siano implicate differenze di  $T$  è chiamata lavoro (per esempio se comprimo un gas con un pistone devo fare lavoro meccanico)

# Termodinamica

- A questo punto si chiarisce meglio il significato della definizione data
- Studia il **bilancio energetico** di sistemi fisici nel modo più generale, compresi scambi di energia non meccanici (**calore**), dato che i sistemi TD possiedono energia interna
- La termodinamica è quella parte della fisica che studia il comportamento di sistemi complessi composti, da un punto di vista microscopico, da un numero molto elevato di **particelle**, utilizzando poche grandezze fisiche macroscopiche complessive del sistema (termodinamico) stesso, come volume, pressione, densità, temperatura,...).

# Capacità Termica e Calore Specifico

- Somministrando una certa quantità di calore  $Q$  ad un corpo di massa  $m$ , si nota che esso varia la sua temperatura di una quantità  $\Delta T$  tale che:

$$\Delta T = \frac{Q}{C}$$

- La grandezza  $C$  è detta **Capacità Termica**.
- Si nota che la variazione di temperatura ottenibile dipende, a parità di materiale, dalla massa del corpo in questione, cioè  $C$  dipende da  $m$ .
- Si definisce allora il **Calore Specifico  $c$**  come:

$$c = \frac{C}{m} \Rightarrow \begin{cases} C = \frac{Q}{\Delta T} \\ c = \frac{1}{m} \frac{Q}{\Delta T} \end{cases}$$

**$c$**  e' una proprieta' intrinseca del sistema TD

# 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 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  $\lambda$ .  
 $Q = \lambda \cdot m$   
 $\lambda_v$  = calore latente di evaporazione  
 $\lambda_F$  = 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:

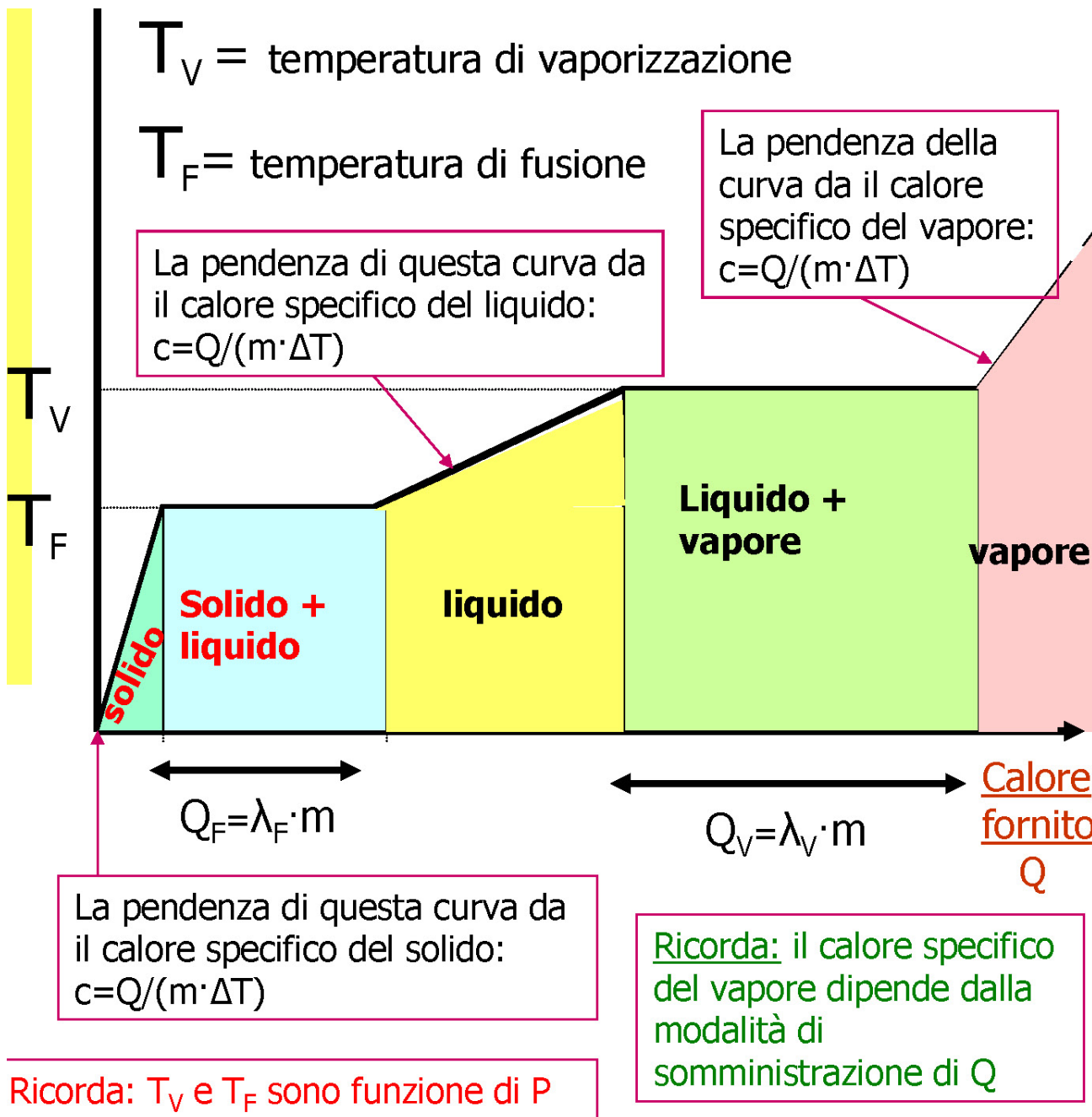
Fusione  $T=0\text{ }^{\circ}\text{C}$  :  $\lambda_F=79.5\text{ cal/g} = 6.01\text{ kJ/mol} = 333\text{ kJ/kg}$

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

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





# Ancora Fluidi

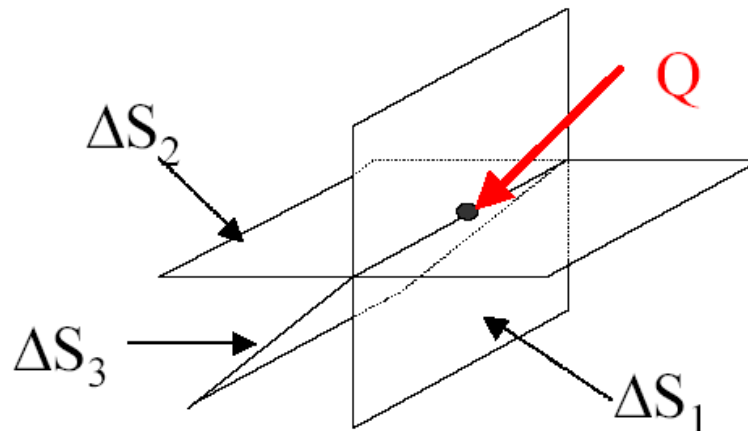
Abbiamo introdotto alcune grandezze fisiche nuove per poter studiare il comportamento di sistemi fisici costituiti da un gran numero di particelle. In particolare abbiamo definito lo stato termico di un corpo, qual'e' la grandezza fisica associata e come energia possa essere scambiata come conseguenza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

# 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



# 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



Definire la pressione

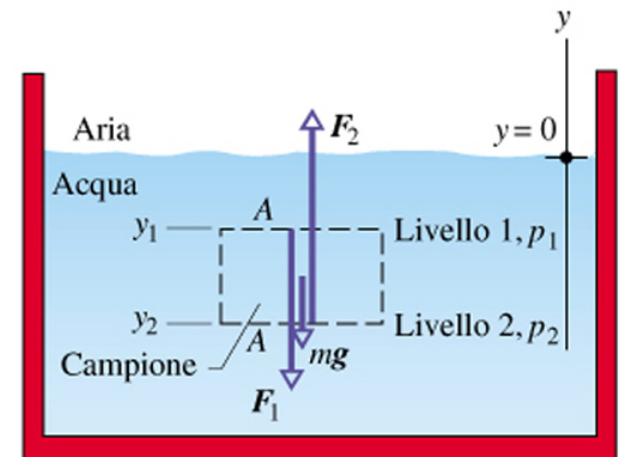
# Pressione in un liquido

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  $|\mathbf{F}_1| = p_1 \cdot A$  diretta verso il basso
- Sulla faccia inferiore (Livello 2) del parallelepipedo agisce una forza  $|\mathbf{F}_2| = p_2 \cdot A$  diretta verso l'alto



# Leggi fondamentali dell'idrostatica (2)

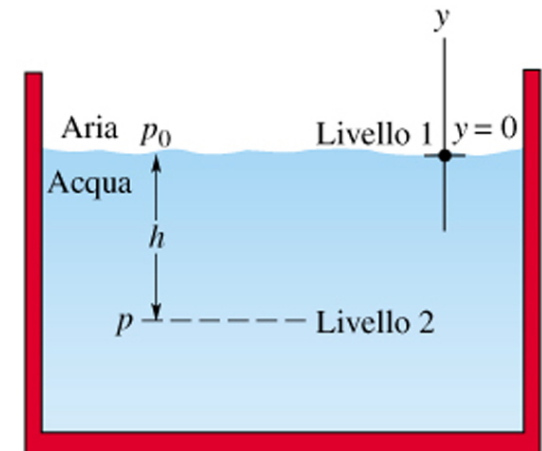
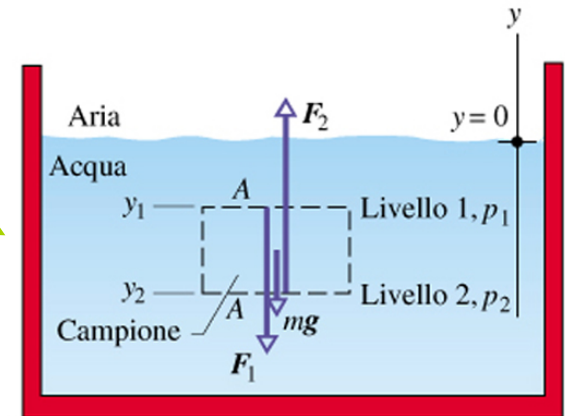
- Il Parallelepipedo è in quiete...
- quindi la risultante delle forze  $\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{P} = \mathbf{0}$  è nulla...  
Con  $P = mg = \rho V = \rho A(y_1 - y_2)$

cioè

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

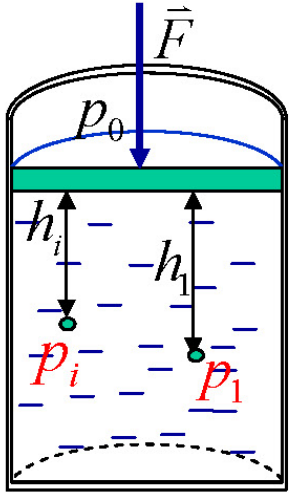
- Questa è una legge generale valida per i fluidi (quindi anche per l'atmosfera terrestre)
- La pressione in un punto di un fluido in equilibrio statico dipende solo dalla profondità di quel punto

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



# Conseguenze della legge di Stevino

## 1. Legge di Pascal



Dalla legge di Stevino:  $\mathbf{p_1 = p_0 + \rho gh}$

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:*

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



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

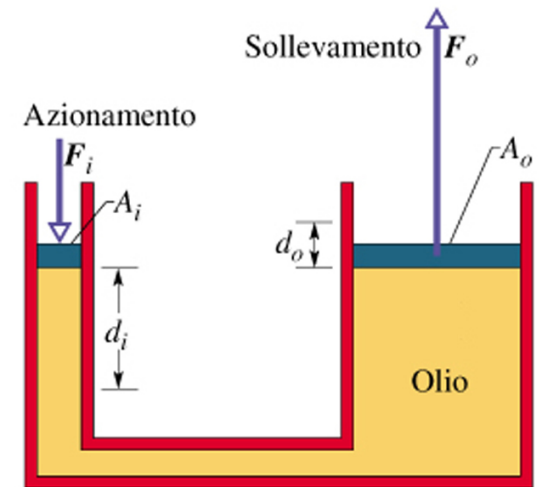
*Tutti i punti nel fluido subiscono la  
stessa variazione di pressione*

# 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.

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

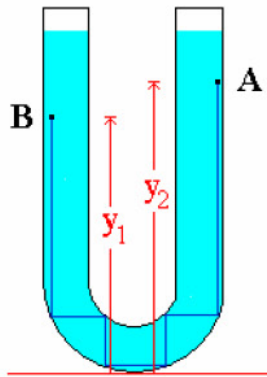
NB: l'energia si conserva → il lavoro e' lo stesso per le due superfici  $A_i$  e  $A_o$  →  $L = F_i d_i = F_o d_o$  →  $d_o = (F_o/F_i)d_i = (pA_o/pA_i)d_i = (A_o/A_i)d_i$  dato che  $A_o \gg A_i$  →  $d_o \ll d_i$





# Conseguenze della legge di Stevino

## 4. Vasi comunicanti



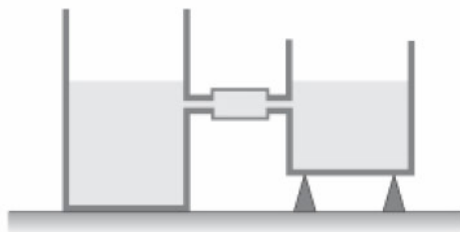
Conseguenza della legge di Stevino è che *in un sistema di vasi comunicanti il fluido contenuto raggiunge la stessa quota indipendentemente dalla forma dei recipienti.*

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

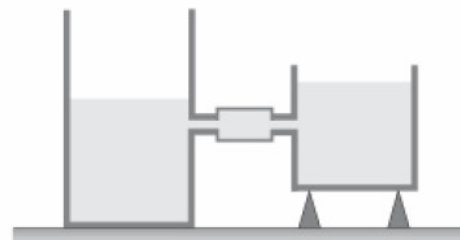
$$p_2 - p_1 = -\rho g(y_2 - y_1)$$

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,  $\Delta p=0$ ,

$\Rightarrow$  allora saranno alla stessa quota  $y_2=y_1$



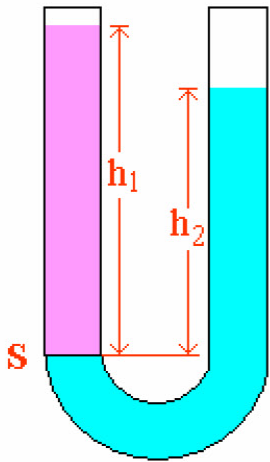
*Condizione di equilibrio*



*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:

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{h_1}{h_2}$$

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