

Parte seconda

FLUIDI e TERMODINAMICA



I FLUIDI: LIQUIDI E GAS

I drostatica ? Fluidi fermi

I drodinamica ? Fluidi in moto

Definizioni

Gli stati della materia sono 4:
solido, liquido, gassoso e plasma.

Un fluido e` un mezzo continuo senza forma propria, che puo` essere nello stato di gas oppure di liquido.

Le differenze principali tra solidi liquidi e gas sono:

- **libero cammino medio**: le particelle di un fluido sono libere di muoversi, nei solidi sono legate tra loro a formare un reticolo cristallino.
- **compressibilità**: se si esercita una pressione Dp su un corpo rigido non si ottiene una variazione di volume DV . Su un fluido sì. Per i liquidi ΔV è piccolo, per i gas è grande.

Densita` **$r = m/V$** [kg/m³]

diminuisce al crescere della temperatura T perche` un aumento di T comporta un aumento di volume.

Per l'acqua $\rho = 10^3$ kg/m³ (molto spesso si usa il sistema cgs, nel quale $\rho = 1$ g/cm³ per l'acqua). La densita` dell'acqua e` massima alla temperatura di 4 °C.

Per l'aria si ha $\rho = 1,29$ kg/m³.

Peso specifico **$s = \text{peso}/V = gr$**

[Kg m⁻²s⁻² = N/m³].

Pressione

$$P = F_n / S$$

Si misura in **Pascal**: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 =$
 $= 10 \text{ dine/cm}^2$

Altre unita` di misura della pressione sono:

? l'**atmosfera**, equivalente a 760 mm di Hg. (essendo $\rho_{\text{Hg}} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) si ha:

$1 \text{ atm} = \rho g h = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,013 \text{ bar}$.

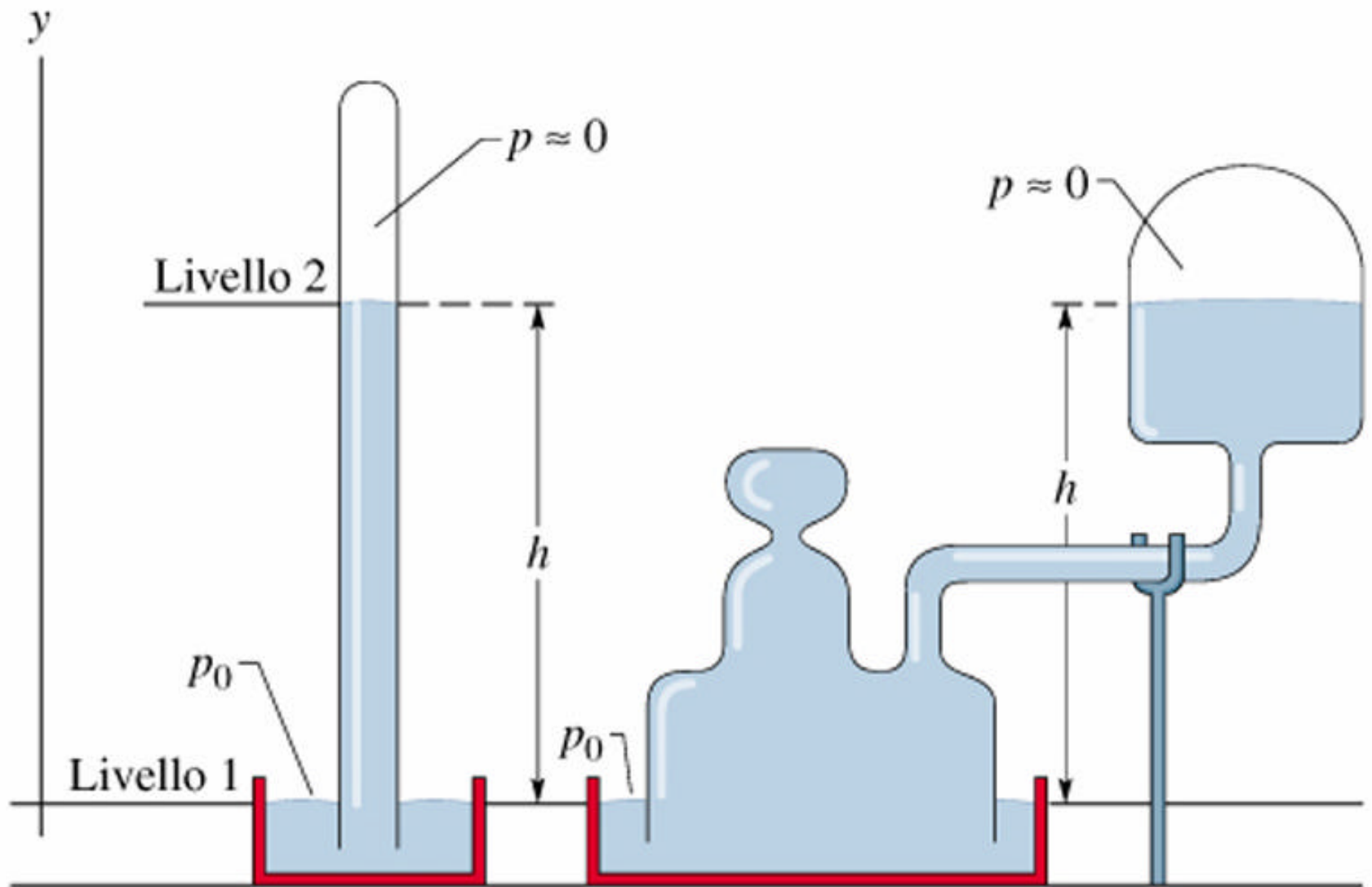
? il **torr**, equivalente a 1 mm di mercurio.

$1 \text{ torr} = 1/760 \text{ atm} = 133 \text{ Pa}$

? il **bar** e il millibar (1 millibar = 10^2 Pa)

La pressione normale dell'atmosfera terrestre (misurata al livello del mare, alla temperatura $T = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e alla latitudine di 45°) equivale a 760 mm di mercurio (densità $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) ossia a $1,033 \cdot 10^5$ Pascal.

Data la differenza di densità, questa è anche la pressione a cui è soggetto un corpo immerso sotto 10 m di acqua.

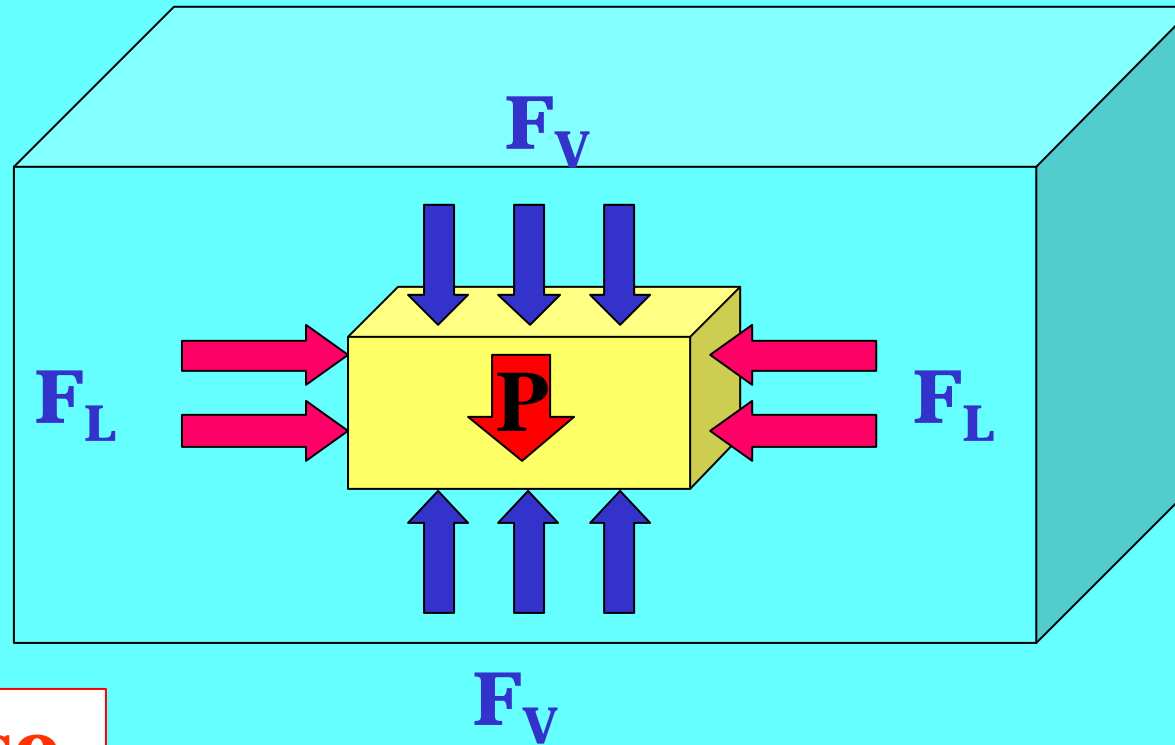


Descrizione macroscopica

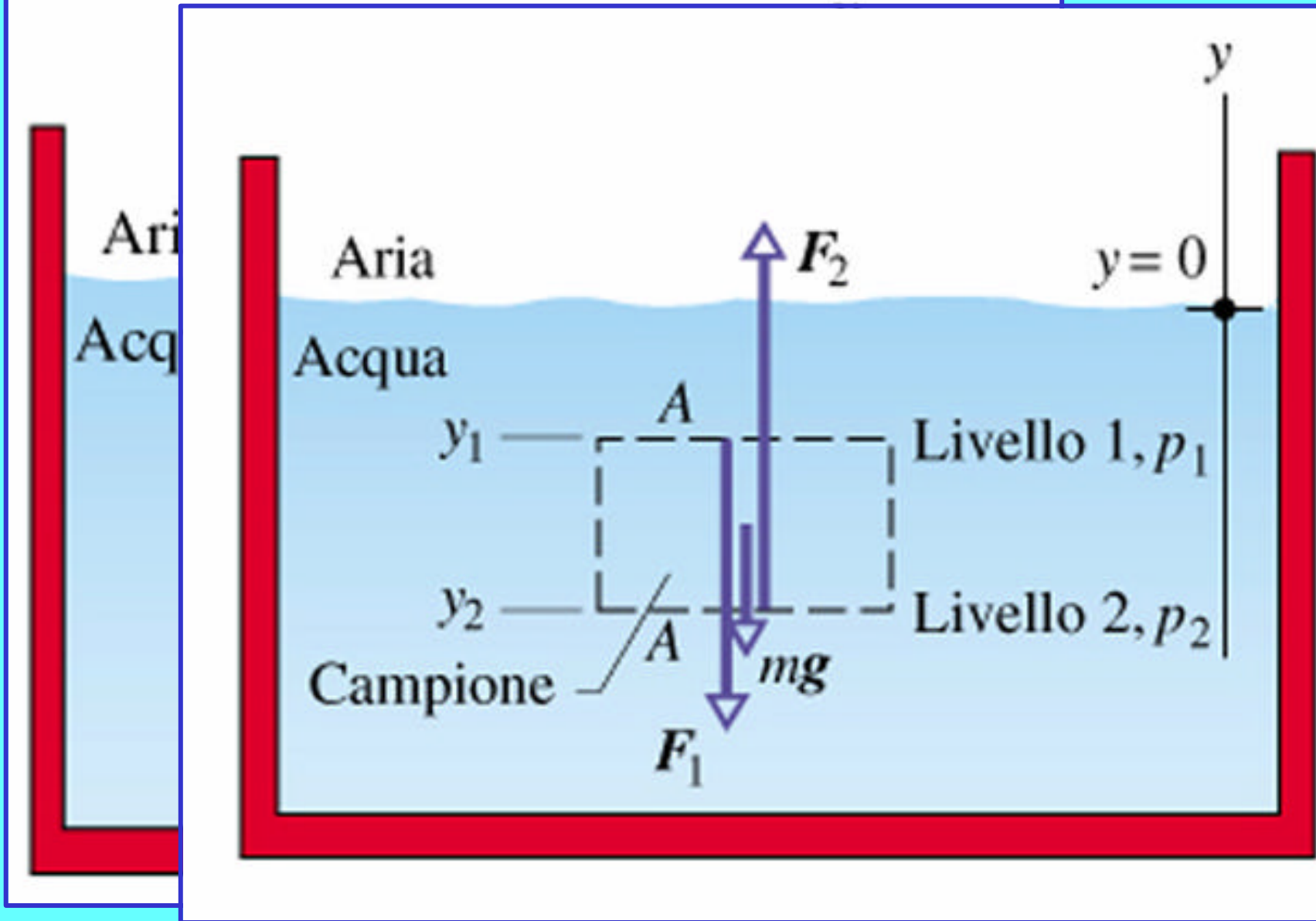
Poiche' il fluido è un mezzo continuo senza forma propria per descriverne il comportamento fisico dal punto di vista macroscopico è opportuno considerare volta per volta elementi di volume ΔV a forma di parallelepipedo ed analizzare le forze che agiscono su di esso

F_V = forze che agiscono sulle facce verticali

F_L = forze che agiscono sulle facce laterali



P = forza peso



In un qualsiasi elemento di liquido le **condizioni di equilibrio** comportano che le forze laterali

$$F_L = pDS$$

siano **uguali**:

$$F' = F''$$

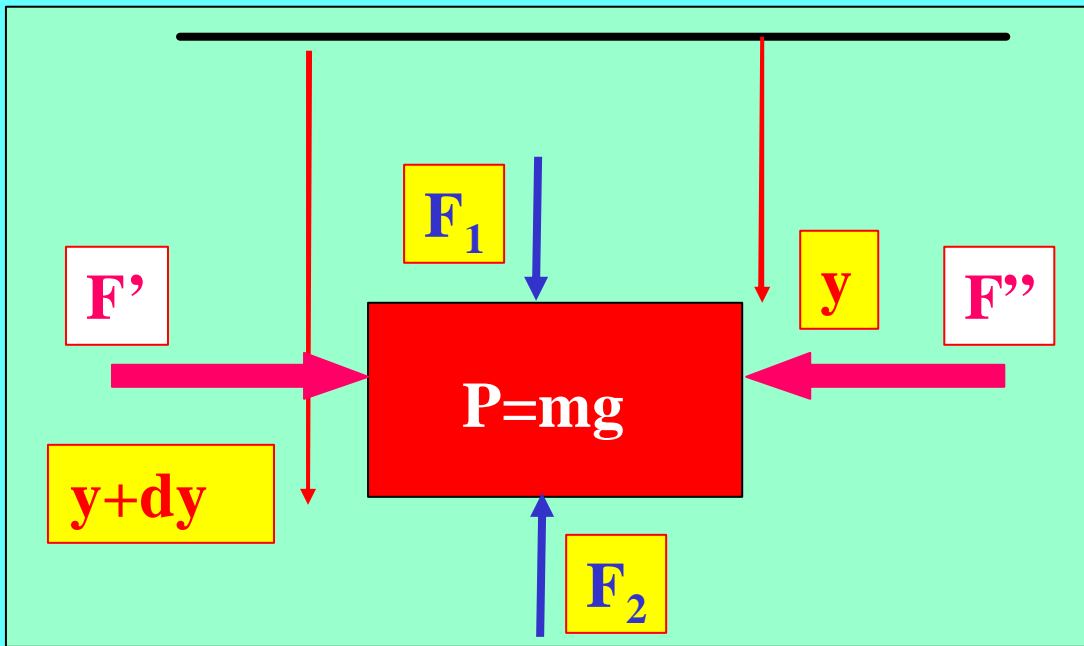
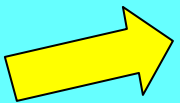
$$p'DS' = p'' DS''$$

Se scelgo la forma di un parallelepipedo allora sarà:

$$\Delta S' = \Delta S''$$

da cui

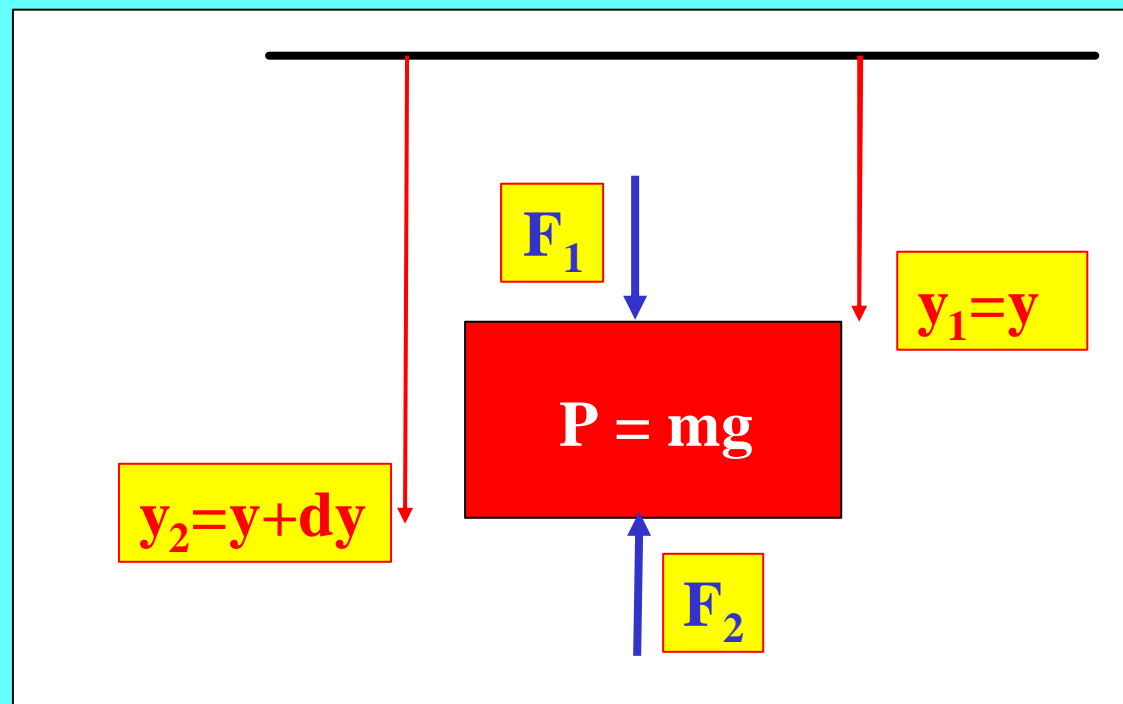
$$p' = p''$$



La pressione in un fluido in equilibrio ha lo stesso valore in tutti i punti alla stessa profondita`.

Legge di Stevino

Le forze verticali sono in equilibrio se

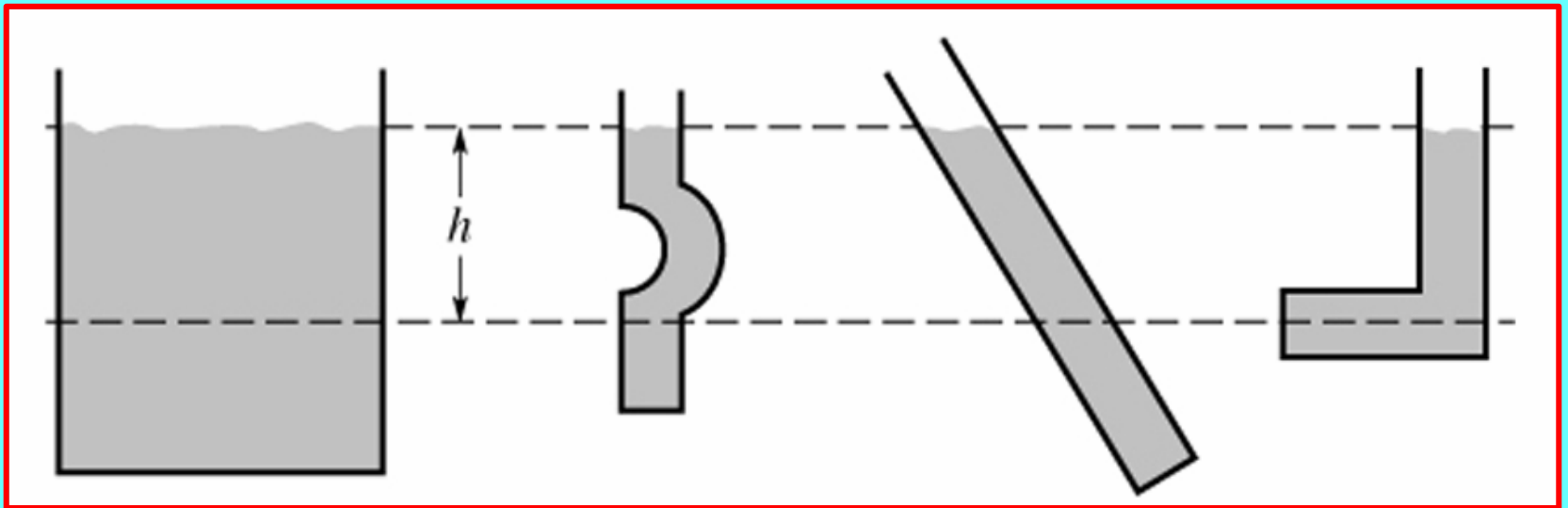


$$F_1 + mg = F_2$$

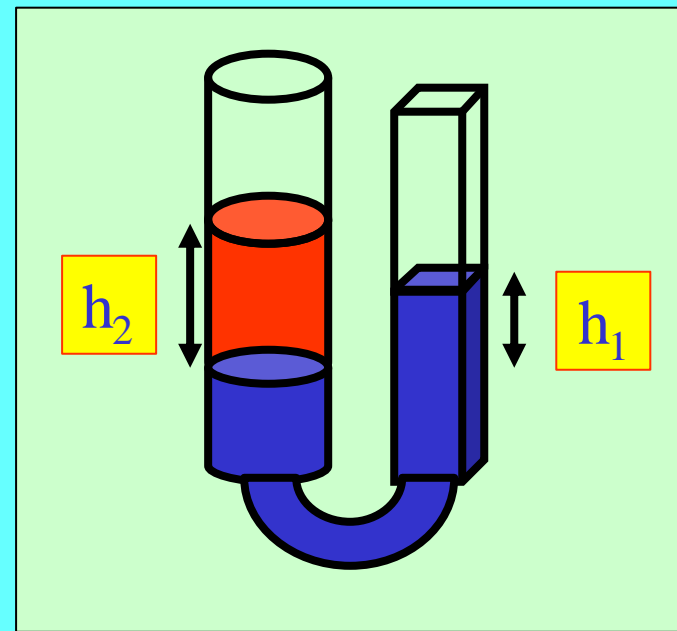
ossia se $p_1 S + mg = p_2 S$, ma $m = \rho S(y_2 - y_1)$, da cui $p_1 S + \rho S(y_2 - y_1)g = p_2 S$ e quindi $p_2 - p_1 = \rho g(y_2 - y_1)$ ossia $\mathbf{p} = \mathbf{p}_0 + \mathbf{rgh}$, o anche:

$$\frac{dp}{dy} = -\mathbf{r}g$$

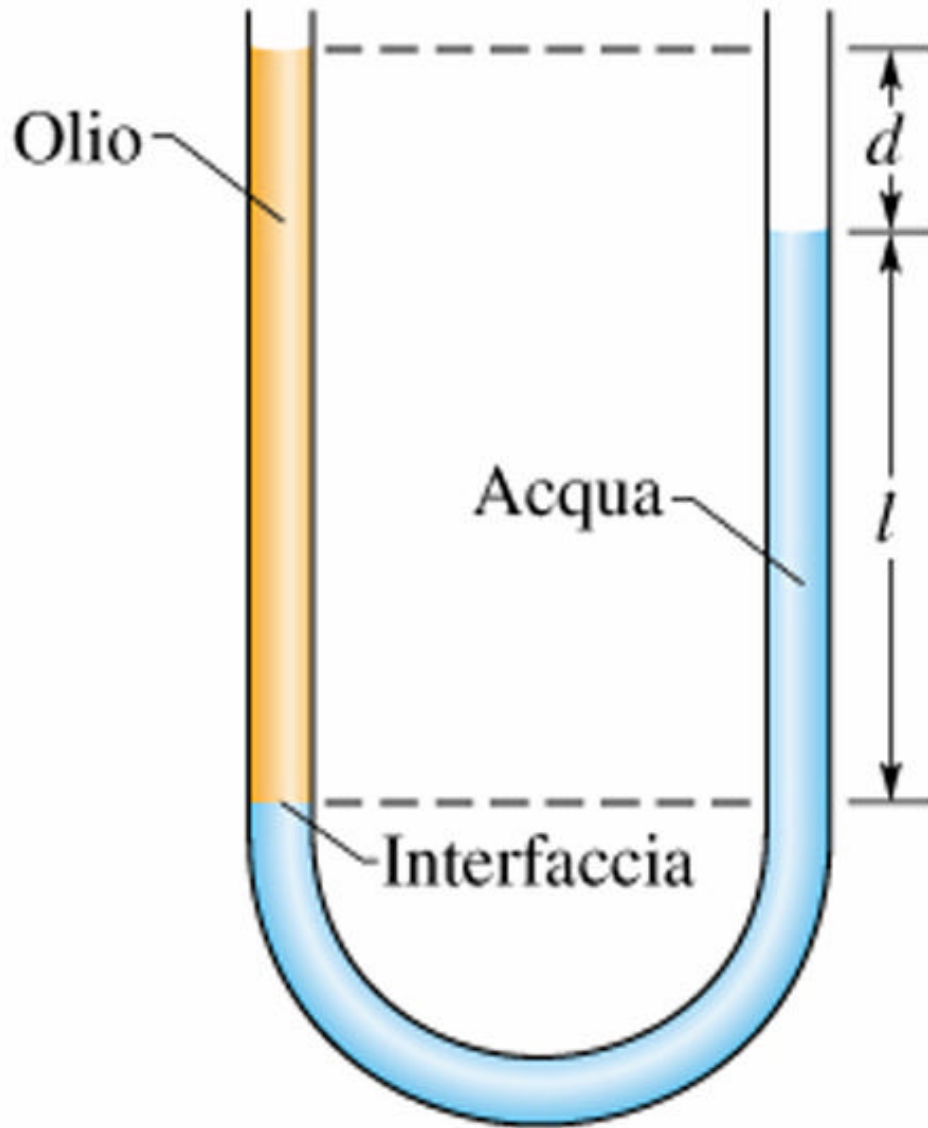
La pressione in un fluido in equilibrio non dipende dalla forma del contenitore ma **solo dalla profondità** $p = p_0 + \rho gh$ (pressione esterna e idrostatica). Un'applicazione si ha, per esempio, nel collaudo di contenitori a cui si fornisce una sovrappressione esterna.



Equilibrio di liquidi immiscibili



Un'applicazione della legge di Stevino si ha quando liquidi non mescolabili, e di diversa densita`, sono messi in vasi comunicanti tra loro. In equilibrio si ha $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$, da cui $\mathbf{h_1/h_2 = r_2/r_1}$. Per esempio, i manometri sfruttano questo effetto.



$$p = p_0 + \rho_a g l$$

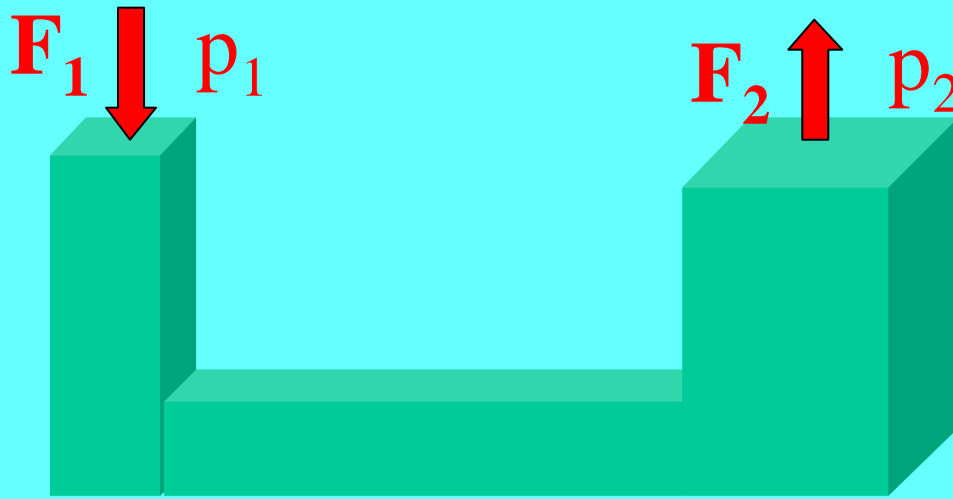
$$p = p_0 + \rho_x g (l+d)$$

uguagliando si
ha:

$$r_x = r_a l / (l+d)$$

non dipende da
 p_0 o da g

Il **principio di Pascal** dice che una variazione di pressione Δp in un fluido incompressibile si trasmette inalterata a tutti i punti del fluido, qualunque sia la loro profondità.



$$p_1 = p_2 \xrightarrow{\text{quindi}} \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \xrightarrow{\text{quindi}} F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}$$

Se $p'_0 = p_0 + \Delta p$, si ha **$p = p_0 + \Delta p + \rho gh$**

La pressa idraulica è un'applicazione del principio di Pascal: se $S_2 \gg S_1$ una piccola forza F_1 sviluppa una forza F_2 molto grande.

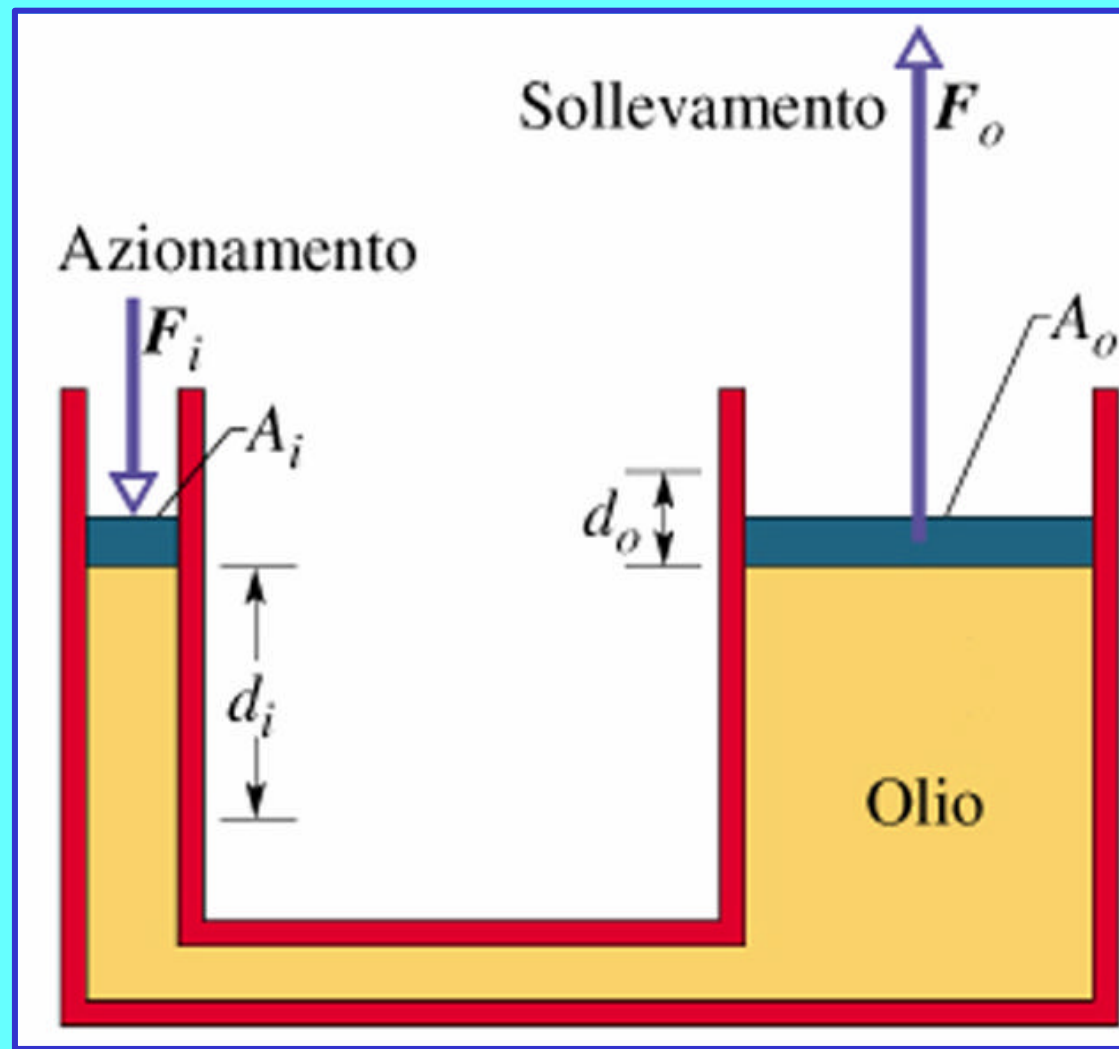
Per esempio, se i raggi dei 2 pistoni di un martinetto idraulico sono

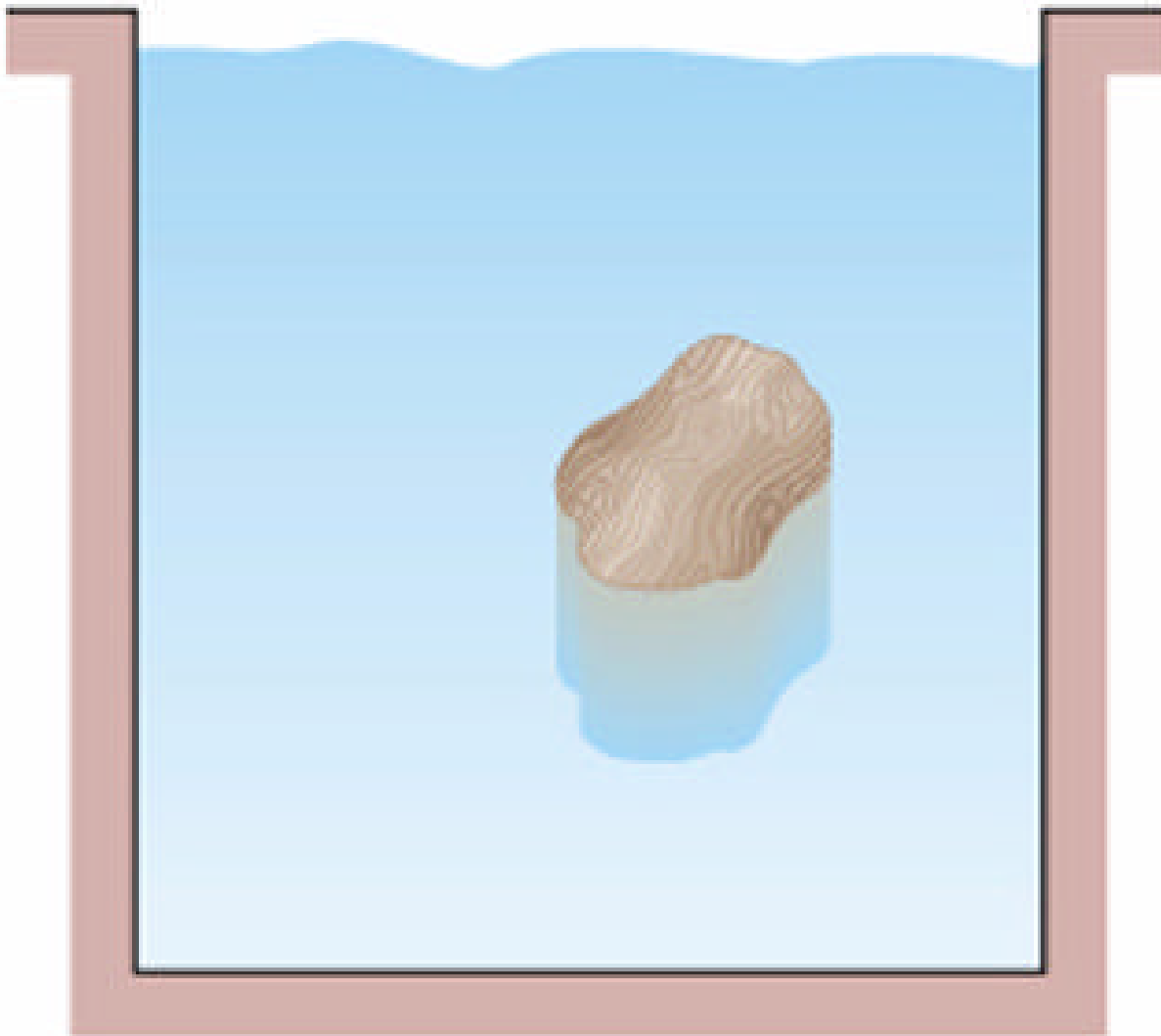
$$r_1 = 1,1 \text{ cm}$$

$$r_2 = 8,2 \text{ cm}$$

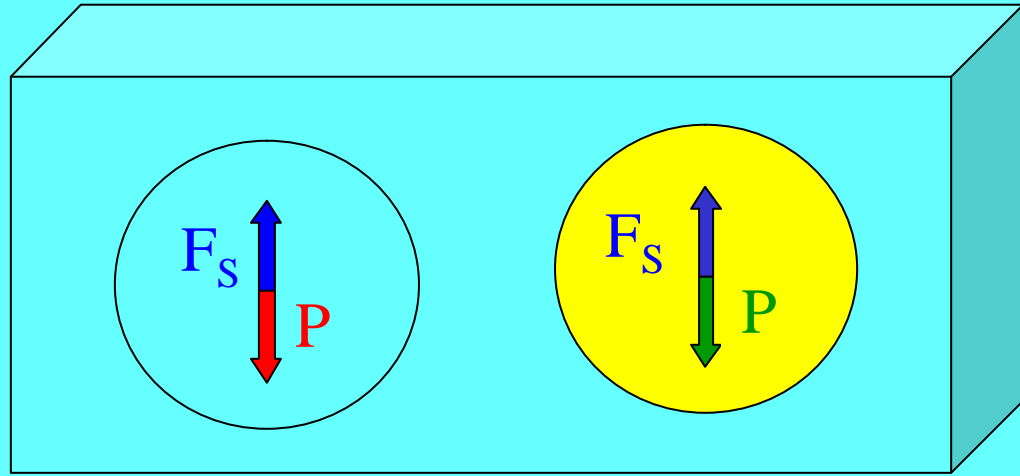
si puo sollevare una vettura di massa 1000 kg esercitando la forza:

$$F_i = \frac{r_1^2}{r_2^2} F_o = \frac{1.21}{67.24} 9810 = 176,5\text{N} \quad \text{pari a } m = 18 \text{ kg}$$





Legge di Archimede

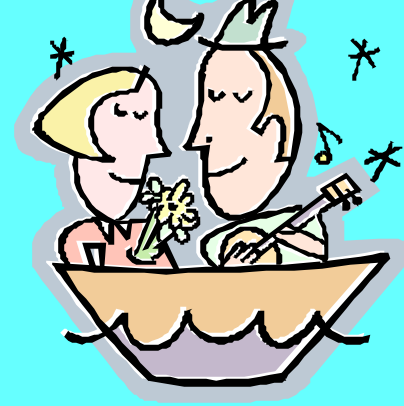


Un elemento di fluido è in equilibrio perché il suo peso è bilanciato da una forza di spinta uguale e contraria $F_S = P = mg = \rho_f Vg$.

Un corpo immerso nel fluido riceve la stessa spinta F_S verso l'alto, pari al peso del volume di fluido spostato. Quindi un corpo di densità minore di quella del fluido galleggia, altrimenti affonda.



Galleggiamento dei corpi

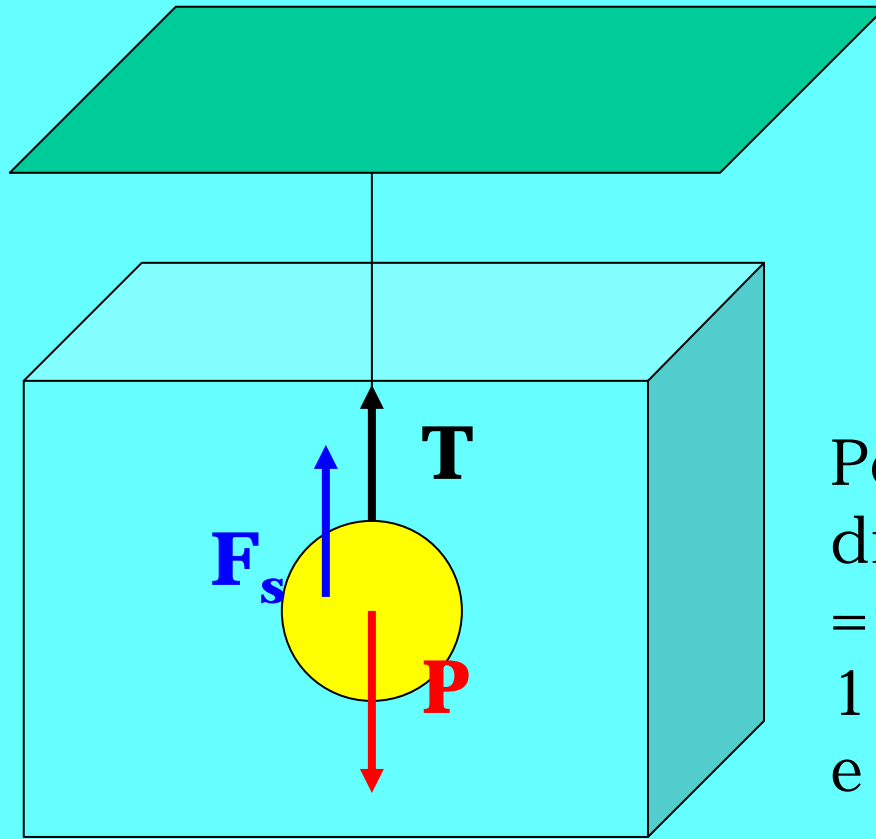


La parte emersa di un corpo galleggiante si ottiene eguagliando la spinta dovuta al liquido spostato dalla parte immersa $F_s = \rho V^* g$ al peso del corpo stesso $P = \rho' V g$ dove V^* è il volume della parte immersa.

Poichè il ghiaccio ha densità $\rho' = 0,92 \text{ g/cm}^3$ e l'acqua marina $\rho = 1,025 \text{ g/cm}^3$. La parte di un iceberg che emerge è:

$$V_{em} = 1 - V^* = 1 - \frac{\rho'}{\rho} V = 0,10$$

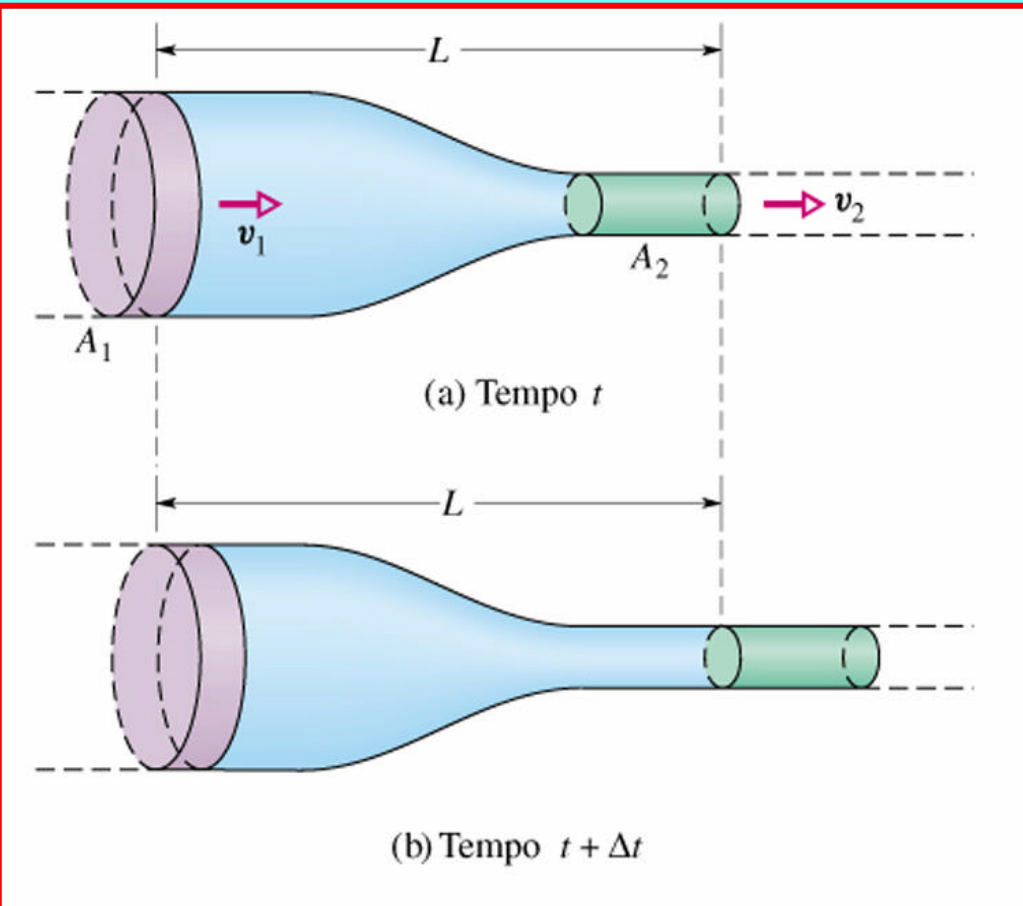
Corpo appeso a un filo e immerso in un fluido



$$T = P - F_s$$

Per esempio, una sfera di alluminio (densità $\rho = 2,65 \text{ g/cm}^3$) di massa 1 kg pesa 9,8 N in aria e 6,1 N in acqua.

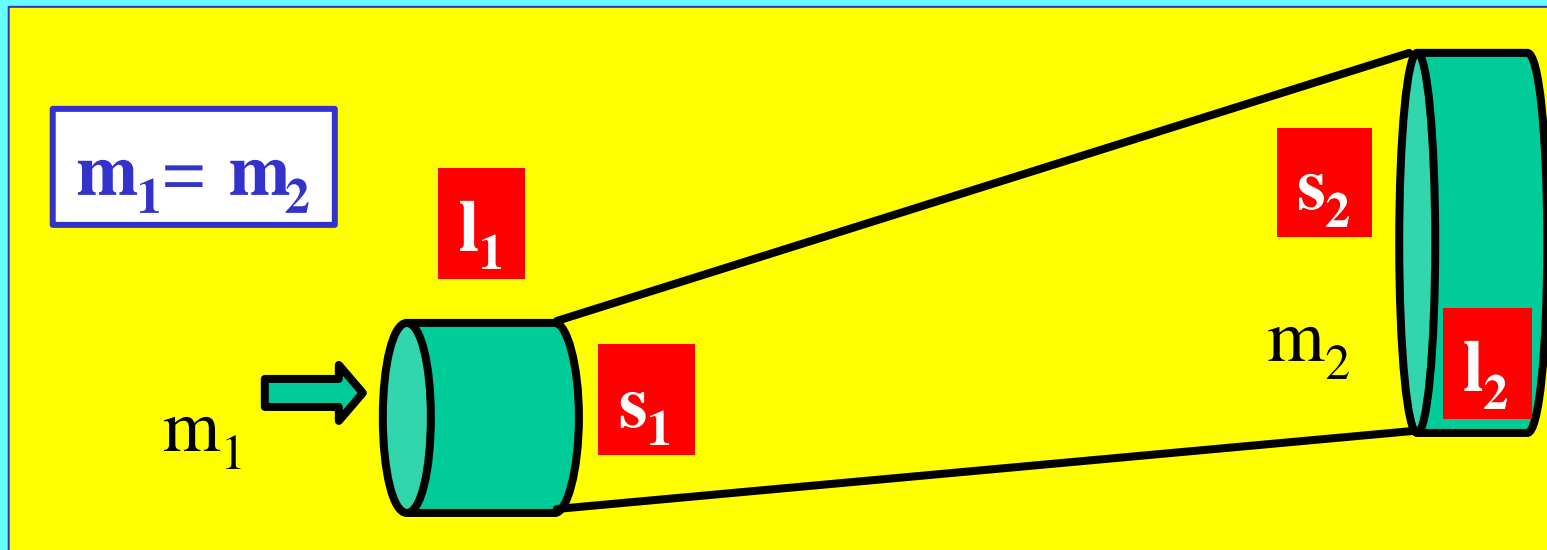
I DRODINAMICA



Un **fluido ideale** deve essere incompressibile (densità ρ **costante**) e non viscoso, ossia **senza attrito**.

Il **moto stazionario** avviene a velocità v costante in modulo, direzione e verso in ogni punto di ogni sezione del condotto

Principio di continuità: la massa m_1 che attraversa in un certo tempo Δt una sezione s_1 del condotto è la stessa che attraversa nello stesso tempo Δt qualunque altra sezione s_2 . Quindi $s_1 l_1 r_1 = s_2 l_2 r_2$ da cui, in un fluido ideale ($\rho_1 = \rho_2$) dividendo per Δt , si ottiene la legge della costanza della **portata** $s_1 v_1 = s_2 v_2$



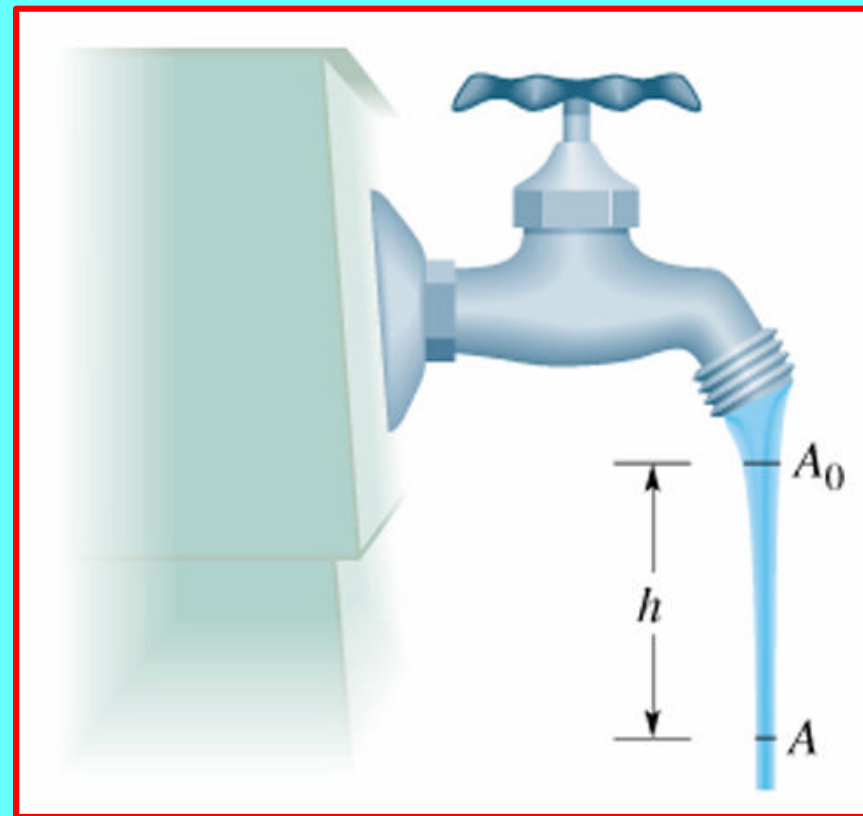
Per esempio, l'acqua che cade da un rubinetto si restringe in quanto la sua velocità aumenta (perché $v^2 = v_0^2 + 2gh$) ma la portata deve restare costante

$$Av = A_0v_0$$

Dalla misura delle 2 sezioni A e A_0 e della distanza h si può ottenere la velocità:

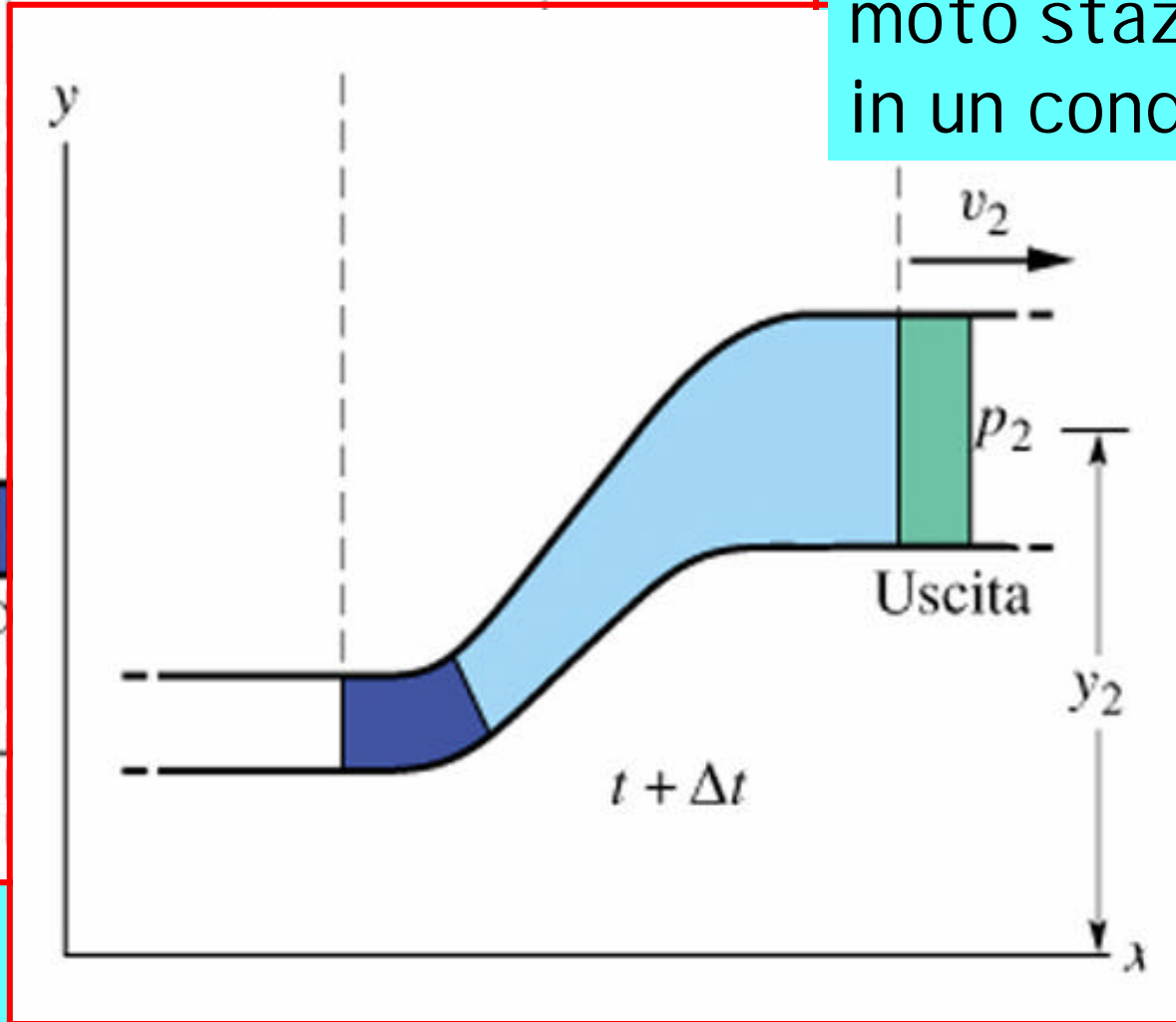
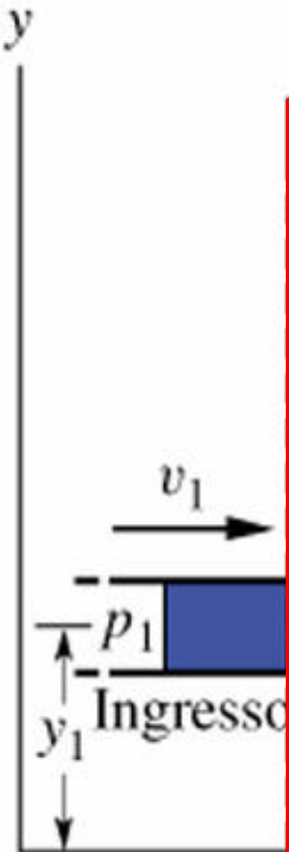
$$v_0 = \sqrt{\frac{2ghA^2}{A_0^2 - A^2}}$$

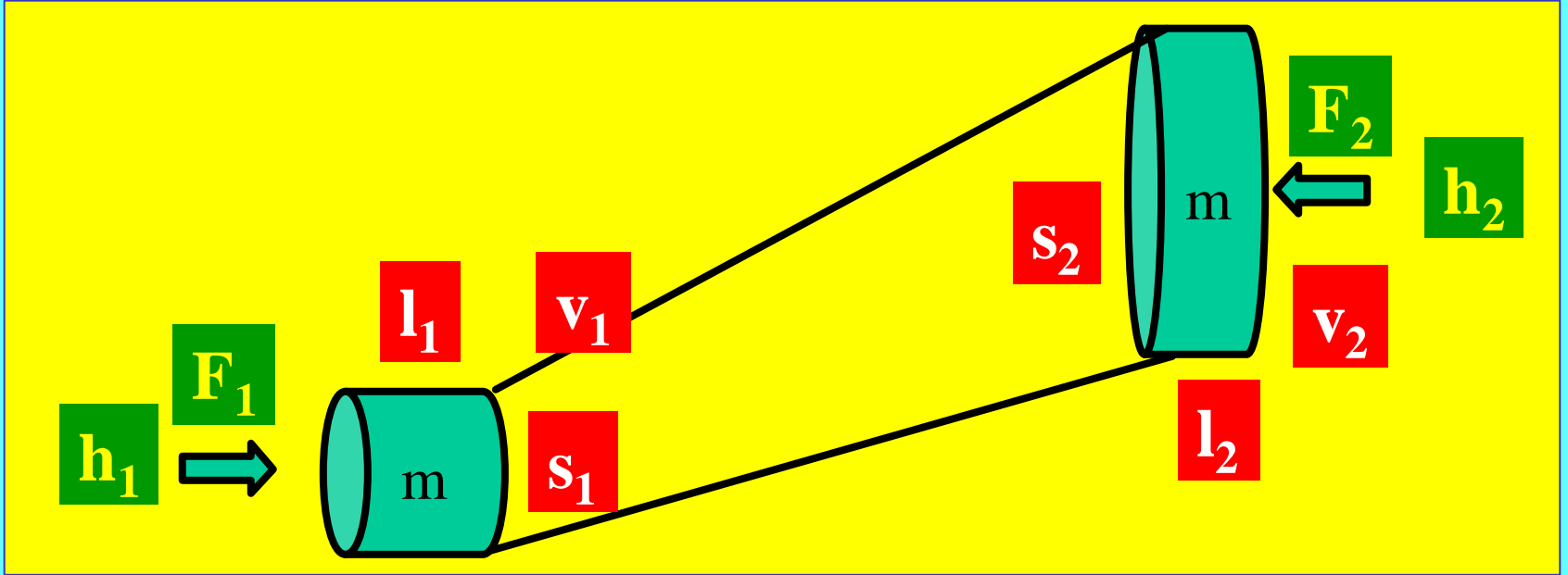
e la portata A_0v_0



Teorema di Bernoulli

conservazione dell'energia nei fluidi ideali in moto stazionario in un condotto





La forza $\mathbf{F}_1 = \mathbf{p}_1 \mathbf{s}_1$ compie il lavoro $\mathbf{L}_1 = \mathbf{F}_1 \mathbf{l}_1 = \mathbf{p}_1 \mathbf{s}_1 \mathbf{l}_1$ sulla massa m nel volume $s_1 l_1$; la forza F_2 compie

il lavoro $\mathbf{L}_2 = -\mathbf{F}_2 \mathbf{l}_2 = -\mathbf{p}_2 \mathbf{s}_2 \mathbf{l}_2$

La forza di gravita` compie il lavoro $\mathbf{L}_3 = \mathbf{m} \mathbf{g} (\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_2)$

$= (\mathbf{r} \mathbf{s}_1 \mathbf{l}_1) \mathbf{g} (\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_2)$

Il lavoro totale e` $\mathbf{L} = \mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2 + \mathbf{L}_3$

L'energia cinetica varia di $\mathbf{DE}_K = \frac{1}{2} \mathbf{r} \mathbf{s}_1 \mathbf{l}_1 (\mathbf{v}_2^2 - \mathbf{v}_1^2)$.

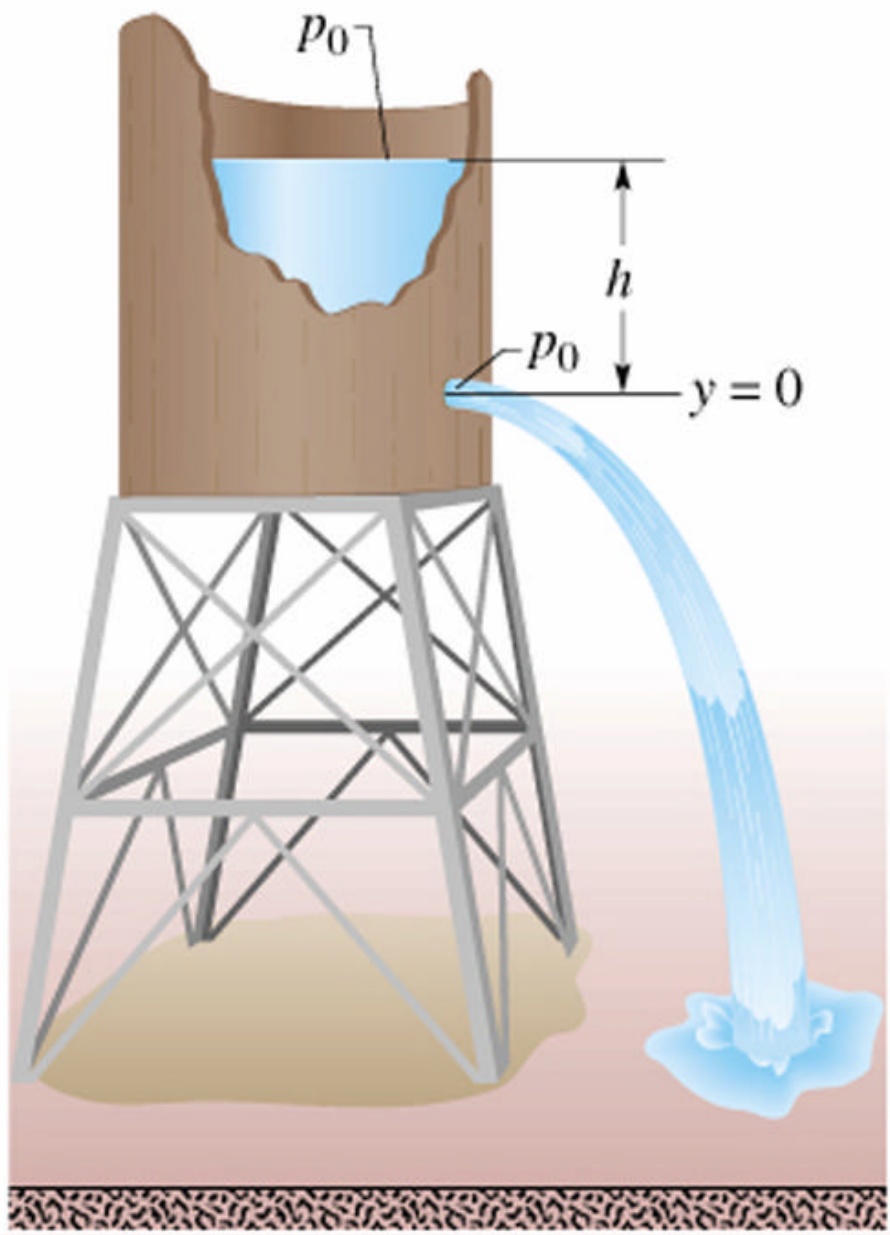
Applicando il teorema delle forze vive $L = \Delta K$ e dividendo i vari termini per $s_1 l_1$, si ottiene:

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2, \text{ ossia}$$

$$\mathbf{p + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{costante}}$$

In regime stazionario, la somma dei tre termini (detti pressione dinamica, pressione di gravità e pressione cinetica) deve rimanere costante per ogni sezione.

Si noti che anche il terzo termine ha le dimensioni di una pressione $[ML^{-1}T^{-2}]$ e che, per $v = 0$, si ottiene la legge di Stevino.



Come esempio, se si apre una fessura di area 10^{-3} m^2 in una cisterna a profondita` $h = 25 \text{ m}$, si puo` calcolare il flusso e la velocita` di uscita.

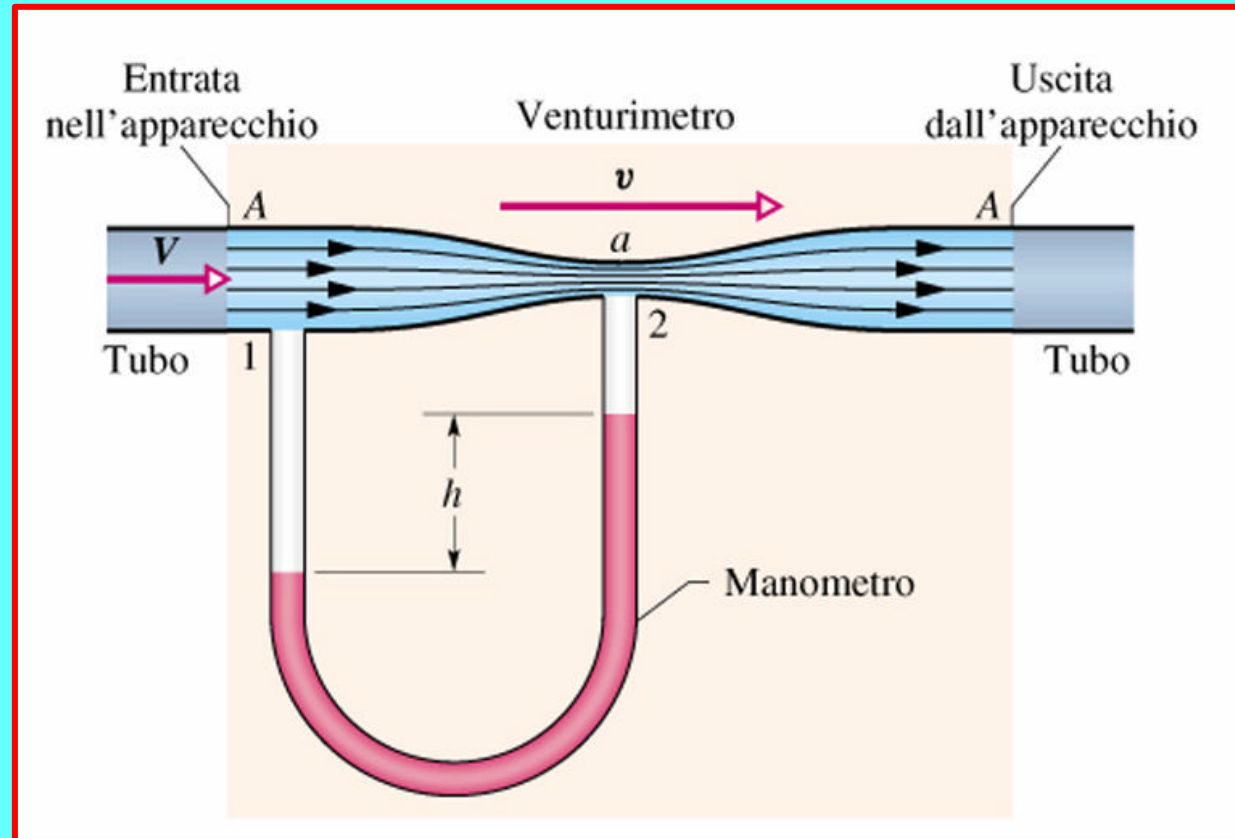
Si ha: $p_1 = p_2 = p_{\text{atm}}$,
 $v_1 = 0$, $h_2 = 0$, $h_1 = 25 \text{ m}$ e dal teorema di Bernoilli si ottiene:
 $v_2 = v \sqrt{2gh} = 70 \text{ m/s}$
e $q = vs = 7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$

Il venturimetro misura la velocità di un fluido in una condotta orizzontale: dalla costanza della portata $av = AV$ e dall'equazione di Bernoulli, in questo caso $\Delta p = \frac{1}{2}\rho(v^2 - V^2)$, si ricava v . Infatti:

$$V = av/A$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho \frac{(A^2 - a^2)}{A^2} v^2$$

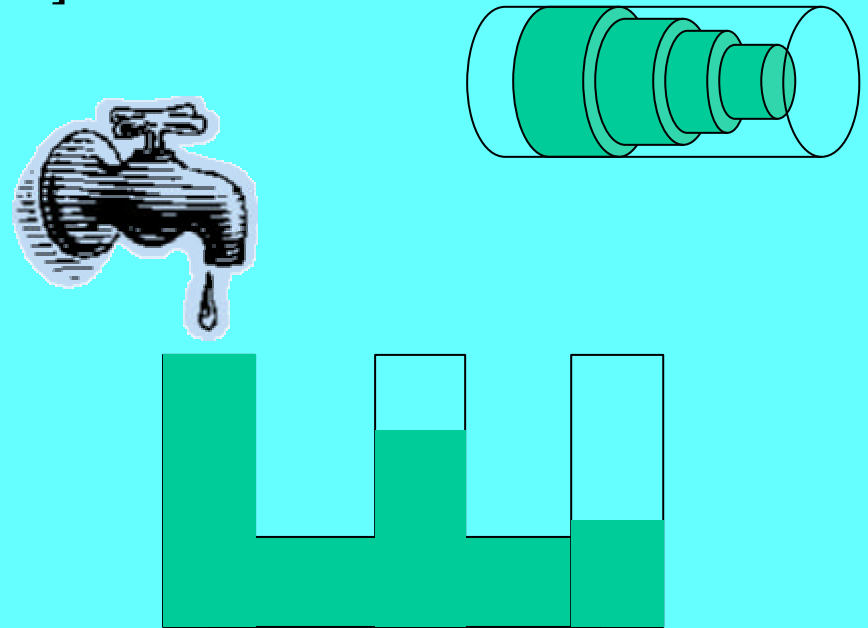
$$v = \sqrt{\frac{2a^2 \Delta p}{\rho(A^2 - a^2)}}$$



Liquidi reali

Viscosita`: forze d'attrito interno tra le superfici di scorrimento di un fluido, la cui intensita` e` data da $\mathbf{F} = \eta D\mathbf{v}/D\mathbf{x} \cdot D\mathbf{S}$; dove η , il coefficiente di attrito viscoso, si misura in Poise [Pa·s].

In un fluido reale c'e` **perdita di carico** dovuta alla dissipazione di energia per attrito interno.



Il moto di un fluido puo` essere laminare o turbolento. Il **numero di Reynolds**, definito da $N_R = rvl/h$, stabilisce il passaggio tra moto laminare ($N_R < 1$) e moto turbolento ($N_R > 10^3$) del fluido.

Oltre alle forze peso e di Archimede, c'e` una forza resistente al moto di un corpo in un fluido dovuta alla sua viscosita`; questa forza e` data da: $F_R = k\eta lv$. Nel caso di corpi sferici di raggio R questa forza e` espressa dalla **legge di Stokes**: $\mathbf{F} = 6\pi\eta R\mathbf{v}$.

La legge di Hagen-Poiseuille

$$V = \frac{\Delta p R^4 t}{8 \eta l}$$

stabilisce il volume di liquido, di viscosità η , che fluisce nel tempo t attraverso un tubicino di raggio R e lunghezza l ai cui estremi è applicata la differenza di pressione Δp .

Sedimentazione

Un corpo (di densità ρ^*) in un fluido viscoso è in equilibrio idrostatico se il suo peso è bilanciato dalle forze di spinta e di resistenza viscosa $P = F_S + F_R$, ossia se $V\rho^*g = V\rho g + k\eta lv$, da questa si ricava la velocità di sedimentazione

$$v = \frac{V(\rho^* - \rho)g}{k\eta l}$$

Nei processi di **centrifugazione**, la legge di Stevino si modifica per tener conto del termine di rotazione:

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_0 + rgh + rw^2\mathbf{R}^2/2.$$

Ne segue che, oltre alla pressione esterna e a quella idrostatica, un corpo di densità ρ^* è soggetto ad una pressione dovuta alla differenza tra forza centripeta e resistente:

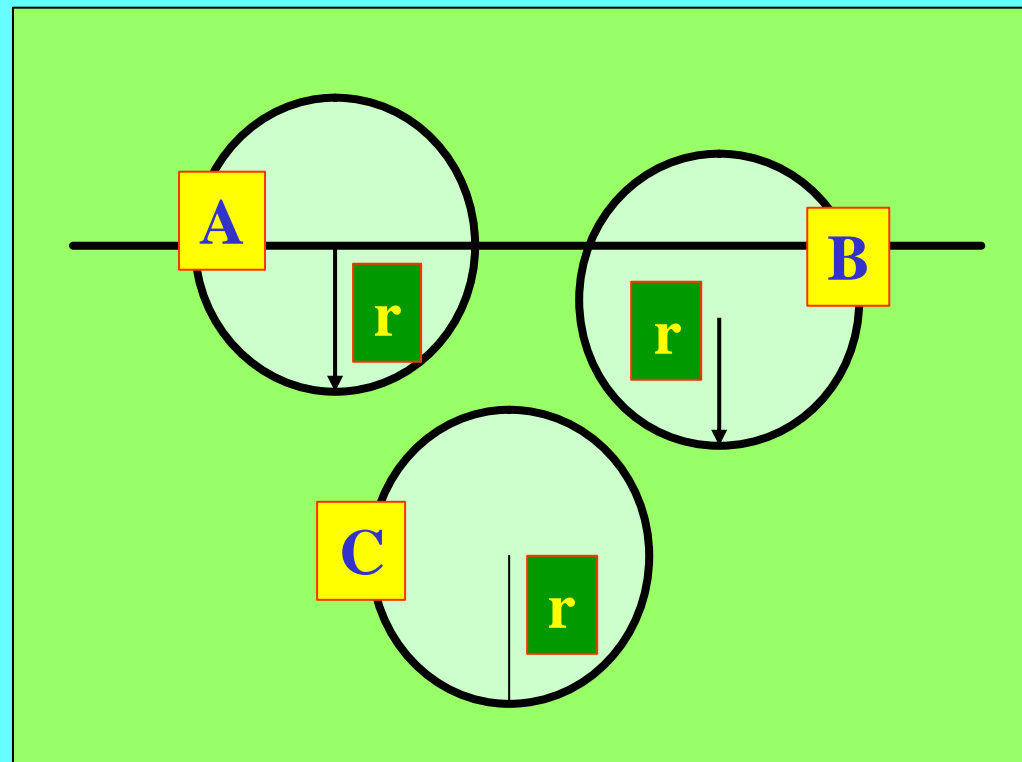
$F = F_C - F_R$, ossia $k\eta lv = V(\rho^* - \rho) \omega^2 R$, e da essa

$$\mathbf{v} = \mathbf{V}(r^* - r) w^2\mathbf{R}/khl.$$

Da cui si deduce che, a parità di liquido e di corpuscoli immersi, la velocità di separazione per centrifugazione è $\omega^2 r/g$ volte maggiore della separazione per gravità.

Tensione superficiale

Le forze di coesione attrattive e con raggio d'azione r) tra le molecole di un liquido sono la causa del fenomeno della tensione superficiale, ossia della minima superficie libera di un liquido.



A: attrazione massima
B: attrazione intermedia
C: attrazione nulla

La **legge di Laplace**

$$L = 4pR^2p_cDR$$

dove $p_c = \tau(1/R_1 + 1/R_2)$ oppure $p_c = 2\tau/R$ per superfici sferiche, e' la pressione di contrattilità, fornisce il lavoro fatto per aumentare la superficie libera di un liquido.

La **legge di Jurin**

$$2t/R = hrg$$

stabilisce l'innalzamento h , di un liquido di densità ρ che bagna le pareti, in un capillare di raggio R (o l'abbassamento dello stesso valore h per un liquido che non bagna le pareti).



I gas

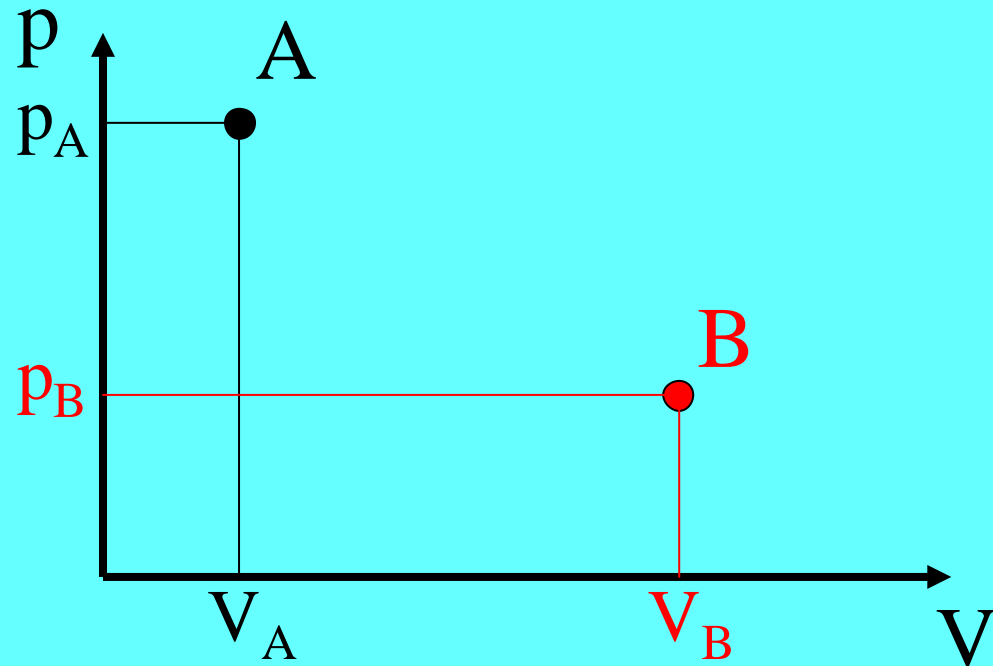


Differenza tra
temperatura e **calore**

Le scale di temperatura sono basate su misure oggettive che sfruttano le proprietà termometriche di alcuni materiali (per es. Hg). Sono la centigrada (0, 100), la Fahrenheit (+32, +212) e la scala assoluta (da -273,15).

La **temperatura assoluta** T ha piu` significato fisico delle altre; si ottiene da quella centigrada ponendo **$T = t + 273,15$** e si misura in gradi Kelvin (K).

Stato termodinamico: Un gas che si trova in un certo stato A è caratterizzato da 3 grandezze: p_A , V_A , T_A . In genere, lo si rappresenta in un sistema di riferimento i cui assi sono p e V .



LE LEGGI DEI GAS

-Legge di Boyle-Mariotte valida per trasformazioni isoterme: $pV = p_0V_0 = \text{costante}$

-Leggi di Gay-Lussac:

Prima legge, valida per trasformazioni isobare:

$V_2 - V_1 = \alpha V_0(t_2 - t_1)$, ponendo $t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $V_1 = V_0$, si ha

$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

dove $\alpha = 1/273,15 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Per evitare volumi negativi si deve avere $t = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Seconda legge, valida per trasformazioni isocore:

$p_2 - p_1 = \beta p_1(t_2 - t_1)$, ponendo $t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $p_1 = p_0$ si ha

$$p = p_0(1 + \beta t)$$

dove $\beta = 1/273,15 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

EQUAZIONE DI STATO DEI GAS PERFETTI

E' un'unica relazione che lega tra loro pressione p , volume V e temperatura T .

Siano $t = 0$ °C, $V = V_0$, $p = p_0$ le condizioni iniziali di un gas perfetto, e si faccia una trasformazione isoterma seguita da una trasformazione isobara.

Si ottiene $pV = p_0V_0 (1 + at)$ da cui seguono le leggi precedenti come casi particolari.

Nella scala delle temperature assolute, l'equazione di stato e' $pV = p_0V_0 aT$.

Se p_0 e` la pressione normale e V_0 e` il volume occupato da un numero n di moli, o da nN_A molecole (dove $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ e` il numero di Avogadro), l'equazione di stato dei gas perfetti e` data nella sua forma classica:

$$pV = nRT$$

dove $R = p_0 V_0 a = 8,31 \text{ J}/^\circ\text{K}$ e` una costante, detta costante dei gas. Talvolta si usa anche il valore $R = 0,082 \text{ litri atm}/^\circ\text{K}$.

Legge di Avogadro

Nel ricavare l'equazione di stato dei gas perfetti si è usata la legge di Avogadro, secondo la quale volumi uguali di gas, in uguali condizioni di temperatura e pressione, contengono un ugual numero di molecole.

Una mole di gas ($n = 1$, $N = N_A$) alla temperatura $T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ e alla pressione $p = p_n = 1 \text{ atm}$ occupa $V = 22,4$ litri, da cui $R = 0,082 \text{ litri}\cdot\text{atm}/\text{K}$.

Nel S.I. si ha $R = 8,31 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{K}$.

Essendo $V = m/\rho$ e posto $nR = k$, l'equazione di stato di un plasma (ossia di un gas perfetto ionizzato) generalmente viene scritta nella forma:

$$p = \frac{k}{\mu m_H} rT$$

dove $m_H = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg e' la massa dell'atomo di idrogeno e μ e' il peso molecolare medio delle particelle che costituiscono il plasma. Per esempio se si tratta di puro idrogeno ionizzato si ha $\mu = 0,5$ in quanto una particella "media" ha massa media tra quella del protone (che possiamo assumere uguale a 1) e quella dell'elettrone che possiamo considerare nulla.

Un'applicazione interessante: le condizioni interne del Sole e delle stelle

La materia che costituisce la maggior parte delle stelle (tra cui il Sole) può essere considerata come un gas perfetto in equilibrio idrostatico. L'equazione di Stevino

$$dp(r)/dr = -\rho g = -\rho GM(r)/r^2 = -4\pi G\rho^2 r/3$$

si integra facilmente tra centro e superficie del Sole assumendo densità costante. Si ottiene la pressione centrale $P_C = \rho GM/2R = 6 \cdot 10^{14}$ Pa e, dall'equazione di stato del plasma con $\mu = 1/2$, la temperatura centrale del Sole $T_C = 1,5 \cdot 10^7$ K.

Trattazione microscopica: teoria cinetica dei gas perfetti

La **teoria cinetica** descrive il comportamento microscopico dei gas. La distanza tra le molecole è circa 10 volte maggiore di quella tra le molecole dei liquidi (infatti $r_g \sim 10^{-3}r_l$) e gli urti tra le molecole di un gas sono elastici. La temperatura e la pressione di un gas sono la manifestazione macroscopica della velocità e degli urti contro le pareti delle molecole che costituiscono il gas.

In un gas reale, il legame tra pressione p , volume V , e temperatura T del gas è dato dall'equazione di van der Waals:

$$\left(p + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = nRT$$

dove a è la pressione di coesione molecolare e b il covolume.

Vapore saturo

Calore e energia interna

I **meccanismi di trasmissione del calore** sono: la convezione, la conduzione e l'irraggiamento. Si dice che un sistema è in **equilibrio termico** quando non avviene trasmissione di calore. In caso contrario avviene scambio di calore, che passa dal corpo a temperatura più alta a quello a temperatura più bassa. Le **transizioni di fase** avvengono a temperatura costante assorbendo o liberando energia termica sotto forma di calore.

L'unita` di misura del calore e` la **caloria** (cal), definita come la quantita` di calore Q che innalza la temperatura di 1 g di acqua da $14.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $15.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nel S.I. si usa la grande caloria Cal o **kcal**, che si riferisce a 1 kg di acqua.

La **capacita` termica** di un corpo, definita come $k = Q/(t_2 - t_1)$, permette di definire il **calore specifico** $c = k/m = Q/m(t_2 - t_1)$.

Da questa definizione si ottiene:

$$Q = mcDT$$

La definizione di caloria comporta che il calore specifico dell'acqua sia $c = 1$; tutte le altre sostanze hanno $c < 1$. Questa è un'importante caratteristica dell'acqua insieme a quella, già ricordata, di avere densità massima a 4°C .

Nel caso dei gas, per i quali, a differenza di liquidi e solidi, le variazioni di volume non sono trascurabili si hanno due calori specifici: a pressione costante c_p e a volume costante c_v .

L'**energia interna** di un sistema e` una misura microscopica, a livello atomico o molecolare, della energia totale (cinetica piu` potenziale) delle particelle costituenti il sistema:

$$U = E_C + E_P.$$

Lo scambio di una quantita` di calore Q tra 2 corpi equivale ad una variazione ΔU di energia interna di ciascun corpo $DU = Q$. Cio` e` conseguenza del fatto che il calore non e` altro che una forma di energia, l'**energia termica** che, nei gas, e` soprattutto energia cinetica.

Segue che quantita` di calore (o energia termica) e lavoro (o energia meccanica) hanno uguali dimensioni fisiche e possono scambiarsi tra loro; il rapporto e`:

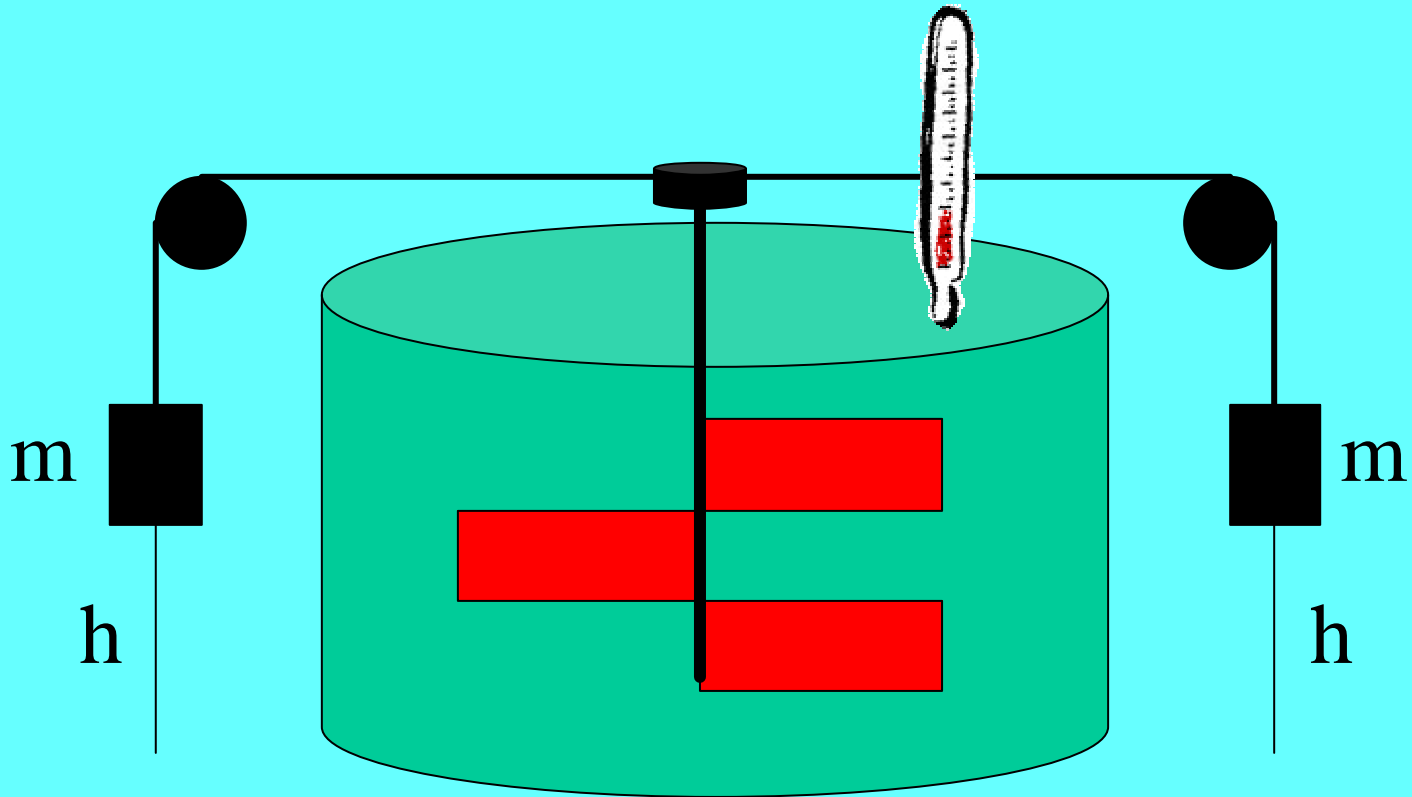
$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

Il **primo principio della termodinamica** riguarda la capacita` di un sistema di compiere lavoro (ossia cedere parte della sua energia interna all'esterno, o assorbirla dall'esterno). La forma piu` generale di questo principio e` data dalla relazione:

$$DU = Q - L$$

dove Q e' la frazione di energia interna che si trasforma in calore. L'energia interna e' una **funzione di stato**, ossia dipende solo dallo stato del sistema e non da come questo e' stato raggiunto; le singole grandezze Q e L dipendono invece dal particolare processo considerato. Il primo principio della termodinamica e' quindi la forma piu' generale del principio di conservazione dell'energia.

Equivalente meccanico della caloria



Trasformazioni termodinamiche

Si ha una trasformazione termodinamica quando un sistema passa da uno stato iniziale $(p_0V_0T_0)$ a uno stato finale (pVT) attraverso successivi stati di equilibrio. In genere questo fatto comporta variazioni di U , Q e L , che si possono calcolare in modo preciso se è specificato il tipo di trasformazione.

Per definizione, se una forza F esercita la pressione p su di una superficie S e ne produce lo spostamento s , compie il lavoro:

$$L = Fs = pSs = pDV$$

Quindi il lavoro è nullo se $\Delta V = 0$, ossia nelle trasformazioni a volume costante. Considerando in dettaglio le principali trasformazioni termodinamiche, dalle definizioni date in precedenza si ha:

isobare: $DU = Q - L = mC_pDT - pDV$

isocore: $DV = 0, L = 0,$

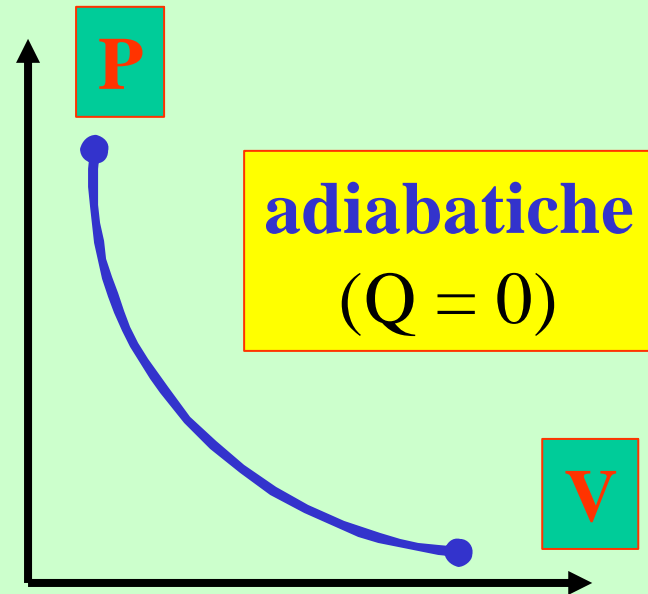
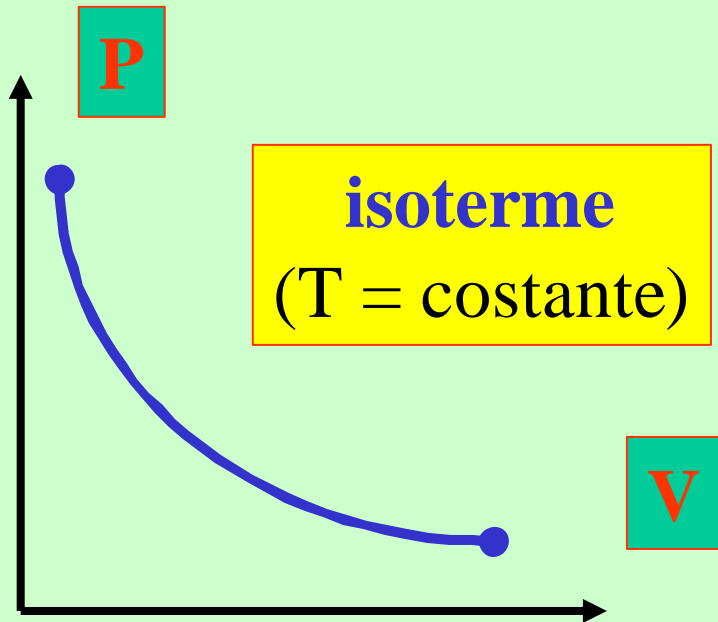
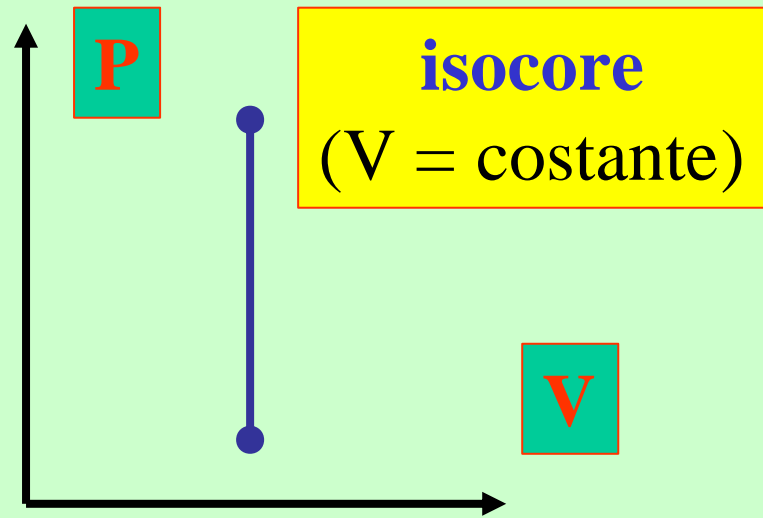
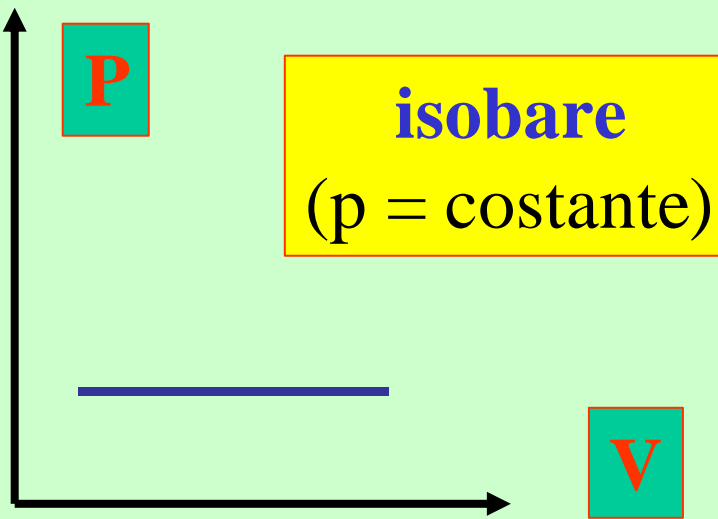
da cui $DU = Q = mC_vDT$

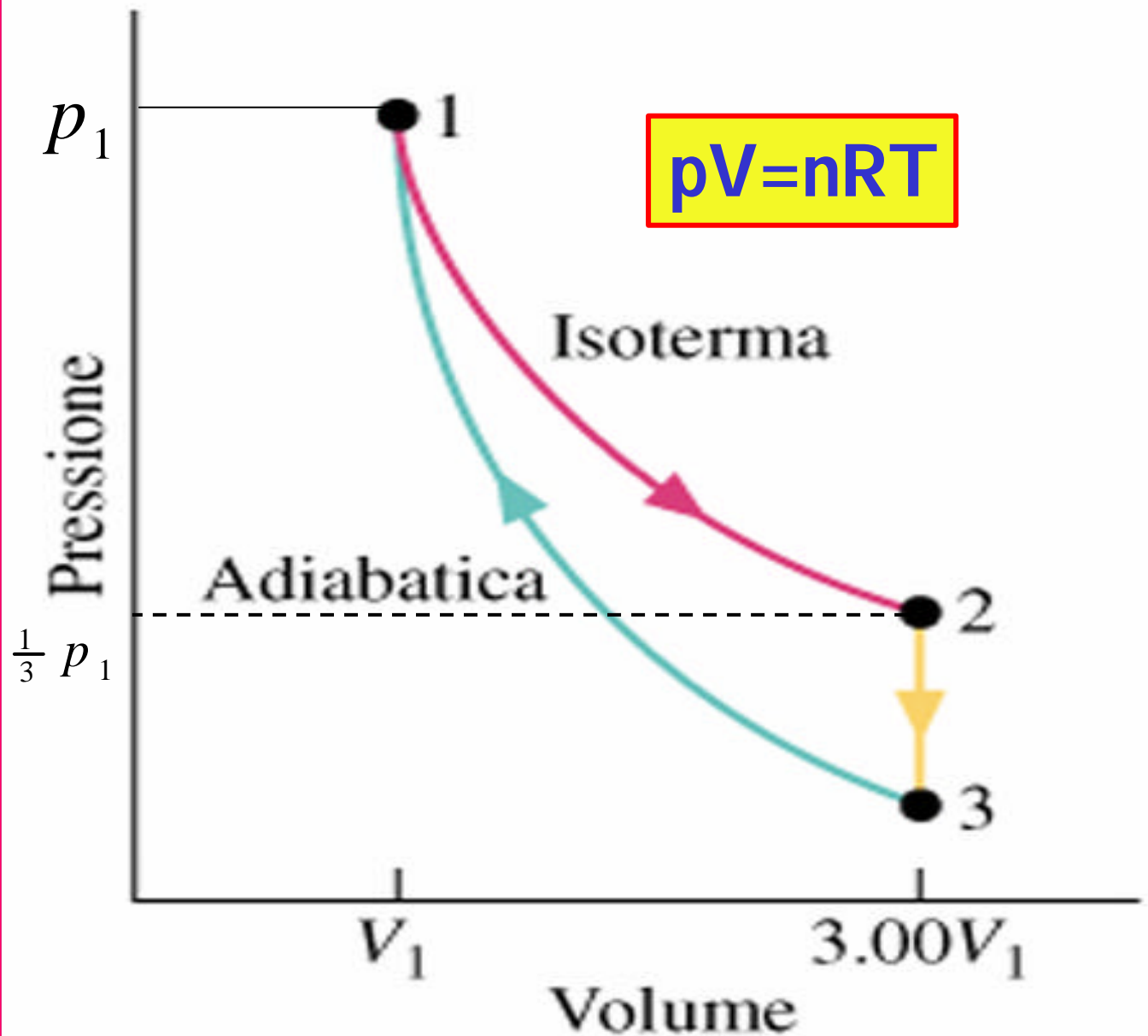
isoterme: $DU = 0,$

da cui $Q = L = \int p dV = nRT \ln V_2/V_1$

adiabatiche: $Q = 0, DU = -L,$

da cui $pV^g = \text{costante}$





Lo stato di un sistema (per es. acqua solida, liquida o gassosa) è caratterizzato da rapporti ben definiti tra energia termica e potenziale delle particelle del sistema.

I cambiamenti di stato (o **transizioni di fase**) avvengono **a temperatura costante**, in quanto tutto il calore (ceduto o assorbito dal sistema) viene utilizzato per cambiare questo rapporto.

Il calore latente per unità di massa **$l = Q/m$** è definito come la quantità di calore necessaria a far compiere la transizione di fase alla massa m .

SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Questo principio limita la trasformazione di energia termica in energia meccanica, ma non il contrario.

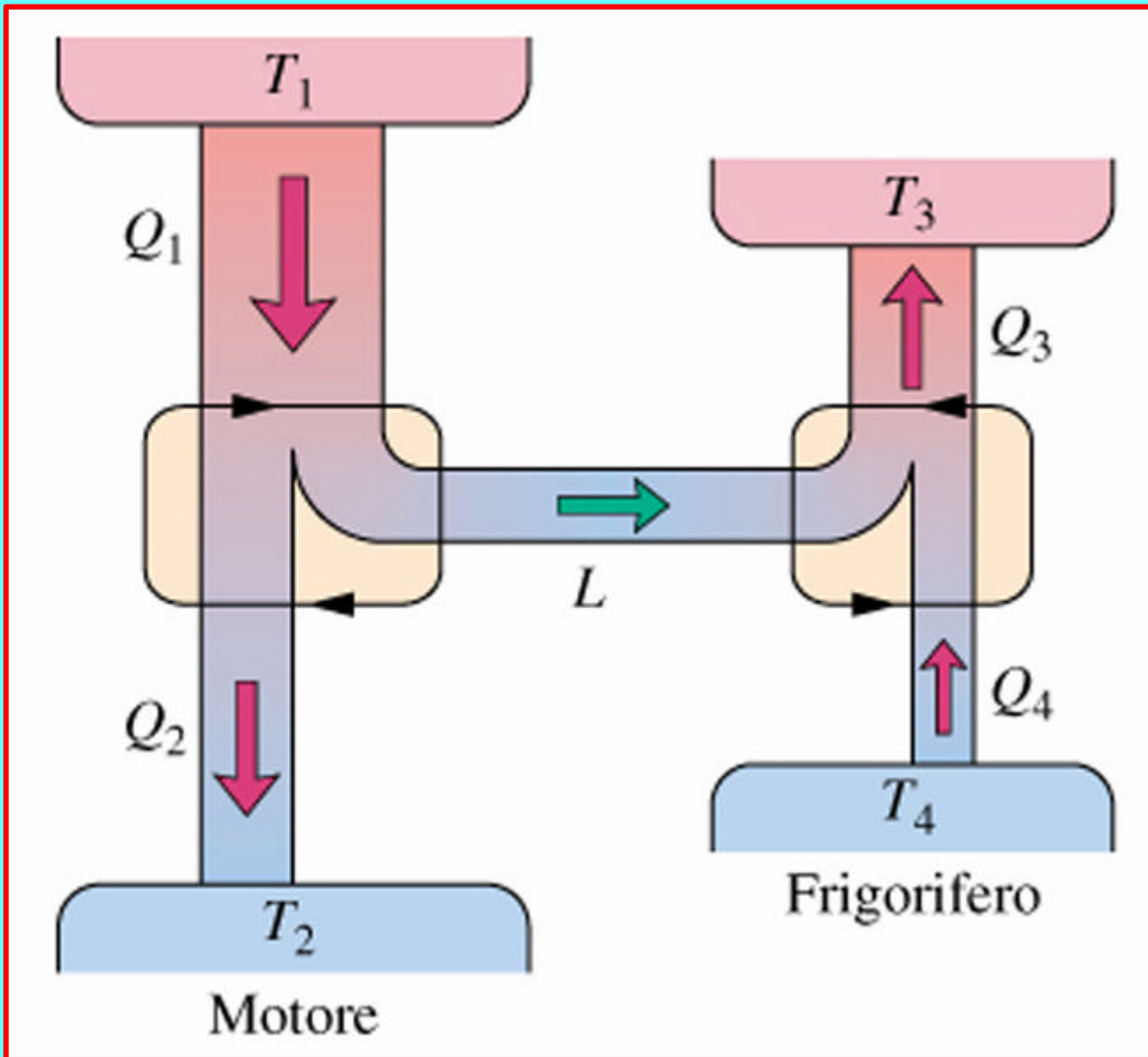
Le macchine termiche e le macchine frigorifere operano ciclicamente ($\mathbf{DU = 0}$) tra due sorgenti di calore, che supponiamo alle temperature T_1 e $T_2 < T_1$, con scambio rispettivamente delle quantità di calore Q_1 e Q_2 , e compiendo il lavoro $\mathbf{L = Q_1 - Q_2}$.

L'efficienza (ovvero il rendimento del ciclo) è definita come:

$$\mathbf{e} \leq \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Da cui segue che il rendimento di una macchina termica reale è $\mathbf{e} < \mathbf{1}$.

È impossibile realizzare una macchina termica (ciclica) che utilizzi una sola sorgente (ad un'unica temperatura).



Entropia

dal primo principio della termodinamica si ha:

$$dQ = dU + pdV = nc_v dT + nRTdV/V$$

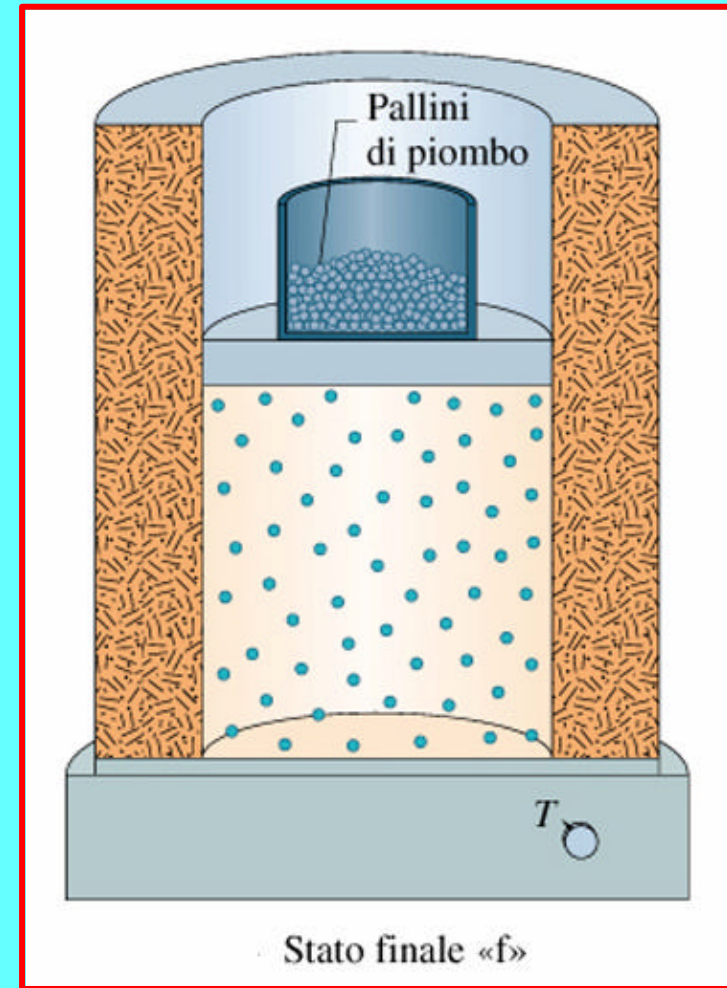
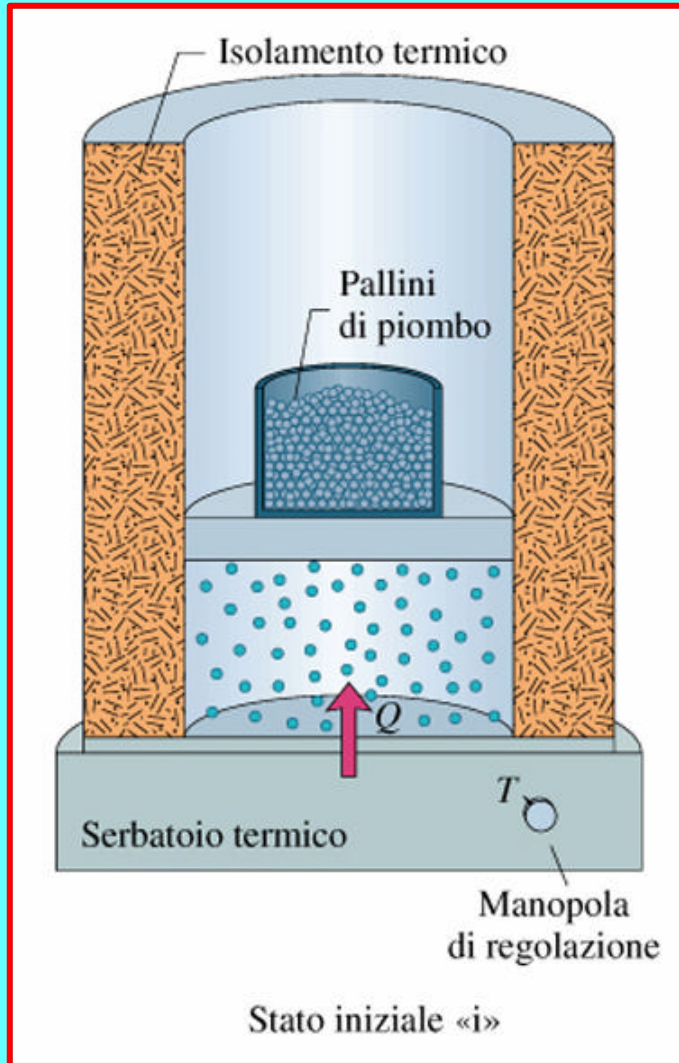
il cui integrale

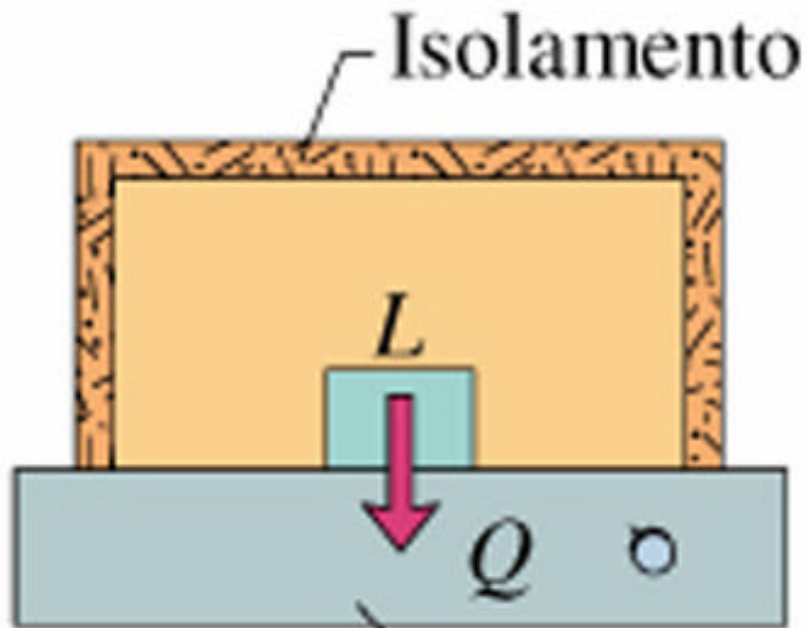
$$Q = \int dQ = nc_v \int dT + nR \int T \frac{dV}{V}$$

dipende dal particolare processo considerato:
e` necessario conoscere la relazione $T = T(V)$
per calcolare il valore del secondo termine.

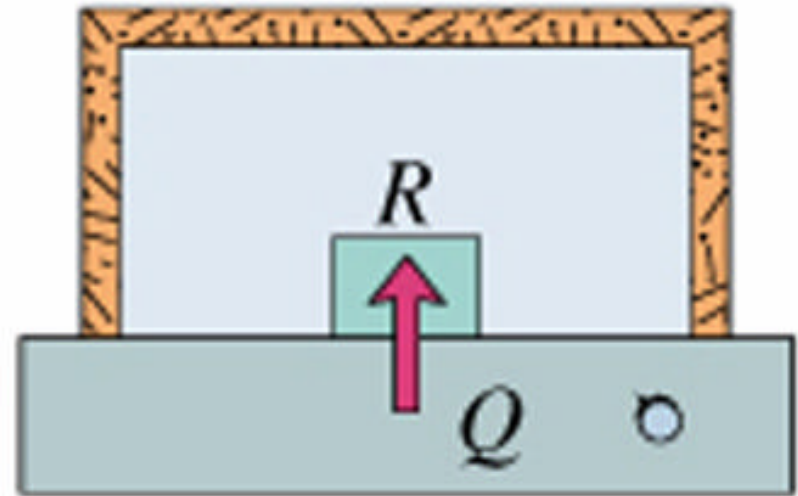
Al contrario, la quantita` $dS = dQ/T$ e` un
differenziale esatto, da cui segue che in un
processo **reversibile** si deve avere **$dS = 0$** .

Esempio di trasformazione reversibile



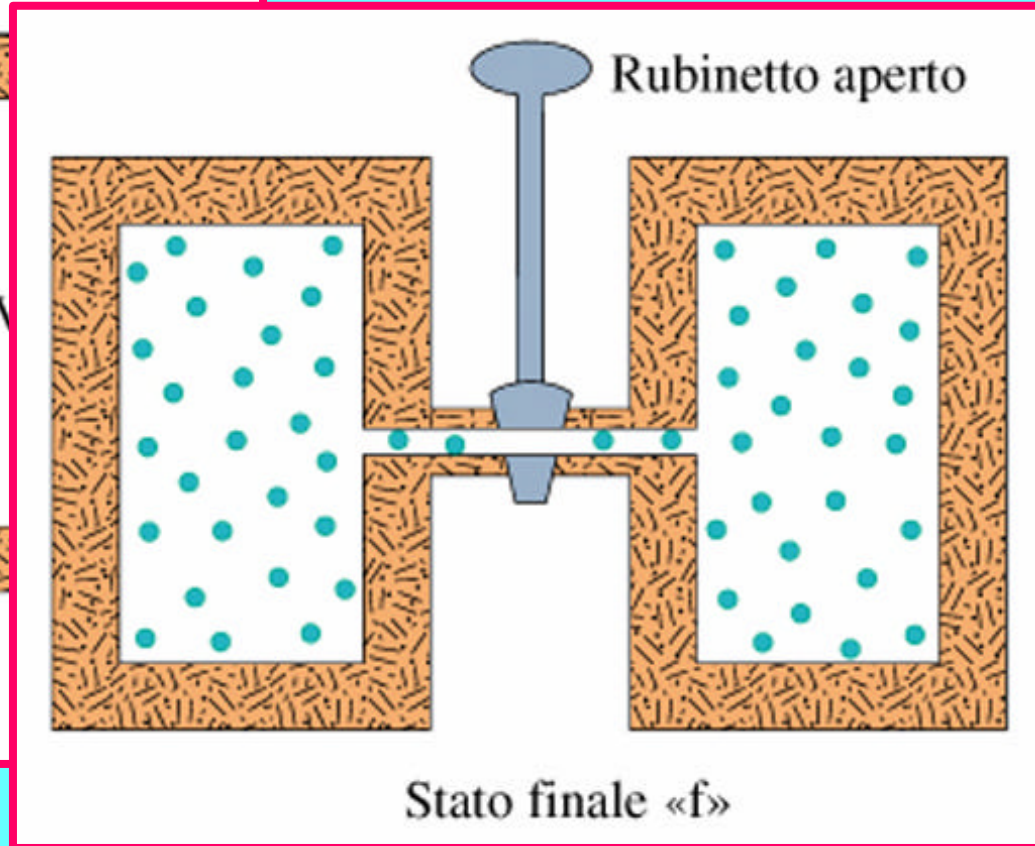
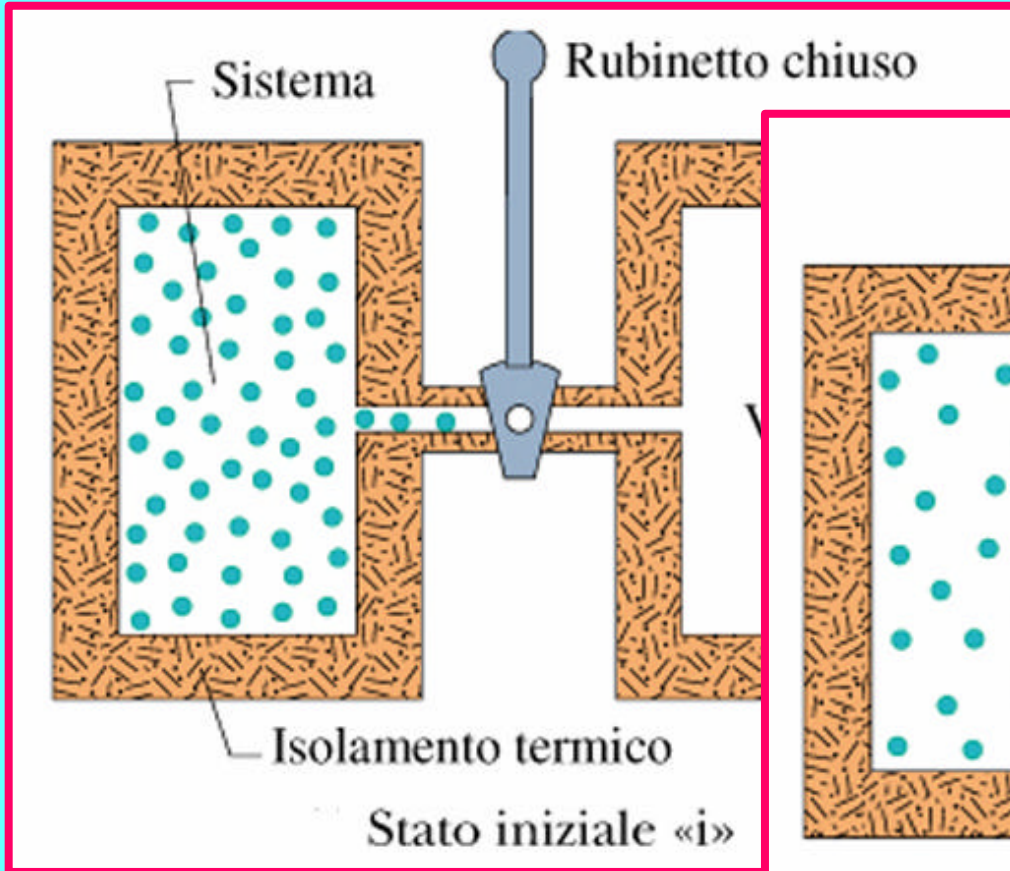


(a) Stadio 1



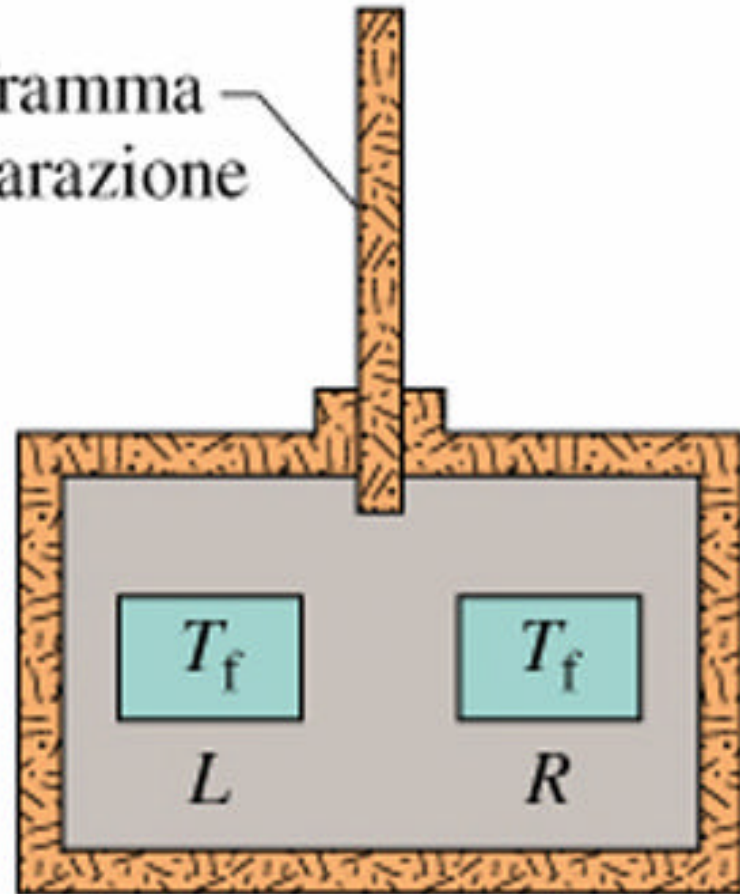
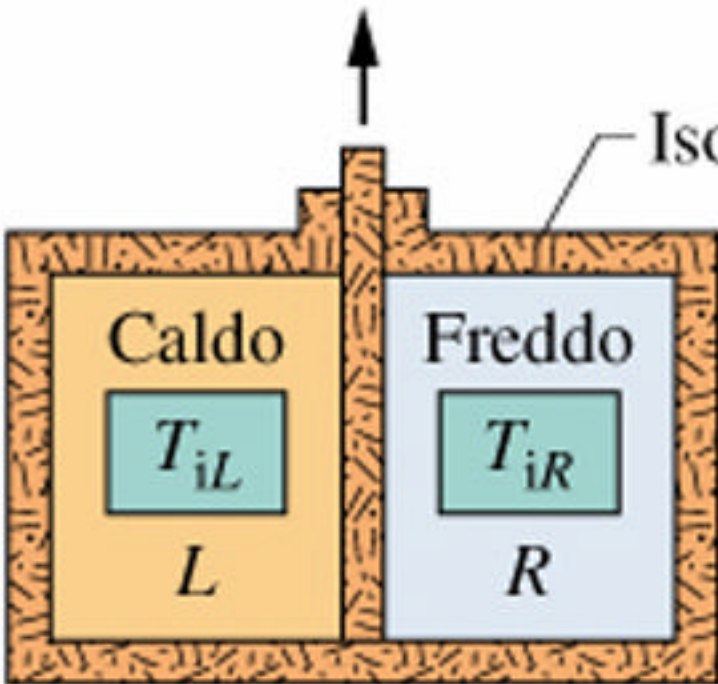
(b) Stadio 2

Esempio di trasformazione irreversibile



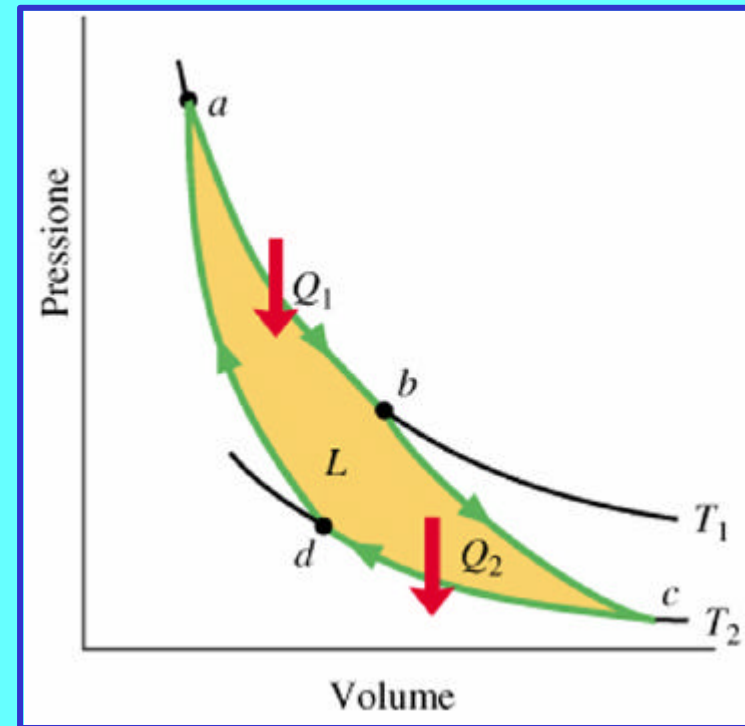
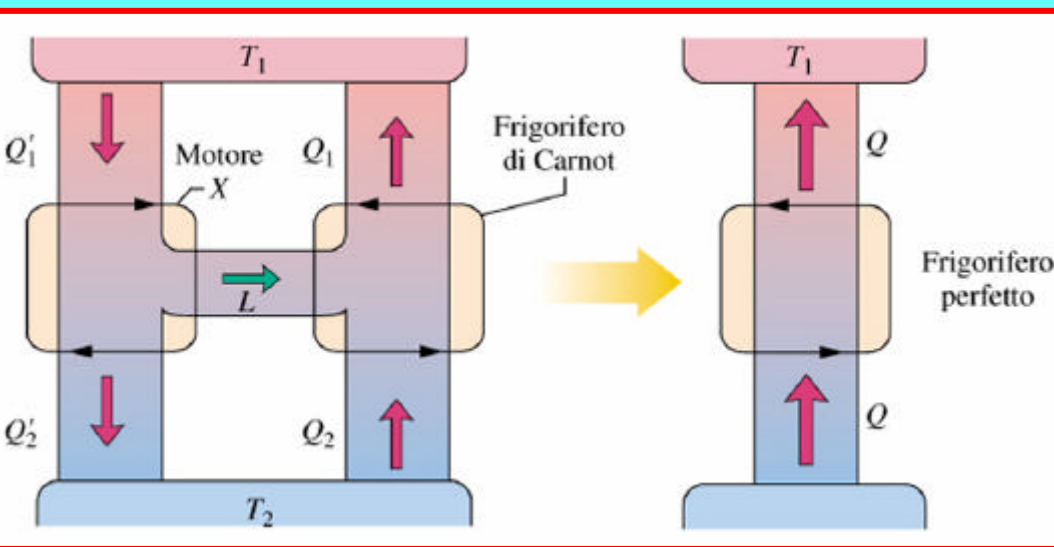
Diaframma
di separazione

Isolamento



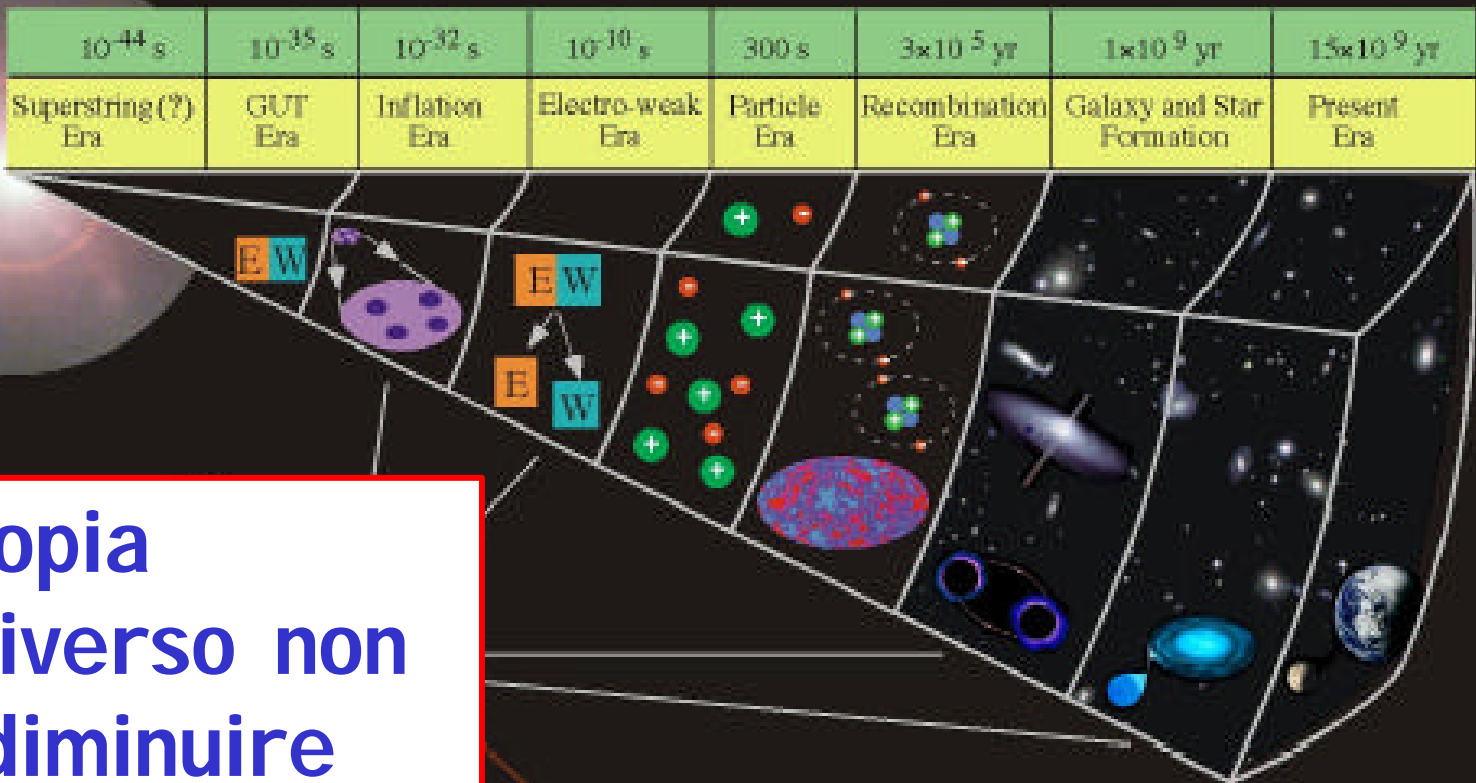
Ciclo di Carnot

se $Q_1 - Q_2 = L = Q_1^* - Q_2^*$, l'efficienza è massima per sistemi reversibili: $e_T = e_F$. La temperatura termodinamica assoluta segue da $T_2/T_1 = Q_2/Q_1$, e il rendimento del ciclo di Carnot vale $e = 1 - T_2/T_1$.



Big Bang

Time →



L'entropia nell'universo non puo` diminuire per la presenza di processi irreversibili.

Types of Galaxies

Spiral

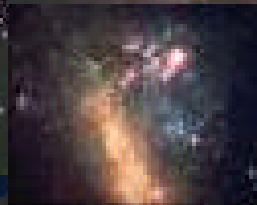
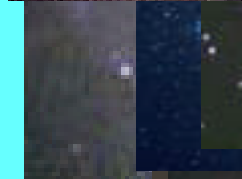
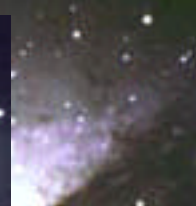
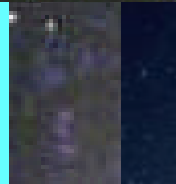
disk-like

With arms of stars and dust forming a spiral pattern, similar to our own galaxy.

Elliptical galaxies are roughly ellipsoidally-shaped, with a bright center and a smooth, featureless glow.

Irregular galaxies have no regular shape and contain a lot of gas and dust.

Peculiar galaxies are distorted or irregular in shape, often the result of a collision with another galaxy or similar catastrophic event.



Fine della seconda parte