

# MECCANICA VS TERMODINAMICA

## Meccanica (Statistica)

- punto di vista microscopico
- ipotesi sulla struttura della materia
- bisogna specificare molte quantità
- quantità specificate non suggerite dai sensi
- quantità non si misurano direttamente
- Cambia continuamente
- esterno del sistema

## Termodinamica

- punto di vista macroscopico
- nessuna ipotesi particolare sulla struttura della materia
- poche coordinate per descrizione macroscopica
- coordinate macroscopiche suggerite più o meno dai sensi
- coordinate macroscopiche si misurano direttamente
- non cambia facilmente con i nostri sensi
- interno del sistema

applicato agli stessi sistemi devono dare lo stesso risultato finale

simmetrica nel tempo

asimmetrica nel tempo

perché?

calore  $\neq$  lavoro

# Studiamo la termodinamica classica (1700-1800)

Alcuni protagonisti

<u>Carnot</u>	1796-1832	Calorico e macchine a vapore
<u>Joule</u>	1818-1889	Energia, calore non si conserva
<u>Thomson</u> (Kelvin)	1824-1907	Azione meccanica del calore
Gottlieb (Clausius)	1822-1888	Due leggi della natura
Boltzmann	1844-1906	Modello atomico-statistico
Watt	1736-1819	Diagrammi di stato
Clapeyron	1799-1864	Ciclo di Carnot formalizzato

La termodinamica classica è ancora valida  
(anche ad es. nei buchi neri)

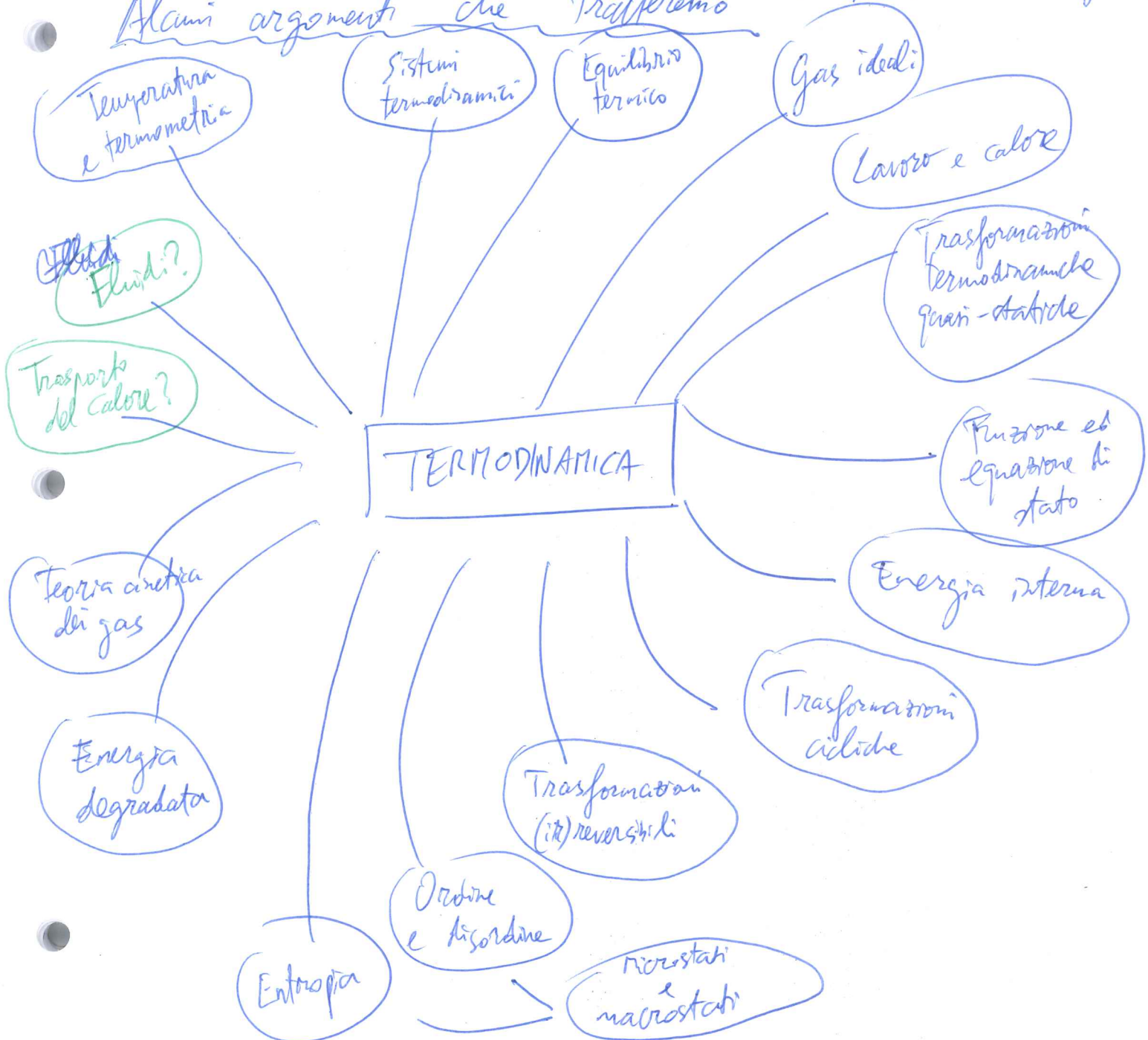
Domanda centrale:

In quali circostanze calore = lavoro?

# Introduzione alla termodinamica

macroscopici

- Termodinamica: studio del comportamento di sistemi estesi, che interagiscono con l'ambiente circostante, e descritti da grandezze macroscopiche, le coordinate termodinamiche\*
- Descrizione termodinamica va oltre quella meccanica microscopica, comprende interazioni causate dal contatto termico (che portano a trasformazioni termodinamiche) o comunque di origine termica
- \*: "mediata" sul comportamento puntuale di  $N \gg 1$  corpi elementari (esempio: pendolo che si ferma)
- Alcuni argomenti che tratteremo





# Anteprima sui 4 principi della termodinamica

(non in ordine cronologico)

0: definisce la temperatura (proprietà "transitiva")

I: calore = lavoro (conservazione dell'energia generalizzata)

II: irreversibilità, asimmetria calore-lavoro (entropia e disordine)

III: sullo zero assoluto (è impossibile raggiungere  $0K$ )

→ calore = lavoro solo "a"  $0K$

## Coordinate termodinamiche

Variabili macroscopiche che caratterizzano dinamica "media" del sistema che interagisce con l'ambiente

COORDINATE

$P, T, V, n$

INTENSIVE

assegnate localmente  
in ogni punto

Pressione  $P$

Temperatura  $T$

ESTENSIVE

somma ~~tutte~~ sulle  
parti del sistema

Volume  $V$

Quantità di sostanza  $n$  → solitamente  
fissata

Volume  $V$  ( $m^3$ ,  $l = 10^{-3} m^3$ )

es. gas si dilata / contrae con temperatura

Quantità di sostanza  $n$  (mol)

da non confondere con massa (proprietà inerziale / gravitazionale)

mol (vecchia definizione): quantità di sostanza che contiene lo stesso  
numero di particelle elementari quanti gli atomi di  $^{12}C$  in  $0.012$  kg di  $^{12}C$

(post - 20/05/2019): quantità di sostanza che contiene  $N_A$  entità elementari

$N_A$ : Numero di Avogadro  $\equiv 6.02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

(nota:  $^{12}\text{C}$  isotopo di carbonio con massa atomica 12)

↳ massa di  $n$  mole di sostanza composta da atomi/molecole:  
 massa misurata in g numericamente equivalente a massa atomica/molecolare espressa in unita' di massa atomica  
 es.: Si 28.085  $\rightarrow$  28.085g

Di solito  $n$  parametro fissato anche in presenza di trasformazioni termodinamiche di sistema (sistemi chiusi)

↳ scambiano solo energia ma non materia con l'ambiente

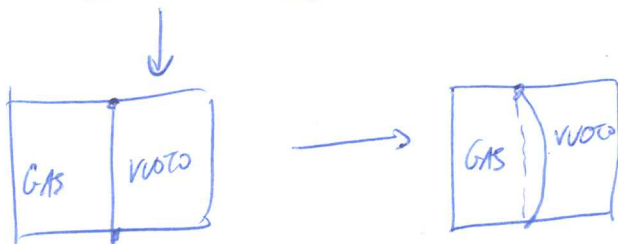
Pressione  $P$

origine meccanica  
 (unita'  $\rightarrow \Delta p \rightarrow F$ )

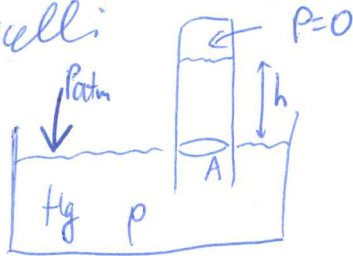
$$P = \frac{F_{\perp}}{A}$$

$$P_a = \frac{M}{n \cdot z}$$

Si misura con manometri o barometri

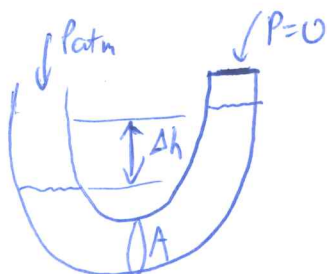


Torricelli



$$P = \frac{mg}{A} = \frac{\rho V g}{A}$$

$$\frac{\rho V g}{A} = \rho g h$$



$$\rho g \Delta h A = P A \rightarrow P = \rho g \Delta h$$

Empiricamente

$$\Delta h \approx 760 \text{ mm a } 1 \text{ atmosfera}$$

Unita' non-SI di pressione

$$\left[ \begin{array}{l} \text{bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa} \rightarrow \text{mbar} = \text{hPa} \\ 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 1.01325 \text{ bar} \\ \text{torr} = \text{mm Hg} \rightarrow 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg} \end{array} \right.$$



# Temperatura ed equilibrio termico

Formalizzazione dei concetti di "caldo" e "freddo"

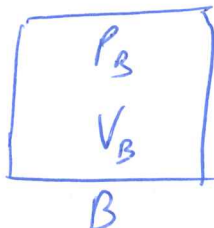
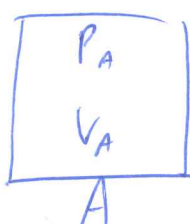
Punto di partenza empirico: trasformazioni che avvengono quando sistemi diversi vengono messi a contatto

Oggetti a  $T$  differenti possono subire cambiamenti anche se sono in equilibrio meccanico.  $T$ : motore di cambiamenti fisici

Sistema in equilibrio se tutte le sue coordinate fisiche nel tempo

Es. gas: si può avere equilibrio per qualsiasi valore di  $P, V$  (empirico)

Consideriamo due sistemi  $A, B$



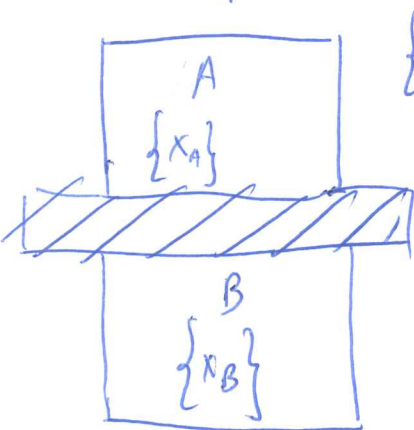
$A \neq B$

Senza contatto:  $P_A, V_A$  posso fissarli indipendentemente da  $P_B, V_B$   
 $\{x_A\}$  " "  $\{x_B\}$

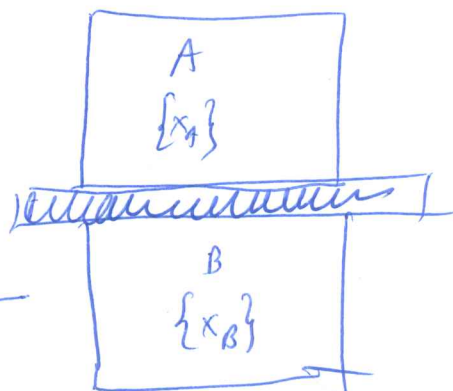
Mettiamoli a contatto con una certa parete in mezzo

Parete adiabatica: no scambi di calore, no contatto termico

Parete diatermica <sup>perduttore</sup> permette scambi di calore



$\{x_A\}$  possono assumere qualsiasi valore indipendente da  $\{x_B\}$  e viceversa



raggiungono nuovo stato di equilibrio termico dove  $\{x_A\}$  e  $\{x_B\}$  non sono più indipendenti

Equilibrio termico viene eventualmente raggiunto (tempo dipende da caratteristiche parete)

Se A e B posti in contatto termico e non succede nulla  $\Rightarrow$  erano già in equilibrio termico

A equilibrio termico raggiunto il sistema A+B è caratterizzato da un'unica proprietà termica

Temperatura empirica  $T$

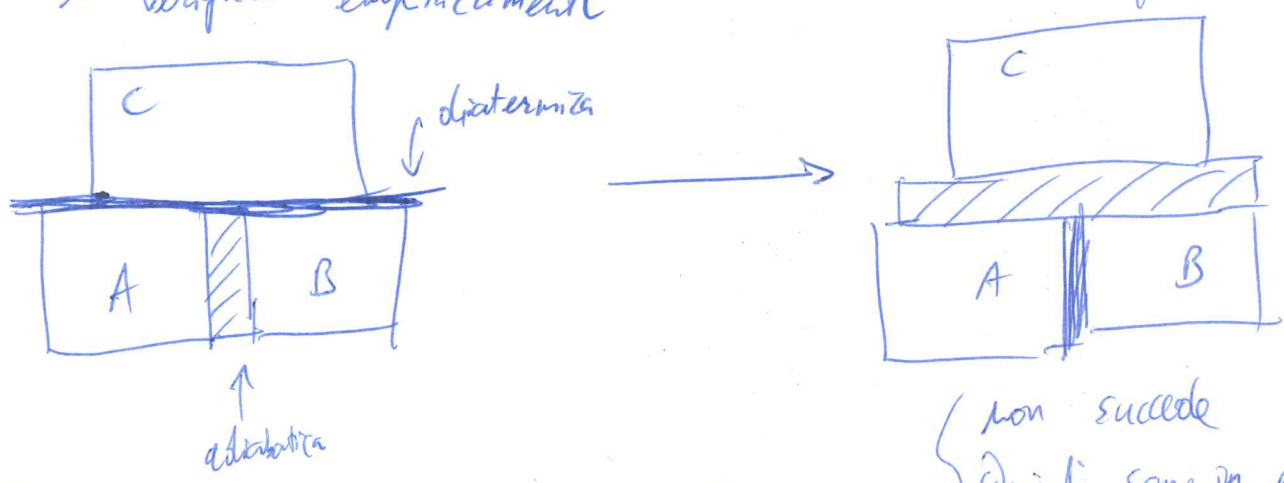
Equilibrio termico gode della proprietà transitiva

Due sistemi in equilibrio termico con un terzo sono anche in equilibrio termico tra loro

$$T_A = T_C, T_B = T_C \longrightarrow T_A = T_B$$

Non equivalente logica ma solo osservazione empirica

Si verifica empiricamente  $\hookrightarrow$  Principio zero della termodinamica ( $\approx 1931$ )  
 identifica classe "isoterma" di sistemi in equilibrio termico



non succede niente!  
 Quindi sono in equilibrio

Si può dimostrare matematicamente che data la proprietà transitiva, deve esistere una funzione delle coordinate termodinamiche che assume lo stesso valore all'equilibrio:  $\phi_A(\{x_A\}) = \phi_B(\{x_B\}) = \phi_C(\{x_C\}) \rightarrow \phi = T$