

# Cenni di termodinamica

# Termodinamica

La **termodinamica** descrive le trasformazioni di un sistema quando questo passa da uno stato di **equilibrio termodinamico** ad un altro.

Un **sistema termodinamico** è una porzione di spazio materiale separata dall'**ambiente circostante**

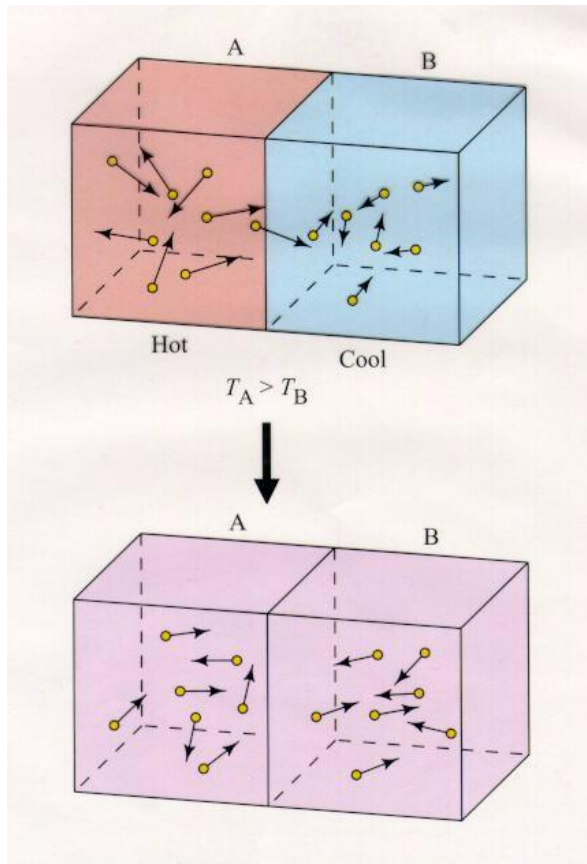
Si parla di **equilibrio termodinamico** quando le **variabili di stato** del sistema sono costanti

Le **variabili di stato** del sistema sono **quantità macroscopiche legate alle variabili dinamiche delle particelle** che compongono il sistema (posizione, velocità, energia, ecc.)

Le variabili di stato di un sistema sono: **pressione  $p$ , il volume  $V$ , la temperatura  $T$ , l'energia interna  $U$  e l'entropia  $S$ .**

# Equilibrio termico

Quando un corpo caldo viene messo a contatto con un corpo freddo, **qualcosa** fluisce dal corpo caldo verso quello freddo, **umentando la sua energia**, sino a raggiungere l'equilibrio termico.

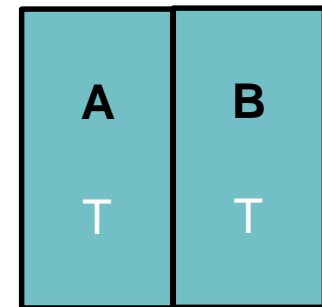
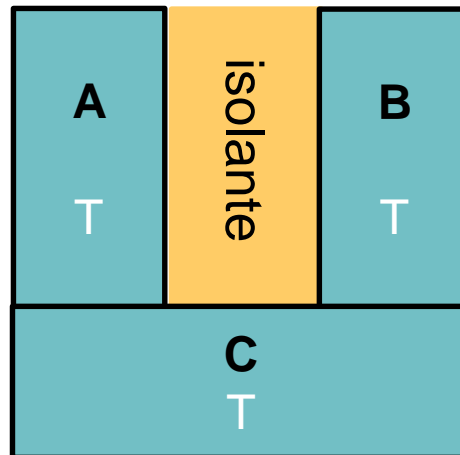
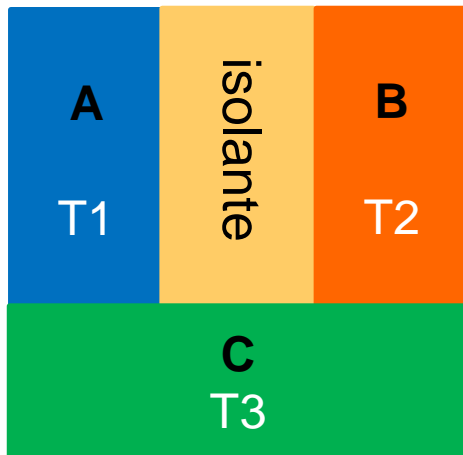


Cosa vuol dire equilibrio termico?  
Qual è la grandezza che si può usare per  
descriverlo?

**Temperatura**

# Principio zero termodinamica

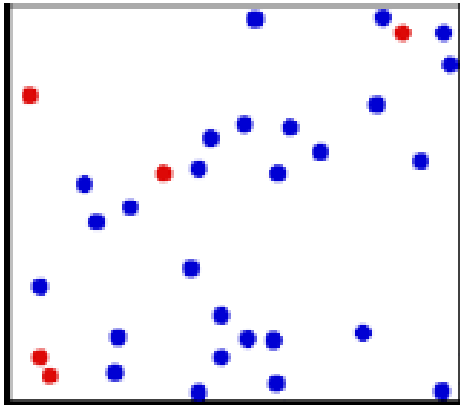
se un corpo "A" è in equilibrio termico con un corpo "B" e "B" è in equilibrio termico con un corpo "C", allora "A" e "C" sono in equilibrio tra loro



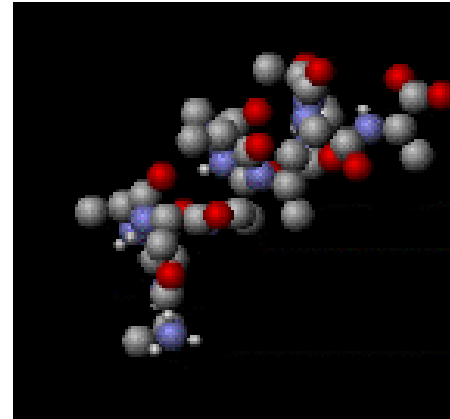
# Temperatura

**Temperatura: indice dello stato termico di un corpo (caldo – freddo)**

**Indice dell'energia media associata ai moti microscopici della materia**



**GAS:**  
Energia cinetica delle  
molecole



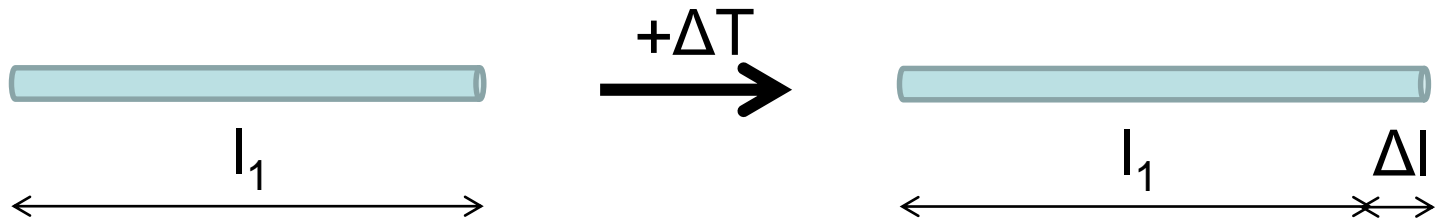
**SOLIDI:**  
energia dei moti vibrazionali  
del reticolo cristallino

**La misura della Temperatura è indiretta:** ci si riduce cioè a misurare altre grandezze fisiche, che da essa dipendono.

La più utilizzata è la **dilatazione termica**: Tutti i corpi mutano in varia misura le loro dimensioni in seguito ad un cambiamento di temperatura.

# Dilatazione termica

**Aumento del volume di un corpo** in seguito **all'aumento di temperatura**: all'aumentare della temperatura gli atomi compiono oscillazioni più ampie intorno alla posizione di equilibrio, quindi aumenta la loro lunghezza di legame e a livello macroscopico aumenta il volume del corpo.



$$\Delta l = a \cdot l_1 \cdot \Delta T$$

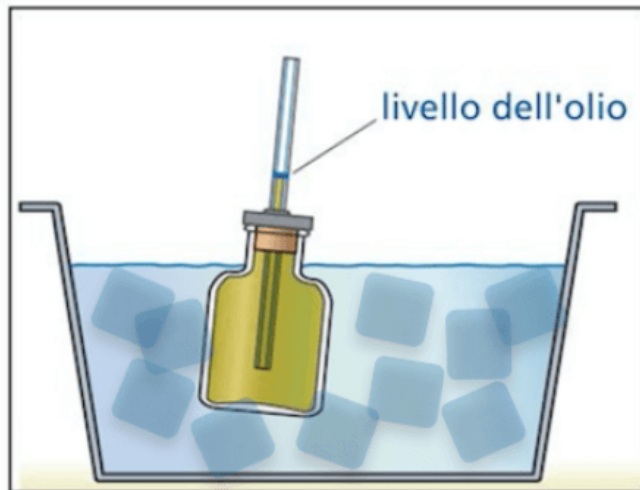
Ad esempio in un **oggetto metallico di forma allungata** la dilatazione termica a livello macroscopico si riflette sull'allungamento dell'oggetto.

L'entità dell'aumento della lunghezza  $\Delta l$  dipende dalla lunghezza iniziale  $l_1$  dell'oggetto, dalla variazione di temperatura  $\Delta T$  e dal coefficiente di dilatazione termica  $a$  del materiale di cui è composto l'oggetto.

# Misura della temperatura: termometro

- La misura della temperatura avviene in genere attraverso la dilatazione termica di un oggetto che è all'equilibrio termico con l'oggetto di cui si vuole misurare la temperatura

Il termometro contiene un liquido o un gas il cui volume totale indica la temperatura dell'oggetto con cui è in equilibrio



*Ghiaccio fondente*



*Acqua bollente*

# Misura della temperatura: scale

unità di misura: S.I. grado Kelvin (K)

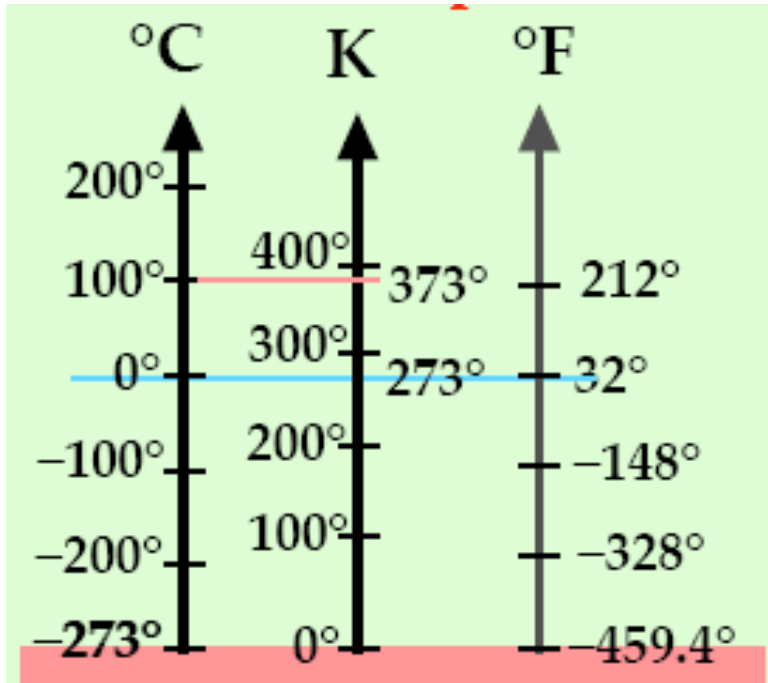
{  
0K = "Zero Assoluto"  
273,15 K= Fusione del ghiaccio

grado Celsius (°C)

{  
0°C = Fusione del ghiaccio  
100°C= Ebollizione dell'acqua

grado Faranheit (°F)

{  
32°F = Fusione del ghiaccio  
212°F=ebollizione dell'acqua



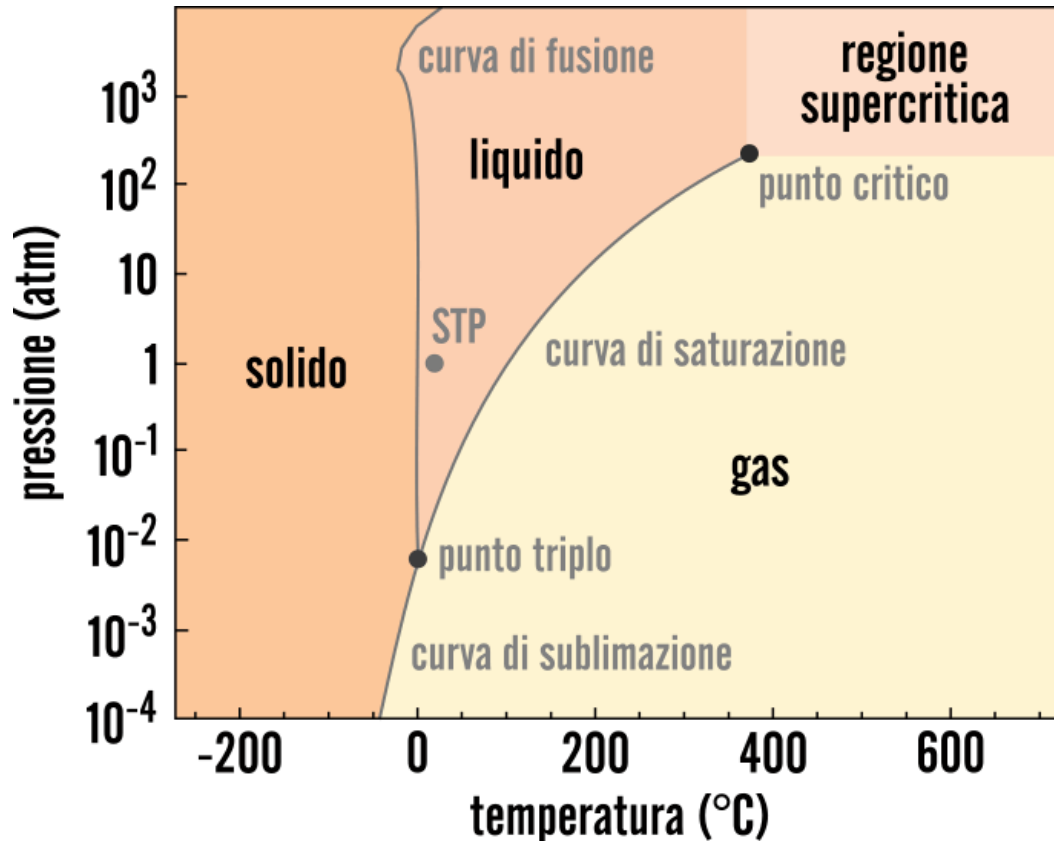
$$T (K) = t (°C) + 273,15$$

$$t (°F) = 32° + (9/5)t (°C)$$



# Punto triplo dell'acqua

Valori di pressione e temperatura in corrispondenza dei quali l'acqua si trova contemporaneamente allo stato solido, liquido e gassoso



Si manifesta sempre agli stessi valori di pressione (610 Pa) e di temperatura (273.16 K, 0.01 °C)

# Termodinamica

Nel sistema termodinamico hanno luogo trasformazioni interne e scambi di materia o energia con l'ambiente esterno. L'ambiente esterno non è influenzato dagli scambi con il sistema.

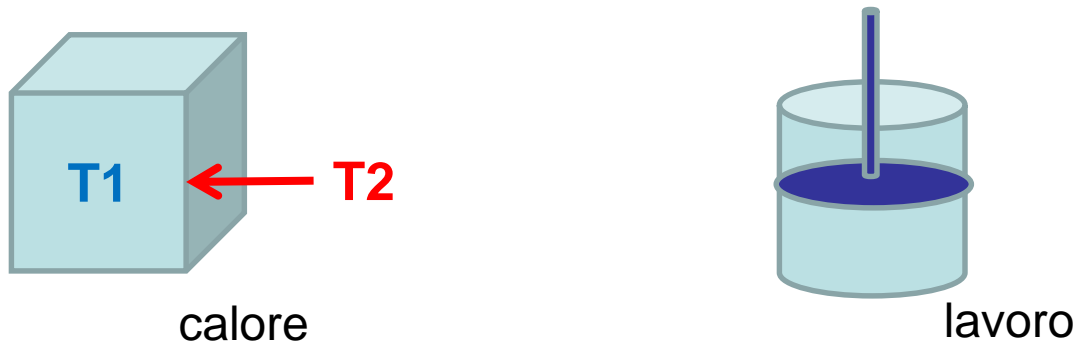


Passaggio da uno stato di equilibrio dinamico a un altro  
(cambiano le variabili di stato)

*Gli scambi di materia o energia possono avvenire sotto forma  
di **calore o lavoro***

# Termodinamica

In uno stato di equilibrio termodinamico, il sistema è caratterizzato da un certo valore di **energia interna U**. Quando si ha una trasformazione, il valore di energia interna del sistema varia di  **$\Delta U$**



Se la variazione di energia è dovuta a una **differenza di temperatura** tra il sistema e l'ambiente circostante, la trasformazione avviene tramite scambio di **calore**

Se la variazione di energia è dovuta a qualsiasi ragione **non legata alla temperatura** (es. intervento di una forza meccanica), la trasformazione avviene tramite scambio di **lavoro**

# Primo principio della termodinamica

*La variazione dell'energia interna di un sistema termodinamico chiuso è uguale alla differenza tra il calore fornito al sistema e il lavoro compiuto dal sistema sull'ambiente*

$$\Delta U = Q - L$$

**Energia interna U:** somma delle energie cinetiche e di interazione delle diverse particelle di un sistema.

**Calore Q:** è il calore scambiato tra ambiente e sistema (positivo se fornito al sistema, negativo se invece ceduto dal sistema)

**Lavoro L:** lavoro compiuto (positivo se compiuto dal sistema sull'ambiente, negativo invece se compiuto dall'ambiente sul sistema).

# I° principio della termodinamica

*Supponiamo che le pareti del cilindro e il pistone siano perfettamente isolanti, mentre la base del cilindro sia un conduttore di calore.*

Il gas assorbe dall'ambiente esterno una quantità di calore **Q** e, conseguentemente, la sua energia interna aumenta di una quantità:

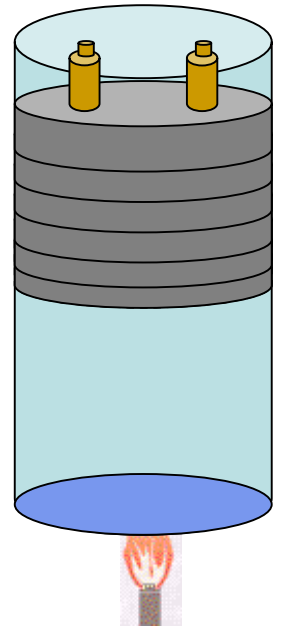
$$\Delta U = Q$$

Nell'espansione, il gas compie un lavoro **L** sull'ambiente esterno e, conseguentemente, la sua energia interna diminuisce di una quantità:

$$\Delta U = -L$$

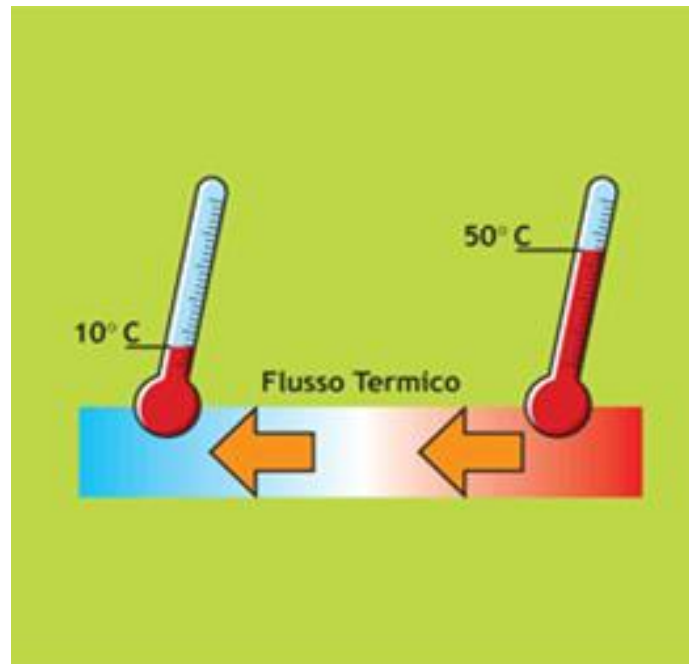
La variazione totale di energia interna del gas sarà dunque:

$$\Delta U = Q - L$$



# Calore

**Il calore è l'energia trasferita tra due oggetti a causa della loro differenza di temperatura**

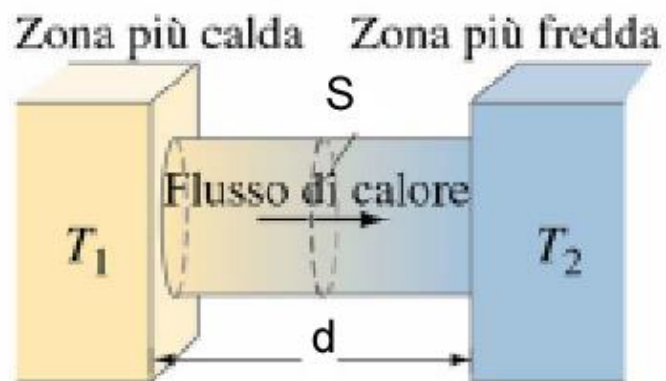


**Unità di misura **caloria (cal)**: l'energia necessaria per innalzare da 14,5 a 15,5 °C la temperatura di 1 g di acqua distillata posta a livello del mare (pressione di 1 atm).**

# Trasmissione del calore

**CONDUZIONE** PROPAGAZIONE senza TRASPORTO DI MATERIA

Se in un corpo esiste una differenza di  $T$ , si ha flusso di energia termica dalle zone ad alta  $T$  a quelle a bassa  $T$ .



## Conducibilità termica

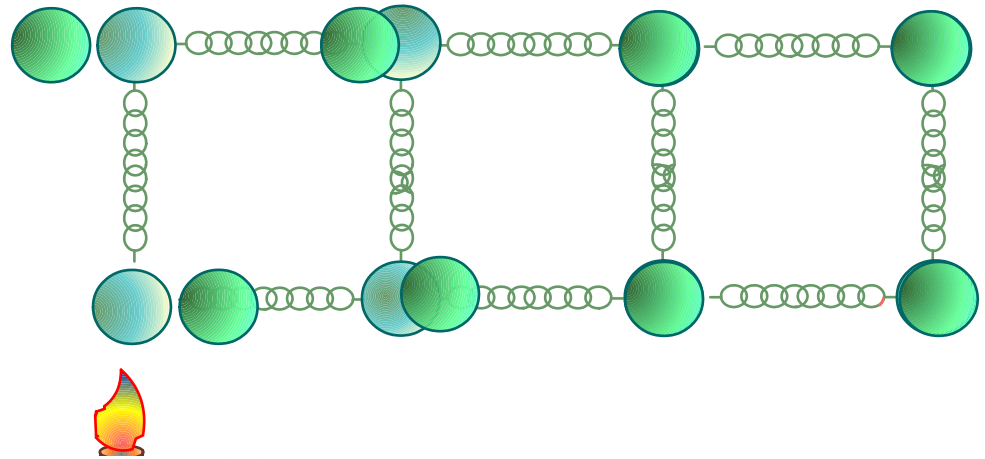
MATERIALI DIVERSI		K ( $\text{kcal m}^{-1} \text{s}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ )	
rame	$9.2 \cdot 10^{-2}$	legno	$0.3 \cdot 10^{-4}$
ghiaccio	$5.2 \cdot 10^{-4}$	polistirolo	$9.3 \cdot 10^{-6}$
acqua	$1.4 \cdot 10^{-4}$	aria	$5.5 \cdot 10^{-6}$

I corpi non trasmettono il calore tutti allo stesso modo, alcuni lo trasmettono facilmente e sono i **conduttori** (tutti i corpi metallici: **oro**, **rame**, ferro, alluminio) altri si oppongono alla propagazione del calore e sono detti **isolanti** (legno, plastica, vetro, ceramica, eccetera.)

# Trasmissione del calore

## CONDUZIONE PROPAGAZIONE **senza** TRASPORTO DI MATERIA

A livello **microscopico** le molecole del corpo vicine alla sorgente di calore ricevono energia termica che determina un aumento della loro energia cinetica. Aumenta l'agitazione termica delle molecole vicine all'estremo riscaldato. Le forze elastiche che legano le molecole trasmettono l'agitazione termica alle molecole adiacenti e così fino all'estremo opposto della sbarretta.



$$\frac{Q}{\Delta t} = K \frac{S}{d} \Delta T \text{ (cal s}^{-1}\text{)}$$

$S$  = superficie  
 $\Delta t$  = intervallo di tempo  
 $K$  = conducibilità termica  
 $d$  = distanza



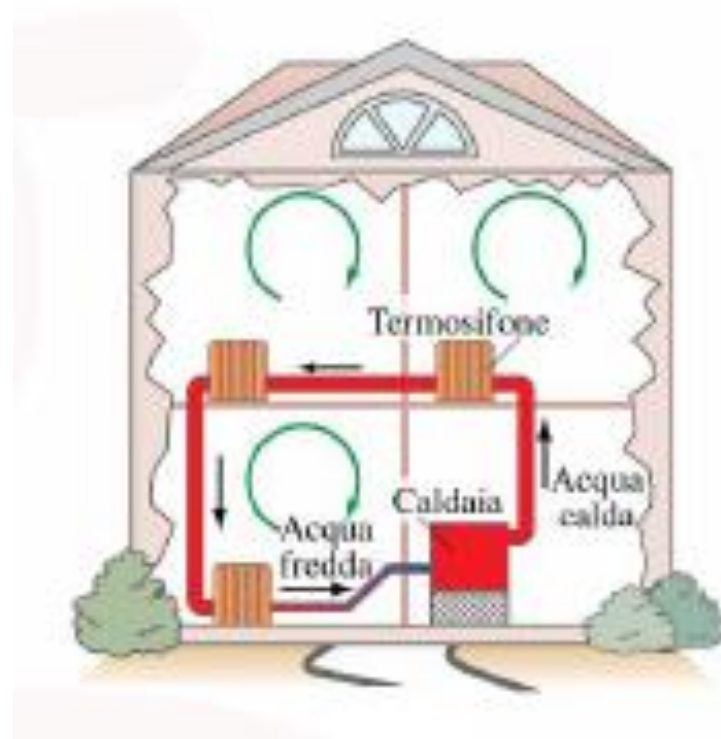
# Trasmissione del calore

## CONVEZIONE PROPAGAZIONE con TRASPORTO DI MATERIA

È la modalità principale di propagazione del calore nei fluidi in quanto le molecole dei fluidi si muovono liberamente.

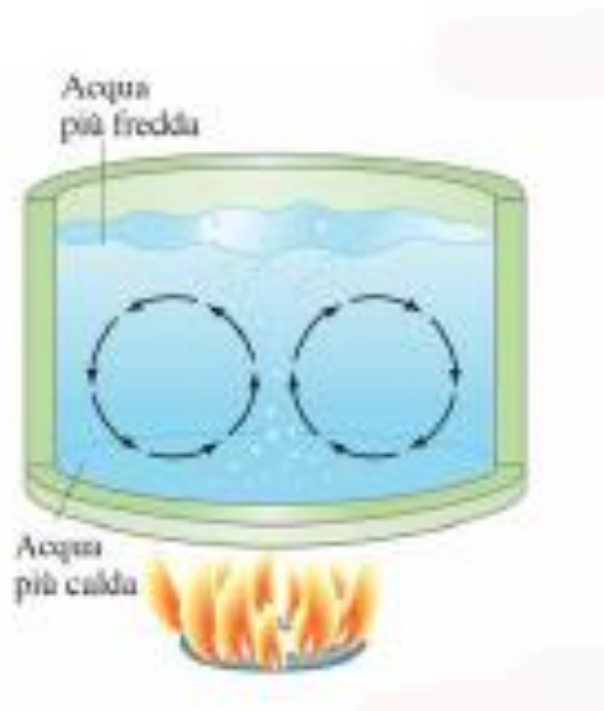
Si verifica quando un liquido viene riscaldato in modo non uniforme. Differenti temperature all'interno del fluido producono un movimento di materia che trasporta calore

Per esempio il fenomeno si verifica riscaldando una stanza mediante una stufa. L'aria più calda, avendo densità minore, tende a salire e viene sostituita dall'aria più fredda che scende lateralmente. In questo modo si creano dei moti circolari di aria: **moti convettivi**.



# Trasmissione del calore

**CONVEZIONE** PROPAGAZIONE con TRASPORTO DI MATERIA



$$\frac{Q}{\Delta t} = K_{\text{conv}} S \Delta T \quad (\text{cal s}^{-1})$$

$\Delta T$  = variazione di temperatura

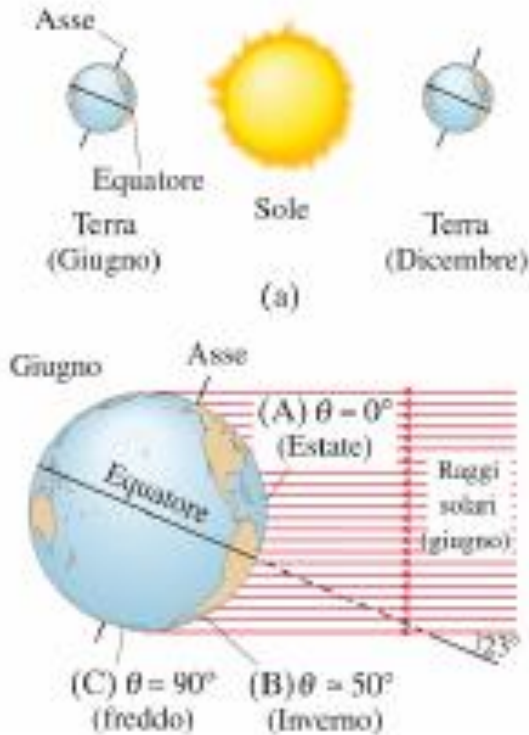
$\Delta t$  = intervallo di tempo

$S$  = superficie

$K_{\text{conv}}$  = costante convettiva

# Trasmissione del calore

**IRRAGGIAMENTO** EMISSIONE DI ONDE ELETTROMAGNETICHE  
(RADIAZIONE TERMICA)



Ad esempio il sole trasferisce l'energia alla terra per irraggiamento

- non richiede la presenza di un mezzo interposto (quindi avviene anche nel vuoto)
- avviene alla velocità della luce
- tutti i corpi a temperatura superiore allo zero termico emettono radiazione termica.

**CONVEZIONE**

**CONDUZIONE**

**IRRAGGIAMENTO**

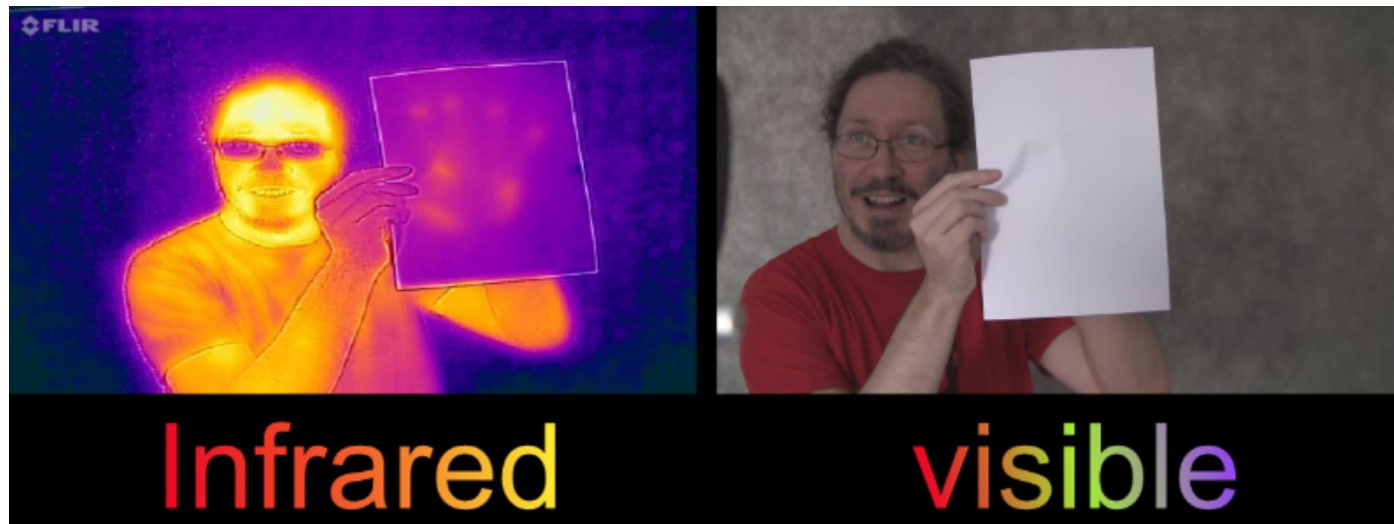
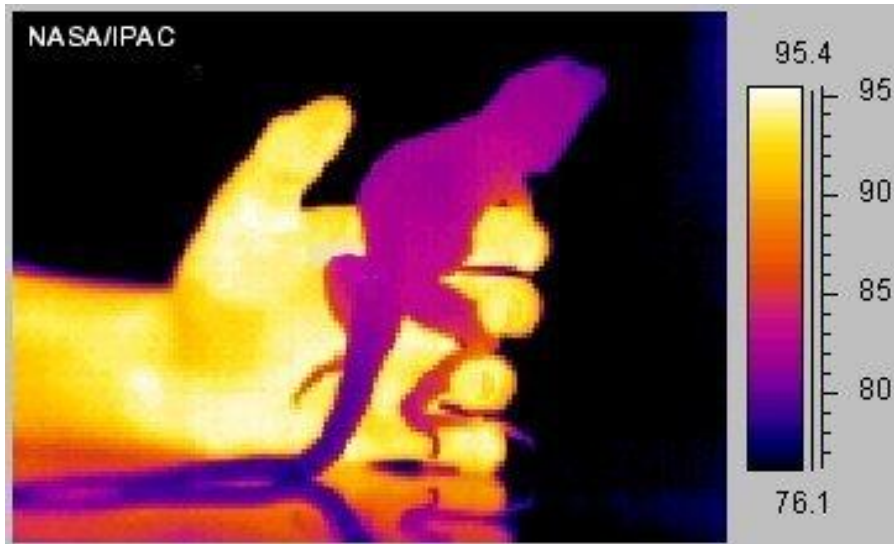
$$Q \propto \Delta T = (T_2 - T_1)$$

$$Q \propto \Delta T = (T_2 - T_1)$$

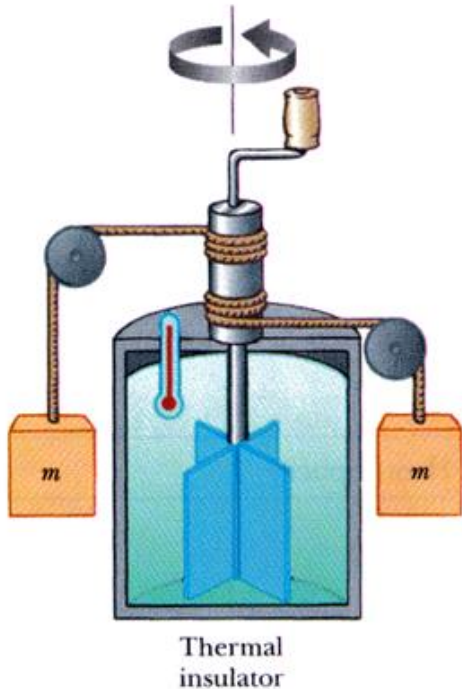
$$Q \propto (T_2^4 - T_1^4)$$

# Trasmissione del calore

**IRRAGGIAMENTO** EMISSIONE DI ONDE ELETTROMAGNETICHE  
(RADIAZIONE TERMICA)



# Lavoro e calore



Joule (1850) mostrò come il Lavoro e il Calore fossero convertibili l'uno nell'altro

equivalente meccanico della caloria

$$J = L/Q = 4.186 \text{ joule/cal}$$

Scaldando un corpo, aumentiamo la sua capacità di compiere lavoro e quindi aumentiamo la sua energia.

Anche compiendo lavoro sul sistema aumentiamo la sua energia, ad esempio comprimendo un gas o tirando una molla.