

Elementi di  
**TERMODINAMICA**  
classica

Giuseppe Dalba

Fortunato Depero  
Il treno partorito dal sole





## Il giudizio di Einstein sulla termodinamica classica

*" Una teoria è tanto più importante quanto maggiore è la semplicità delle sue premesse, quanto più diversi sono i tipi di cose che correla e quanto più esteso è il campo della sua applicabilità. Di qui, la profonda impressione che ho ricevuto dalla Termodinamica classica. E' la sola teoria fisica di contenuto universale di cui sono convinto che nell'ambito di applicabilità dei suoi concetti di base non verrà mai superata.*

*Albert Einstein*

# La termodinamica classica

## Fondamenti, linguaggio, metodo

- Termodinamica classica e statistica
- Le basi della termodinamica
- Meccanica e termodinamica
- Il linguaggio
- Il metodo
- Definizioni operative

*Temperatura*

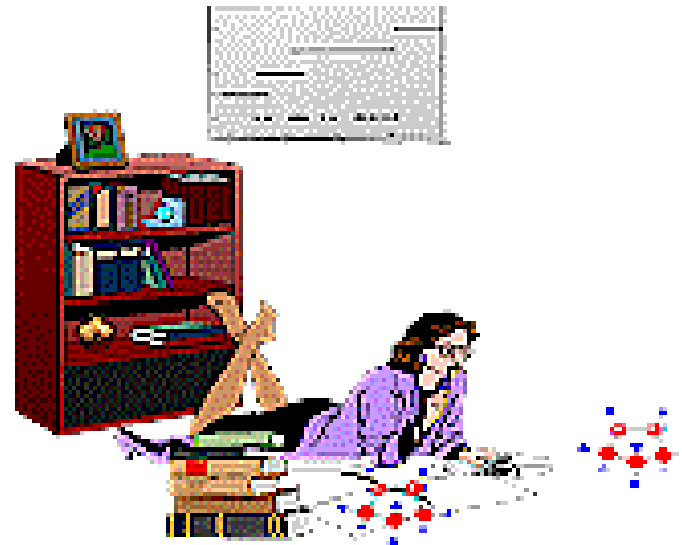
*Pressione*

# “Le sorelle TERMODINAMICA”

CLASSICA



STATISTICA



# *Termodinamica Classica*

## **Approccio Macroscopico:**

prescinde dalla costituzione atomica della materia. Le grandezze termodinamiche vengono definite in maniera operativa. Per esempio la pressione di un gas non è considerata come il trasferimento di quantità di moto per unità di tempo e di area sulle pareti del contenitore, ma come quella proprietà che si misura con un manometro. L'approccio è essenzialmente di carattere empirico

## **Strumenti di lavoro**

Termometri, manometri, bilance, calorimetri, serbatoi di calore, macchine termiche, frigoriferi, pompe, turbine,.....

## **Strumenti matematici**

Il calcolo differenziale applicato a funzioni a più variabili.

## **Vantaggi**

È possibile descrivere lo stato di un sistema mediante un limitato numero di grandezze; nel caso di sistemi semplici sono sufficienti due grandezze.

Fornisce metodi semplici e diretti per la soluzione di problemi ingegneristici.

## **Svantaggi**

Mancanza di un significato intuitivo delle grandezze termodinamiche.

# *Termodinamica Statistica*

## **Approccio microscopico**

si basa sul comportamento medio del gran numero di particelle che compongono la materia. Le proprietà macroscopiche di un sistema vengono messe in relazione ai suoi costituenti microscopici.

Per esempio la pressione di un gas è espressa in termini della velocità quadratica media delle molecole, come pure la temperatura.

## **Strumenti matematici**

Sono quelli tipici della meccanica statistica e della teoria delle probabilità.

Distribuzione di valori di una grandezza fisica microscopica, valor medio, valore più probabile, valore quadratico medio, funzione di partizione, probabilità termodinamica, ... sono alcuni dei concetti utilizzati.

## **Vantaggi**

Conferisce un significato immediato ed intuitivo alle grandezze termodinamiche.

## **Svantaggi**

L'approccio microscopico talvolta si presenta alquanto complesso.

## Che cos'è la Termodinamica

*Ognuno sa che il calore può essere la causa del movimento e che possiede una grande forza motrice: proprio le macchine a vapore che oggi sono così diffuse, ne sono una prova evidente per tutti.*

*Al calore sono dovuti i grandi movimenti che i nostri occhi vedono con meraviglia sulla Terra. Esso è la causa delle agitazioni dell'atmosfera, dell'ascensione delle nuvole, della caduta delle piogge e delle altre meteore, delle correnti d'acqua che solcano la superficie del globo e che l'uomo finora ha impiegato solo in piccola parte; e infine i terremoti e le eruzioni vulcaniche sono conseguenze del calore...*



“Reflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a developper cette puissance”

Sadi Carnot 1824

## Termodinamica come scienza dell'energia

La termodinamica è quella branca della Fisica che studia l'evoluzione di sistemi fisico chimici tenendo conto degli scambi di energia in tutte le forme che possono verificarsi fra sistema ed ambiente esterno. La termodinamica fornisce un bilancio energetico dei fenomeni termici e ne indica il senso di evoluzione.

### *Termo dinamica*

*Therme*  $\equiv$  calore *Dynamis*  $\equiv$  Potenza

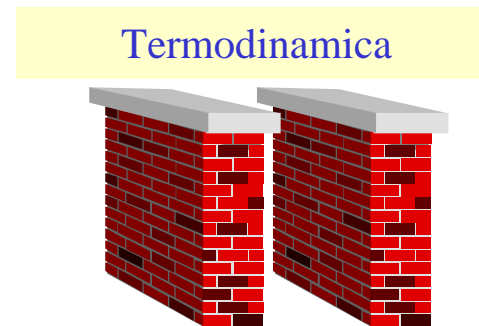
Questa parola inizialmente coniata per sintetizzare lo sforzo di trasformare il calore in potenza, oggi compendia tutte le forme dell'energia e le sue trasformazioni; fanno parte dell'indagine produzione di potenza, refrigerazione, cambiamenti di stato della materia, reazioni chimiche,...



# Le basi della termodinamica

I fondamenti della termodinamica sono di natura empirica.  
Essi sono:

- Principio zero
- Primo principio
- Secondo principio
- Terzo principio



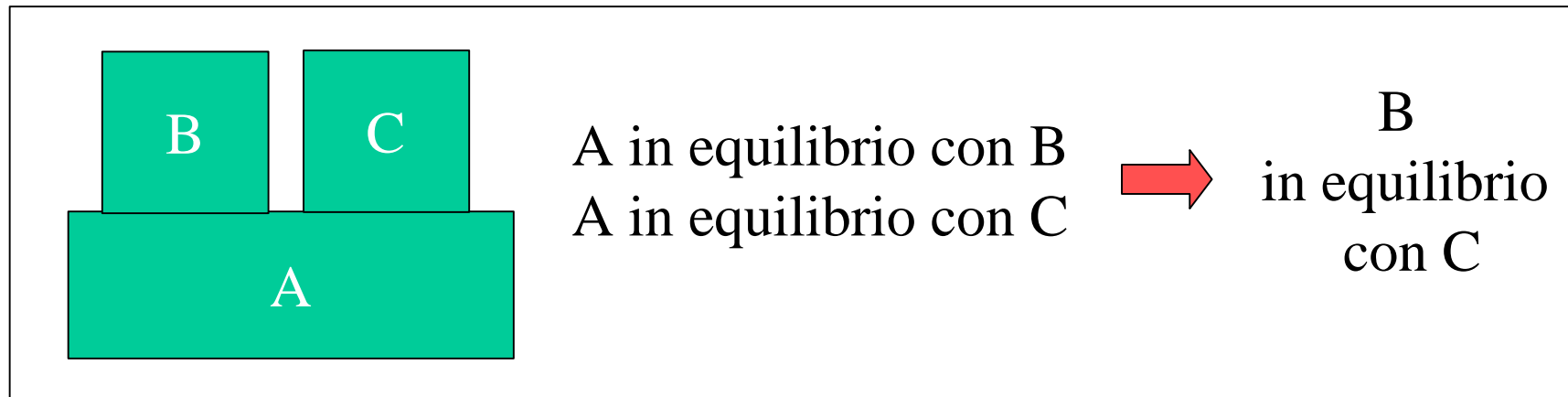
*Le basi della termodinamica*

## Principio zero

Consente di dare una definizione empirica della Temperatura.  
Esso afferma:

*quando due sistemi sono in equilibrio termico  
con un terzo, essi sono in equilibrio anche tra loro.*

La proprietà condivisa è la temperatura; il dispositivo che  
la condivide e ne registra il valore è il termometro.



*Le basi della termodinamica*

## Primo principio

Il primo principio fornisce una definizione operativa del calore.  
Il calore è equivalente ad una qualsiasi altra forma di energia.

Il calore è equivalente al lavoro meccanico.

Calore e lavoro sono i mezzi attraverso i quali i sistemi si scambiano energia.

Il primo principio afferma:

*la somma del calore e del lavoro scambiati fra sistemi è uguale alla variazione della loro energia interna.*

Esso è quindi un'espressione del principio di conservazione dell'energia.

*Le basi della termodinamica*

## Secondo principio

Il secondo principio impone un'ulteriore condizione alle trasformazioni termodinamiche: non è sufficiente che esse soddisfino il primo principio, esse devono evolvere in una determinata direzione. Esso afferma:

*in un processo termodinamico è impossibile avere come unico risultato la trasformazione integrale del calore in lavoro.*

Il secondo principio conferisce all'energia una *qualità* oltre che una quantità.

Questa qualità è misurata da una grandezza detta Entropia.

Il secondo principio asserisce che

*i processi avvengono nella direzione di diminuzione della qualità dell'energia.*

*Le basi della termodinamica*

## Terzo principio

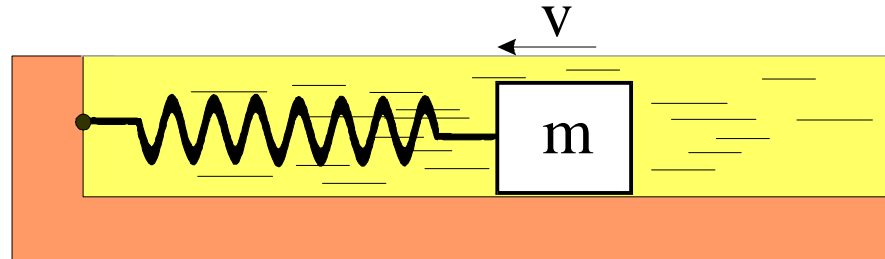
Il terzo principio fornisce un punto di riferimento assoluto per la determinazione dell'entropia. Esso afferma:

*L'entropia di tutti i sistemi in equilibrio termodinamico alla temperatura dello zero assoluto possiede un valore finito. Questo valore è assunto uguale a zero indipendentemente dal sistema.*

Una conseguenza del terzo principio è l'impossibilità di raggiungere la temperatura dello zero assoluto con un numero finito di trasformazioni.

*Le basi della termodinamica*

## Meccanica e Termodinamica



### Oscillatore smorzato

Dalla Meccanica si ricava che il tasso di decrescita dell'energia meccanica  $H$  di un oscillatore smorzato è:

$$\frac{dH}{dt} = -m\gamma v^2 \leq 0$$

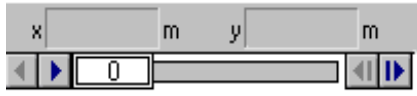
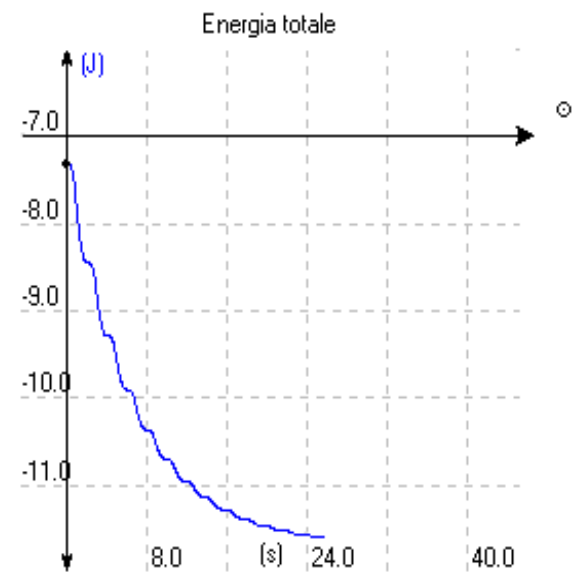
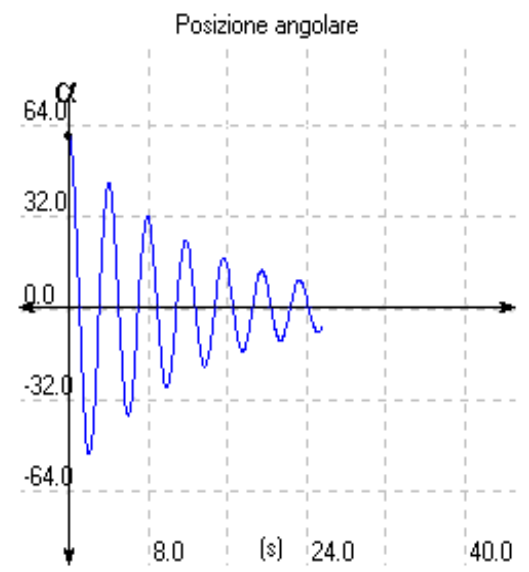
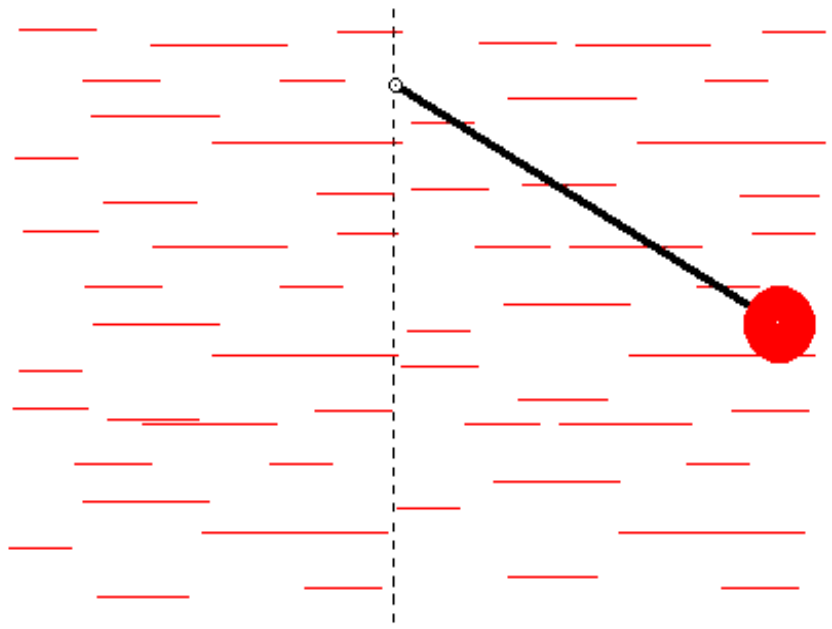
dove  $m$  è la massa del corpo oscillante,  $v$  la sua velocità e  $\gamma$  il coefficiente di attrito viscoso fra fluido e corpo. Cosa succede dell'energia dissipata?

Di quanto si riscalda la massa  $m$  al termine del moto? Cosa cambia nel fluido? Il fenomeno è reversibile? Cioè, una volta che il moto è terminato, è possibile che il fluido restituisca l'energia accumulata e la massa si rimetta spontaneamente ad oscillare riportandosi alle condizioni iniziali?

In genere le risposte della Meccanica a queste domande sono inesistenti, incomplete o inadeguate.

*Meccanica e termodinamica*

# MOTO ARMONICO SMORZATO

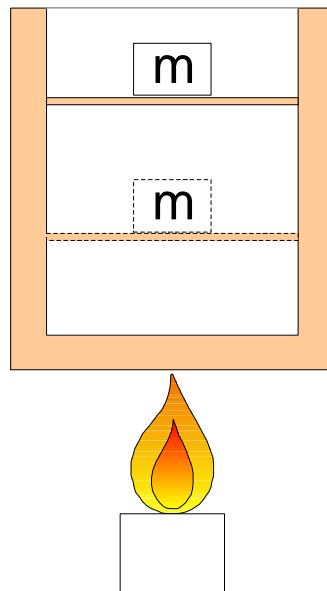


## *2. Gas racchiuso in un cilindro*

*Quando il gas viene riscaldato esso si espande e solleva la massa  $m$  posta sul coperchio.*

*Perché il gas si espande? Perché la massa  $m$  acquista energia cinetica? Quali i meccanismi di trasmissione dell'energia?*

*Anche per queste domande la meccanica è in grado di offrire solo risposte qualitative*



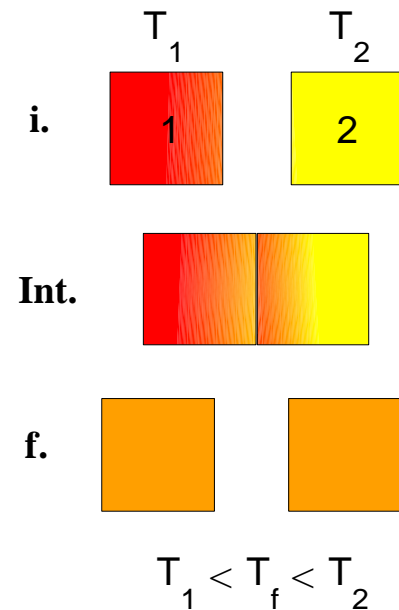
*Meccanica e termodinamica*



### 3. Scambio di calore tra due corpi a temperature diverse

*I corpi in figura, inizialmente a temperature diverse, dopo essere stati portati a contatto raggiungono una eguale temperatura finale? Come si calcola la temperatura finale dei due corpi? Perché è il corpo caldo a riscaldare quello freddo e non accade invece che il corpo freddo si raffreddi ulteriormente a beneficio di quello caldo?*

*Anche le risposte a queste domande vanno ricercate nell'ambito della Termodinamica.*

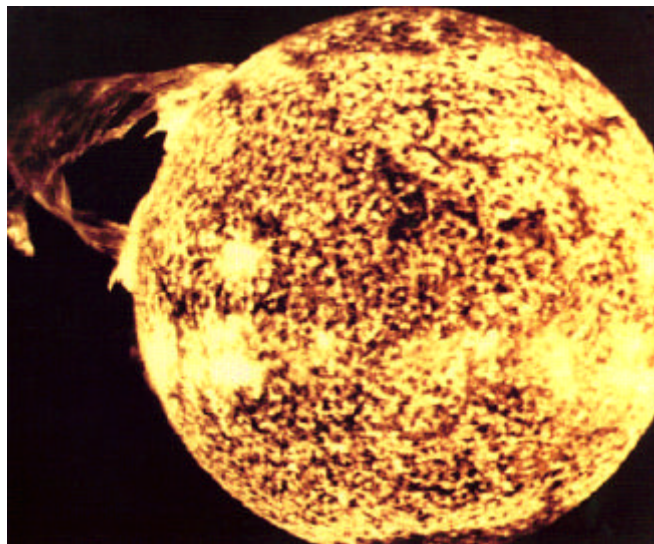


#### *4. Le stelle: sorgenti di energia*

*Il sole brilla stabilmente da miliardi di anni. Quale è la temperatura media del sole? Quale è l'origine dell'energia che esso emette?*

*Perché l'emissione è stabile?*

*La Termodinamica contribuisce, assieme alla fisica nucleare, a rispondere a queste domande.*



*Meccanica e termodinamica*

## IL LINGUAGGIO DELLA TERMODINAMICA

### **Sistema Termodinamico**

*Sistema termodinamico è la porzione limitata e finita di materia oggetto dell'indagine termodinamica.*

### **Sistemi omogenei e non omogenei**

*Sono omogenee sostanze dello stesso genere, specie e natura, per esempio gas, liquidi e solidi puri; sono eterogenei i minerali, le miscele (acqua e ghiaccio, un liquido ed il suo vapore), soluzioni solide, etc.*

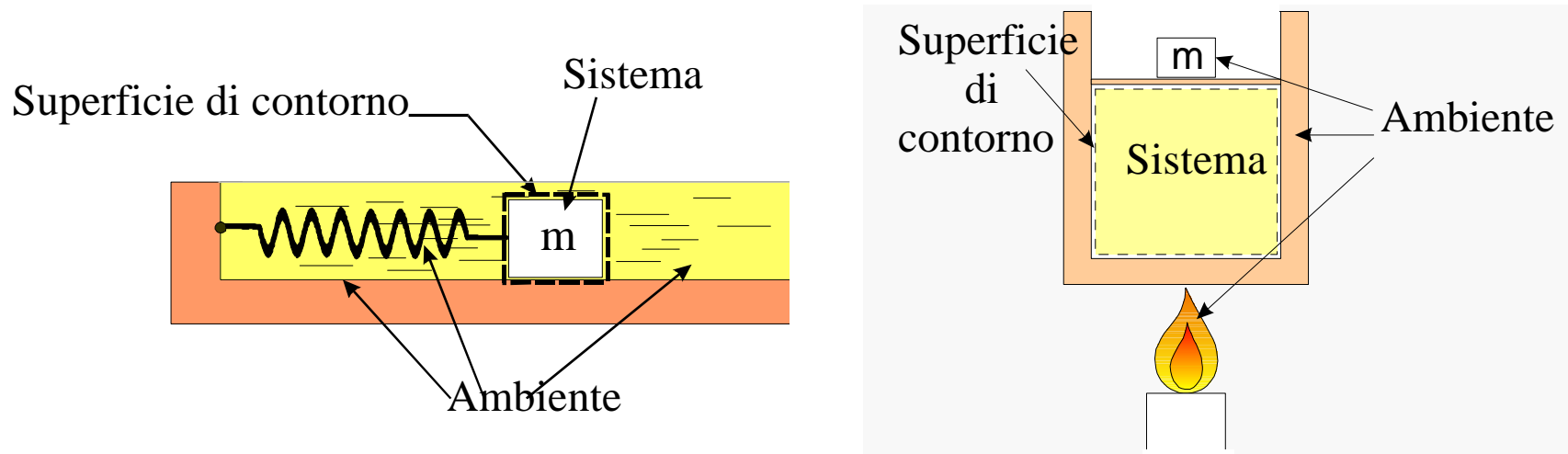
*Il linguaggio*

## Ambiente termodinamico

*La materia che non fa parte del sistema e che, interagendo con esso, ne determina l'evoluzione fisica costituisce l'ambiente termodinamico.*

## Superficie di contorno di un sistema termodinamico

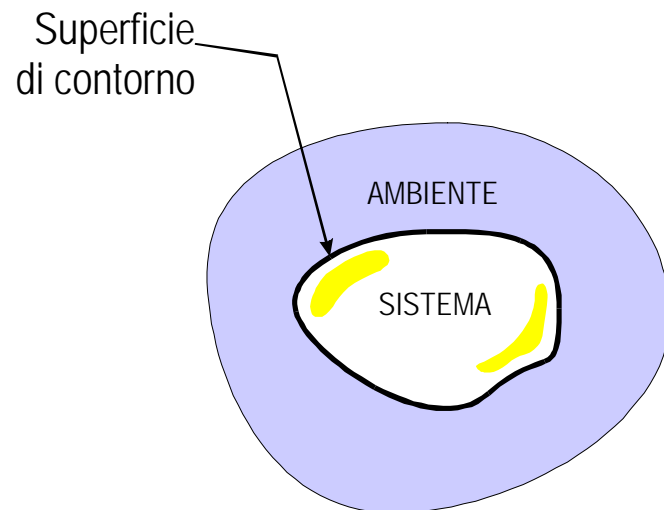
*E' la superficie di separazione fra il sistema e l'ambiente.*



*Il linguaggio*

## Universo termodinamico

*Sistema e ambiente termodinamico costituiscono l'universo termodinamico.*



$$\text{UNIVERSO TERMODINAMICO} = \{\text{SISTEMA} + \text{AMBIENTE}\}$$

*Il linguaggio*

## **Stato termodinamico di un sistema**

*L'insieme delle proprietà che consentono di specificare completamente le condizioni fisiche in cui si trova un sistema definiscono il suo stato termodinamico.*

## **Parametri termodinamici**

*sono le grandezze fisiche che descrivono lo stato termodinamico di un sistema. I termini:*

*Variabili di stato, Parametri di stato, Proprietà termodinamiche e Coordinate termodinamiche*

*sono spesso utilizzati come sinonimi di parametri termodinamici.*

*Il linguaggio*

## **Proprietà intensive**

*Una proprietà di un sistema si dice intensiva quando il suo valore è lo stesso sia per l'intero sistema che per le sue parti, comunque piccole esse siano.*

## **Proprietà estensive**

*Una proprietà di un sistema si dice estensiva se la somma dei valori della proprietà delle parti del sistema è eguale al valore della proprietà dell'intero sistema.*

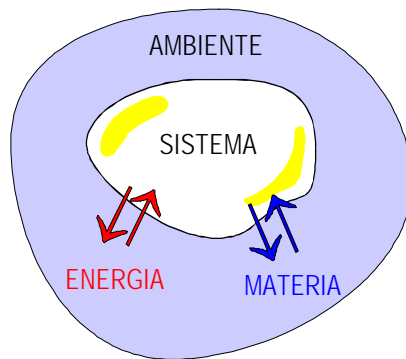
*Le proprietà estensive di un sistema, ad eccezione della massa, diventano intensive quando vengono divise per la massa del sistema*

$$\text{Proprietà specifica} = \frac{\text{proprietà del sistema}}{\text{massa del sistema}}$$

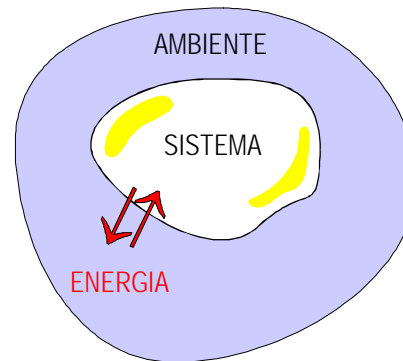
*Il linguaggio*

## Classificazione dei sistemi

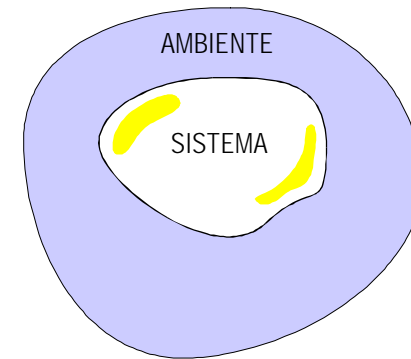
*Sistema aperto*



*Sistema chiuso*



*Sistema isolato*



*Il linguaggio*



## Pareti e Sistemi

Gli scambi di materia ed energia tra ambiente e sistema avvengono attraverso la superficie di contorno del sistema che spesso è costituita da vere e proprie pareti aventi delle particolari proprietà fisiche. Le pareti si possono distinguere in vari tipi:

### **Parete impermeabile**

*è una parete che impedisce lo scambio di materia fra sistema ed ambiente.* Un sistema delimitato da una parete impermeabile è **un sistema chiuso**.

### **Parete adiabatica o termicamente isolata**

*è una parete che non permette scambi di calore*

Se un sistema in equilibrio è delimitato da una parete adiabatica, per modificarne lo stato termodinamico è necessario spostare la parete. Un sistema delimitato da pareti adiabatiche viene detto **termicamente isolato**.

*Il linguaggio*

## **Parete diatermica o termicamente conduttrice**

*è una parete non adiabatica, cioè una parete che consente scambi di calore.*

## **Parete rigida e fissa**

*È una parete che impedisce al sistema che delimita di eseguire o subire un lavoro meccanico.*

Un tale sistema si dice **meccanicamente isolato**.

## **Parete rigida, fissa ed adiabatica**

*Si tratta di una parete che non consente alcuno scambio di energia.*

Per questo viene detta **energeticamente isolata**.

In questa trattazione non sono presi in considerazione eventuali scambi di energia con il sistema dovuti a campi di forze esterne (campi gravitazionali, elettromagnetici, ...etc.).

*Il linguaggio*

## Stato di equilibrio di un sistema

*Un sistema si dice in equilibrio termodinamico se, pur potendo eventualmente scambiare energia e materia con l'ambiente, i suoi parametri termodinamici non cambiano nel tempo.*

La Termodinamica classica tratta solo stati di equilibrio, in essa non interviene mai la variabile *tempo*! Per questa ragione taluni studiosi sostengono che la Termodinamica avrebbe dovuto essere denominata *Termostatica*.

## Variabili di stato indipendenti e dipendenti

*Una variabile di stato si dice indipendente quando il suo valore può essere assegnato arbitrariamente; si dice dipendente quando il suo valore deriva dal quello assunto dalla variabile indipendente*

*Il linguaggio*

## Equazione di stato

*è la relazione matematica che lega i parametri caratteristici di un determinato stato di un sistema.*

*Es: per una sostanza pura, genericamente*  $f(m, P, V, T) = 0$

*che per un gas ideale diventa*  $PV - \frac{m}{M}RT = 0$

*e per un gas reale*  $(P - \frac{na}{V^2})(V - nb) = nRT$

*Per un filo sottoposto a trazione*  $F - kx = 0$

*In generale, se  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sono i parametri che definiscono uno stato tra di essi sussiste una equazione  $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$*

*Il linguaggio*

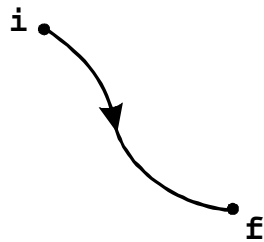
## Metodo della termodinamica

### Processo termodinamico

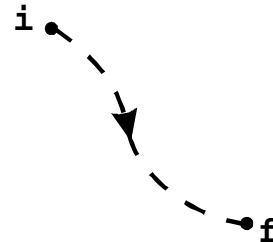
*Il cambiamento delle proprietà di un sistema viene detto processo termodinamico.*

Processo termodinamico e **trasformazione termodinamica** sono sinonimi. Un processo è una successione di stati, caratterizzata da uno stato iniziale *i* ed uno stato finale *f*:

$$(n_i, P_i, V_i, T_i, \dots) \rightarrow (n_f, P_f, V_f, T_f, \dots)$$



Processo quasistatico

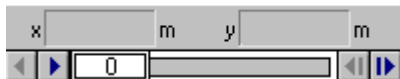
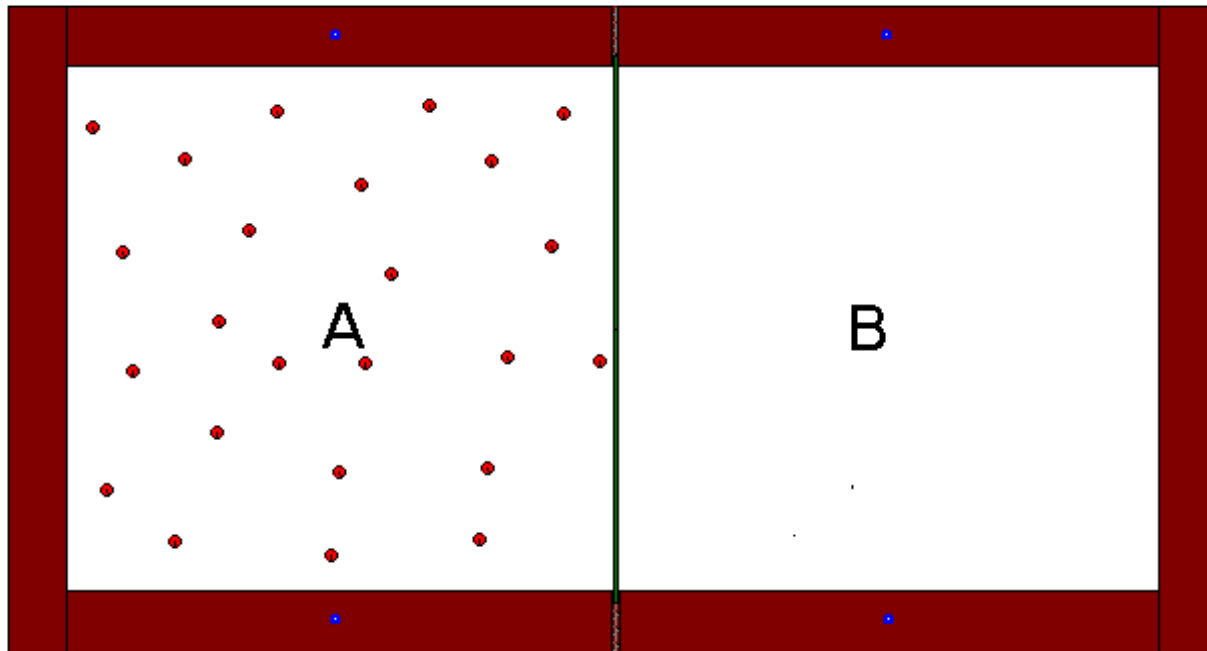


Processo irreversibile

*Il metodo*

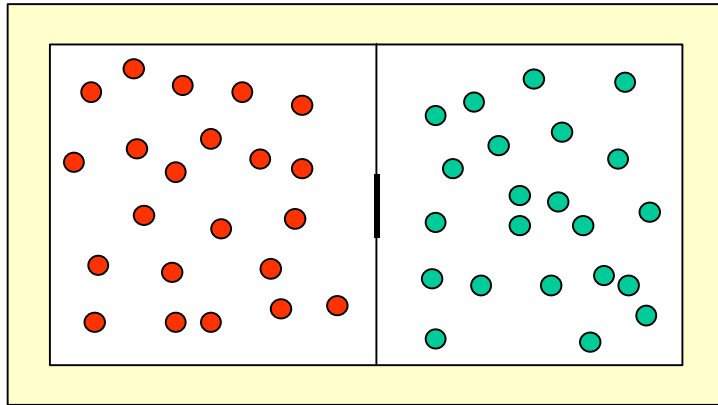
# Esempi di processi termodinamici

## ESPANSIONE LIBERA DI UN GAS

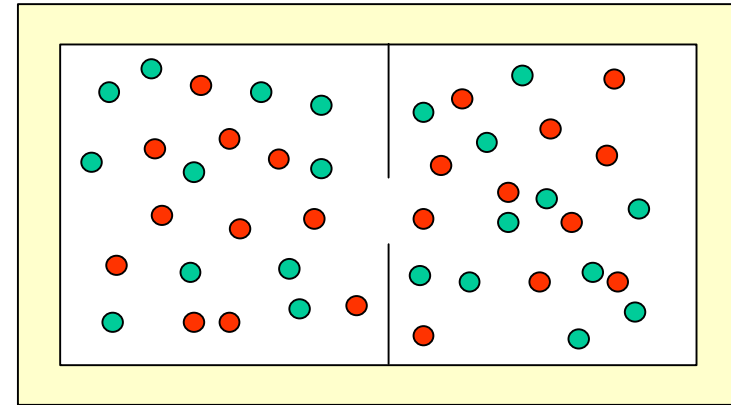


*Il metodo*

## un altro esempio di processo termodinamico



*i*

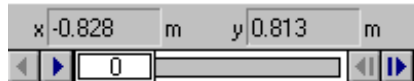
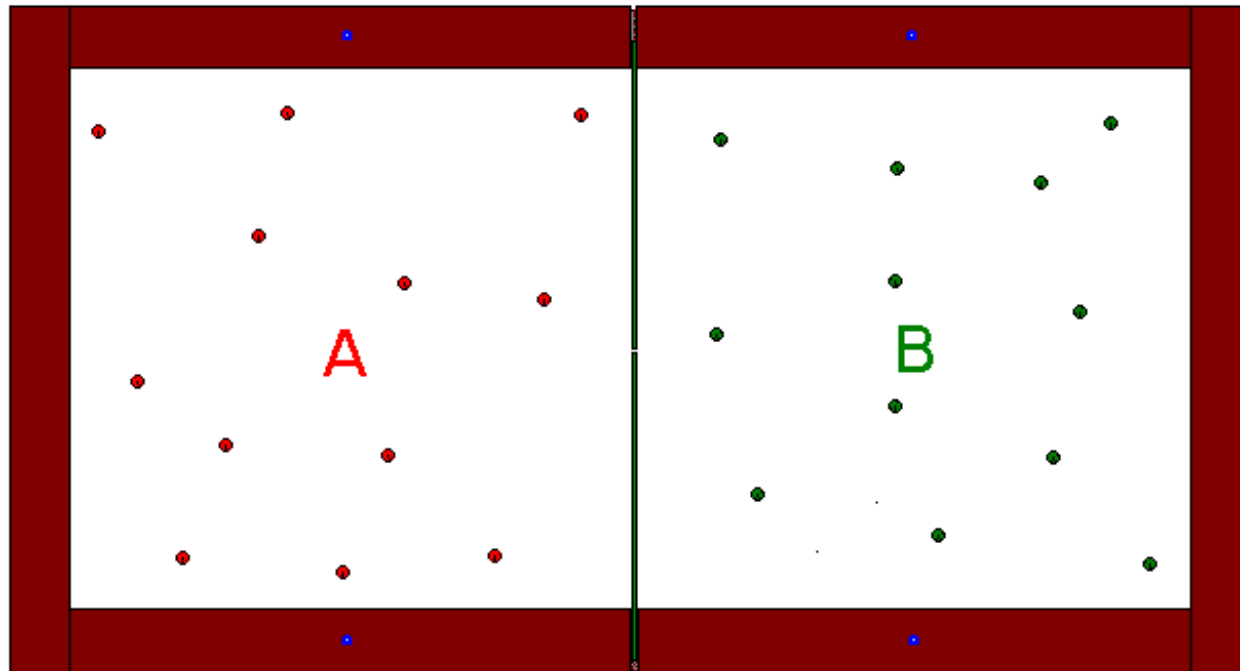


*f*

Mescolamento di due gas diversi. *i* stato iniziale: i due gas occupano due vani di uguale volume separati da una valvola chiusa; *f*, stato finale raggiunto a seguito dell'apertura della valvola e della mutua diffusione dei gas.

*Il metodo*

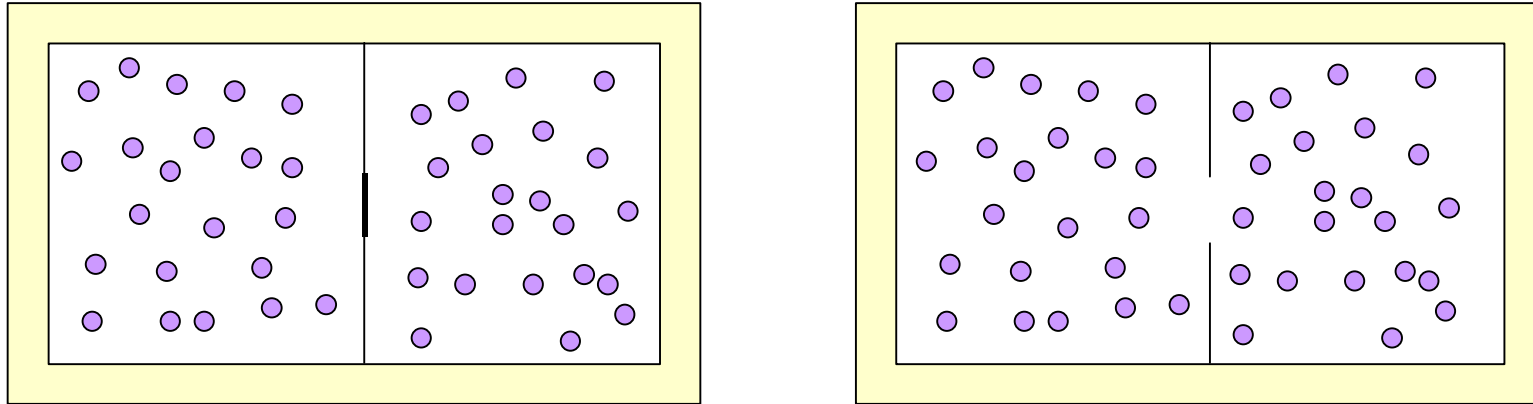
## MESCOLAMENTO DI DUE GAS



*Il metodo*



## Esempio di un non - processo termodinamico

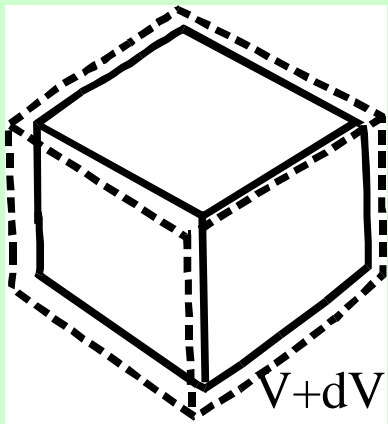


Mescolamento di due fluidi nelle identiche condizioni termodinamiche; per esempio mescolamento dell'aria di due stanze contigue di un appartamento, nelle stesse condizioni di temperatura e pressione. Sebbene da un punto di vista molecolare si realizzi un miscuglio tra i due fluidi, da un punto di vista macroscopico, a fenomeno avvenuto, nessun parametro termodinamico è in grado di registrare l'evento di diffusione di un fluido nell'altro.

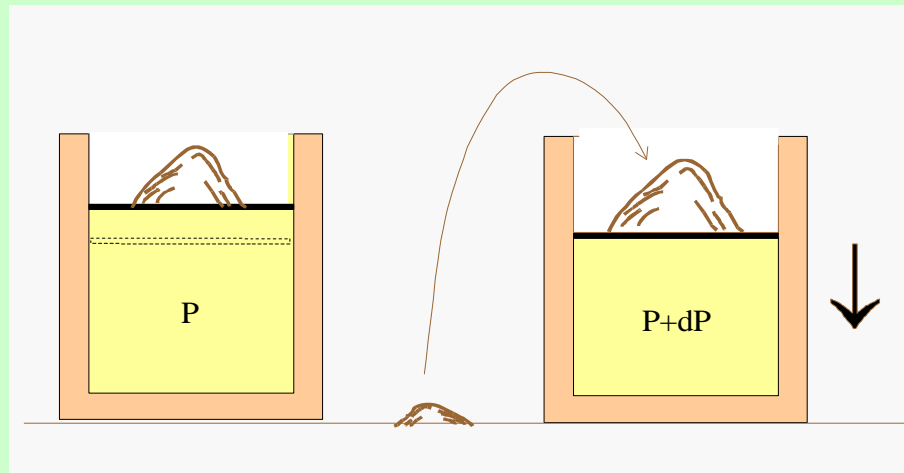
*Il metodo*

## Processo infinitesimo

*Un processo termodinamico in cui si verificano cambiamenti infinitesimi delle proprietà macroscopiche viene detto processo infinitesimo.*



Espansione infinitesima di un solido: il volume aumenta dal valore  $V$  al valore  $V+dV$ .

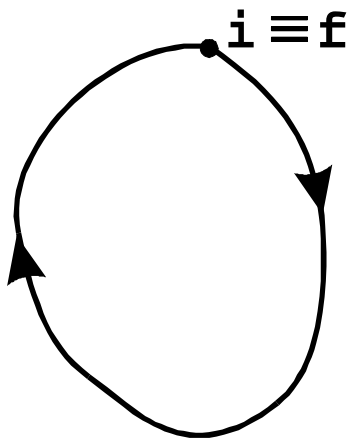


Compressione infinitesima di un gas: la pressione passa da  $P$  a  $P+dP$   
Compressione infinitesima di un gas: la pressione passa da  $P$  a  $P+dP$

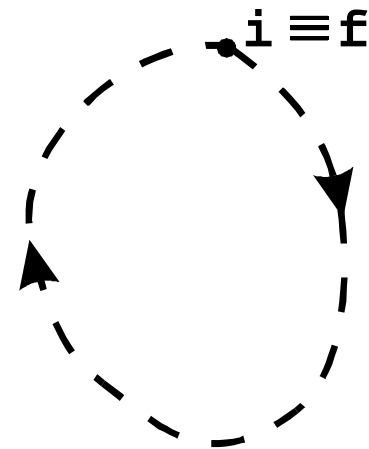
*Il metodo*

## Processo ciclico

*Un processo termodinamico si dice ciclico se il suo stato di equilibrio finale  $f$  coincide con quello iniziale  $i$*



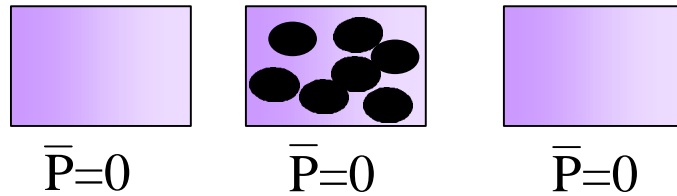
Rappresentazione grafica di un processo ciclico costituito da una successione di stati di equilibrio.



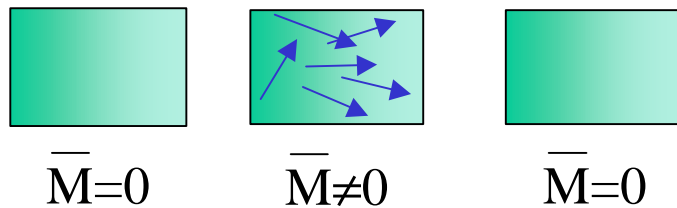
Rappresentazione grafica di un processo ciclico costituito da una successione di stati di non equilibrio.

*Il metodo*

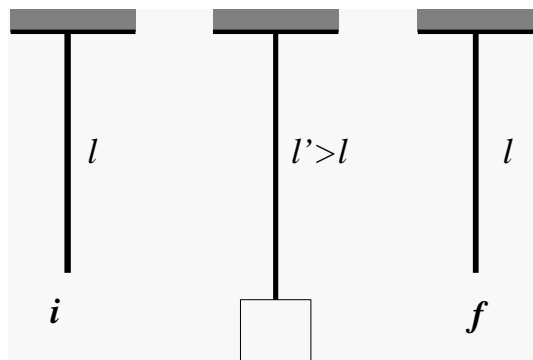
## Esempi di processi ciclici



Polarizzazione di un dielettrico.  
 $P$  è il vettore di polarizzazione.



Magnetizzazione e successiva  
smagnetizzazione di un blocco  
di ferro.  $M$  è il vettore di  
magnetizzazione.



Filo elastico sottoposto a trazione.  
 $l$  lunghezza iniziale e finale del  
filo;  $l'$  lunghezza del filo sotto  
carico ( $l' > l$ ).

*Il metodo*

## Processi Naturali, Non Naturali, Reversibili

### Processi naturali

*Sono quei processi che avvengono spontaneamente in natura in assenza di equilibrio termodinamico.*

### Processi non naturali

*Sono denominati non - naturali quei processi in cui l'universo termodinamico si allontanerebbe dall'equilibrio spontaneamente, cioè senza nessun intervento esterno.*

### Processi reversibili

Un caso limite tra i processi naturali e non naturali sono i processi reversibili.

*Si dice reversibile un processo ciclico in cui sia il sistema che l'ambiente ritornano nello stato di equilibrio preesistente all'inizio del processo.*

*Il metodo*

Il concetto di reversibilità è una astrazione molto importante per l'analisi quantitativa dei processi. La realizzazione di una trasformazione reversibile è una eventualità puramente teorica anche se in pratica può essere realizzata con sufficiente approssimazione. Un processo reversibile è costituito da una successione di stati di equilibrio. In genere mentre un sistema, a seguito di un processo ciclico può essere riportato nel suo stato iniziale, il suo partner, l'ambiente, non ritorna mai nel suo stato di partenza; è questa un'anticipazione sul concetto di reversibilità che riprenderemo in maniera più approfondita quando parleremo della leggi della termodinamica.

*Caso a*

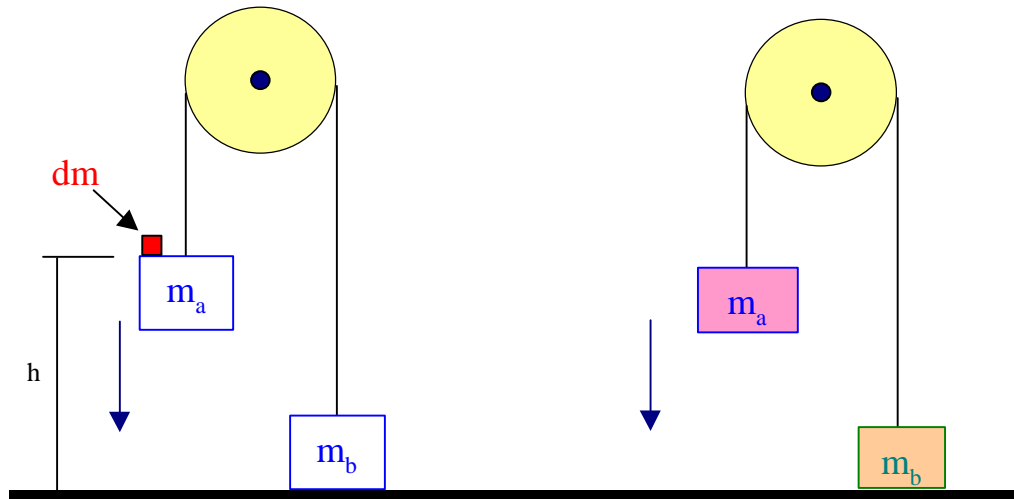
$$m_a \cong m_b; \quad m_a = m_b + dm; \quad dm > 0$$

$$L_a = (m_a + dm)gh \cong L_b = m_b gh$$

*Caso b*

$$m_a \gg m_b$$

$$L_a = m_a gh \neq L_b = m_b gh$$



Esempio di processo reversibile secondo Lazare Carnot

*Il metodo*

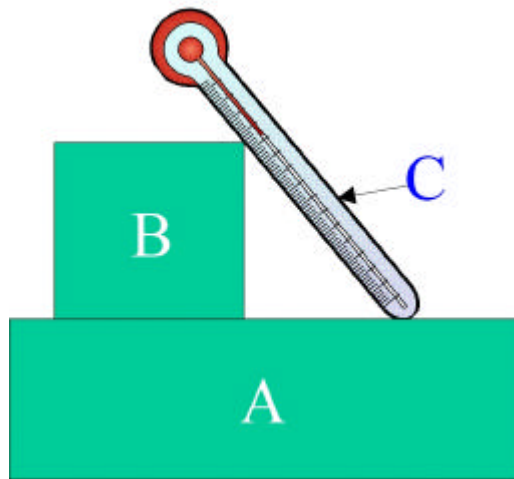
## Temperatura ed equilibrio termico

Abbiamo accennato che il principio zero consente di dare una definizione empirica della temperatura; Vediamo perché. Esso afferma che:

*due corpi in equilibrio termico con un terzo, sono in equilibrio termico tra loro.*

Un corpo si dice in equilibrio termico se a contatto con gli altri corpi non si riscalda né si raffredda (l'interazione si suppone avvenga solo tra i corpi e non con l'ambiente).

La proprietà condivisa, che misura il livello termico comune dei corpi, è la temperatura.

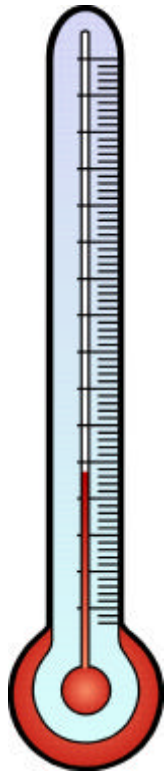


Per rivelare la situazione di equilibrio uno dei tre corpi può essere un termoscopio; Per definire la temperatura si può dotare il termoscopio di una scala. Si ottiene così un termometro.

*Il metodo: definizioni operative*

## Definizione Operativa della Temperatura

*La temperatura è quella proprietà di un sistema che si misura con un termometro. La definizione completa di temperatura richiede una descrizione dettagliata di come è fatto un del termometro e della sua scala.*



La definizione di temperatura si basa sull'uso di una **proprietà di una sostanza sensibile alla temperatura** e sulla definizione dell'*unità* di temperatura che viene fatta assegnando un insieme appropriato di riferimenti numerici che costituiscono **la scala** della temperatura.

Si definiscono le scale empiriche e la scala assoluta della temperatura. Una scala empirica è quella Centesimale.

*Il metodo: definizioni operative*



## Sviluppo di una scala empirica di temperatura: Scala Centesimale

*Proprietà:* Dilatazione termica di un regolo di rame di lunghezza  $l$

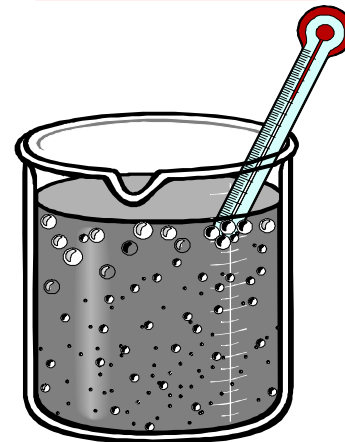
$l = f(t)$  *equazione termometrica*,  $l$  *grandezza termometrica*

$$l = a + b \cdot t \quad l = a + b \cdot t + c \cdot t^2 \quad l = a + d \cdot e^t \quad \dots\dots\dots$$

$l$  = lunghezza del regolo,  $t$  = temperatura;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  sono delle costanti.

Scelta dell'equazione termometrica:  $l = a + b \cdot t$

$$t = 0$$
$$l_0 = a$$



$$t = 100$$
$$l_{100} = a + b \cdot 100$$

$$a = l_0$$
$$b = \frac{l_{100} - l_0}{100}$$



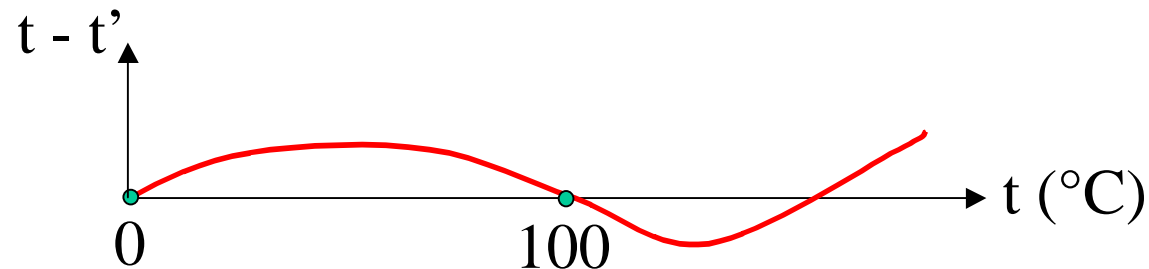
$$t = 100 \frac{l - l_0}{l_{100} - l_0}$$

*Il metodo: definizioni operative*

## Inconvenienti delle scale empiriche

Consideriamo due scale termometriche basate su due diverse proprietà termometriche: la dilatazione di un regolo di **Cu** e quella di un regolo di **Al**.

Temperature di riferimento:  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

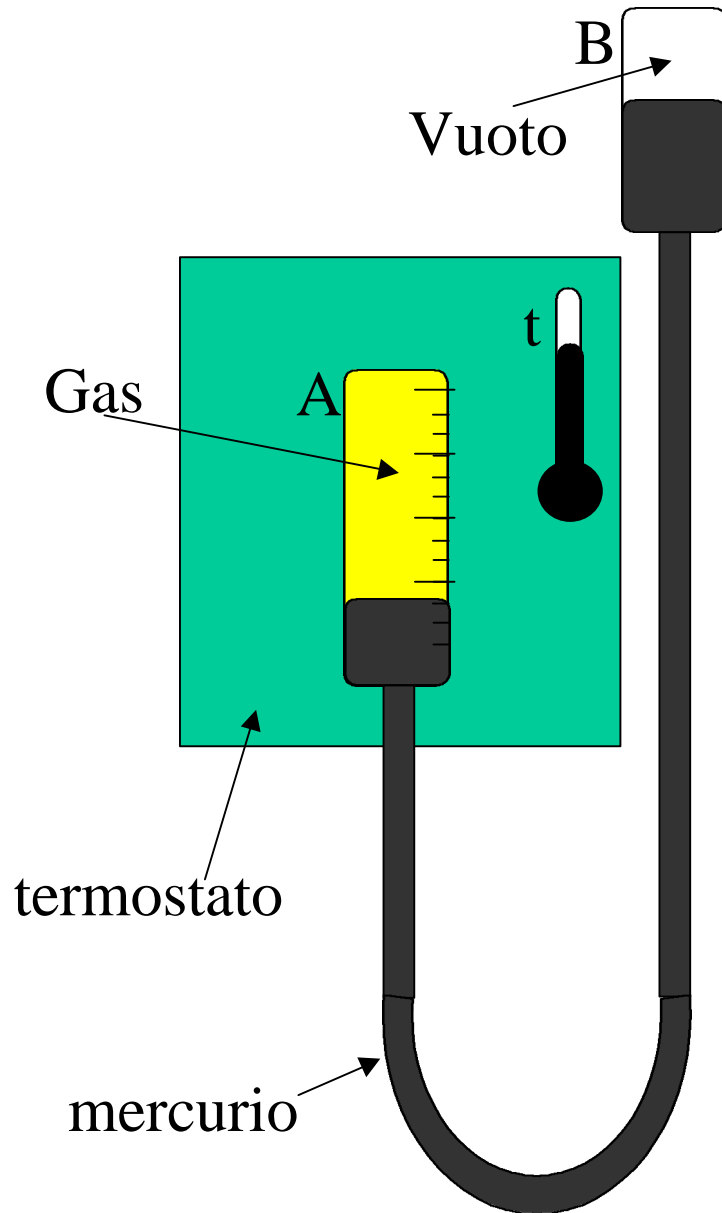


$t - t' = \textit{scarto delle indicazioni dei due termometri}$

In generale due termometri basati su fenomeni diversi, non segnano lo stesso valore di temperatura, ad eccezione che per i punti fissi scelti convenzionalmente.

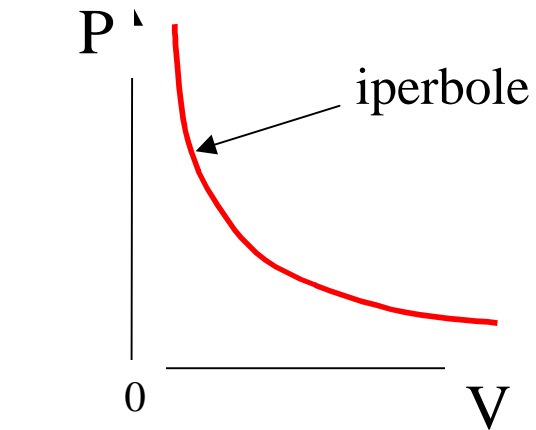
*Il metodo: definizioni operative*

## Termometro a gas: scala assoluta



Il gas contenuto in A ha massa  $m$ , pressione  $P$ , volume  $V$  e la stessa temperatura  $t$  del termostato

$f(P, V, t) = 0$  Equazione caratteristica del gas

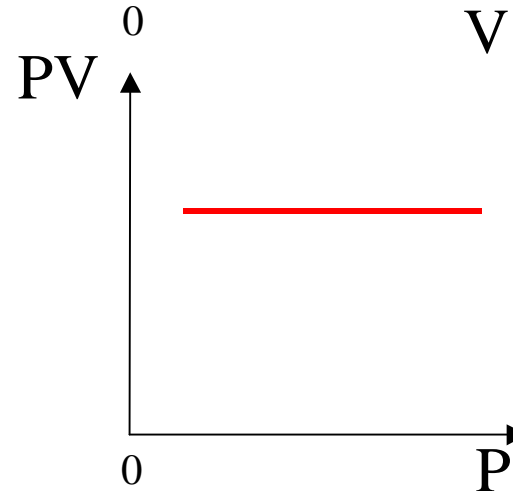


*a basse pressioni*

$$P \cdot V = \text{Cost}$$

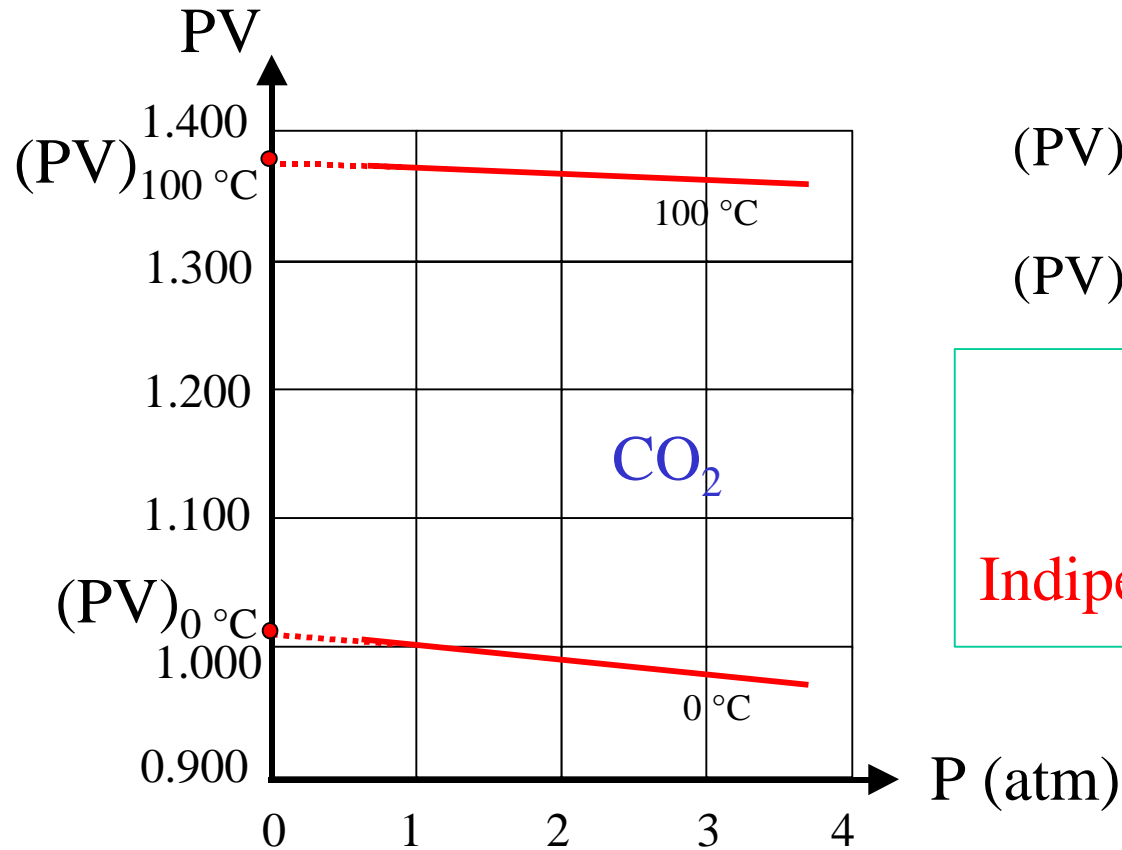
Gas perfetto

*Diagramma di Clapeyron*



*Diagramma di Amagat*

## Curve di Amagat di un gas reale a basse pressioni



$$(PV)_{0^{\circ}\text{C}} = \lim_{P \rightarrow 0} (PV) \quad \text{a } t = 0^{\circ}\text{C}$$

$$(PV)_{100^{\circ}\text{C}} = \lim_{P \rightarrow 0} (PV) \quad \text{a } t = 100^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{(PV)_{100^{\circ}\text{C}}}{(PV)_{0^{\circ}\text{C}}} = 1.36610$$

Indipendentemente dal tipo di gas

Indicando con  $(PV)_t = \lim_{P \rightarrow 0} (PV)$  alla temperatura  $t$  si ha che:

$$\text{in generale: } \frac{(PV)_t}{(PV)_{t'}} = \frac{t}{t'} \quad \text{Indipendentemente dal tipo di gas}$$

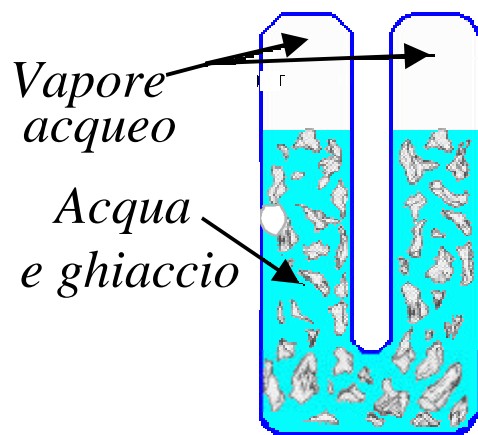
$(PV)_t = \lim_{P \rightarrow 0} (PV)$   $\rightarrow$  è una buona grandezza termometrica

È possibile allora definire una scala termometrica assoluta, cioè una scala indipendente dalla sostanza termometrica.

In una scala assoluta le temperature si usa indicarle con le lettere maiuscole, per cui il rapporto tra le grandezze termometriche diventa:

$$\frac{(PV)_t}{(PV)_{t'}} = \frac{T}{T'}$$

L'unità di misura della temperatura si trova una volta che convenzionalmente si definisce una temperatura di riferimento  $T'$ .



Come temperatura campione si è deciso di prendere la temperatura del punto triplo dell'acqua. Questa scelta è conveniente perché al punto triplo la pressione è automaticamente determinata.

Convenzionalmente:  $T_{\text{punto triplo}} = 273.16 \text{ K}$

Unità di temperatura grado Kelvin (K)

*Il metodo: definizioni operative*

## Scala Celsius

La temperatura di fusione del ghiaccio alla pressione atmosferica è uguale a 273.16 K. Per ottenere una scala centesimale, a partire da una scala assoluta, si esegue una traslazione rispetto alla scala assoluta in modo che la temperatura di fusione del ghiaccio sia uguale a 0 C°. Indicando con  $t$  la temperatura centesimale e  $T$  quella in K, si ha che:

$$t = T - 273.16$$

## La scala termodinamica

Nel 1967 si decise di definire la temperatura basandosi sulla scala *termodinamica*, come vedremo nel seguito. Poiché si dimostrerà anche che la scala termodinamica e quella assoluta sono identiche, non vi è ragione di distinguerle.

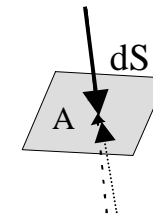
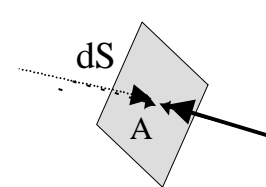
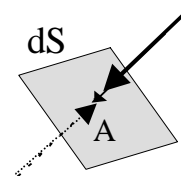
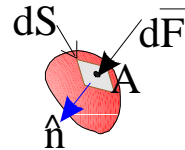
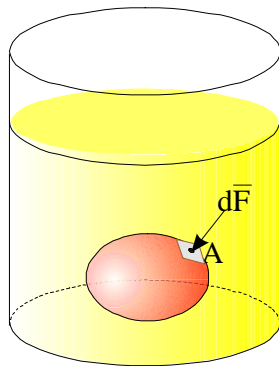
*Il metodo: definizioni operative*

## La pressione nei fluidi

Fluido è il termine generico con cui si denota un gas o un liquido.

Consideriamo un fluido perfetto, cioè un fluido le cui parti possono scivolare le une sulle altre senza attrito.

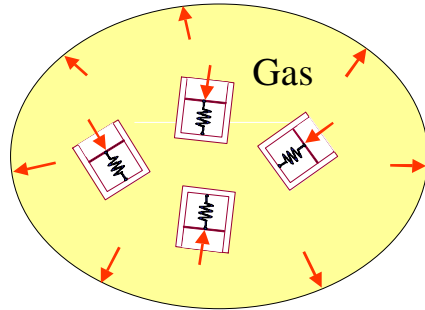
Osservazione sperimentale: un corpo immerso in un fluido risente di forze ortogonali alla sua superficie.



$$d\vec{F} = P d\vec{S}$$

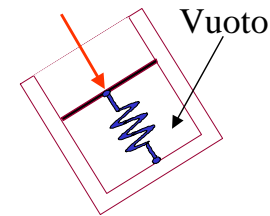
*Il metodo: definizioni operative*

## Misura operativa di pressione in un gas



La pressione è quella grandezza che si misura con un manometro. Un tipo di manometro è una capsula manometrica.

*La pressione esercitata dal gas è la stessa sulla superficie del contenitore come al suo interno.*



### *Unità di pressione*

L'unità di misura della pressione secondo il Sistema Internazionale è il Pascal (Pa):

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2.$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}.$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} = 10^{-3} \times 13.6 \text{ Kg/m}^3 \times 9,807 \text{ m/s}^2 = 133,32 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1.013 \text{ bar} = 101300 \text{ Pa}$$

*Il metodo: definizioni operative*