

# Lezione 10

- Cenni di Termodinamica
  - Temperatura e calore
    - Definizione e misura della temperatura
    - Calore
  - Principi della Termodinamica
  
  - Trasporto del calore

# Temperatura e calore: la termodinamica

- Temperatura: definizione e misura
- Calore ed energia
- Primo principio della termodinamica
- Trasporto del calore

# Temperatura

- La termodinamica si interessa dell'*energia interna* dei sistemi: **l'energia termica**
- Il concetto fondamentale della termodinamica è la **temperatura**: bisogna dare una definizione consistente di temperatura in maniera indipendente dal concetto intuitivo della stessa che tutti possediamo

# Termoscopi

- Le proprietà di tutti i corpi variano a seconda dell'ambiente termico in cui sono posti
- Ad esempio
  - volume
  - densità
  - resistenza elettrica
  - pressione
  - .....
- Qualsiasi corpo può quindi essere usato come *termoscopio* per rilevare cambiamenti termici

# Principio zero della termodinamica

“Se due corpi si trovano separatamente in equilibrio termico con un terzo corpo, allora sono pure in equilibrio termico fra di loro”

- Un corpo è in equilibrio termico quando un termoscopio in contatto con il corpo stesso non cambia più il suo stato
- Il principio zero permette di definire la temperatura e di costruire i *termometri*

Quando due corpi sono in equilibrio termico possiamo affermare che hanno la stessa temperatura

- Definito questo concetto possiamo trasformare un *termoscopio* in un *termometro* mediante un'operazione di taratura
- La taratura consiste nello stabilire dei **punti fissi**, ossia dei sistemi fisici in stati termici ben definiti, e nell'assegnare a questi punti dei valori convenzionali di temperatura

# Temperatura e termometri

Quando due corpi sono in equilibrio termico possiamo affermare che hanno la stessa temperatura

- Definito questo concetto possiamo trasformare un *termoscopio* in un *termometro* mediante un'operazione di taratura
- La taratura consiste nello stabilire dei **punti fissi**, ossia dei sistemi fisici in stati termici ben definiti, e nell'assegnare a questi punti dei valori convenzionali di temperatura

# Scala termometrica Kelvin

- Il primo punto fisso è dato dallo stato in cui l'acqua, il vapore acqueo ed il ghiaccio coesistono all'equilibrio (**punto triplo dell'acqua**): ad esso si assegna la temperatura  $T_0 = 273.16 \text{ K}$
- Il secondo punto fisso è lo “zero assoluto”:  
siccome la pressione di un gas mantenuto a volume costante diminuisce con la temperatura ( $p = \text{costante} \cdot T$ ), si può pensare che a pressione nulla un gas abbia  $T = 0 \text{ K}$
- La scala termometrica definita in questo modo (con un termometro a gas) si chiama **scala assoluta** o **scala Kelvin**

# Altre scale termometriche

- La scala termometrica Kelvin è quella usata nei lavori scientifici
  - T di ebollizione dell'acqua = 373.16 K
  - temperatura del corpo umano = 310.16 K
- Nella pratica si usano anche le scale Celsius e Fahrenheit:
  - punto triplo dell'acqua
  - $273.16 \text{ K} = 0 \text{ }^\circ\text{C} = 32 \text{ }^\circ\text{F}$
  - ebollizione dell'acqua
  - $373.16 \text{ K} = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 212 \text{ }^\circ\text{F}$

# Conversioni

- Kelvin - Celsius

$$C = K - 273.16 \quad K = C + 273.16$$

- Celsius - Fahrenheit

$$F = \frac{9}{5} C + 32 \quad C = \frac{5}{9} (F - 32)$$

# Dilatazione termica e termometri

- Una delle proprietà più comuni dei corpi che si sfrutta per costruire termometri è la **dilatazione termica**
- Quasi tutti i corpi aumentano le loro dimensioni in proporzione alla temperatura:

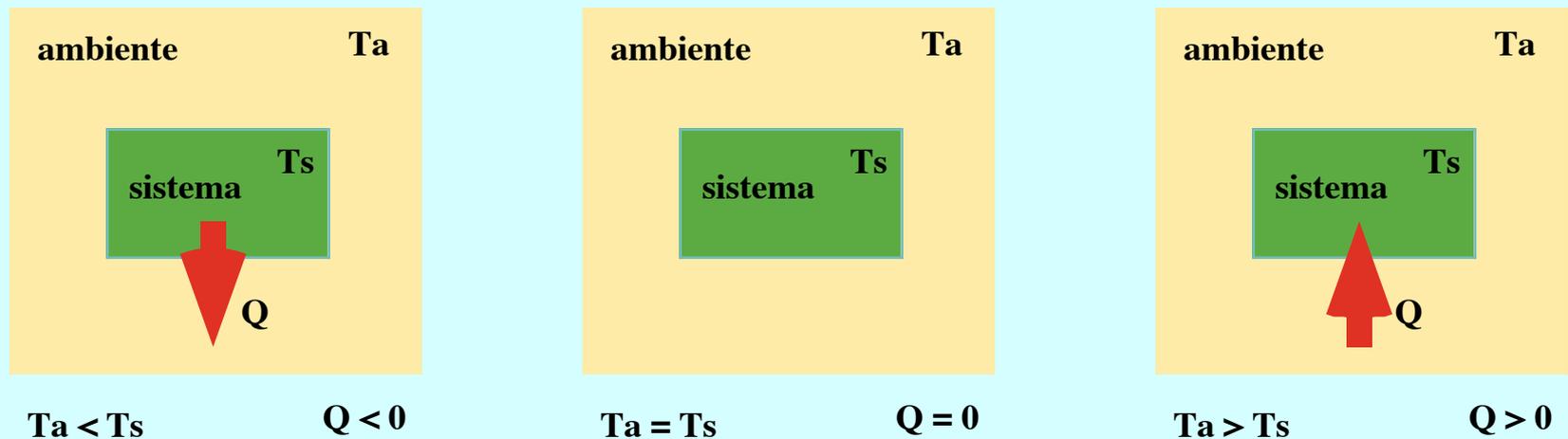
$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

$\alpha$  è il *coefficiente di dilatazione lineare*

- Il comune termometro a mercurio è un esempio di strumento basato sulla dilatazione termica

# Temperatura e calore

- Il calore è l'energia che viene trasferita tra un **sistema** ed il suo **ambiente** a causa della differenza di temperatura esistente tra di essi



$Q$  si misura in *calorie* [cal] o in **Joule**:  $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$

# Capacità termica e calore specifico

- La **capacità termica** di un corpo è la costante di proporzionalità tra una certa quantità di calore e la variazione di temperatura che questo calore produce nel corpo stesso

$$Q = C(T_f - T_i) \quad C = \left[ \frac{\text{cal}}{\text{K}} \right] \text{ oppure } \left[ \frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$$

- Il **calore specifico** è la *capacità termica per unità di massa*

$$Q = mc(T_f - T_i) \quad c = \left[ \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{K}} \right] \text{ oppure } \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

# Alcuni calori specifici

	cal/(g·K)	J/(kg·K)
piombo	0.0305	128
alluminio	0.215	900
vetro	0.20	840
granito	0.19	790
mercurio	0.033	140
acqua	1.00	4190

# Calore e lavoro

- Joule dimostrò con un famoso esperimento che **calore e lavoro meccanico sono equivalenti**: essi sono cioè diverse manifestazioni degli scambi energetici che possono avvenire tra i corpi
- In effetti, da un punto di vista microscopico, oggi interpretiamo la temperatura di un corpo come l'energia cinetica media delle sue molecole: un lavoro meccanico incrementa o decrementa questa energia ed è quindi equivalente ad un flusso di calore
- Per questo motivo i calori si misurano in *Joule*

# Il primo principio della termodinamica

- Il primo principio della termodinamica non è altro che una formulazione generalizzata del principio di conservazione dell'energia:

$$U = Q - L$$

- In questa formulazione si tiene conto:
  - dei lavori meccanici
  - dei flussi di calore
  - dell'energia interna dei corpi

# Trasporto del calore

- Il calore può fluire da un corpo ad un altro secondo tre meccanismi

## Conduzione

l'energia termica si propaga tra due corpi a contatto

## Convezione

un fluido interposto tra i corpi si mette in moto e trasporta energia termica tra i corpi stessi

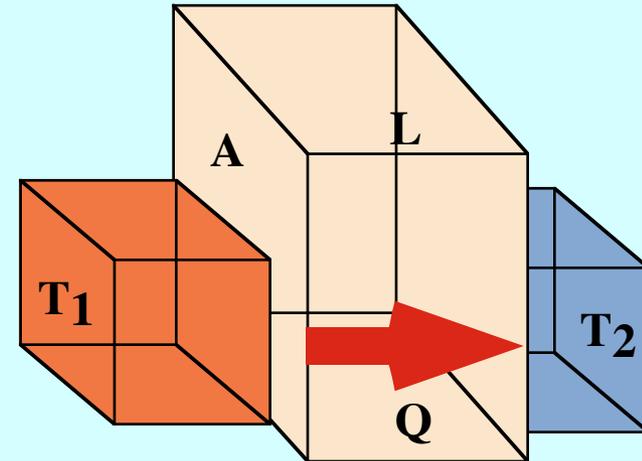
## Irraggiamento

il calore viene emesso o assorbito sotto forma di radiazione elettromagnetica

# Conduzione del calore

Il calore trasmesso nell'unità di tempo è dato da

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



**k** è la **conducibilità termica** del corpo e si misura in **W/(m·K)**

# Irraggiamento

- Legge di Stefan-Boltzmann

$$P_r = \sigma \varepsilon A T^4$$

$P_t$  = potenza emessa

$\varepsilon$  = emittanza

$A$  = superficie emissiva

$$\sigma = 5.6703 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

costante di Stefan-Boltzmann

- Potenza netta scambiata da un corpo per irraggiamento

$$P_n = \sigma \varepsilon A (T_{amb}^4 - T^4)$$

# Termogramma

- Esempio di termogramma che dettaglia il calore irraggiato da una fila di case:

rosso = alta temperatura

azzurro = bassa temperatura



illustrazione tratta da: Halliday-Resnick-Walker, "Fondamenti di Fisica", IV Ed., Ambrosiana, Milano