

Lezione 20

Fisica I – Ingegneria Automazione e Informatica
Università di Napoli "Federico II"
prof. Nicola R. Napolitano

Riepilogo della lezione precedente

- 1) Vasi comunicanti
- 2) Principio di Archimede
- 3) Principio di Pascal
- 4) Teorema di Bernoulli

In questa lezione

- 1) Termodinamica
- 2) Equilibrio
- 3) Principio zero

Applicazione legge di Stevino

vasi comunicanti

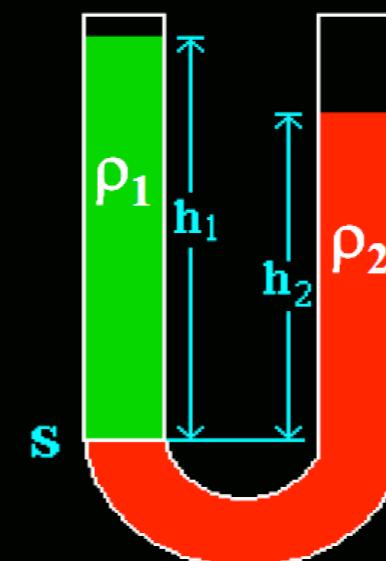
in un sistema di vasi comunicanti il fluido contenuto raggiunge la **stessa quota** indipendentemente dalla forma dei recipienti



Ossia:

la pressione p alla base uguale per tutti
la pressione atmosferica è uguale per tutti
la densità è uguale per tutti
l'altezza deve essere uguale per tutti

liquidi non miscelabili



all'**equilibrio** pressioni in S si bilanciano:

$$p_1 = p_0 + \rho_1 g h_1$$

$$p_2 = p_0 + \rho_2 g h_2$$

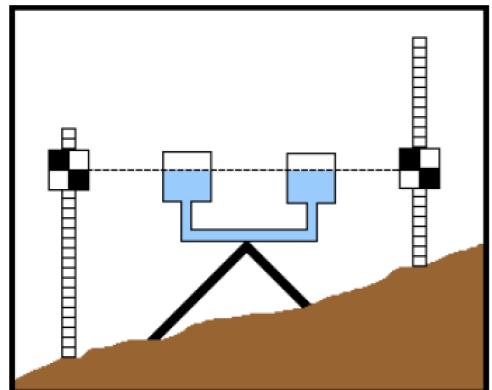
$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

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

[N.B. per $\rho_1 = \rho_2 \Rightarrow h_1 = h_2$ principio dei vasi comunicanti]

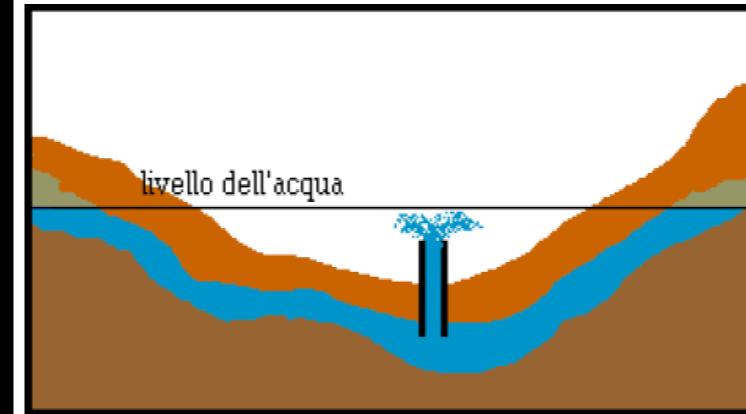
Misura di densità relativa

livella ad acqua



i **due vasi di vetro**, contenenti acqua, collegati tramite un tubo, sfruttano la proprietà dei vasi comunicanti per evidenziare i dislivelli del terreno

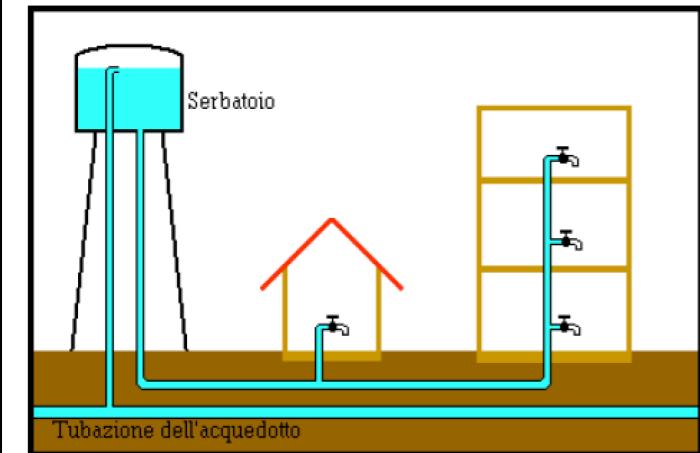
pozzo artesiano



per il principio dei
vasi comunicanti

L'acqua tende a risalire
nel pozzo fino al livello
del terreno

acquedotto



sistema di distribuzione
dell' **acqua potabile**:

il fluido è sollevato
all'altezza necessaria nelle
varie abitazioni perché esso
tende a portarsi alla quota del
serbatoio



Principio di Pascal

ogni **variazione di pressione** in liquido chiuso si trasmette

- × a **tutti i punti** del liquido
- × alle **pareti** del contenitore

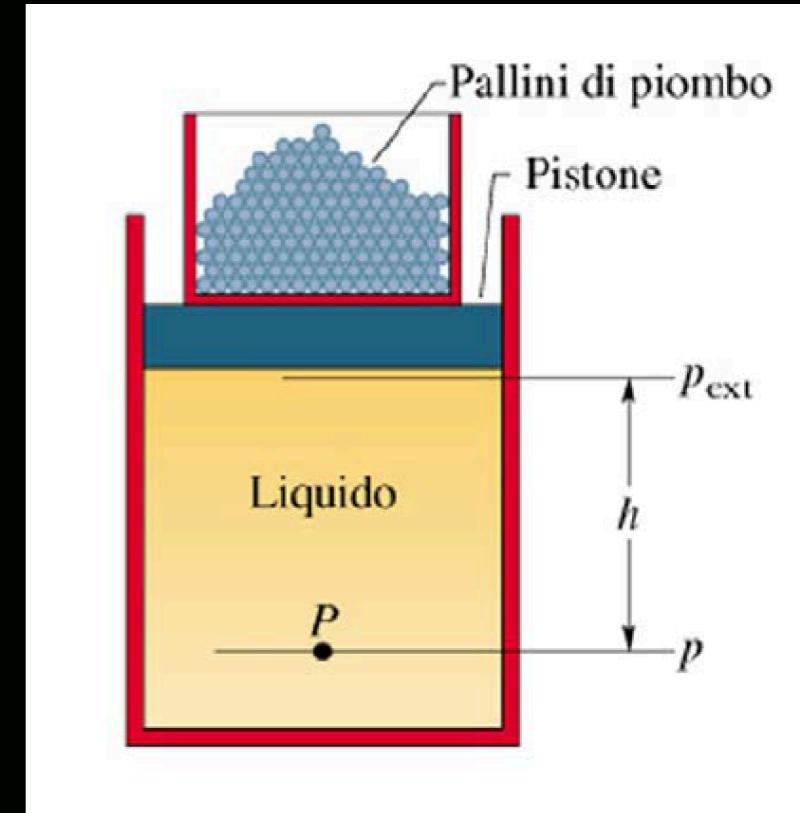
Attenzione: sono le variazioni di pressione a trasmettersi per cui se aumenta la pressione esterna questa si trasferisce in un aumento di pressione tramite eq. (1) in cui ρ g e h sono rimasti invariati punto per punto. Ossia vale la (2) indipendentemente dall'altezza.

× **liquido incomprimibile**
[$\rho = \text{costante}$]

$$p = p_{ext} + \rho gh \quad (1)$$

× aggiungo pallini di piombo
[⇒ **aumento** pressione esterna]

$$\Delta p = \Delta p_{ext} \quad (2)$$



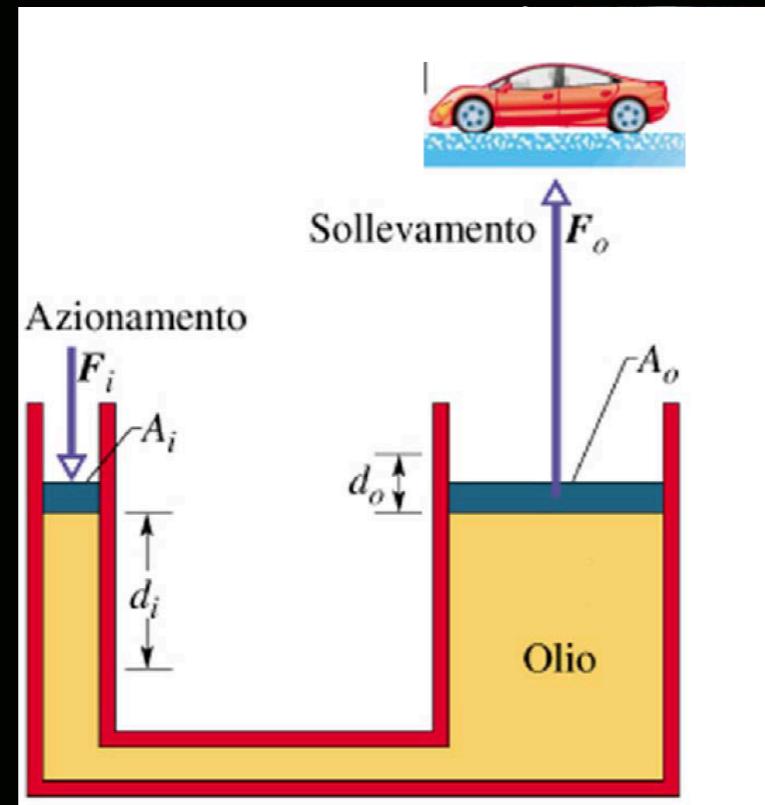
N.B. Il pistone si abbasserebbe se il liquido fosse compressibile. Il fatto che non si abbassa è dovuto alla impossibilità delle densità di variare. Ma la variazione pressione esterna si propaga nel liquido incomprimibile e si trasferisce alla superficie interiore. Possiamo immaginare uno stesso meccanismo anche per i corpi solidi, solo che data la struttura molecolare più resistente, l'effetto netto è la reazione vincolare.

Applicazione principio di Pascal [leva idraulica]

liquido **incomprimibile**
[$\rho = \text{costante}$]

$$p = \frac{F_i}{A_i} = \frac{F_0}{A_0}$$

$$F_0 = F_i \frac{A_0}{A_i}$$



$$F_0 > F_i \quad \text{per} \quad A_0 > A_i$$

se **muovo** pistone sinistro di tratto d_i
⇒ pistone destro si muove di tratto d_0
[conservazione del volume spostato]

$$V = A_i d_i = A_0 d_0$$
$$d_0 = \frac{A_i}{A_0} d_i$$

$$d_0 < d_i \quad \text{per} \quad A_0 > A_i$$

$$L = F_0 d_0 = \left(F_i \frac{A_0}{A_i} \right) \left(d_i \frac{A_0}{A_i} \right) = F_i d_i$$

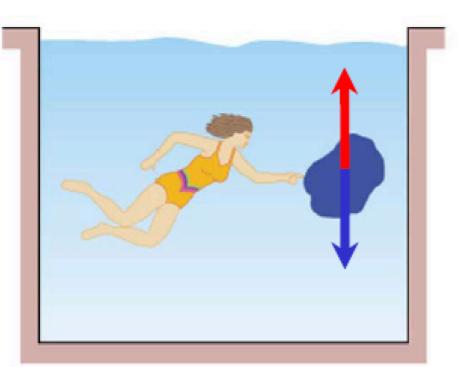
una data forza su una certa distanza si trasforma in
forza maggiore su **distanza minore**

Principio di Archimede

un corpo **immerso** in un fluido

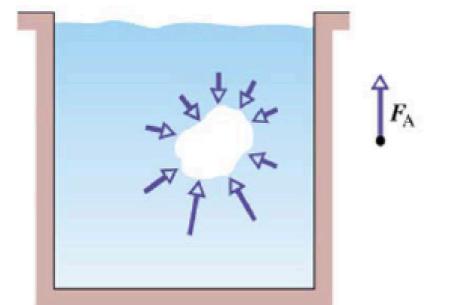
[interamente o parzialmente]

è soggetto ad una **spinta di galleggiamento**
verso l'alto, pari al peso di fluido spostato



sottile **palloncino** di plastica
pieno d'acqua
in **equilibrio statico** nella piscina

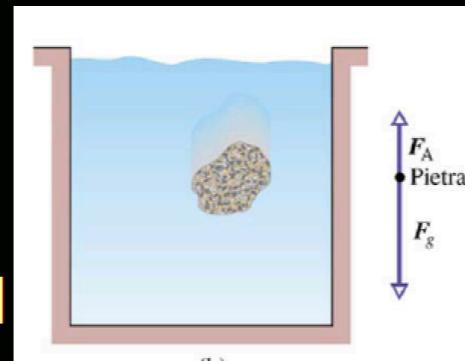
$$F_g = m_f g = F_A \quad \text{spinta} \\ \text{di galleggiamento} \\ [\text{spinta di Archimede}]$$



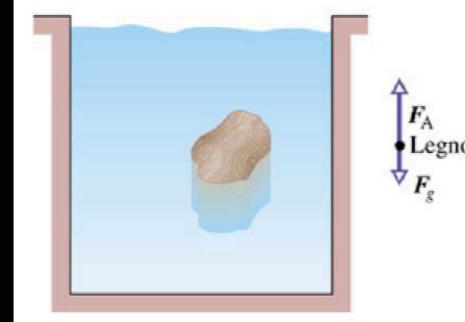
✖ la pressione aumenta con la profondità
pressione **fondo** > pressione
cima palloncino

rimuovo
palloncino d'acqua

$$\sum F = F_A$$



✖ riempio spazio con **pietra**:
 F_A è **uguale** [non ho cambiato
forma spazio]
 F_g è **maggiore**
pietra affonda



✖ riempio spazio con **legno**:
 F_A è **uguale** [non ho cambiato
forma spazio]
 F_g è **minore**
legno risale in superficie

Principio di Archimede

un corpo **immerso** in un fluido
[interamente o parzialmente]
è soggetto ad una **spinta di galleggiamento**
verso l'alto, pari al peso di fluido spostato

$$F_A = m_f g$$

oggetto completamente immerso

$$F_A = m_f g = \rho_f V_0 g$$

$$F_g = Mg = \rho_0 V_0 g$$

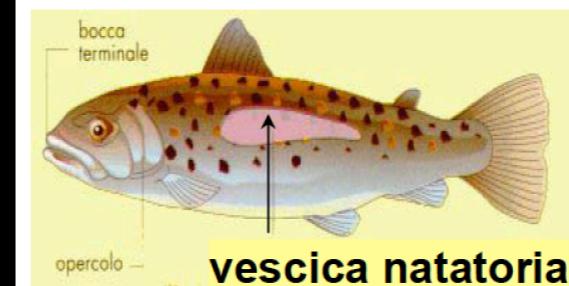
risultante forze

$$F_A - F_g = (\rho_f - \rho_0) V_0 g$$

= 0 $\rho_f = \rho_0$ corpo in **equilibrio**

> 0 $\rho_f > \rho_0$ corpo **accelera** verso alto [legno]

< 0 $\rho_f < \rho_0$ corpo **affonda** [pietra]



sommersibile
[camere stagni funzionano tipo vescica natatoria]

vescica natatoria

organo a forma di **sacco**
riempiendosi/svuotandosi d'**aria**
consente al pesce di salire/scendere
a minore o maggiore profondità



mongolfiera

[aria calda meno densa di aria fredda genera forza verso l'alto]

Fluidi in Movimento

caratteristiche del flusso

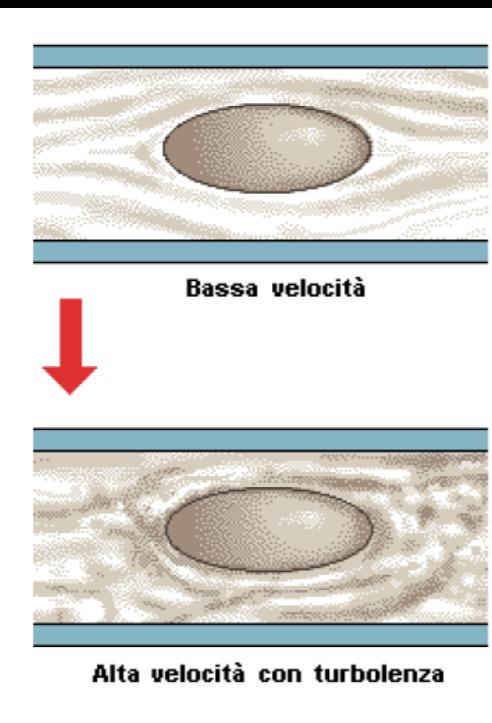
flusso stazionario:

cammini seguiti da ogni particella scorrevoli, non si intersecano

velocità di ogni punto del fluido

NON varia nel tempo

[es. acqua in un ruscello tranquillo]



viscosità:

grado di **attrito interno** del fluido
resistenza fra strati adiacenti di liquido
in moto relativo

⇒ conversione **energia cinetica** in **energia termica**



evidenzio flusso di un fluido
usando **tracciante**
[colorante o particelle di fumo]

flusso turbolento:

flusso irregolare

con regioni simili a **vortici**

[es. acqua in prossimità
di rocce e strettoie,
formazione di rapide]

flusso stazionario: N.B. la velocità può cambiare da punto a punto ma in un certo punto è costante e non cambia nel tempo

flusso irrotazionale: senza vortici

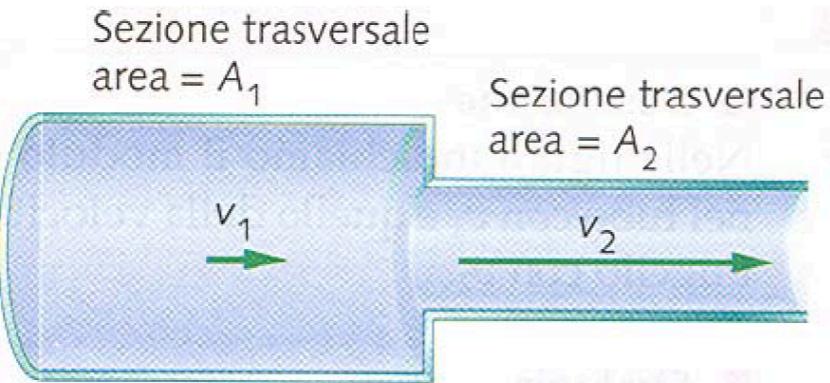
fluido reale: complicato e non del tutto conosciuto

fluido ideale: descrivo le proprietà in ciascun punto
in funzione del tempo

proprietà fluido ideale

- ✗ **non viscoso** [trascuro attriti interni;
oggetto in moto nel fluido non risente di attriti]
- ✗ **incompressibile** [densità costante nel tempo]
- ✗ **flusso stazionario** [velocità di ogni punto costante nel tempo]
- ✗ **flusso irrotazionale** [non ci sono vortici, turbolenze]

applicazioni equazione di continuità



$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{costante} \quad \Rightarrow v_2 > v_1$$

se un fluido scorre da un condotto **largo** ad uno **stretto**:
il modulo della **velocità** nel tubo stretto è maggiore che nel tubo largo

Teorema di Bernoulli

pressione varia in
fluido in movimento
in tubo di sezione variabile

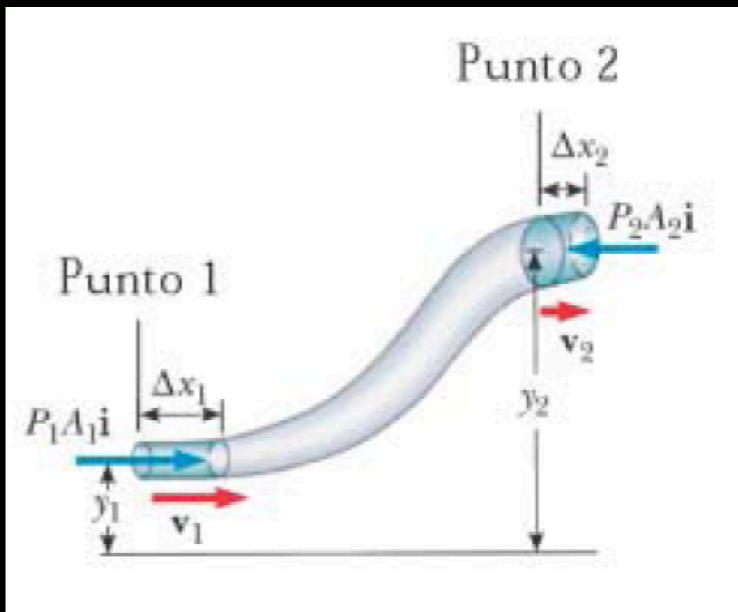
✖ lavoro forze di pressione

$$L_p = F_1 \Delta x_1 - F_2 \Delta x_2$$

spinge
il fluido

si oppone
al moto del fluido

$$\begin{aligned} &= p_1 A_1 \Delta x_1 - p_2 A_2 \Delta x_2 \\ &= (p_1 - p_2) \Delta V \end{aligned}$$



Infatti, come abbiamo visto per
l'eq. di continuità

$$\Delta V = A_1 \Delta x_1 = A_2 \Delta x_2 = \frac{\Delta m}{\rho}$$

la massa si conserva
 ρ è costante

✖ lavoro forza peso

$$L_g = -\Delta mg(y_2 - y_1) = -\rho \Delta V g(y_2 - y_1)$$

$$L = L_p + L_g = \Delta K$$

teorema dell'energia:
lavoro **netto** è pari a
variazione **energia cinetica**

$$(p_1 - p_2)\Delta V - \rho \Delta V g(y_2 - y_1) = \frac{1}{2} \Delta m v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m v_1^2$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = costante$$

conservazione energia meccanica
per un fluido ideale

teorema di Bernoulli

in una linea di corrente è costante la somma di pressione (p)

energia cinetica per unità di volume ($1/2\rho v^2$)

energia potenziale gravitazionale per unità di volume (ρgh)

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

N.B. equazione di Bernoulli **non** è un risultato nuovo:

✗ fluido a **riposo**

$$v_1 = v_2 = 0$$

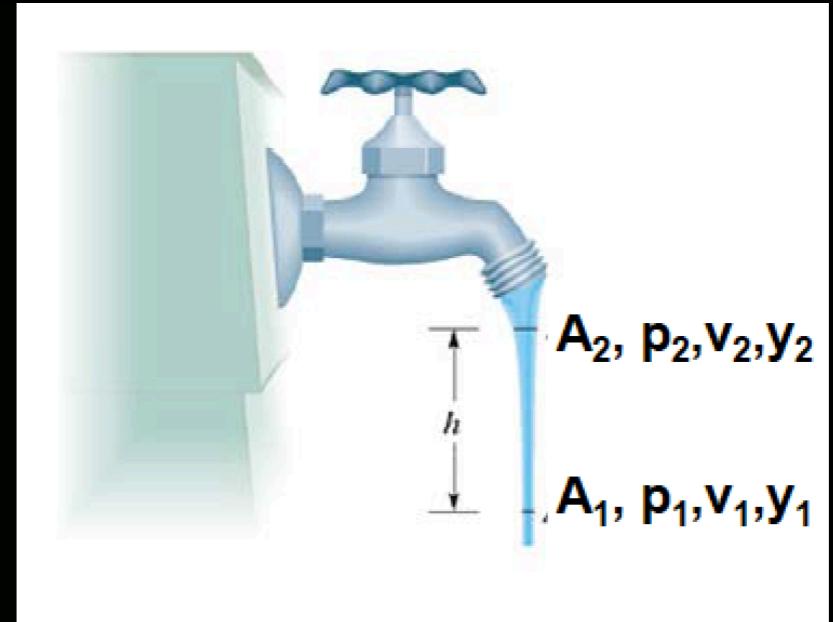
$$p_1 = p_2 + \rho g(y_1 - y_2)$$

flusso da un rubinetto

flusso d'acqua si restringe mentre cade

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

per $p_1 = p_2$ = pressione atmosferica



$$\rho g(y_2 - y_1) = \frac{1}{2} \rho(v_1^2 - v_2^2)$$

$$gh = \frac{1}{2}(v_1^2 - v_2^2) > 0 \quad \Rightarrow \quad v_1 > v_2 \quad \text{e} \quad A_2 > A_1$$

[da eq. continuità ($A_2 v_2 = A_1 v_1$)]

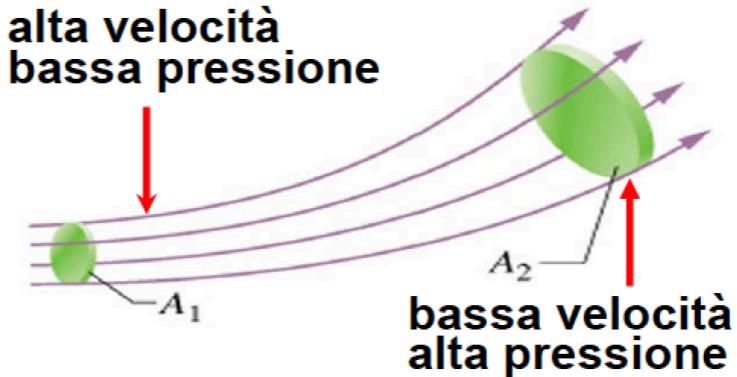
✗ fluido in moto ad altezza costante

$$y_1 = y_2 = 0$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

lungo una linea di flusso orizzontale
se **aumenta la velocità**
diminuisce la pressione

⇒ linee di flusso **vicine**:
alta velocità
bassa pressione



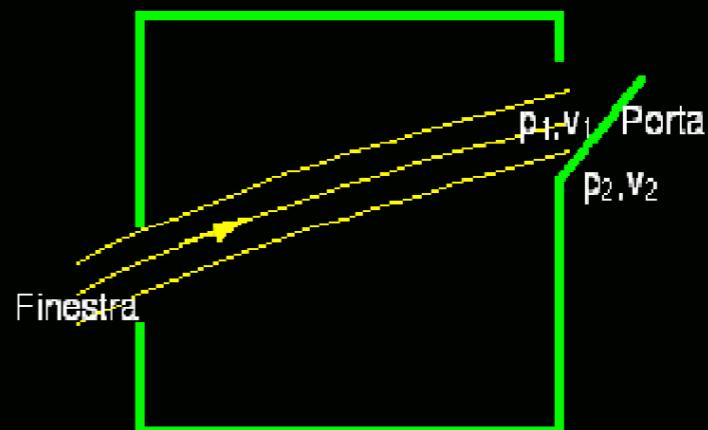
porte che sbattono

per fluido che scorre a quota fissa

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

p minore per v maggiore

$v_1 > v_2$ quindi $p_1 < p_2$ ⇒ la porta sbatte



Profilo alare e portanza

$$A_1 > A_2 \rightarrow v_2 > v_1$$

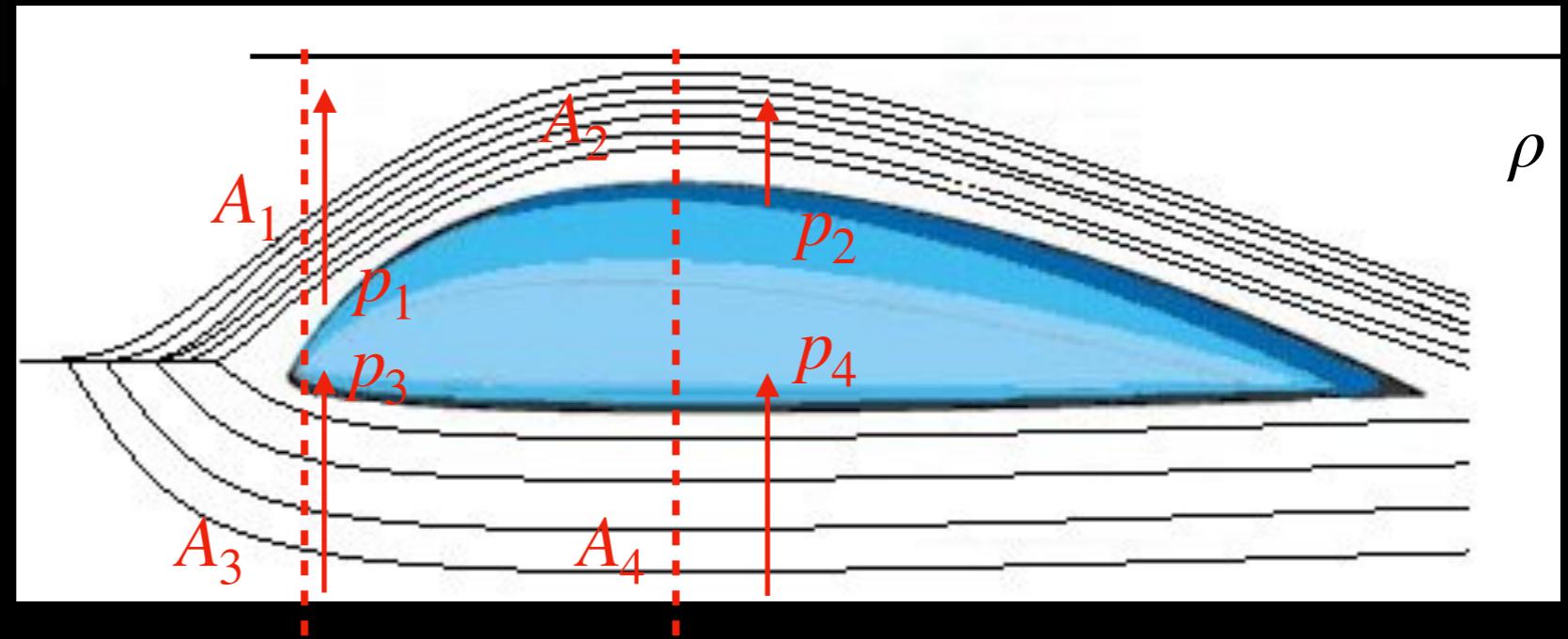
$$\rightarrow p_2 < p_1$$

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

$$y = \text{const} = 0$$

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

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$



$$A_3 \approx A_4 \rightarrow v_3 \approx v_4$$

$$\rightarrow p_3 \approx p_4$$

A causa della differenza di pressione che si genera a metà del profilo dell'ala dovuto alla maggiore velocità del flusso d'aria nella parte superiore, esiste una spinta verso l'alto che sostiene l'ala e quindi l'aereo (portanza)

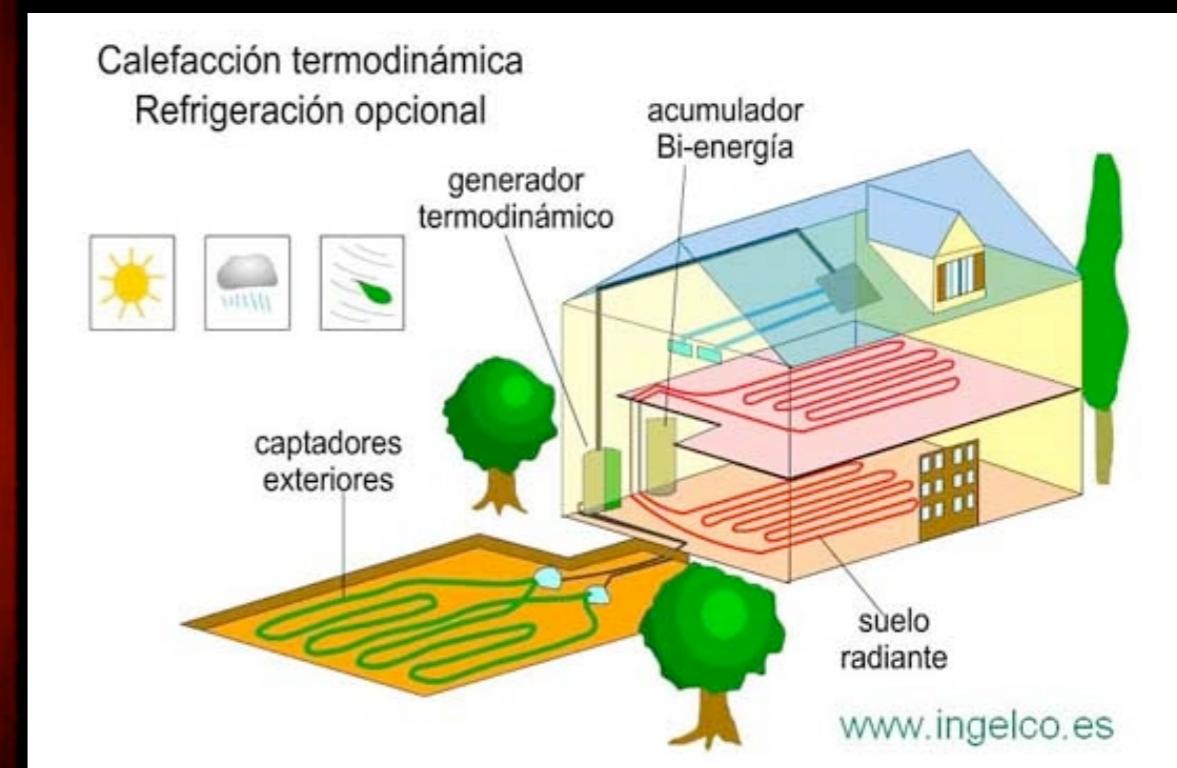
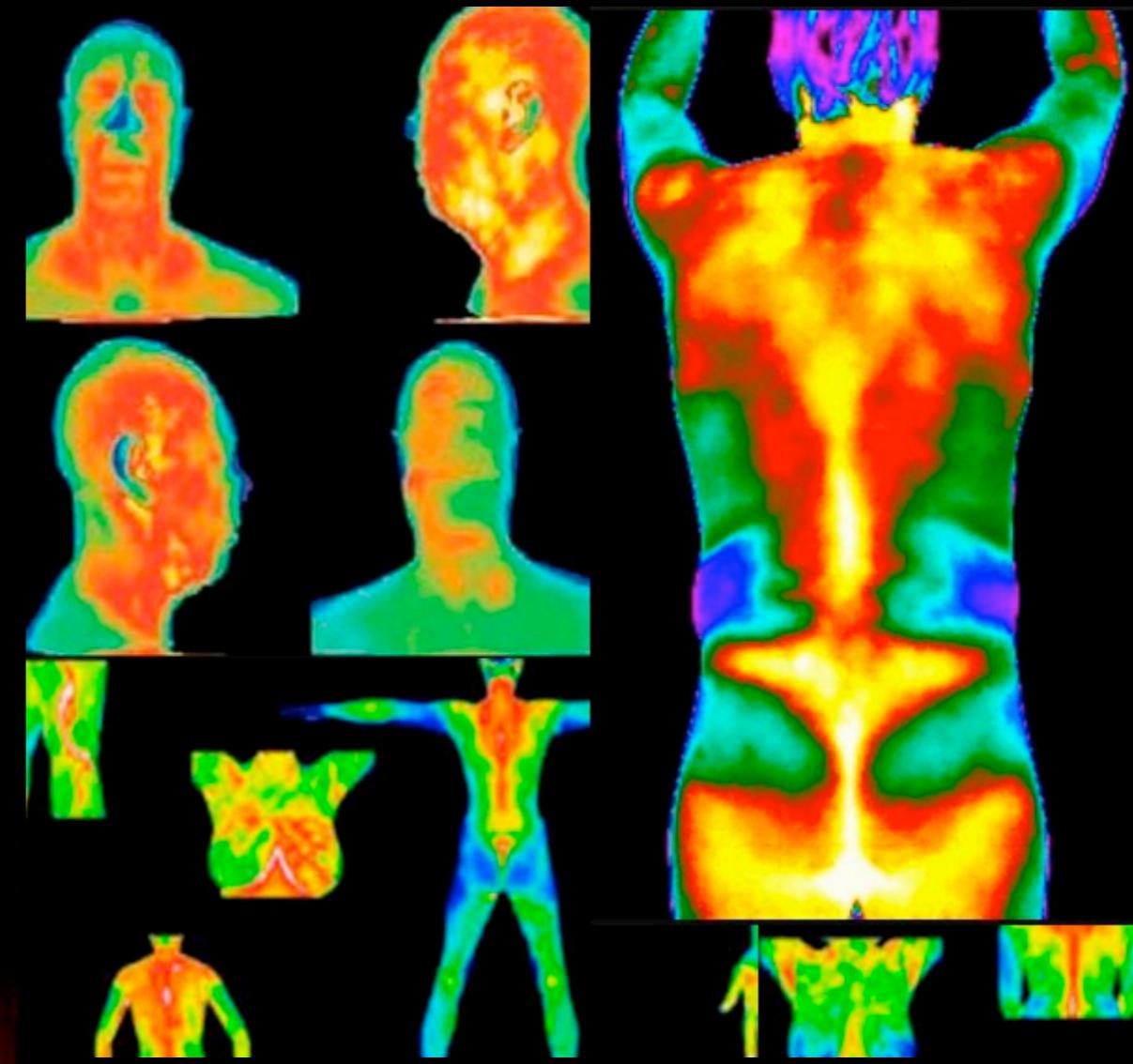
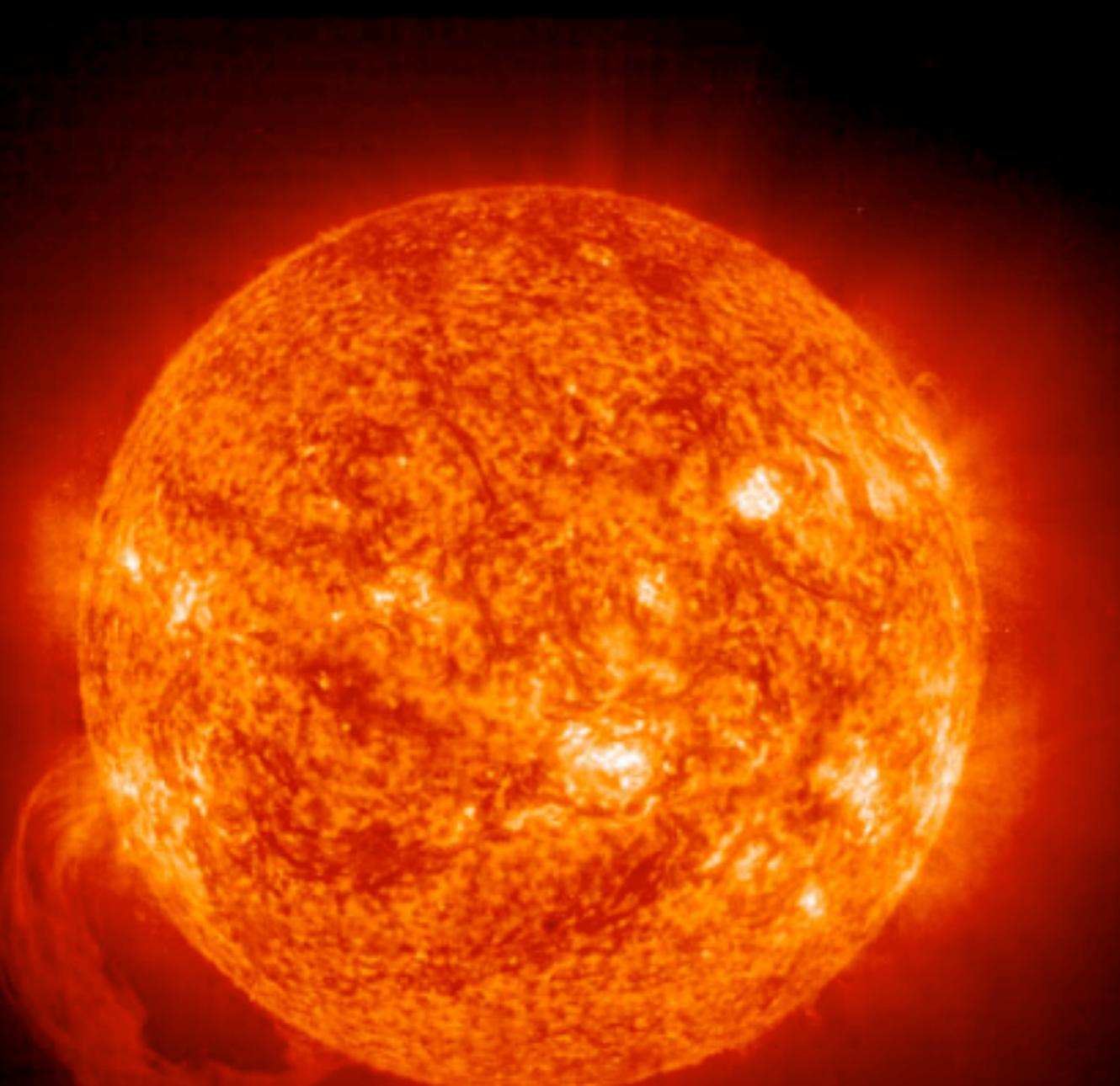
$$\Delta p_{13} = p_3 - p_1 < \Delta p_{24} = p_4 - p_2$$

Termodinamica

Lezione 1

temperatura – principio 0 della termodinamica

Fisica I – Ingegneria Automazione e Informatica
Università di Napoli "Federico II"
prof. Nicola R. Napolitano



Conservazione dell'energia in generale

l'energia non si può né creare né distruggere

l'energia si conserva

*l'energia totale di un sistema può variare
solo se viene **trasferita** energia
dal di fuori o al di fuori del sistema*

$$\Delta E_{sistema} = \sum E_{trasferite}$$

equazione di continuità

$$\underbrace{\Delta E_{sistema}}_{\Delta E_{sistema}} = L + Q + E_{OM} + E_{TM} + E_{TE} + E_{RE}$$

- ▶ energia non può essere né creata né distrutta
- ▶ energia si può **trasformare** da una forma in un'altra,
- ▶ ma **E_{tot}** = **costante**, sempre
- ▶ energia dell'**Universo** è costante

equazione di continuità contiene
teorema energia cinetica

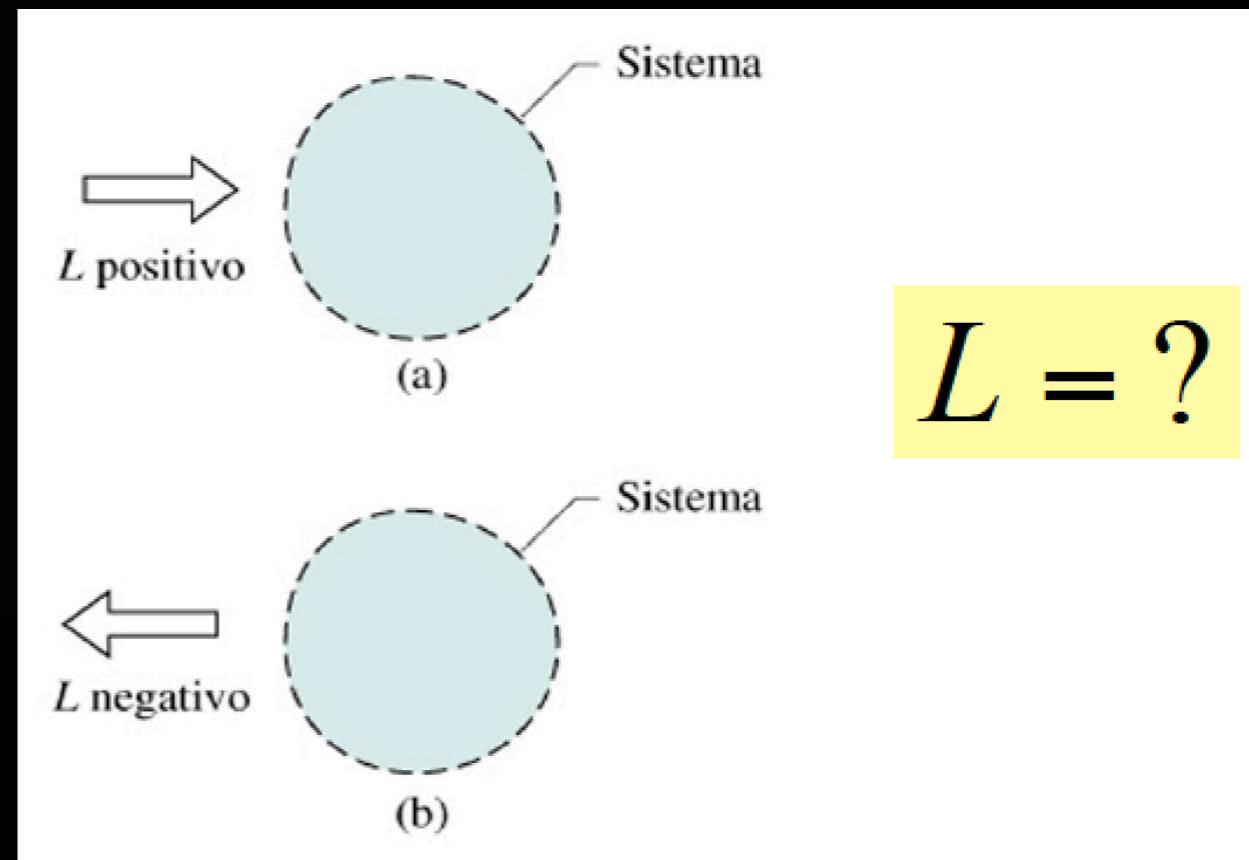
$$\Delta K = L$$

Lavoro svolto da Forza Esterna

[Sistema NON isolato]

*lavoro :
energia trasferita a o da un sistema
per mezzo di una forza esterna che agisce su di esso*

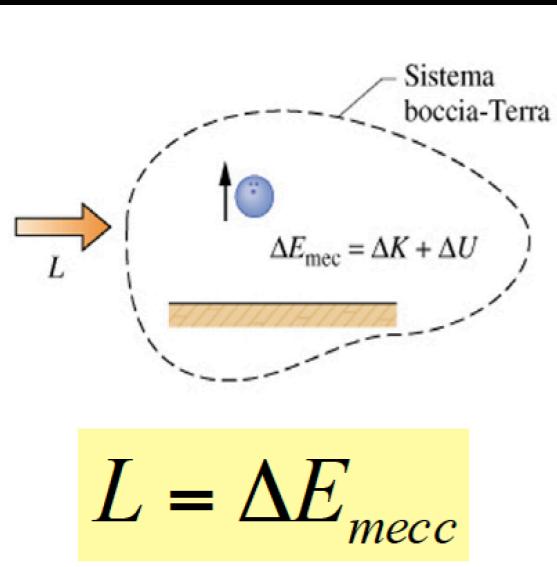
Il lavoro è il mezzo tramite il quale si scambia energia (esso stesso una forma di energia)



- ✖ sistema **semplice** [corpo puntiforme]: F modifica **solo K**
- ✖ sistema **complesso**: F modifica K, U ed **energia interna E_{int}**

Sistema NON isolato

1. sistema senza attrito



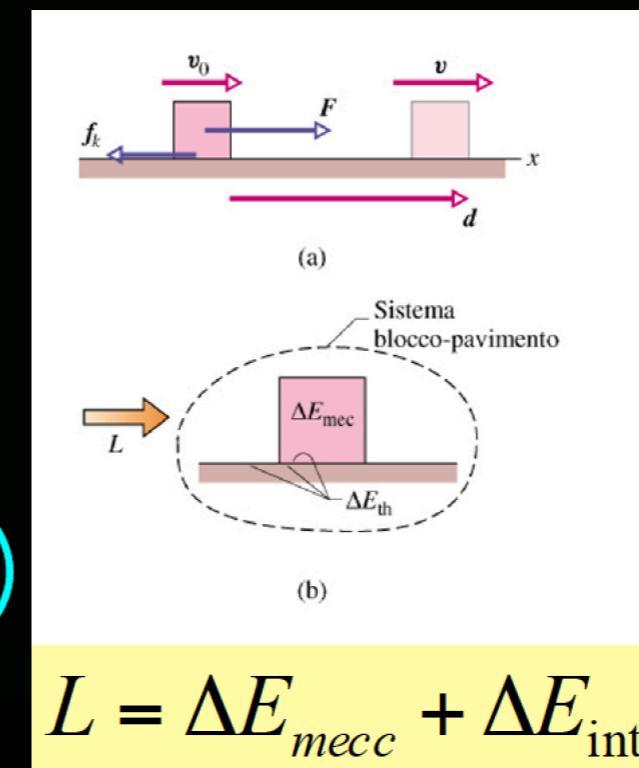
lancio in aria una boccia
[compio lavoro **sul** sistema]

$$L = \Delta K + \Delta U$$

varia
velocità
boccia

varia
distanza
Terra-boccia

2. sistema con attrito



$$F - f_d = ma \Rightarrow a = \text{cost}$$

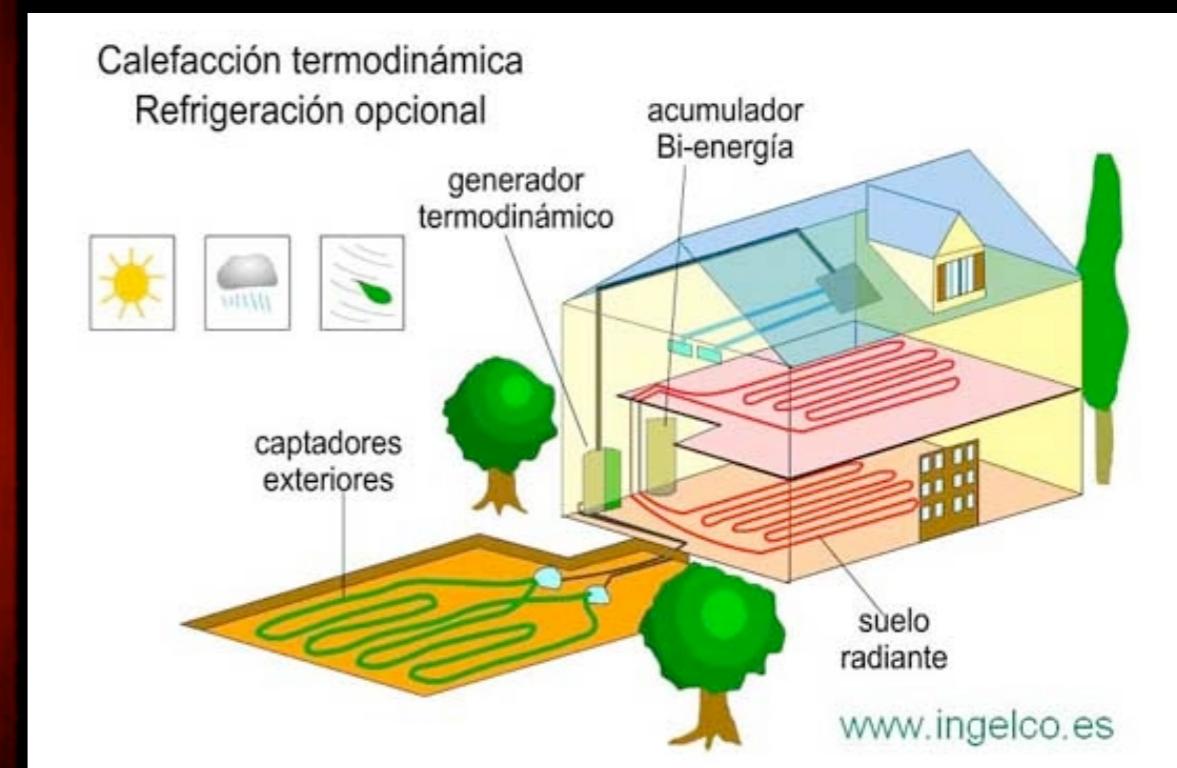
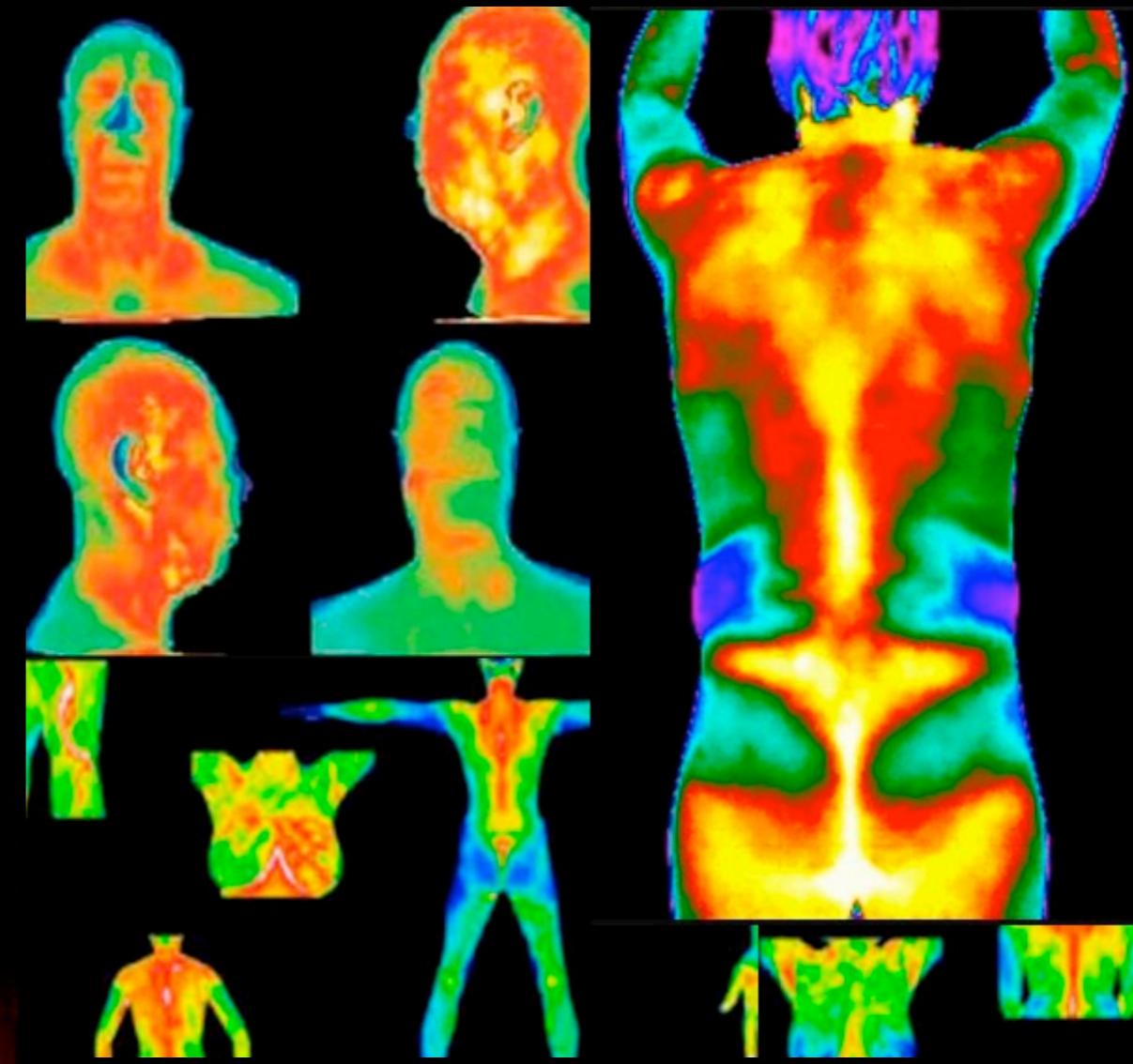
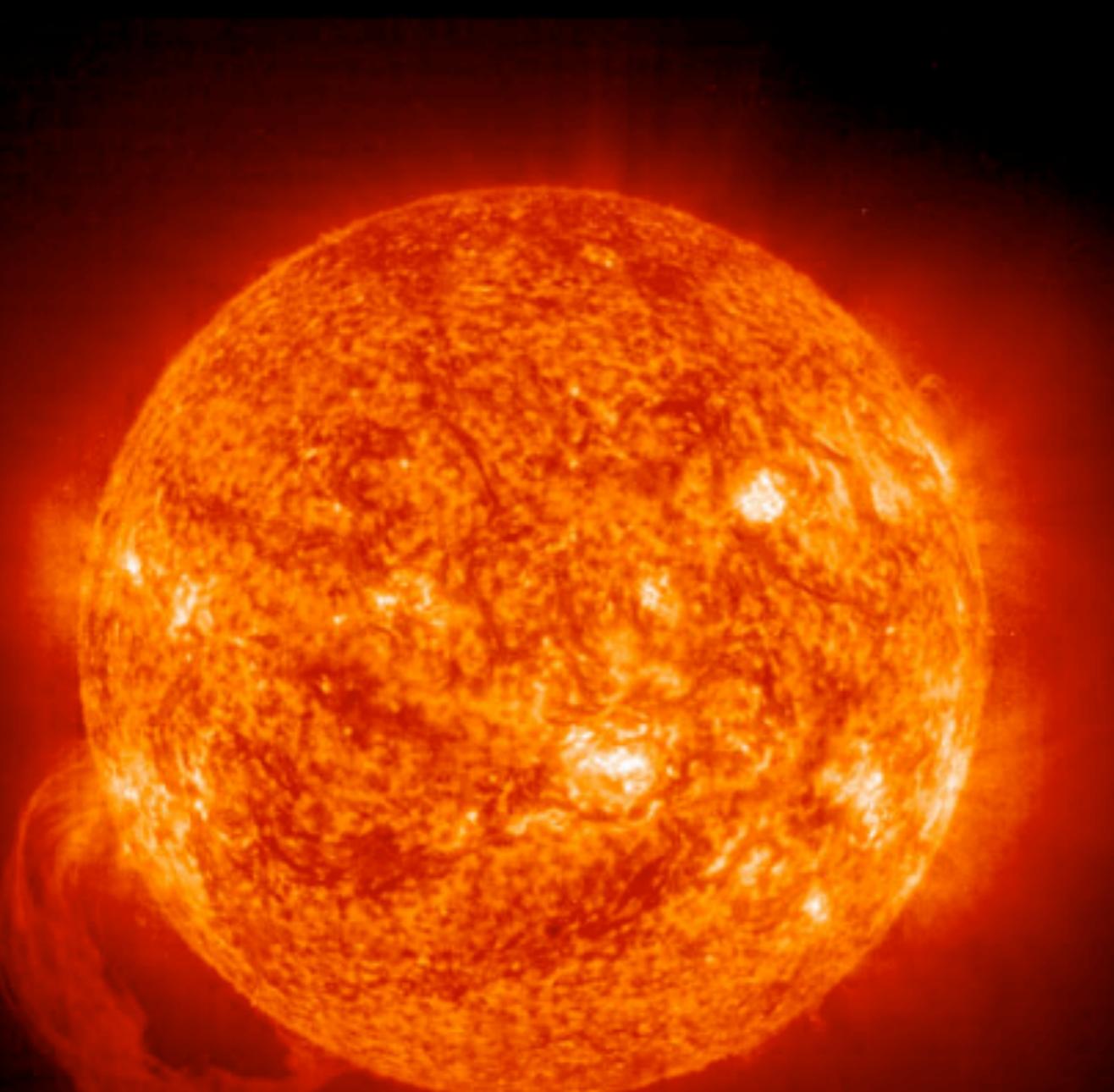
$$v^2 = v_0^2 + 2ad$$

$$Fd = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 + f_d d$$

$$Fd = \Delta K + f_d d = \Delta K + \Delta E_{int}$$

in **generale** [es. blocco su rampa]:

$$Fd = \Delta K + \Delta U + \Delta E_{int}$$



Steam Locomotive
by
www.mekanizmalar.com

Termodinamica

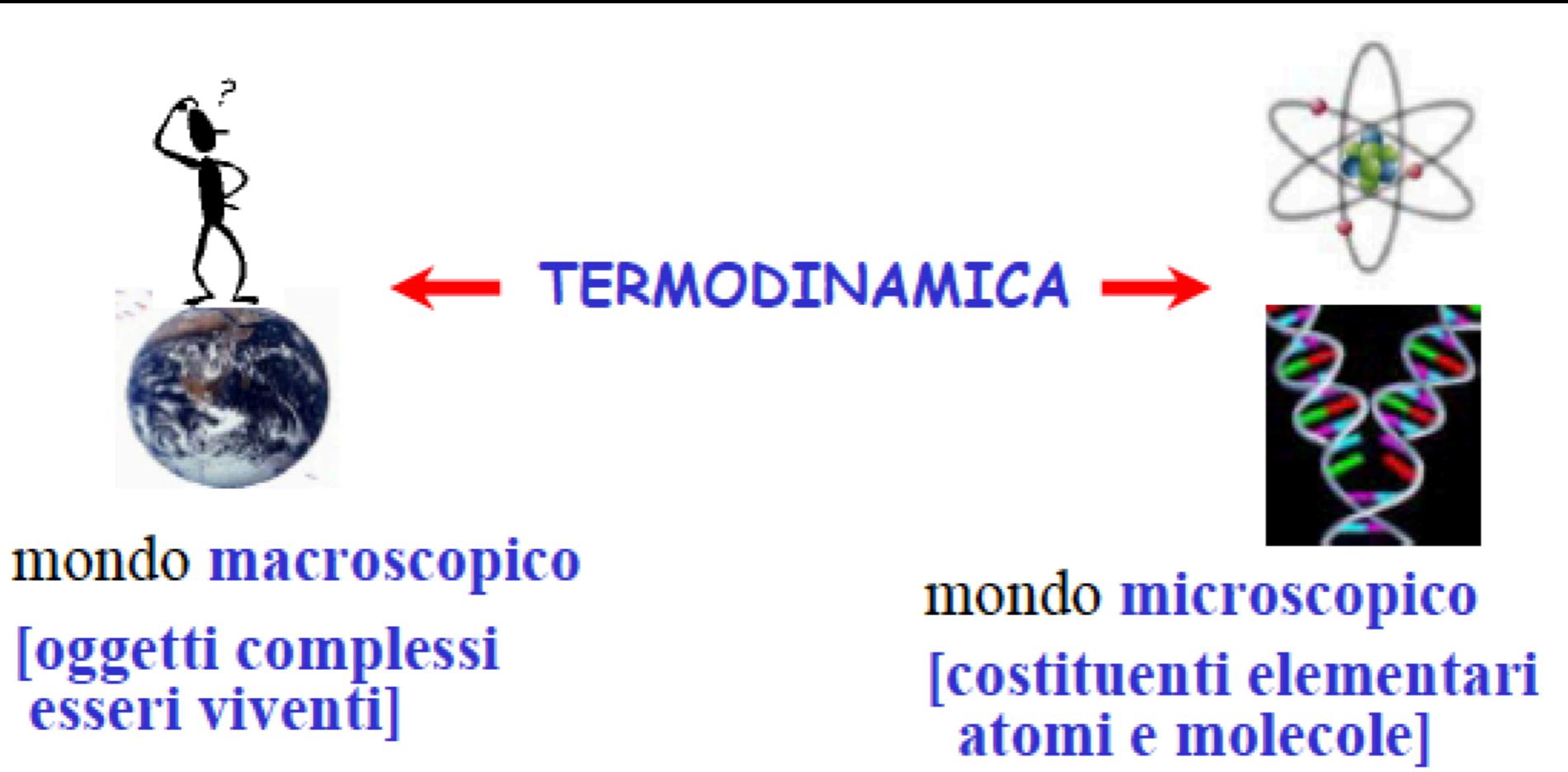
*studio delle
trasformazioni reciproche di energia:*

- **energia meccanica** [lavoro, energia cinetica e potenziale]
- **energia interna-termica** [forma disordinata di energia, moto molecole]

E_{int} \equiv *energia associata ai componenti microscopici def (atomi-molecole) del sistema.*

include:

- ✖ **energia cinetica** e **potenziale** associata al moto casuale traslazionale, rotazionale e vibrazionale di atomi e molecole
- ✖ **energia di legame** fra molecole



concetti fondamentali della **termodinamica**:

- ✗ **temperatura**
- ✗ **calore** [**meccanismo** di trasferimento di energia sistema-ambiente causato da differenza di temperatura
è anche **quantità Q di energia trasferita**]

Temperatura

- nel S.I. si misura in **gradi kelvin** (K)
- la temperatura può essere innalzata a piacere
- non posso abbassare la temperatura sotto lo **0 assoluto** [della scala Kelvin]

$$0^\circ K = - 273.15^\circ C$$

ampio intervallo
di temperature
effettive riscontrate
[≈ 50 ordini di grandezza]



Legge Zero della Termodinamica

per definire la **temperatura** uso i concetti di

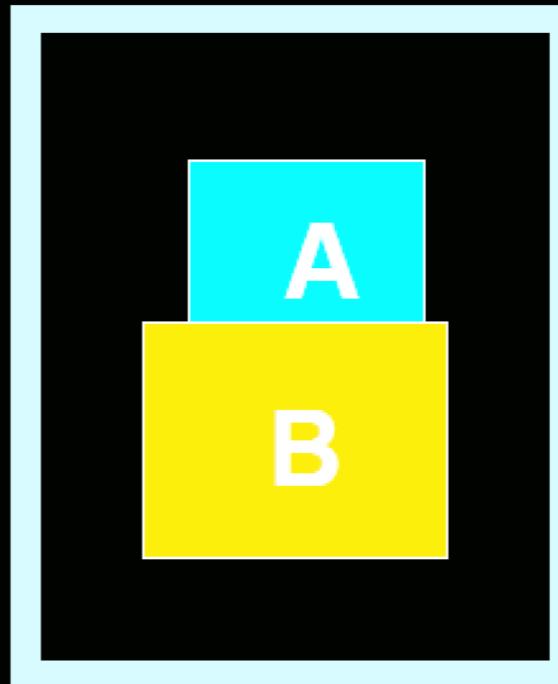
- ✖ contatto termico
- ✖ equilibrio termico

**contenitore
isolante**

contatto termico

oggetti a contatto
in contenitore isolante:

a temperature diverse
si scambiano energia
[detta **calore**]



equilibrio termico

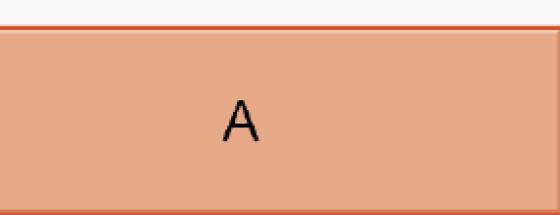
situazione in cui
due oggetti a contatto termico
cessano di avere scambio di energia [**calore**]

principio zero della termodinamica

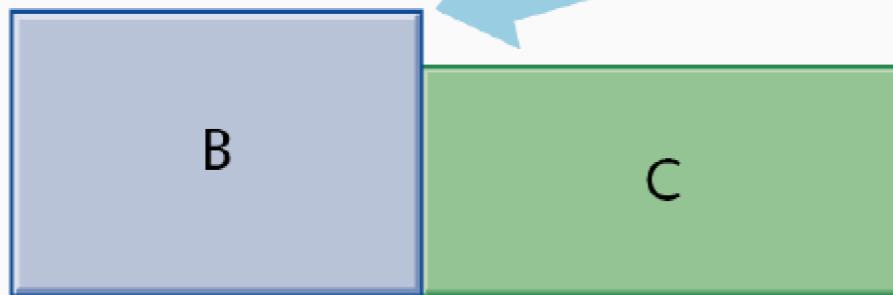
se i corpi A e B sono separatamente in equilibrio termico con il corpo C, allora A e B sono in equilibrio termico se posti a contatto termico

temperatura \Rightarrow proprietà che determina se un corpo è in **equilibrio termico** con altri corpi

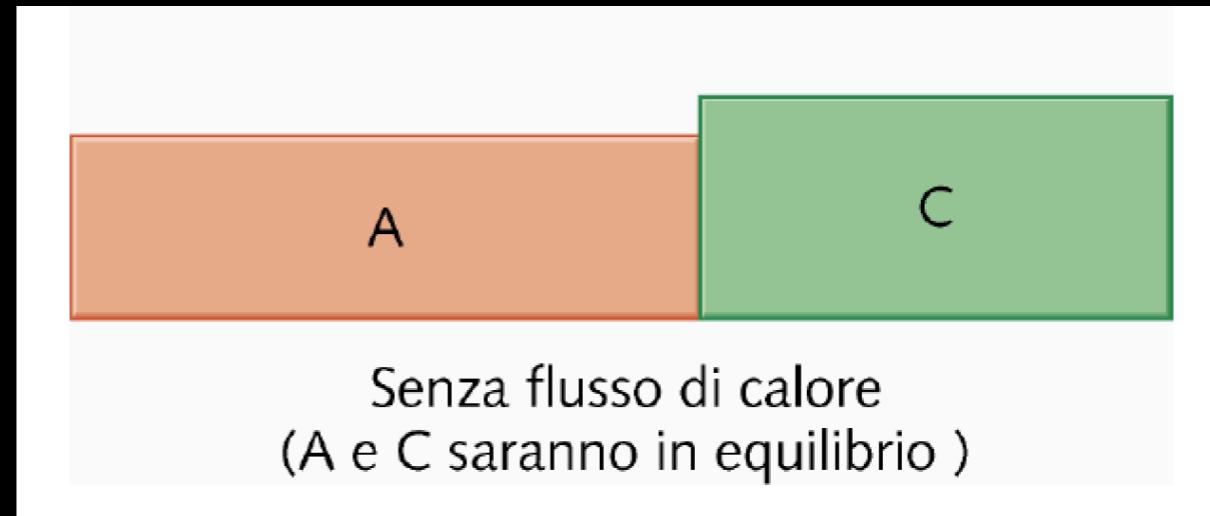
due corpi in equilibrio termico hanno la stessa temperatura



Senza flusso di calore
(A è in equilibrio con B)



Senza flusso di calore
(C è in equilibrio con B)



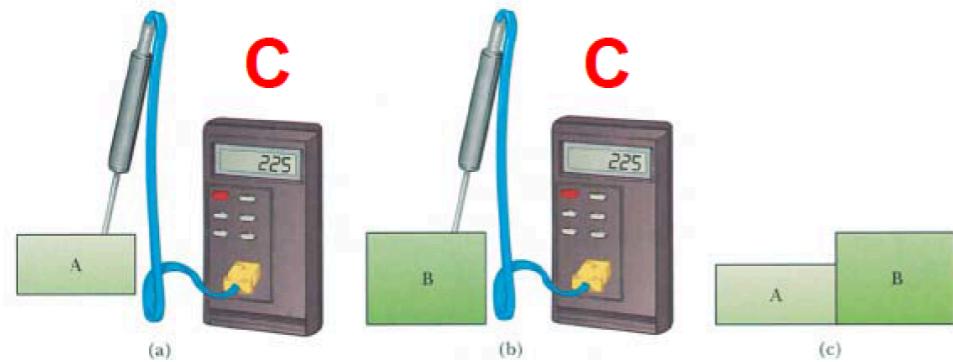
Senza flusso di calore
(A e C saranno in equilibrio)

principio zero della termodinamica

se i corpi A e B sono separatamente in equilibrio termico con il corpo C, allora A e B sono in equilibrio termico se posti a contatto termico

Come verificare l'equilibrio termico?

Termometri



termometro: strumento per **misurare** la temperatura basato su **variazione** di una **proprietà fisica** con la temperatura

variazione di
→

- ✗ **volume** di un liquido
- ✗ **lunghezza** di un solido
- ✗ **pressione** di gas a volume costante
- ✗ **volume** di gas a pressione costante
- ✗ **resistenza** elettrica di conduttore
- ✗ **colore** di corpo caldo

principio zero della termodinamica:

se le letture del termometro **C** sono le stesse
dopo che **C** è stato messo a contatto con **A** e **B** separatamente

A e B si dicono in **equilibrio termico**:

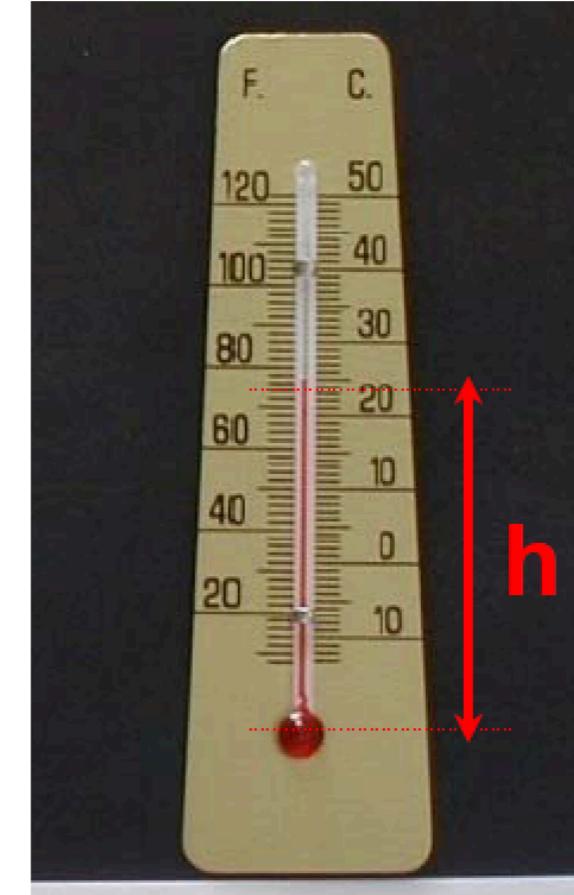
- ⇒ **NON** vi sarà scambio di energia fra essi
(se posti a contatto termico)
- ⇒ A e B sono alla **stessa temperatura**

termometro a mercurio [di uso comune]

massa liquida di mercurio/alcool
che si dilata in un capillare di vetro
quando riscaldata

$$\Delta T \propto \Delta h$$

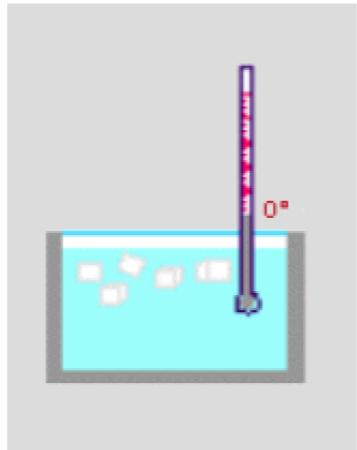
- ✖ poca precisione
- ✖ intervallo di T limitato
 $[T \geq T_{\text{congelamento}}]$



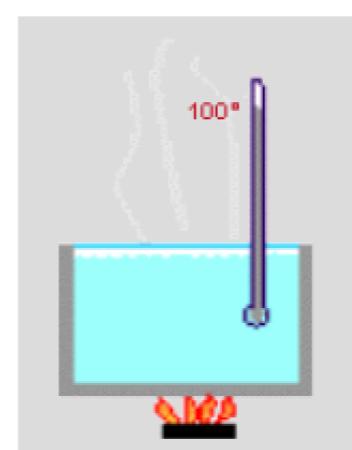
il termometro viene **tarato** ponendolo a contatto con sistema naturale a temperatura costante

esempio:

miscela **acqua-ghiaccio**
a pressione atm $\Rightarrow 0^{\circ}\text{C}$

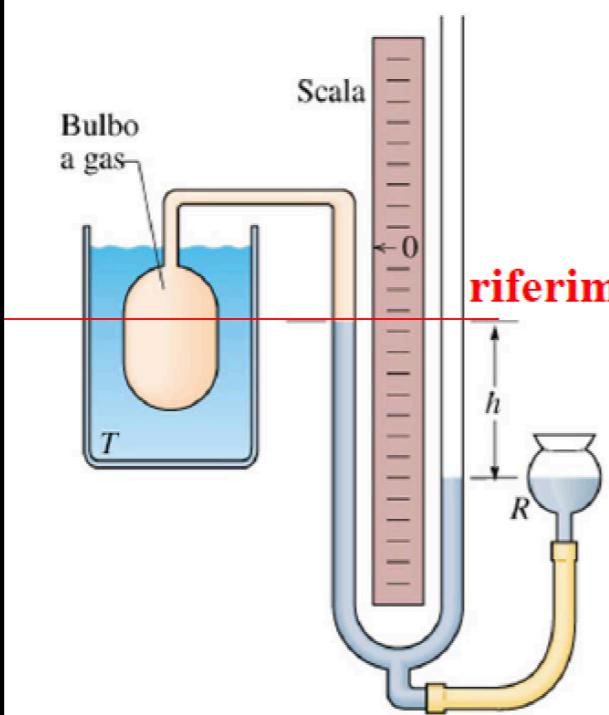


miscela **acqua-vapore**
a pressione atm $\Rightarrow 100^{\circ}\text{C}$



1°C = centesima parte della dilatazione del mercurio tra
punto di fusione ghiaccio (0 C°)
punto di ebollizione acqua (100 C°)

termometro a gas [universale]



bulbo di vetro riempito di **gas** collegato a capillare con mercurio:

✗ la **pressione** del gas varia con la **temperatura**

✗ **alzando/abbassando** serbatoio R porto il livello gas/mercurio al **livello di riferimento**
⇒ **[volume gas costante]**

$$T = Cp$$

$$p = p_0 - \rho gh$$

C = costante
[si determina con la taratura]

RICORDATE

manometro a tubo aperto

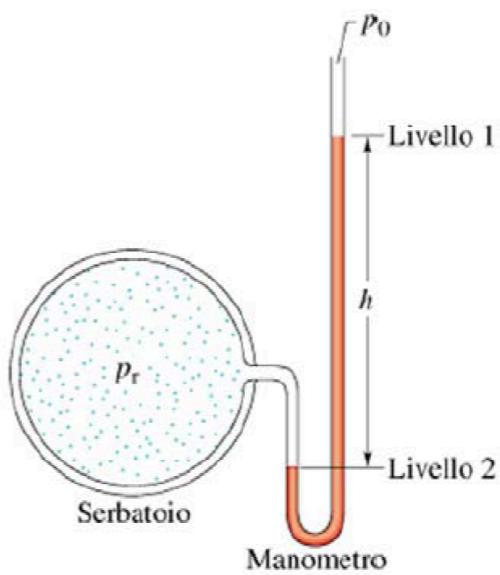
tubo aperto pieno di liquido collegato con sistema a pressione incognita p

$$p = p_0 + \rho gh$$

pressione **assoluta**

$$p_r = p - p_0 = \rho gh$$

pressione **relativa**



Supponiamo di fare misure di temperatura e pressione di una sostanza...e di farlo con differenti gas, si trova che estrapolando le temperature queste convergono tutte allo stesso valore (-273 gradi celsius), indipendentemente dal gas.

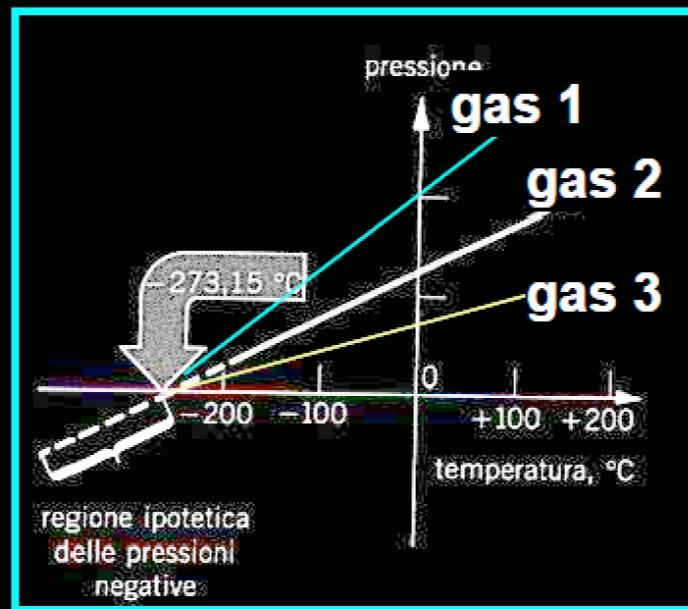
✗ lettura di T **indipendente** dal gas

zero assoluto

$$p = 0$$

$$T = -273.15 \text{ } ^\circ\text{C} = 0 \text{ K}$$

più bassa temperatura
mai **raggiungibile**



$$T_C = T_K - 273.15$$

Scale di Temperatura

scala Celsius

$$T_C = T_K - 273.15^{\circ}$$

scala Fahrenheit

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32^{\circ}$$

$$\Delta T_C = \Delta T_K$$

$$\Delta T_F = \frac{9}{5} \Delta T_C$$

N.B. **punto triplo** dell'acqua :

stato di temperatura e pressione
in cui coesistono all'equilibrio
acqua, vapore d'acqua e ghiaccio

$$p = 4.55 \text{ mm Hg} = 606.6 \text{ Pa}$$

$$T = 0.01^{\circ}\text{C}$$

