

MECCANICA DEI FLUIDI

FLUIDOSTATICA



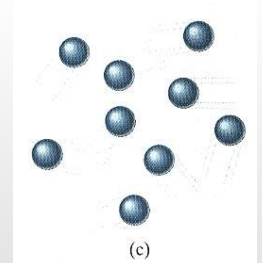
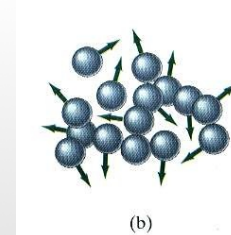
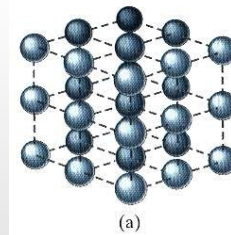
STATI DI AGGREGAZIONE DELLA MATERIA

Stato Solido: La sostanza ha volume e forma ben definiti.

Stato Liquido: La sostanza ha volume ben definito, ma assume la forma del recipiente che la contiene.

Stato Aeriforme o Gassoso: La sostanza occupa tutto lo spazio disponibile.

Fluidi: Sostanza allo stato liquido o gassoso.



Disposizione degli atomi in

(a) un solido cristallino

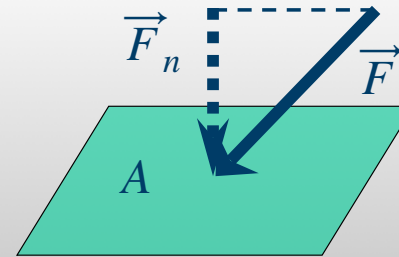
(b) un liquido

(c) un gas

PRESSIONE

Si definisce **pressione** il rapporto fra il modulo della componente normale della forza agente su una superficie (F_n) e l'area (A) della superficie sulla quale la forza agisce:

$$p = \frac{F_n}{A}$$



La pressione è una grandezza scalare

Unità di misura nel **S.I.**

$$\frac{N}{m^2} = Pa = pascal$$

Unità di misura nel **C.G.S.**

$$\frac{dyn}{cm^2} = baria$$

$$1 Pa = 10 barie$$

ALTRE UNITÀ DI MISURA DELLA PRESSIONE

1 *mmHg* : pressione esercitata da una colonna di mercurio alta 1 *mm*

1 *cmH₂O* : pressione esercitata da una colonna di acqua alta 1 *cm*

1 *atm* : pressione esercitata dalla atmosfera terrestre

$$1 \text{ mmHg} = 1.36 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

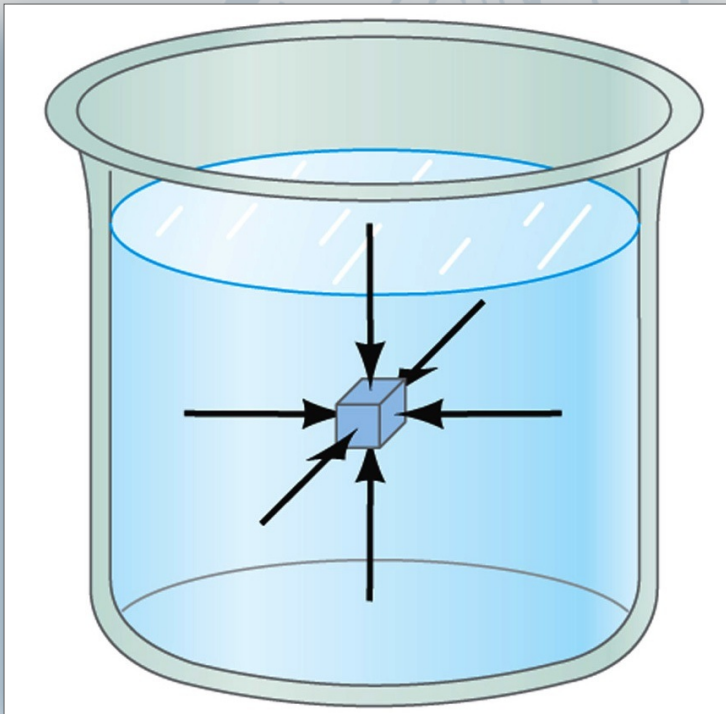
$$1 \text{ atm} \cong 100 \text{ kPa} = 10^6 \text{ barie}$$

ALTRE UNITÀ DI MISURA DELLA PRESSIONE

1 Pa = 1 N/m²	Relativamente a 1 atm
1 atm = $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 101.3 \text{ kPa}$	1 atm = $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
1 bar = $1.000 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	1 atm = 1.013 bar
1 dyne/cm ² = 0.1 N/m ²	1 atm = $1.013 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$
1 lb/in ² = $6.90 \times 10^3 \text{ N/m}^2$	1 atm = 14.7 lb/in ²
1 lb/ft ² = 47.9 N/m ²	1 atm = $2.12 \times 10^3 \text{ lb/ft}^2$
1 cmHg = $1.33 \times 10^3 \text{ N/m}^2$	1 atm = 76 cmHg
1 mmHg = 133 N/m ²	1 atm = 760 mmHg
1 torr = 133 N/m ²	1 atm = 760 torr
1 mmH ₂ O (4°C) = 9.81 N/m ²	1 atm = $1.03 \times 10^4 \text{ mmH}_2\text{O} (4^\circ\text{C})$

PRESSIONE

I fluidi esercitano pressione in tutte le direzioni in egual misura.



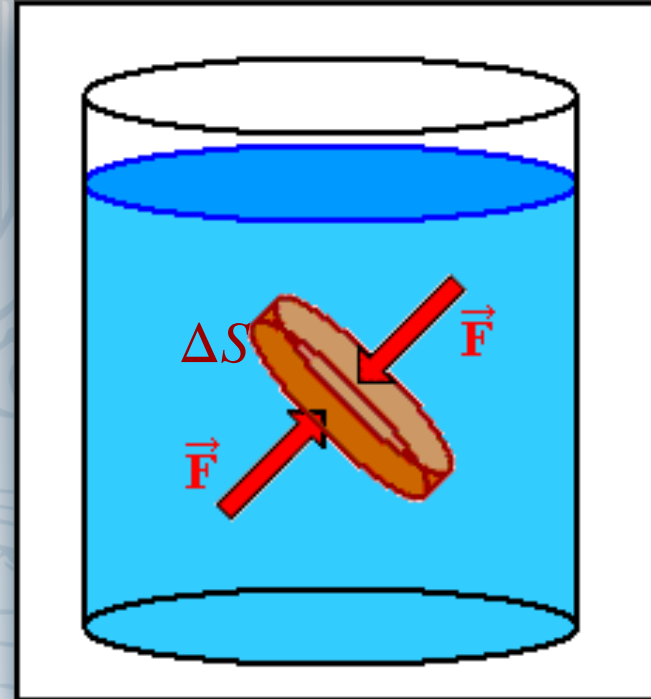
La pressione in un fluido in quiete ad una data profondità è la stessa lungo ogni direzione. Infatti, se così non fosse, il fluido sarebbe in moto.

NB: in questa immagine l'elemento di volume è da considerarsi infinitesimo.

PRESSIONE

La pressione che si esercita su un elemento di superficie ΔS contenente un punto P interno al fluido è indipendente dalla giacitura di ΔS (principio di isotropia della pressione).

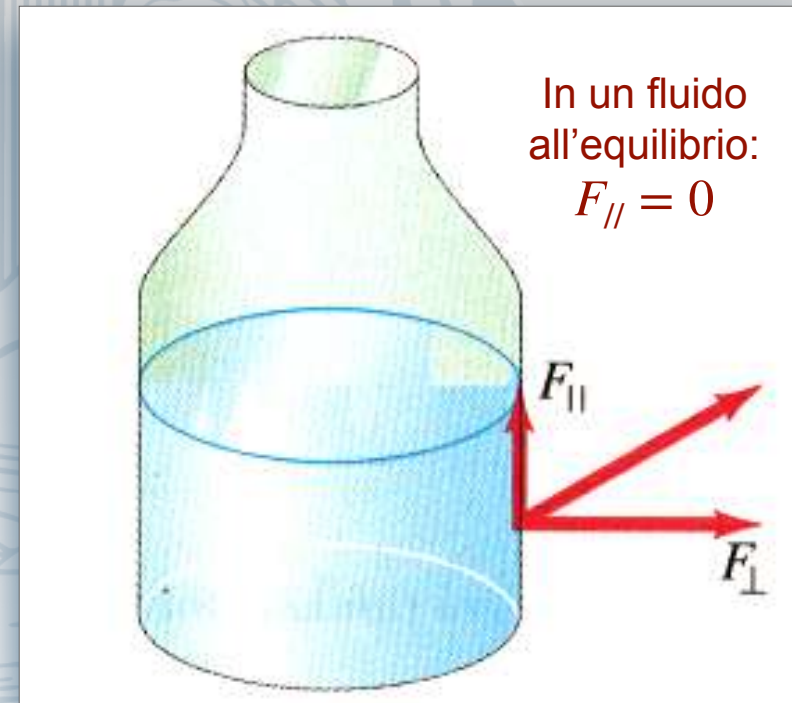
Infatti, se così non fosse, le particelle del fluido sarebbero sottoposte ad una forza risultante non nulla.



PRESSIONE

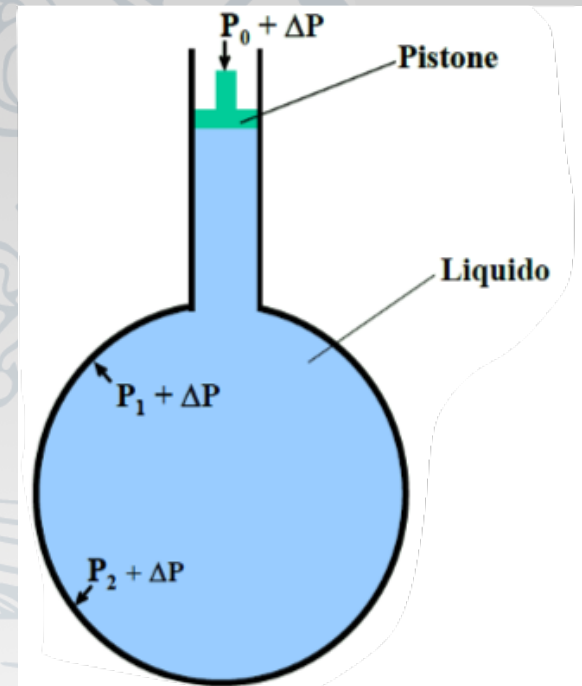
In un fluido in equilibrio sono nulle le forze tangenti alla superficie limite.

Infatti, se così non fosse, gli strati superficiali scorrerebbero sotto l'azione delle componenti tangenziali e non si avrebbe equilibrio.

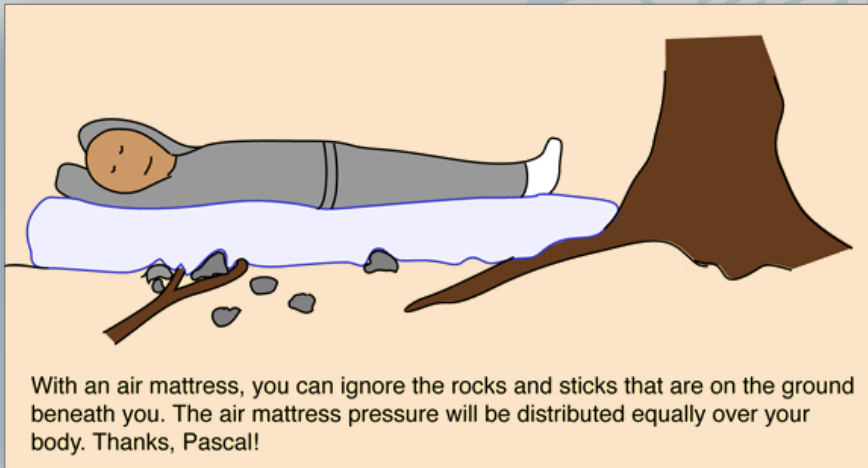


PRINCIPIO DI PASCAL

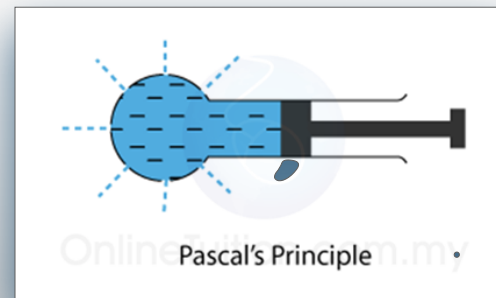
La pressione esercitata su una superficie qualunque di un fluido confinato si trasmette con la stessa intensità su ogni altra superficie a contatto con il fluido, indipendentemente da come questa è orientata.



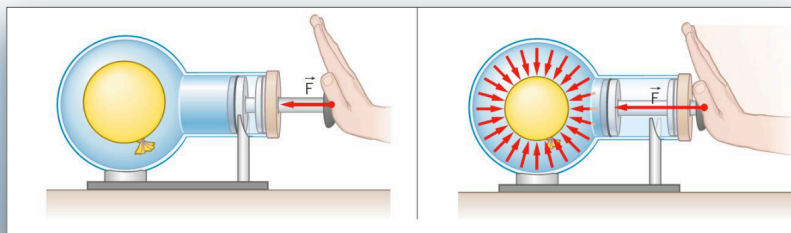
PRINCIPIO DI PASCAL



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/>



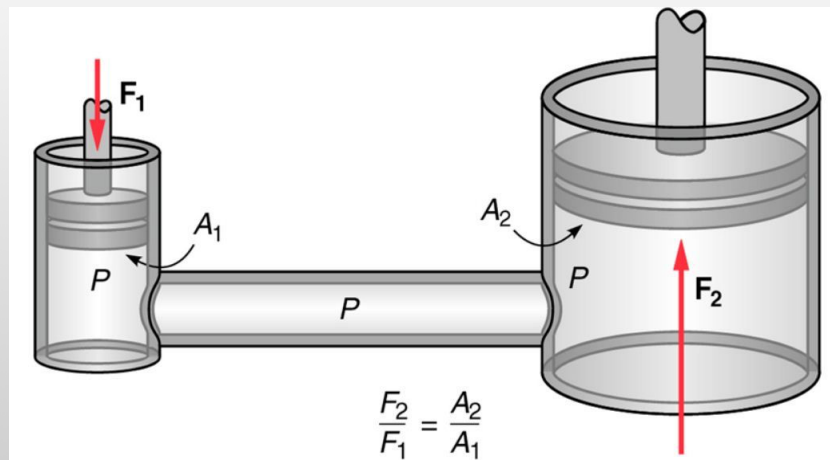
Applicando una forza sul pistone, esso a sua volta esercita una forza sul liquido. L'aumento di pressione genera una forza perpendicolare alle pareti del recipiente (le componenti tangenziali sono nulle). La velocità degli zampilli aumenta all'aumentare delle forze applicate.



Un palloncino pieno d'aria immerso nel liquido si rimpicciolisce mantenendo la stessa forma poiché la pressione ha in ogni punto la stessa intensità ed è in ogni punto perpendicolare alla superficie.

PRINCIPIO DI PASCAL

Martinetto idraulico



Dispositivo per l'amplificazione di forze

$$p_1 = p_2 = p$$

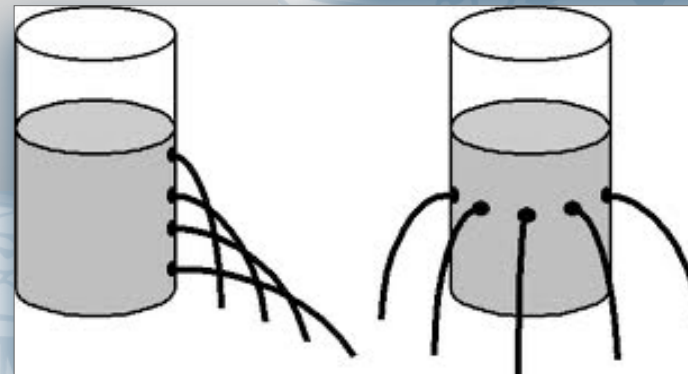
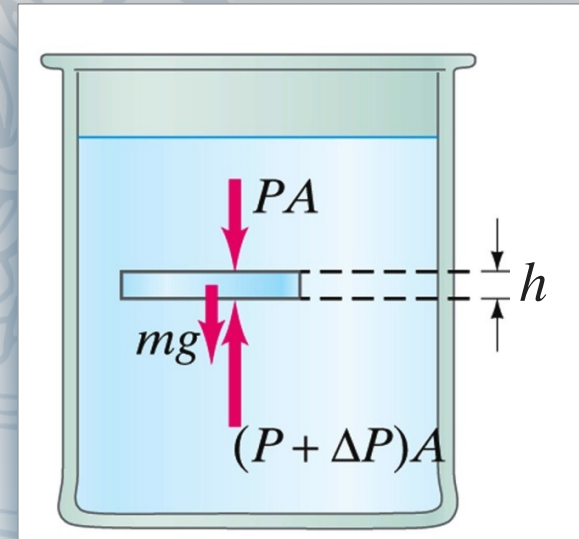
$$\Downarrow$$
$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$\Downarrow$$
$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

LEGGE DI STEVINO

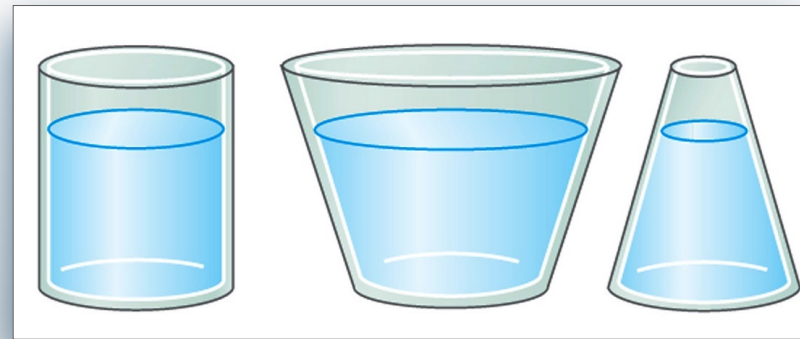
In un fluido ideale in stato di quiete, di densità costante d e soggetto all'accelerazione di gravità g , la differenza di pressione registrata tra due superfici orizzontali distanti tra loro di un'altezza h è pari alla pressione esercitata dal peso della colonna di liquido sulla superficie inferiore:

$$\Delta p = dgh$$



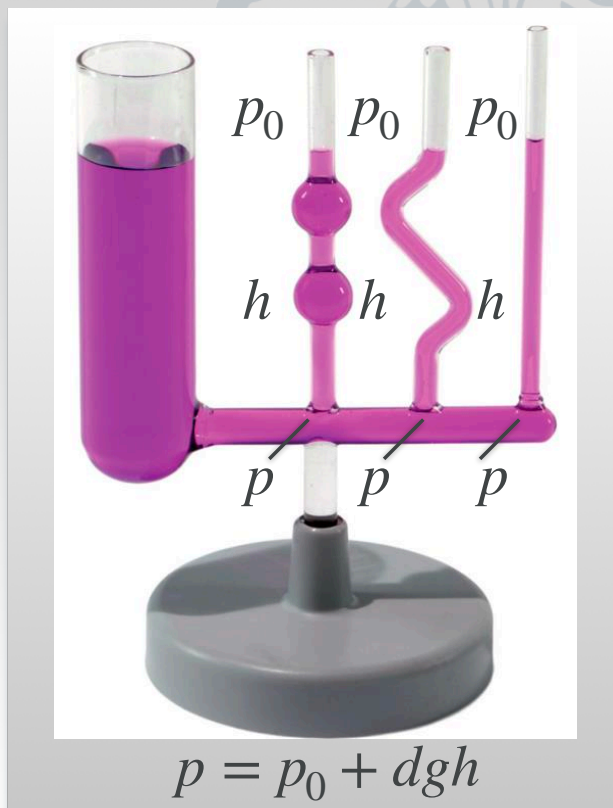
CONSEGUENZE DELLA LEGGE DI STEVINO

- La pressione in un punto del fluido all'equilibrio dipende solo dalla profondità del punto
- La pressione lungo superfici orizzontali è costante (superficie isobare o isobariche): la superficie libera di un liquido in quiete deve essere orizzontale.



In ogni caso la pressione sul fondo del recipiente è data da $p = p_0 + dgh$, indipendentemente dalla forma del recipiente (**paradosso idrostatico**).

PRINCIPIO DEI VASI COMUNICANTI



La pressione esercitata da una colonna di liquido sulla sua base dipende dalla sua altezza, ma non dalla sua sezione.

Nel caso in cui il liquido sia omogeneo, esso si dispone alla stessa altezza in recipienti comunicanti, anche se questi hanno forma diversa.

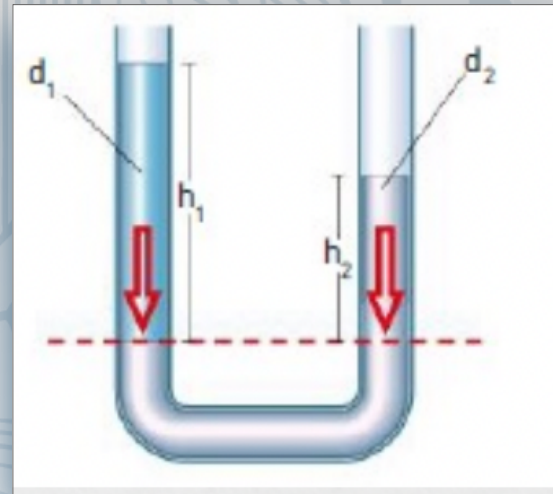
EQUILIBRIO DI LIQUIDI NON OMOGENEI NÉ MISCIBILI

Due colonne di fluidi diversi esercitano la stessa pressione ($p_1 = p_2$) se:
 $d_1 g h_1 = d_2 g h_2$



$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

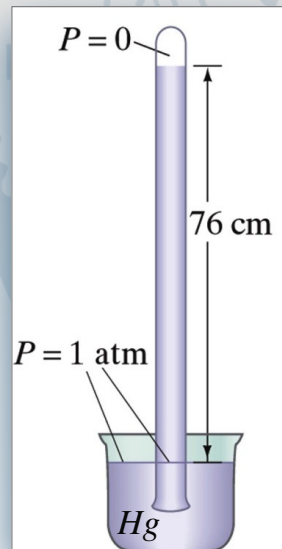
Rispetto alla loro superficie di separazione due liquidi immiscibili raggiungono, in vasi comunicanti, altezze inversamente proporzionali alla rispettive densità.



PRESSIONE ATMOSFERICA

Anche i fluidi aeriformi esercitano una pressione.

La pressione esercitata dall'atmosfera su tutti i corpi immersi in essa è uguale, al livello della superficie terrestre, alla pressione esercitata da una colonna di mercurio alta 760 mm.



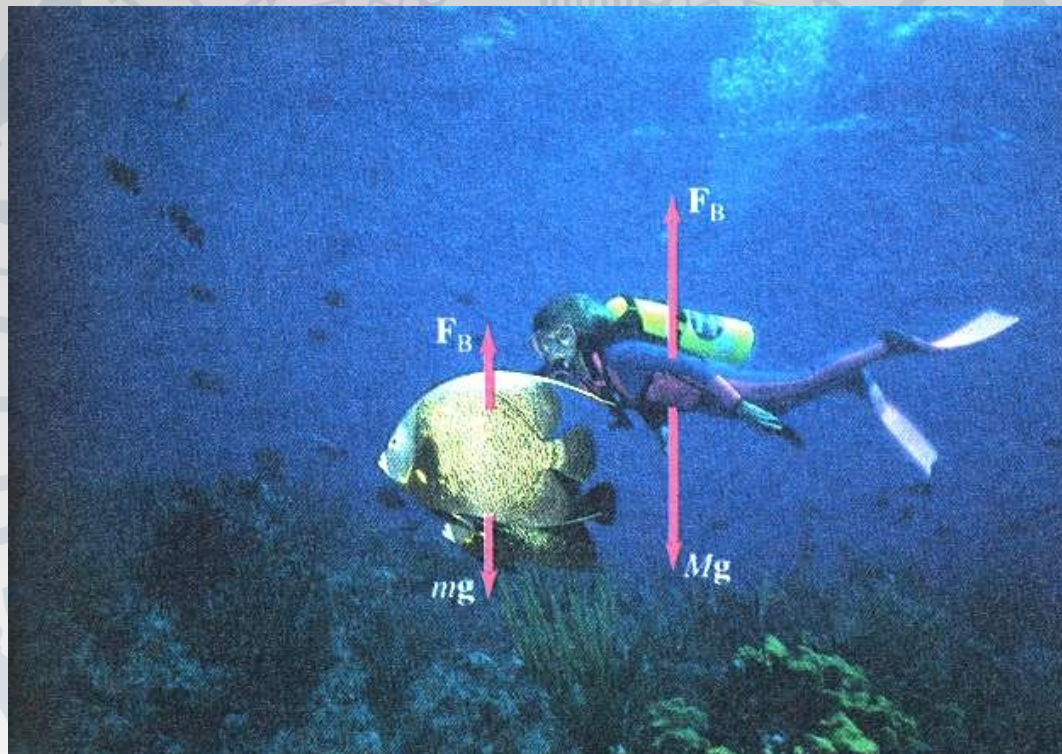
Esperienza di Torricelli

$$P_{atm} = d_{Hg} g h$$

$$\cong 13590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.76 \text{ m}$$

$$\cong 100 \text{ kPa}$$

PRINCIPIO DI ARCHIMEDE

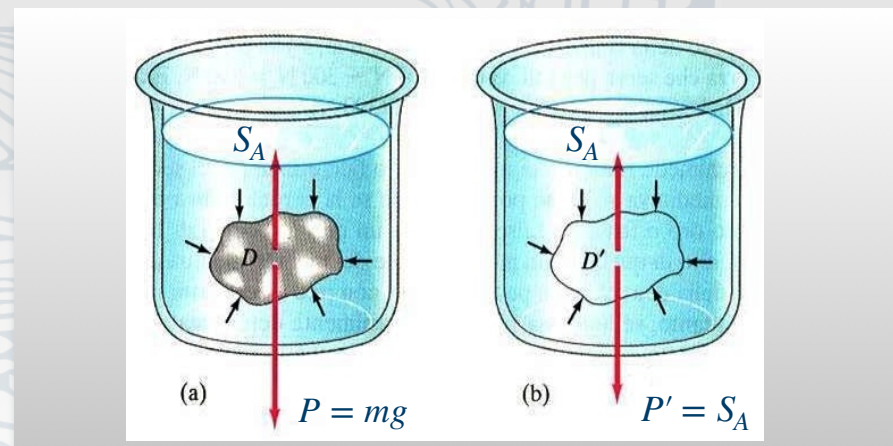
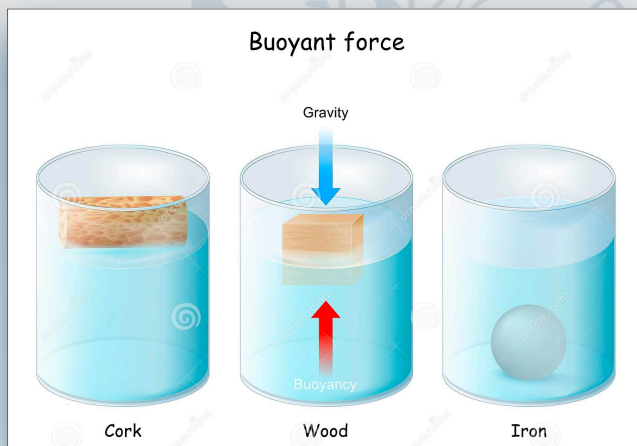


PRINCIPIO DI ARCHIMEDE

Un corpo immerso in fluido è sottoposto ad una forza, detta **spinta di Archimede** (S_A):

- ❖ diretta verticalmente verso l'alto;
- ❖ di intensità uguale al peso del fluido spostato.

$$S_A = m' \cdot g = d_{\text{fluido}} \cdot V_{\text{fluido spostato}} \cdot g$$



54. Osservando un oggetto perfettamente immobile in galleggiamento nel mare, che cosa si può dire delle forze che agiscono su di esso?

- A) Agiscono più forze, ma la loro risultante è nulla
- B) Agiscono solo le forze convettive delle correnti marine che lo tengono sollevato dal fondo
- C) La forza peso non agisce in mare
- D) La forza di Archimede risulta maggiore di tutte le altre forze
- E) Non agisce alcuna forza

$$\vec{v} = 0 \Leftrightarrow \vec{a} = 0 \Rightarrow \sum \vec{F} = 0$$

MC & OPD 2016/17 n. 5 & PS 2012/13 n. 70

75. Un contenitore cilindrico e un contenitore conico hanno la stessa altezza, pari a 10 cm, e la stessa area di base, pari a 10^3 cm^2 . Entrambi poggiano con la loro base su un piano orizzontale e sono interamente riempiti con un olio avente una densità di 900 g/l.

Assumendo che sia $g=10 \text{ m/s}^2$, l'intensità della forza esercitata dall'olio sul fondo del recipiente è:

- A) 90 N sia per il cilindro che per il cono
- B) 90 N per il cilindro e 30 N per il cono
- C) 9 N sia per il cilindro che per il cono
- D) 9 N per il cilindro e 3 N per il cono
- E) è superiore, per l'elevata viscosità dell'olio, a quella che si sarebbe prodotta se i recipienti fossero stati riempiti di acqua distillata

MC & OPD 2011/12 n. 75

$$F = p \cdot A = dgh \cdot A$$

$$= 900 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ cm} \cdot 10^3 \text{ cm}^2$$

$$= \frac{9 \cdot 10^2 \cdot \cancel{10^{-3}} \text{ kg}}{\cancel{10^{-3}} \text{ m}^3} \cdot \cancel{10} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cancel{10} \cdot \cancel{10^{-2}} \text{ m} \cdot 10^3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$= 90 \text{ N}$$

76. Qual è la pressione idrostatica sul fondo di una vasca se l'acqua ha l'altezza di 1 metro?

- A) 9.800 Pa
- B) 98 Pa
- C) 98.000 Pa
- D) 9,8 N/m²
- E) 980 N/m²

PS 2011/12 n. 76

$$\begin{aligned} p &= dgh \\ &= 10^3 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9.8 \text{ m s}^{-2} \cdot 1 \text{ m} \\ &= 9800 \text{ Pa} \\ &\approx 0.1 \text{ atm} \end{aligned}$$

74. Assumendo che l'acqua marina abbia densità uguale a $1,03 \text{ g/cm}^3$, la pressione idrostatica alla profondità di 60 m sotto il livello del mare è pari a circa:

- A) 6 atm
- B) 2.000 mmHg
- C) 61,8 bar
- D) 60 Pa
- E) 707.000 Pa

Una colonna di acqua alta 10 m esercita una pressione di 1 atm

PS 2009/10 n. 74

$$\begin{aligned} p &= p_{atm} + dgh \\ &= 1 \text{ atm} + 6 \text{ atm} = 7 \text{ atm} \\ &= 7 \cdot 101 \text{ kPa} = 707 \text{ kPa} \end{aligned}$$

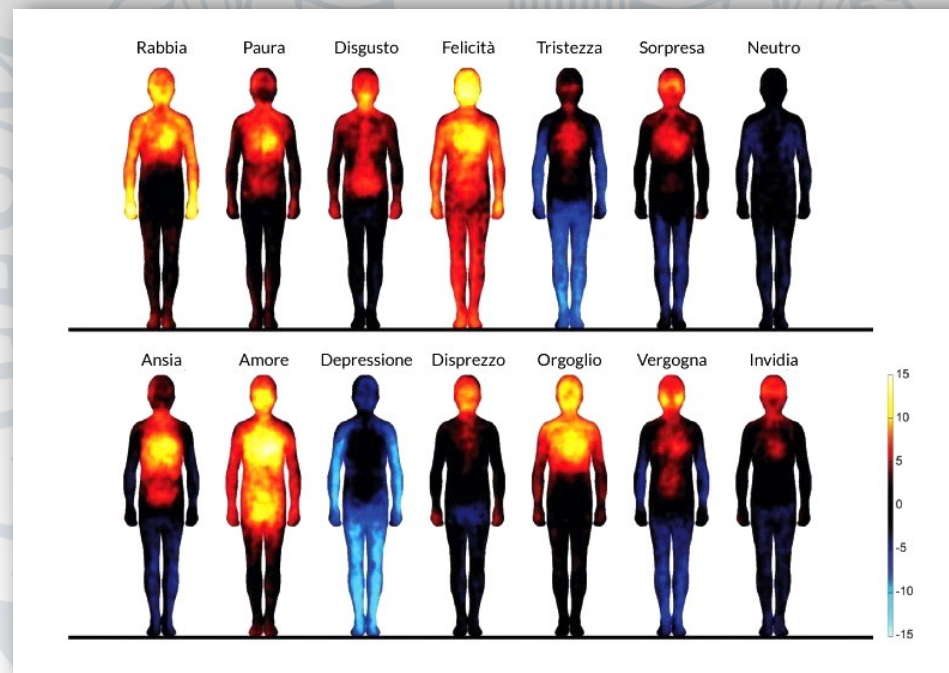
80. Un palloncino A viene gonfiato con un certo volume V di aria. Un secondo palloncino B, identico ad A, viene gonfiato con pari volume V di un gas il cui peso specifico è inferiore a quello dell'aria. Si può affermare che la forza di Archimede:

- A) che agisce sul palloncino A è uguale alla forza di Archimede che agisce sul palloncino B
- B) che agisce sul palloncino A è superiore alla forza di Archimede che agisce sul palloncino B
- C) che agisce sul palloncino A è inferiore alla forza di Archimede che agisce sul palloncino B
- D) non agisce sui palloncini in quanto essa si applica solo ai liquidi e non ai gas
- E) che agisce sui palloncini è nulla

PS 2007/08 n. 80

Stesso volume \implies stessa spinta

TERMOLOGIA E TERMODINAMICA



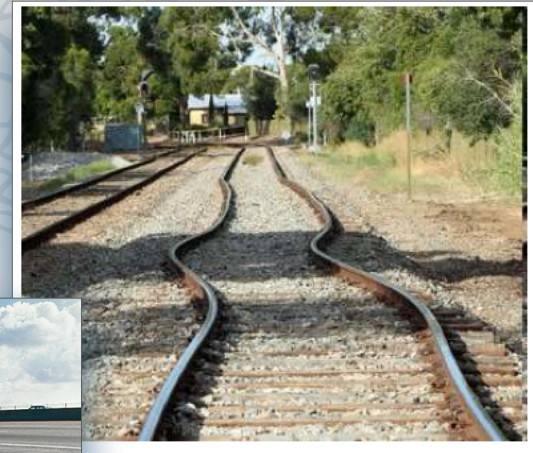
Il corpo umano percepisce la temperatura con le sensazioni di caldo e freddo.

TEMPERATURA

Il corpo umano percepisce la temperatura con le sensazioni di caldo e freddo, che però sono molto soggettive.

Molte grandezze fisiche variano al variare della temperatura:

- ◆ lunghezza dei corpi;
- ◆ pressione di un gas;
- ◆ volume di un gas;
- ◆ viscosità di un liquido;
- ◆ resistenza elettrica;
- ◆ ...



DILATAZIONE TERMICA

Legge empirica di variazione del volume con la temperatura:

$$V = V_0 (1 + \beta \cdot \theta_C)$$

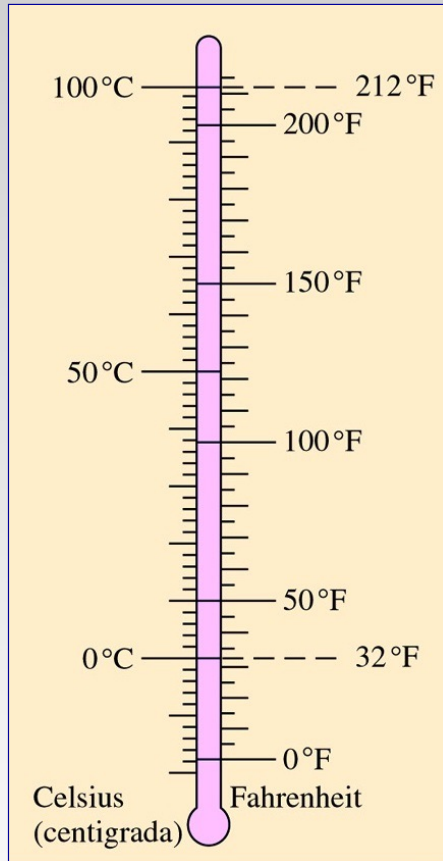
dove

θ_C : temperatura (espressa in °C)

β : coefficiente di dilatazione termica (espresso in °C⁻¹)

SOSTANZA	β (°C ⁻¹)
Alcool etilico	$1.1 \cdot 10^{-4}$
Glicerina	$5.1 \cdot 10^{-4}$
Mercurio	$1.8 \cdot 10^{-4}$
Acciaio	$3.1 \cdot 10^{-5}$
Vetro	$2.4 \cdot 10^{-5}$
Quarzo	$1.5 \cdot 10^{-6}$

SCALE TERMOMETRICHE



Punti fissi scala Celsius:

- 0°C (ghiaccio fondente @ $p = 1 \text{ atm}$)
- 100°C (vapori acqua bollente @ $p = 1 \text{ atm}$)

Punti fissi scala Fahrenheit:

- 32°F (ghiaccio fondente @ $p = 1 \text{ atm}$)
- 212°F (vapori acqua bollente @ $p = 1 \text{ atm}$)

$$\frac{\theta_C}{100} = \frac{\theta_F - 32}{180}$$

θ_C : temperatura espressa in $^{\circ}\text{C}$

θ_F : temperatura espressa in $^{\circ}\text{F}$

LEGGI DEI GAS PERFETTI

Isoterma ($\theta_C = \text{cost.}$) : $pV = \text{cost.}$

Isocora ($V = \text{cost.}$) : $p = p_0 (1 + \alpha\theta_C)$ essendo p_0 la pressione @ $\theta_C = 0$

Isobara ($p = \text{cost.}$) : $V = V_0 (1 + \alpha\theta_C)$ essendo V_0 il volume @ $\theta_C = 0$

Si chiama **gas perfetto** o **gas ideale**, quel gas che obbedisce incondizionatamente alle precedenti leggi.

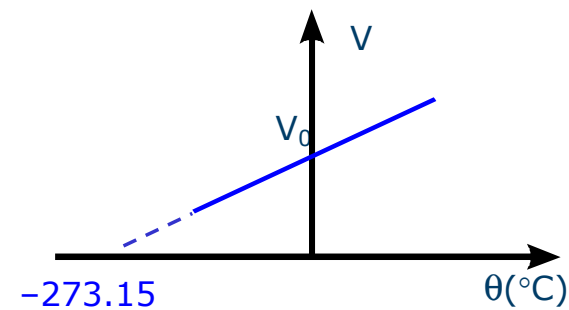
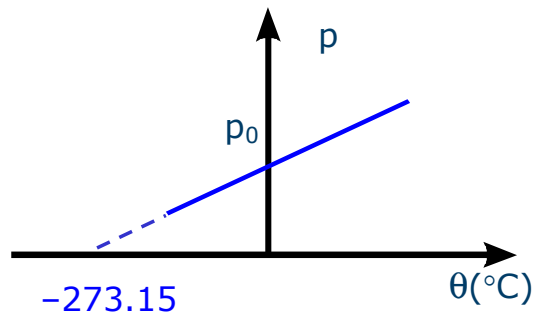
Per i **gas reali** tali leggi sono approssimativamente rispettate alle alte temperature e/o alle basse pressioni.

LEGGI DEI GAS PERFETTI

$$p = p_0 (1 + \alpha \theta_C)$$

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

Per tutti i gas: $\alpha = 1 / (273.15^\circ\text{C})$



Dalla legge dell'isocora (isobara) si deduce che la pressione (il volume) si annulla alla temperatura $-1/\alpha$.

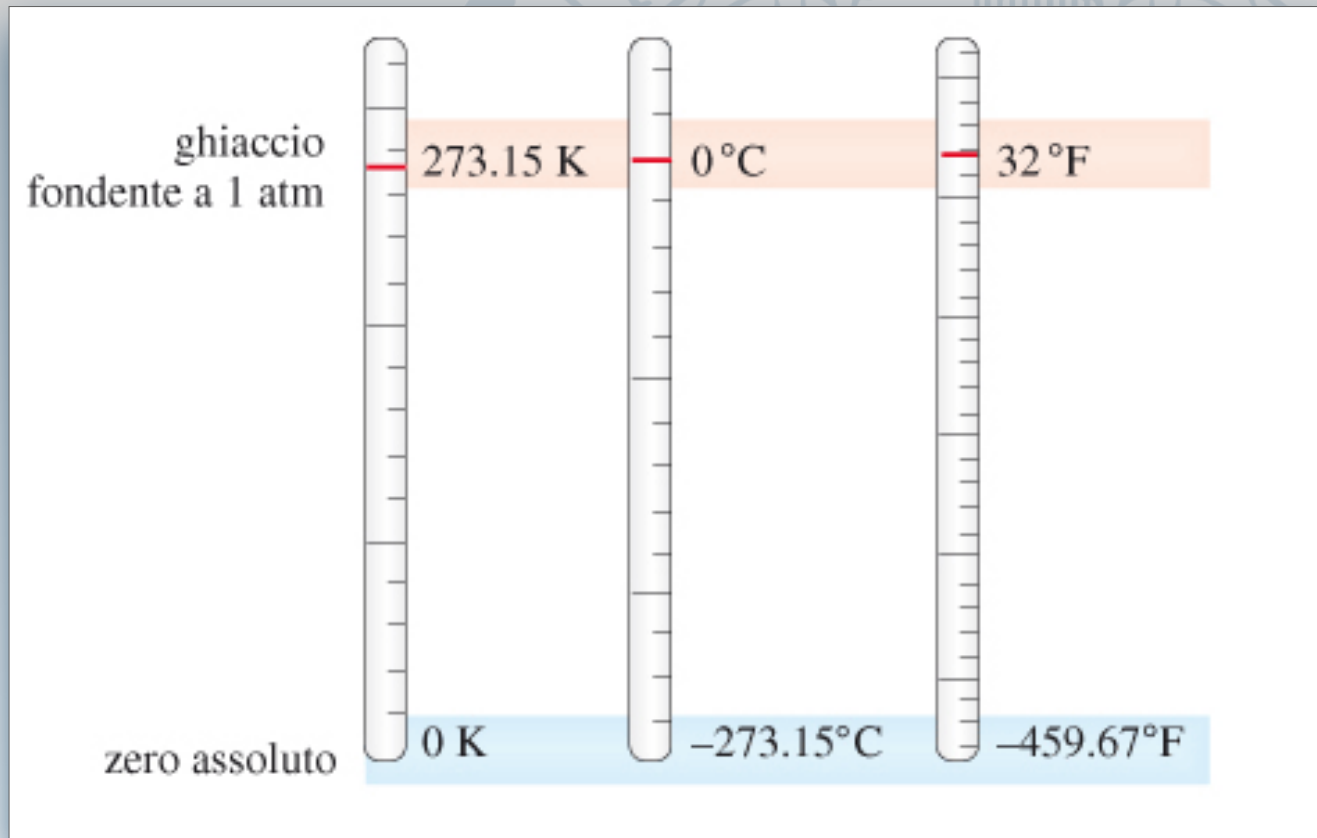
SCALA ASSOLUTA (KELVIN)

Si definisce **temperatura assoluta** T e si esprime in **kelvin** (K), la grandezza fisica $T = \theta_C + T_0$ con $T_0 = \frac{1}{\alpha} = 273.15 K$

$$\text{Legge dell'isobara: } V = V_0 (1 + \alpha\theta_C) = V_0\alpha \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_C \right) = \frac{V_0}{T_0} T \Rightarrow \frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0}$$

$$\text{Legge dell'isocora: } p = p_0 (1 + \alpha\theta_C) = p_0\alpha \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_C \right) = \frac{p_0}{T_0} T \Rightarrow \frac{p}{p_0} = \frac{T}{T_0}$$

SCALA ASSOLUTA (KELVIN)



Confronto fra le diverse scale di temperatura:

t (°C) temperatura Celsius

T (K) temperatura assoluta o Kelvin

t (°F) temperatura Fahrenheit,

tra le quali sussistono le relazioni:

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273^{\circ}$$

$$t(^{\circ}\text{F}) = 32^{\circ} + (9/5) t(^{\circ}\text{C}).$$

Solitamente la temperatura assoluta viene simboleggiata dalla lettera T maiuscola.

56. La temperatura $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ è compresa tra:

- A) 100 K e 110 K
- B) 80 K e 90 K
- C) 110 K e 120 K
- D) 90 K e 100 K
- E) nessuna delle altre alternative è corretta

$$\theta_K = \theta_C + 273 \Rightarrow -170\text{ }^{\circ}\text{C} \simeq 103\text{ K}$$

PS 2014/15 n. 56

77. La temperatura 300 K è compresa tra:

- A) 0 °C e 10 °C
- B) 40 °C e 50 °C
- C) 30 °C e 40 °C
- D) 10 °C e 20 °C
- E) 20 °C e 30 °C

$$\theta_C = \theta_K - 273$$

$$300 K = 27 °C$$

PS 2010/11 n. 77

LEGGI DEI GAS PERFETTI

Equazione di stato dei gas perfetti:

$$pV = nRT$$

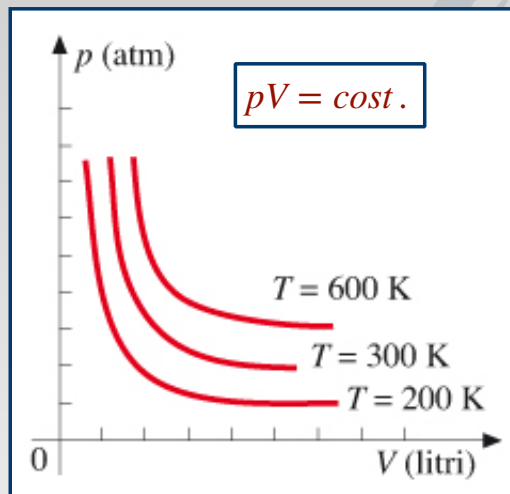
dove n : numero di moli, R : costante universale dei gas,
 T : temperatura assoluta (espressa in K)

1 *mole (mol)* : quantità in grammi
numericamente pari alla massa molecolare.

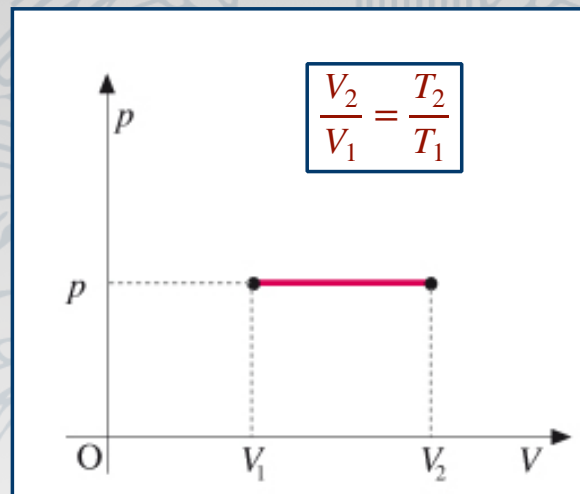
1 *mole* di un qualunque gas contiene un
numero di molecole pari a
 $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$ (numero di Avogadro).

$$\begin{aligned} R &= 0.082 \frac{\text{litri} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \\ &= 1.987 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \\ &= 8.314 \frac{\text{joule}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

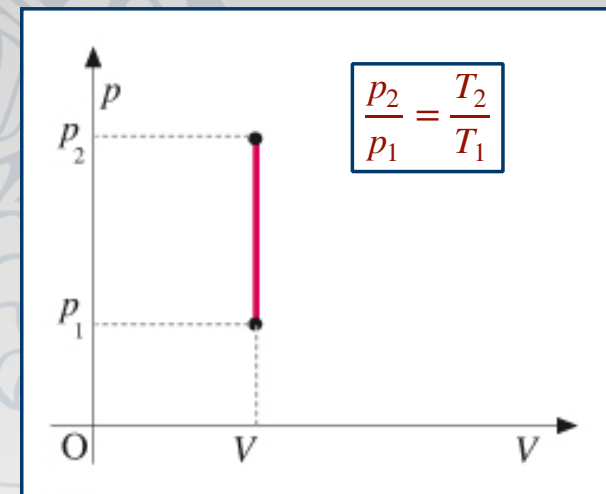
LEGGI DEI GAS PERFETTI



Isoterma



Isobara



Isocora

78. A temperatura costante, se la pressione triplica, il volume di un gas perfetto:

- A) diventa un terzo di quello iniziale
- B) diventa la metà di quello iniziale
- C) rimane costante
- D) triplica
- E) raddoppia

$$p \cdot V = \text{cost.} \implies p = \frac{\text{cost.}}{V}$$
$$V' = 3V \implies p' = \frac{1}{3}p$$

PS 2012/13 n. 78

59. Un gas ha un volume di 3 m^3 ed una pressione di 5 atm . Se si mantiene costante la temperatura, quale volume avrà il gas se si impone una pressione di 15 atm ?

- A) 1 m^3
- B) $0,5 \text{ m}^3$
- C) 3 m^3
- D) 2 m^3
- E) 5 m^3

$$p \cdot V = \text{cost.} \implies V = \frac{\text{cost.}}{p}$$
$$p' = 3p \implies V' = \frac{1}{3}V$$

MeC 2020/21 n. 59

58. Per calcolare il lavoro compiuto da un gas in una espansione a pressione costante, oltre alla sua pressione, occorre conoscere:

- A) la variazione di volume del gas
- B) il volume iniziale occupato dal gas
- C) il volume finale occupato dal gas
- D) il numero di atomi presenti nel gas
- E) il numero di moli presenti nel gas

$$L = p \cdot \Delta V$$

PS 2013/14 n. 58

LEGGI DEI GAS PERFETTI

Legge di Dalton sulle pressioni parziali

Si consideri una miscela di gas diversi in quantità molari n_1, n_2, n_3, \dots contenuti in un volume V alla temperatura T

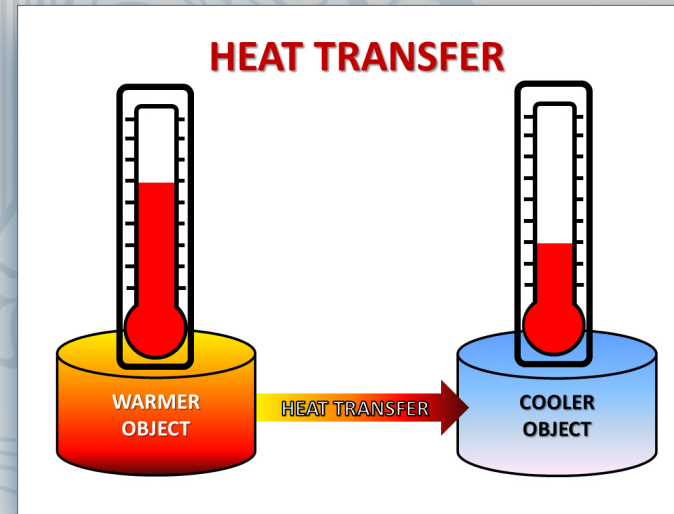
Pressione parziale della specie i -esima: $p_i V = n_i RT$

$$\left. \begin{array}{l} (p_1 + p_2 + p_3 + \dots) V = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots) RT \\ pV = nRT \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{p_i}{p} = \frac{n_i}{n}$$

CALORE

Il **calore** Q è legato allo scambio di energia termica fra due o più sistemi fisici.

Il calore è **energia in transito**; a differenza dell'energia termica, esso non è una forma di energia associabile allo stato del sistema.



Il flusso di calore è causato da una differenza di temperatura e può eventualmente provocare un passaggio di stato.

CALORE

Essendo una forma di energia, il **calore** nel S.I. si misura in **joule**. Sono comunque diffusamente in uso le unità di misura **caloria (cal)** e **kilocaloria (kcal o Cal)**.

caloria o piccola caloria (cal): quantità di calore necessaria per portare 1 g di acqua distillata da 14.5 °C a 15.5 °C, alla pressione atmosferica normale.

kilocaloria o grande caloria (kcal, Cal): quantità di calore necessaria per portare 1 kg di acqua distillata da 14.5 °C a 15.5 °C, alla pressione atmosferica normale.

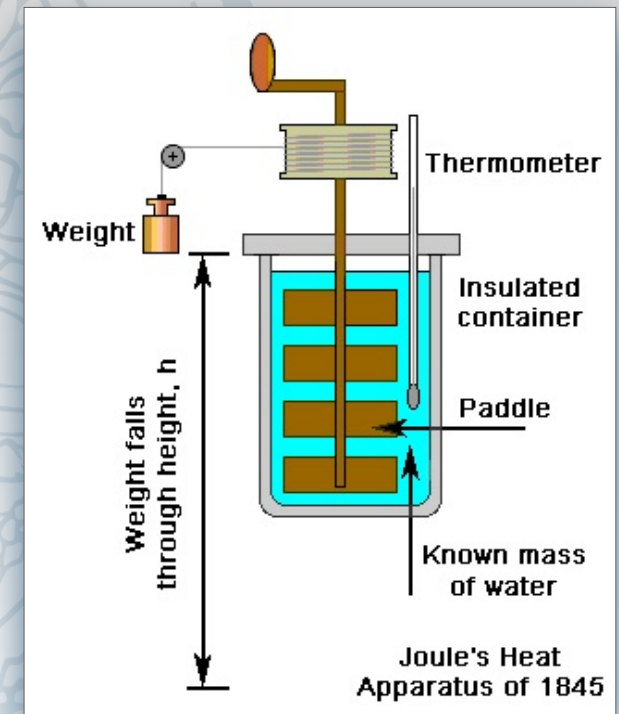
ENERGIA E CALORE

Esperienza di Joule

Osservazione sperimentale: una perdita di energia meccanica corrisponde sempre ad una “produzione” di calore.

Equivalente meccanico della caloria (J)

$$\frac{L}{Q} = J = 4187 \frac{\text{joule}}{\text{kcal}} = 4.187 \frac{\text{joule}}{\text{cal}}$$



ENERGIA E CALORE

Lo scambio di calore fra corpo ed ambiente esterno produce una variazione dell'energia delle molecole che costituiscono il corpo.

Il calore rappresenta l'energia scambiata a livello molecolare.

Si chiama **energia interna** la somma dell'energia cinetica (moto di agitazione molecolare) e dell'energia potenziale (forze di legame molecolari).

ENERGIA E CALORE

La relazione fra variazione di temperatura $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ e calore Q scambiato da un corpo in assenza di variazioni del suo stato di aggregazione è:

$$Q = C \cdot (\theta_f - \theta_i)$$

C : capacità termica del corpo

Per i corpi omogenei vale la relazione:

$$C = m \cdot c_s$$

c_s : **calore specifico** della sostanza di cui è fatto il corpo.

$$\text{Unità di misura del calore specifico: } \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

ENERGIA E CALORE

Calori specifici dei gas [†]		
Gas	c_p (pressione costante)	c_v (volume costante)
Vapore acqueo [‡]	0.482	0.350
Ossigeno	0.218	0.155
Elio	1.15	0.75
Anidride carbonica	0.199	0.153
Azoto	0.248	0.177

[†] kcal/kg·C°.
[‡] a 100 °C.

Per i gas perfetti: $c_p = c_v + R$

EQUILIBRIO TERMICO

Due corpi a diversa temperatura iniziale posti in “contatto termico” raggiungono la stessa temperatura finale θ_f di equilibrio, intermedia fra le temperature iniziali θ_{i_1} e θ_{i_2} dei due corpi.

All'equilibrio:

$$Q_1 + Q_2 = 0 \iff m_1 c_{s_1} (\theta_f - \theta_{i_1}) + m_2 c_{s_2} (\theta_f - \theta_{i_2}) = 0$$

⇓

$$\text{Temperatura di equilibrio: } \theta_f = \frac{m_1 c_{s_1} \theta_{i_1} + m_2 c_{s_2} \theta_{i_2}}{m_1 c_{s_1} + m_2 c_{s_2}}$$

58. Due oggetti di uguale massa in contatto termico costituiscono un sistema isolato. La temperatura iniziale dei due oggetti è rispettivamente di t °C e 0 °C; supponendo che non avvengano cambiamenti di stato, qual è la temperatura di equilibrio se il calore specifico dell'oggetto più caldo è 9 volte quello dell'oggetto più freddo?

- A) $0,9t$ °C
- B) t °C
- C) $0,1t$ °C
- D) $0,5t$ °C
- E) $2t$ °C

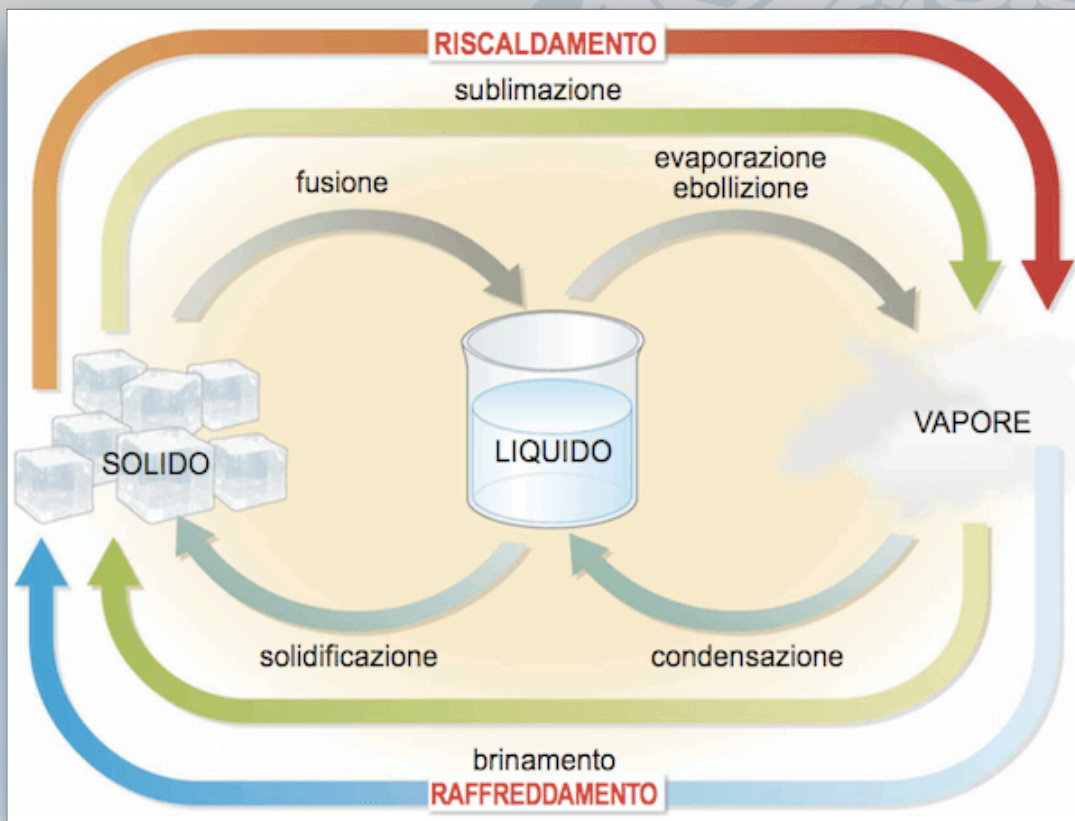
MC & OPD 2019/20 n. 58

$$\theta_{equil} = \frac{m_1 c_{s_1} \theta_{i_1} + m_2 c_{s_2} \theta_{i_2}}{m_1 c_{s_1} + m_2 c_{s_2}}$$

$$m_1 = m_2 \implies \theta_{equil} = \frac{c_{s_1} \theta_{i_1} + c_{s_2} \theta_{i_2}}{c_{s_1} + c_{s_2}}$$

$$\theta_{i_1} = 0, \theta_{i_2} = t, c_{s_2} = 9c_{s_1} \implies \theta_{equil} = \frac{0 + 9c_{s_1} t}{c_{s_1} + 9c_{s_1}} = \frac{9c_{s_1}}{10c_{s_1}} t = 0,9 t$$

CAMBIAMENTI DI STATO



Quasi tutti i cambiamenti di stato avvengono ad una ben definita temperatura che dipende sia dalla sostanza sia dalla pressione esterna.

I cambiamenti di stato sono accompagnati da uno scambio di calore, legato alle variazioni dell'energia chimica di legame.

CAMBIAMENTI DI STATO

Si definisce **calore latente** L la quantità di calore necessaria per far compiere isotermicamente all'unità di massa di una data sostanza un passaggio di stato.

Calore necessario per un particolare passaggio di stato di una massa m di una data sostanza:

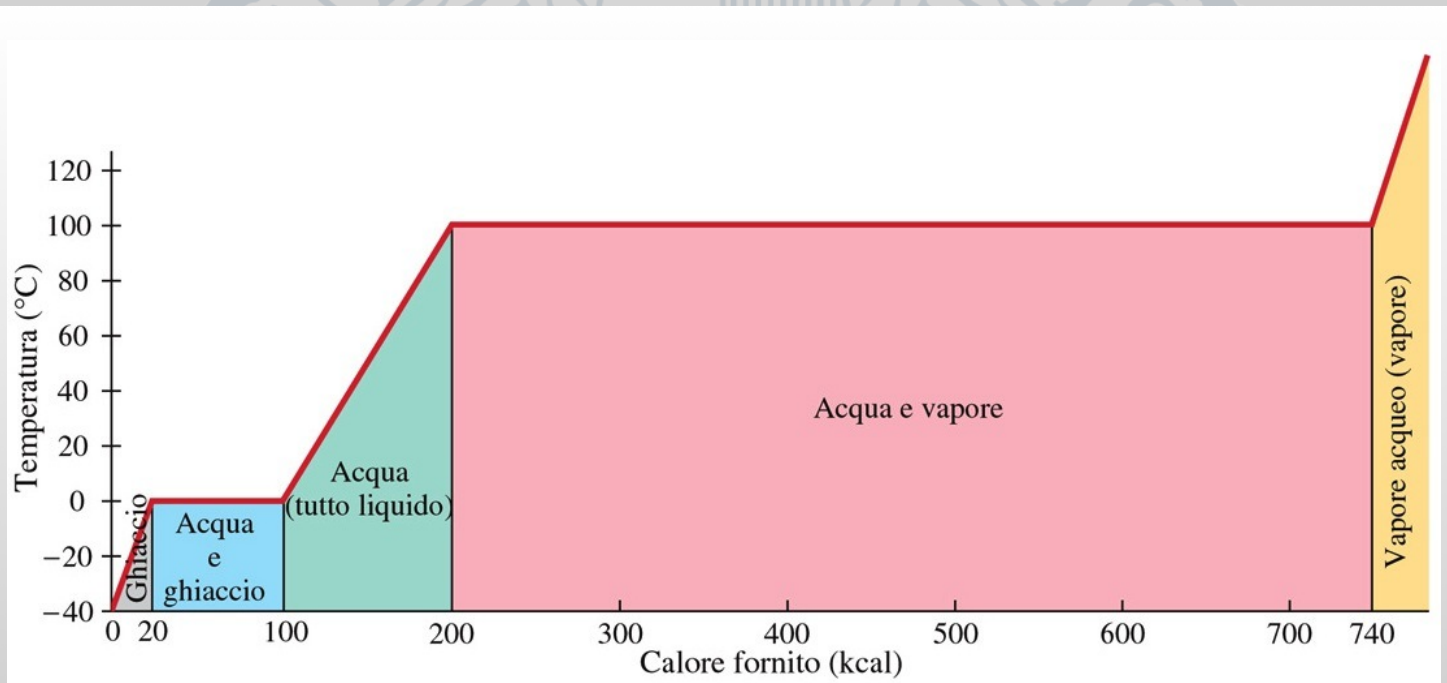
$$Q = m \cdot L$$

Per l'acqua, a pressione atmosferica:

$$L_F = 79.7 \text{ kcal/kg} = 333 \text{ kJ/kg} \text{ calore latente di fusione}$$

$$L_V = 539 \text{ kcal/kg} = 2260 \text{ kJ/kg} \text{ calore latente di evaporazione}$$

CAMBIAMENTI DI STATO



Temperatura in funzione del calore fornito a pressione atmosferica per trasformare 1.0 kg di ghiaccio a -40 °C in vapore oltre i 100 °C.

CAMBIAMENTI DI STATO

La **sublimazione** e l'**evaporazione** sono cambiamenti di stato che avvengono a tutte le temperature ed i cui rispettivi calori latenti dipendono dalla temperatura (in maniera inversamente proporzionale).



L'evaporazione avviene sino a quando l'ambiente non raggiunge la **saturazione**, cioè non può contenere altre molecole di quel liquido (**vapore saturo**).

La **pressione (o tensione) di vapore saturo** è caratteristica della sostanza ed è funzione crescente della temperatura.

CAMBIAMENTI DI STATO

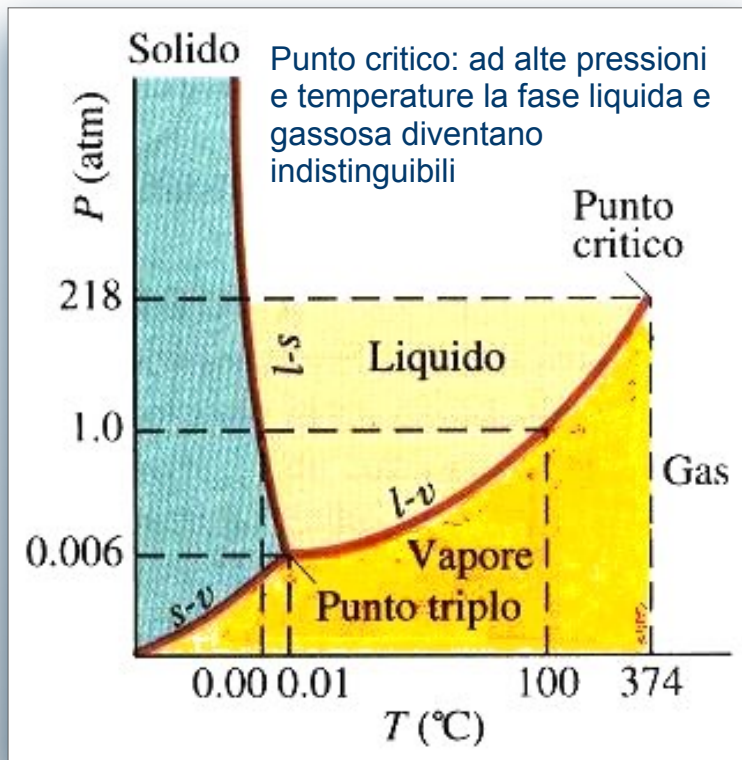


Diagramma di fase dell'acqua
(NB: le scale non sono lineari).

Tensione di vapor saturo dell'acqua

Tempe- ratura ($^{\circ}\text{C}$)	Tensione di vapor saturo	
	torr (= mmHg)	Pa (= N/m^2)
-50	0.030	4.0
-10	1.95	2.60×10^2
0	4.58	6.11×10^2
5	6.54	8.72×10^2
10	9.21	1.23×10^3
15	12.8	1.71×10^3
20	17.5	2.33×10^3
25	23.8	3.17×10^3
30	31.8	4.24×10^3
40	55.3	7.37×10^3
50	92.5	1.23×10^4
60	149	1.99×10^4
70	234	3.12×10^4
80	355	4.73×10^4
90	526	7.01×10^4
100	760	1.01×10^5
120	1489	1.99×10^5
150	3570	4.76×10^5

76. Fornendo una certa quantità di calore a un sistema, la sua temperatura:

- A) deve necessariamente aumentare
- B) può rimanere costante
- C) nessuna delle altre risposte è corretta
- D) rimane certamente costante
- E) può anche diminuire

$T = \text{cost}$. nelle trasformazioni di fase

PS 2007/08 n. 76

60. Un blocco di ghiaccio della massa di 0,5 kg alla temperatura di 0 °C viene trasformato a pressione atmosferica in acqua alla temperatura finale di +10 °C. Il blocco richiede un dispendio energetico di 188 kJ per apportare tale trasformazione. Calcolare il calore latente specifico di fusione del ghiaccio. [capacità termica specifica espressa in kJ/(kg·K): ghiaccio 2,12; acqua 4,18]

- A) 334 kJ/kg
- B) 167
- C) 376 ...
- D) 355 ...
- E) 372 ...

$$Q = mc_L + mc_S (\theta_f - 0) = m (c_L + c_S \cdot 10)$$

$$c_L = \frac{Q}{m} - c_S \cdot 10$$

$$= \frac{188 \text{ kJ}}{0.5 \text{ kg}} - 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 10 \text{ K}$$

$$= (376 - 41.8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \simeq 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

MC & OPD 2013/14 n. 60

77. Rispetto a una comune pentola chiusa, una pentola a pressione permette di cuocere i cibi in minor tempo principalmente perché:

- A) la temperatura di ebollizione dell'acqua è superiore a quella che si avrebbe in una comune pentola
- B) l'elevata pressione fa sì che il vapor acqueo penetri più in profondità nei cibi
- C) il coperchio sigillato evita la dispersione di calore
- D) l'elevato spessore del fondo della pentola consente una migliore distribuzione del calore
- E) la mancata dispersione dell'acqua permette di cuocere i cibi senza bruciarli

MC & OPD 2012/13 n. 77

A maggiore pressione esterna corrisponde maggiore temperatura di ebollizione.

77. La temperatura di ebollizione dell'acqua:

- A) dipende dalla capacità termica del contenitore
- B) è maggiore in montagna rispetto al livello del mare
- C) dipende dalla quantità di acqua oltre che dalla pressione
- D) è minore in montagna rispetto al livello del mare
- E) è costante, non dipende dalla pressione

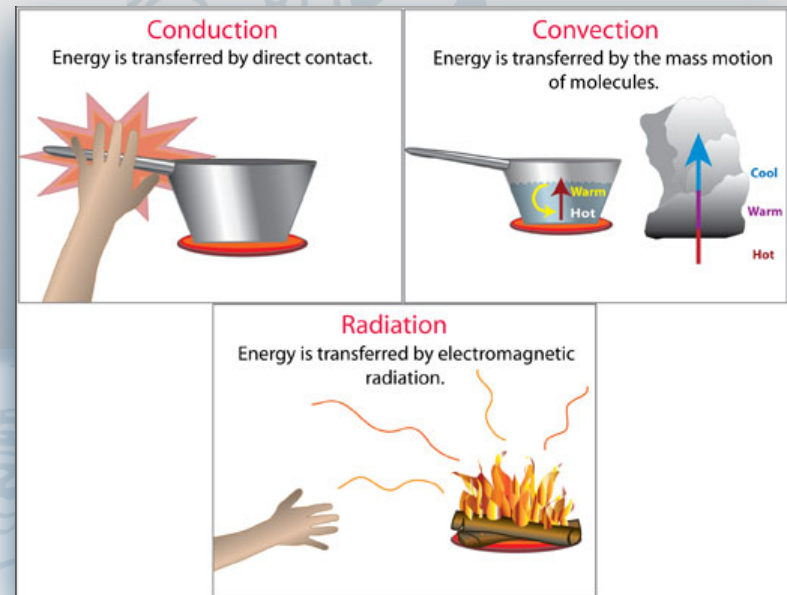
PS 2008/09 n. 77

A minore pressione esterna corrisponde minore temperatura di ebollizione.

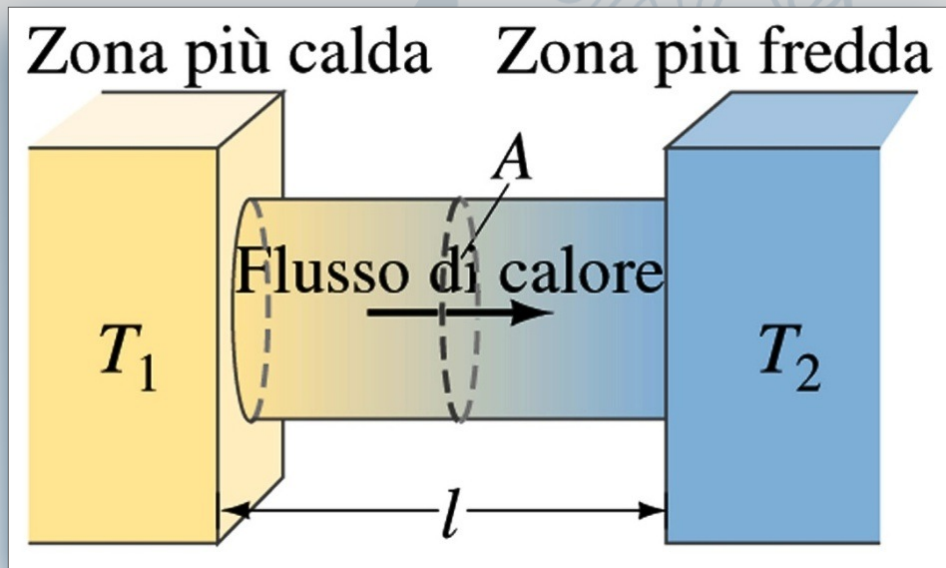
PROPAGAZIONE DEL CALORE

Il calore si propaga per:

- ◆ **Conduzione:** senza trasporto di materia (processo principale nei solidi);
- ◆ **Convezione:** con trasporto di materia (processo principale nei fluidi);
- ◆ **Irraggiamento:** per onde e.m. (avviene anche nel vuoto).



CONDUZIONE



Legge di Fourier per la conduzione

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{T_1 - T_2}{\ell}$$

H : flusso di calore nell'unità di tempo attraverso una lastra di spessore ℓ e superfici di area A fra le quali esiste una differenza di temperatura $(T_1 - T_2)$ con $T_1 > T_2$.

k : coefficiente di conducibilità termica

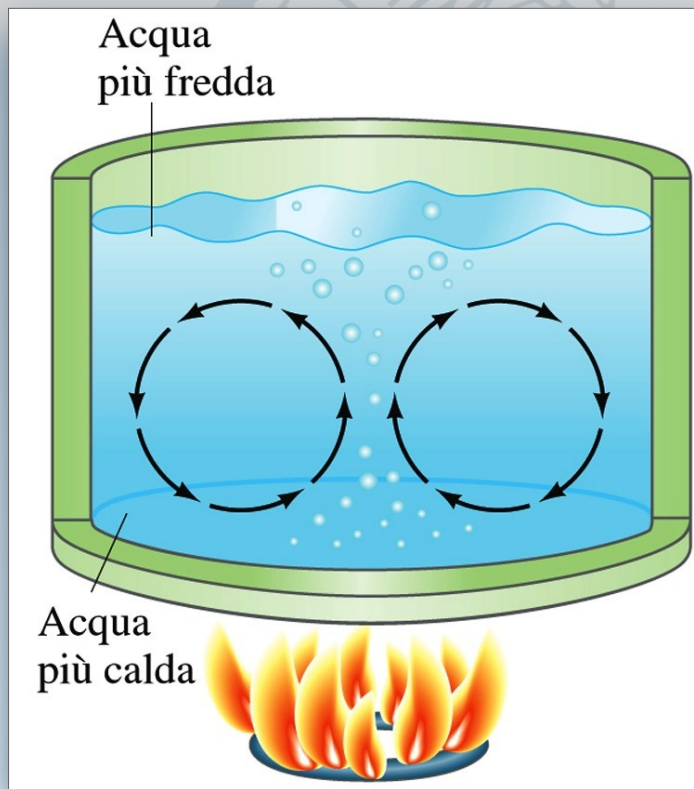
CONDUZIONE

TABELLA 11.1 La conducibilità termica di alcune sostanze a temperatura ambiente

SOSTANZA	K (kcal m ⁻¹ s ⁻¹ °C ⁻¹)	K (J m ⁻¹ s ⁻¹ °C ⁻¹)
rame	$9.2 \cdot 10^{-2}$	$3.85 \cdot 10^2$
ferro e acciaio	$1.1 \cdot 10^{-3}$	4.60
ghiaccio	$5.2 \cdot 10^{-4}$	2.17
vetro	$2.0 \cdot 10^{-4}$	$8.40 \cdot 10^{-1}$
→ acqua	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$5.85 \cdot 10^{-1}$
→ pelle (secca)	$0.6 \cdot 10^{-4}$	$2.51 \cdot 10^{-1}$
neve	$0.5 \cdot 10^{-4}$	$2.10 \cdot 10^{-1}$
legno	$0.3 \cdot 10^{-4}$	$1.25 \cdot 10^{-1}$
sughero	$0.1 \cdot 10^{-4}$	$0.42 \cdot 10^{-1}$
polistirolo	$9.5 \cdot 10^{-6}$	$4.00 \cdot 10^{-2}$
lana di vetro	$9.3 \cdot 10^{-6}$	$3.89 \cdot 10^{-2}$
→ aria	$5.5 \cdot 10^{-6}$	$2.30 \cdot 10^{-2}$

- ▶ L'aria è un ottimo isolante termico (pellicce, piumini...)
- ▶ La pelle del corpo umano è un buon isolante termico ma la presenza di acqua sulla pelle può aumentare notevolmente il valore della conducibilità termica.

CONVEZIONE



La temperatura del fluido in contatto con una sorgente di calore aumenta



diminuisce la densità del fluido ed il fluido riscaldato si muove verso l'alto, richiamando verso il basso gli stati più freddi
(**moti convettivi**).

CONVEZIONE

- Il meccanismo di convezione può anche essere forzato da una pompa che fa circolare fluido attraverso zone a temperature diverse.
- La convezione è il meccanismo principale attraverso il quale i sistemi biologici sono in grado di mantenere (abbastanza) uniforme una temperatura fra le varie loro parti.
- Il liquido termostatico è costituito dal sangue (per gli animali) e dalla linfa (per i vegetali).

CONVEZIONE

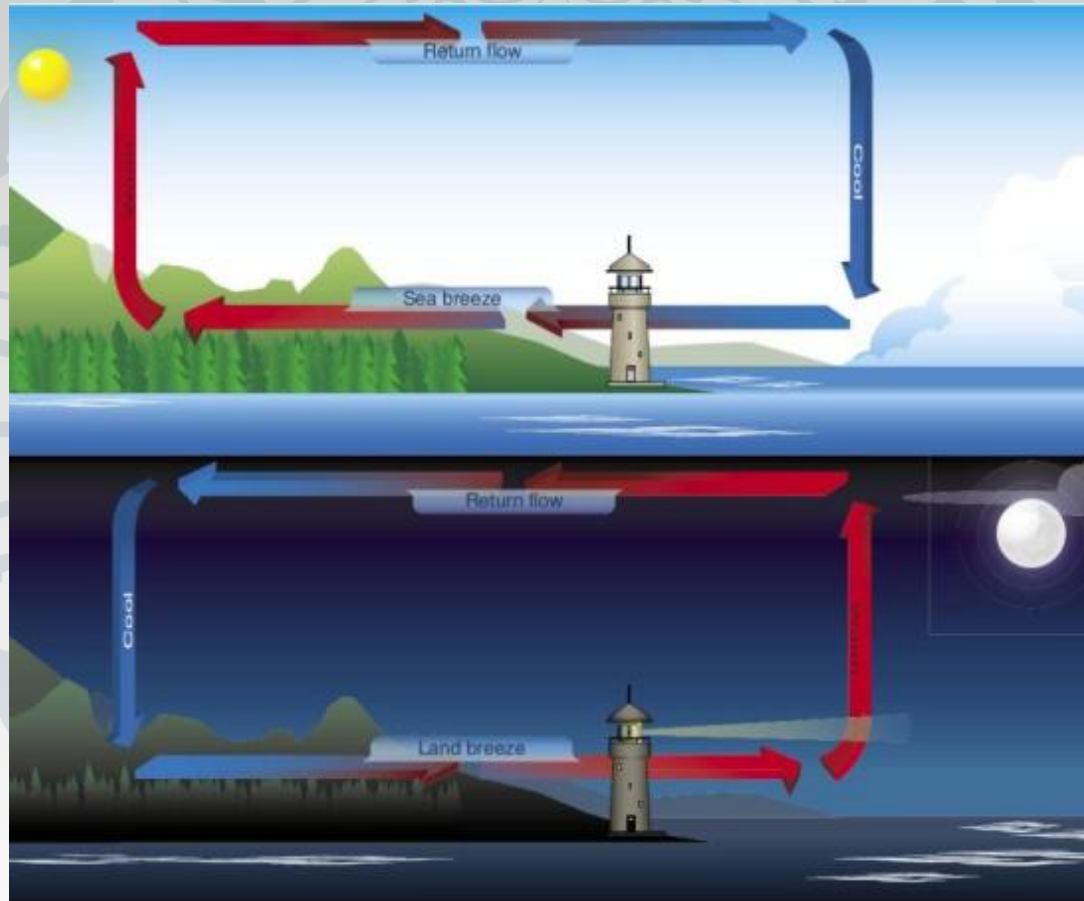
$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = qA (T_1 - T_2)$$

H : flusso di calore nell'unità di tempo attraverso una superficie di area A , quando la differenza di temperatura fra corpo ed ambiente circostante è $(T_1 - T_2)$ con $T_1 > T_2$.

q : coefficiente di convezione



CONVEZIONE



R. Tommasi - Corso di Orientamento Consapevole - Bari, marzo 2022

IRRAGGIAMENTO

Energia scambiata sotto forma di onde elettromagnetiche, costituite essenzialmente da raggi infrarossi (lunghezza d'onda: $0.7 \mu\text{m} \div 100 \mu\text{m}$).



Fotografia nel visibile



Fotografia nell'infrarosso

IRRAGGIAMENTO

Secondo la **legge di Stefan-Boltzmann**, l'energia scambiata ad unità di tempo per irraggiamento fra due corpi a temperature T_1 e T_2 ($T_1 > T_2$) vale:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = e \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

dove

S : area della superficie irraggiante

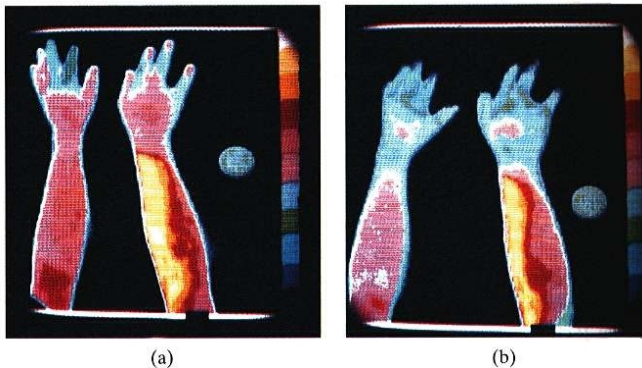
e : emissività ($0 \leq e \leq 1$)

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ costante di Stefan-Boltzmann

IRRAGGIAMENTO

Il calore emesso da un corpo per irraggiamento dipende sensibilmente dalla temperatura del corpo.

Questa legge è la base della termografia, in grado di rivelare variazioni di $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e porre in evidenza patologie circolatorie o cellulari presenti sulla superficie del corpo umano.



Termogrammi di braccia e mani di una persona sana (a) prima di fumare e (b) dopo aver fumato una sigaretta.

Falsi colori: blu (freddo) → bianco (caldo).

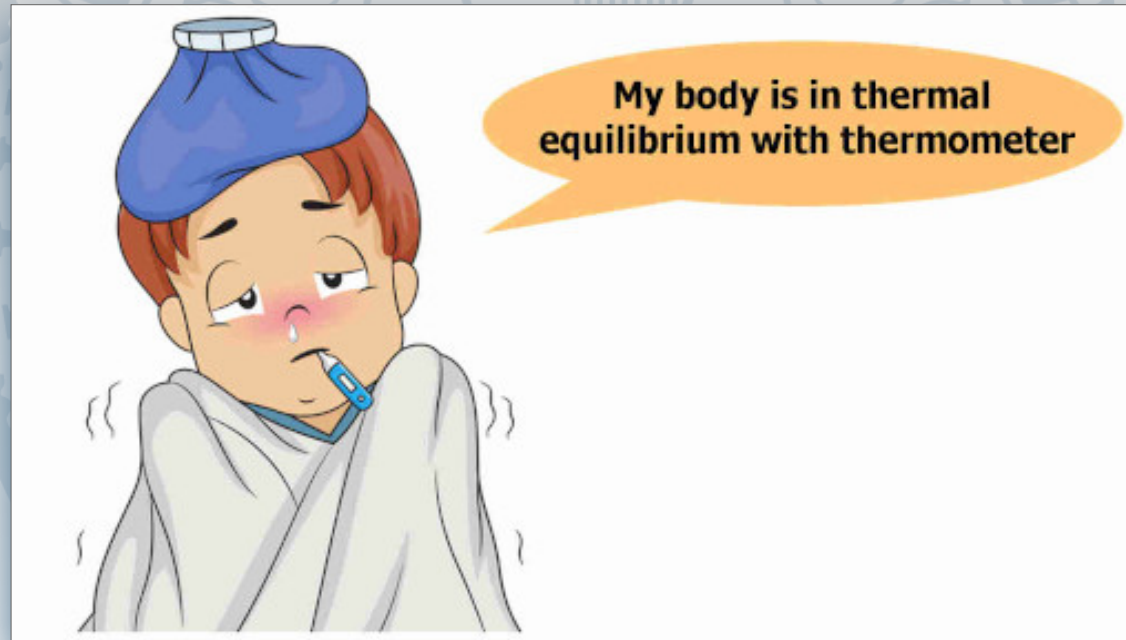
79. In una giornata primaverile, ci sentiamo a nostro agio con una temperatura dell'aria di 20 °C. Se ci immergiamo completamente in acqua a 20 °C, invece, sentiamo freddo.

Relativamente alla situazione descritta, quale è la spiegazione più plausibile?

- A) La conduzione ha un ruolo importante nel passaggio di energia dal corpo all'esterno e la conduttività termica dell'acqua è molto più grande di quella dell'aria
- B) È una sensazione a livello percettivo, senza un reale fondamento fisico
- C) L'acqua in contatto con la pelle evapora, sottraendoci calore
- D) L'aria prossima alla pelle, al contrario dell'acqua, assorbe il calore che emettiamo come radiazione infrarossa, trattenendolo vicino alla pelle
- E) Il meccanismo con cui il nostro corpo cede calore all'esterno è di tipo convettivo, ed è più efficace nell'acqua

MC & OPD 2011/12 n. 79

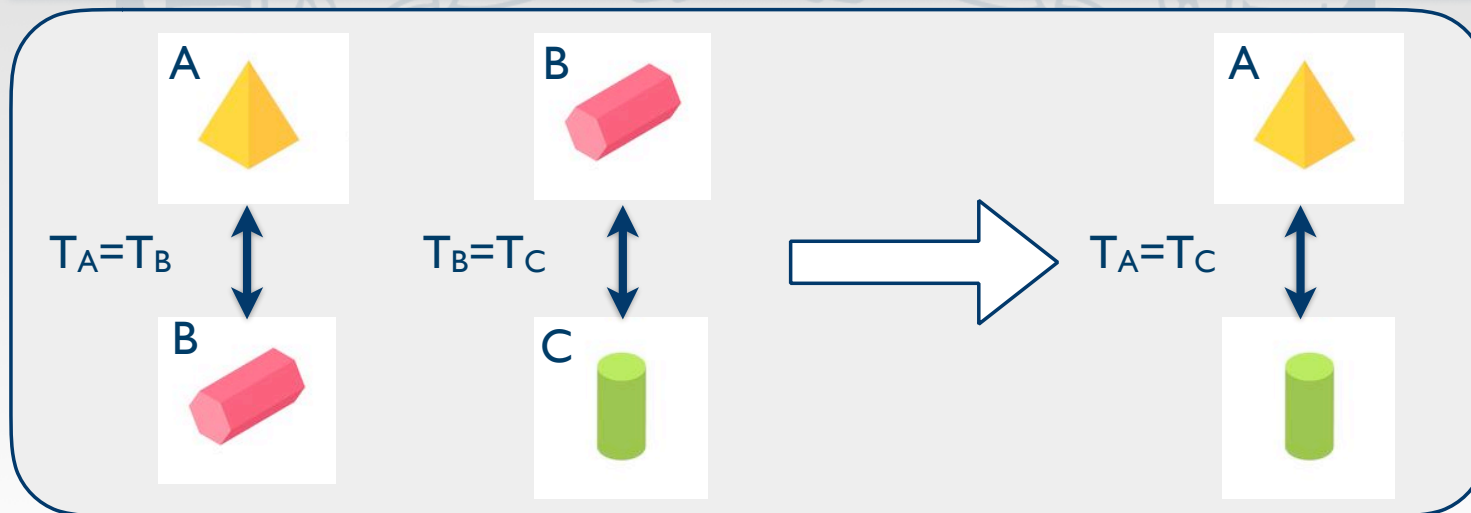
I PRINCIPI DELLA TERMODINAMICA



PRINCIPIO ZERO DELLA TERMODINAMICA

Se un corpo A è in equilibrio termico con un corpo B ed il corpo B è a sua volta in equilibrio termico con un corpo C, allora il corpo A è senz'altro in equilibrio termico con il corpo C.

L'equilibrio termico è transitivo.



PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

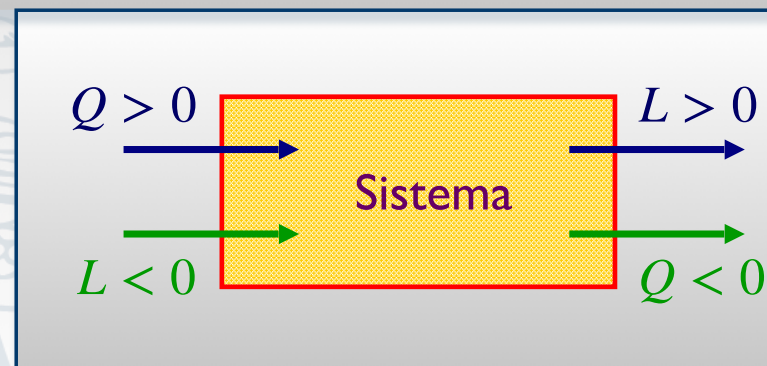
Convenzioni sui segni di calore e lavoro per un generico sistema termodinamico:

$Q > 0$: calore assorbito dal sistema

$Q < 0$: calore ceduto al sistema

$L > 0$: lavoro fatto dal sistema

$L < 0$: lavoro fatto sul sistema

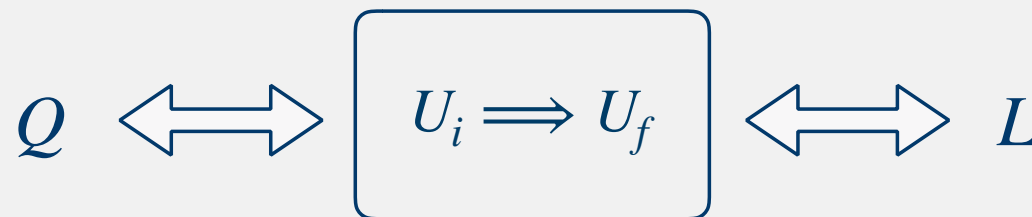


PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Principio di conservazione dell'energia: l'energia non può essere né creata né distrutta in un qualunque processo, ma può solo cambiare forma.

Il calore Q ed il lavoro L scambiati da un sistema termodinamico con l'ambiente esterno producono una variazione dell'energia interna U in modo che si abbia

$$\Delta U = U_f - U_i = Q - L$$



SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

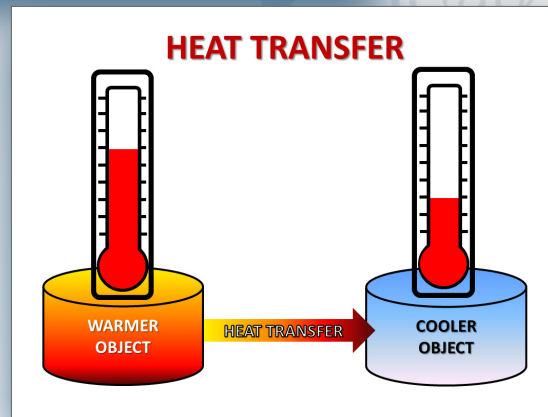


I fenomeni naturali presentano un verso privilegiato di evoluzione quando avvengono spontaneamente.

Esempi:

- L'energia meccanica viene dissipata sotto forma di calore;
- Il calore passa spontaneamente da un corpo più caldo ad un corpo più freddo, finché entrambi raggiungono la stessa temperatura.

Tuttavia è possibile rovesciare il verso naturale di questi fenomeni con particolari accorgimenti (macchine frigorifere).



SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Calore e lavoro, pur essendo due diverse forme di trasferimento di energia, non sono del tutto equivalenti:

- il lavoro è legato a trasferimenti “ordinati” (più pregiato);
- il calore è legato a trasferimenti “disordinati” (meno pregiato).

Formulazione di Kelvin:

“È impossibile realizzare una macchina che, lavorando in ciclo, trasformi interamente in lavoro il calore prelevato ad una sorgente.”

Formulazione di Clausius:

“È impossibile che il calore passi da un corpo più freddo ad uno più caldo senza una adeguata spesa di lavoro.”

ENTROPIA E SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

L'entropia, come l'energia interna e a differenza del calore, è una variabile di stato del sistema e può essere interpretata come una misura dell'ordine (o del disordine) del sistema.

Come per l'energia, ciò che è importante durante una trasformazione è la variazione di entropia e non la sua quantità assoluta.

Secondo Clausius, quando una quantità di calore Q viene fornita al sistema mediante una trasformazione reversibile a temperatura costante T (espressa in kelvin), l'entropia varia di:

$$\Delta S = S_{finale} - S_{iniziale} = \frac{Q}{T}$$

ENTROPIA E SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Il secondo principio della termodinamica può essere riformulato dicendo che nelle trasformazioni ideali (reversibili) l'entropia di un sistema isolato non diminuisce mai:

$$\Delta S_{trasformazioni\ ideali} \geq 0$$

Nelle trasformazioni reali l'entropia aumenta sempre:

$$\Delta S_{trasformazioni\ reali} > 0$$

Se il sistema reale non è isolato:

$$\Delta S = \Delta S_{sistema} + \Delta S_{ambiente} > 0$$

Formulazione generale del secondo principio della termodinamica:

In una qualsiasi trasformazione spontanea, l'entropia totale, cioè l'entropia di un sistema più quella dell'ambiente circostante, aumenta.

ENTROPIA E SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Poiché l'entropia può essere considerata una misura del disordine del sistema, la formulazione generale del secondo principio della termodinamica può essere espressa come:

Le trasformazioni spontanee tendono a portare il sistema sempre verso uno stato di maggiore disordine.

Avvengono spontaneamente solo i processi che sono i più probabili.

In una qualsiasi trasformazione spontanea, una certa quantità di energia diventa non più disponibile per compiere lavoro utile. Con il passare del tempo dunque l'energia si degrada (passando da una forma ordinata ad una meno ordinata) \Rightarrow morte termica dell'Universo.