

172SM · TERMODINAMICA e FLUIDODINAMICA

prof. LUIGI RIGON (appunti basati sulle lezioni del prof. RWALDO RUI)

PARTE I - SISTEMI TERMODINAMICI

LEZIONE 1.1 - PRINCIPIO ZERO DELLA TERMODINAMICA (# 1)

1.1.1 Introduzione alla Termodinamica (TD)

"Thermo" ($\theta\epsilon\rho\mu\acute{o}s$) → caldo, calore

"Dynamis" ($\delta\iota\nu\alpha\mu\iota\varsigma$) → forza, potenza

Termodinamica → forza del calore

Si sviluppa nel XIX sec per studiare il rapporto tra calore e lavoro meccanico (macchina a vapore, rivoluzione industriale).

In precedenza il calore era considerato un fluido (teoria del calórico) che non si creava né si distruggeva ma poteva spostarsi da un corpo all'altro

Come la Fisica Newtoniana, anche la Termodinamica ha delle leggi o dei principi, ma vennero formalizzati da persone diverse ed in ordine sparso:

1824 (Carnot) → 1854 (Kelvin/Clausius): II principio

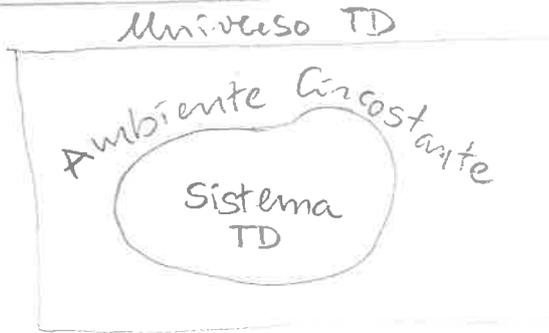
1842 (Hayer) → 1847 (Joule): I principio

1906 (Nernst): III principio

1935 (Fowler): principio zero

La Termodinamica si occupa di sistemi macroscopici o sistemi termodinamici: sistemi complessi, insieme di uno o più corpi, in una o più fasi (solida, liquida, aeriforme) definiti in una regione racchiusa da una superficie (reale o ideale) che separa il sistema dall'ambiente

1.1.2. Sistema Termodinamico e Coordinate TD



- ← sistema TD + ambiente = universo TD
- sistema aperto: scambia energia e materia con l'ambiente
 - sistema chiuso: scambia energia ma non materia con l'ambiente
 - sistema isolato: non scambia né energia né materia con l'ambiente

Un sistema TD contiene una quantità macroscopica di materia, a cui corrisponde un numero enorme di elementi microscopici.

Esempio $n = 1 \text{ mol} \rightarrow N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ molecole

⇒ NON è possibile un approccio deterministico, in cui si dovrebbe studiare il moto di ciascuna molecola.

⇒ Sono invece possibili:

- un approccio statistico, in cui si introduce un modello microscopico del sistema e si calcolano i valori medi di alcune grandezze fisiche → meccanica statistica
- un approccio classico, in cui si utilizzano delle variabili termodinamiche (o parametri TD, o coordinate TD), direttamente osservabili, suggerite dall'esperienza e scelte "ad hoc" per caratterizzare il sistema → TD classica

Questo è un corso di TD classica, con qualche collegamento (per sistemi "semplici") alla meccanica statistica.

Coordinate termodinamiche: estensive o intensive

- estensive: caratteristica globale del sistema
se il sistema è diviso in diverse parti, sono additive
es: volume, massa, quantità di materia...
- intensive: carattere locale
indipendenti dalla taglia del sistema
es: pressione, temperatura, densità...

Le coordinate termodinamiche sono direttamente osservabili e misurabili (variabili macroscopiche).

→ Si dice semplice un sistema TD il cui stato è completamente determinato da 3 coordinate TD (es: $X, Y, e Z$) che soddisfano un'equazione di stato del tipo:

$$f(X, Y, Z) = 0$$

tale per cui solo 2 coordinate sono indipendenti, perché si ha ad esempio

$$Z = g(X, Y)$$

$$f(X, Y, Z) = Z - g(X, Y) = 0$$

→ Si dice idrostatico un sistema TD semplice in cui le 3 coordinate TD sono: p, V, T .

→ Vale la regola delle fasi di Gibbs:

$$N = C + 2 - F$$

↑ numero di coordinate indipendenti
↑ num. di specie chimiche
↑ num. di fasi

Es: → fluido omogeneo $C=1, F=1 \Rightarrow N=2$

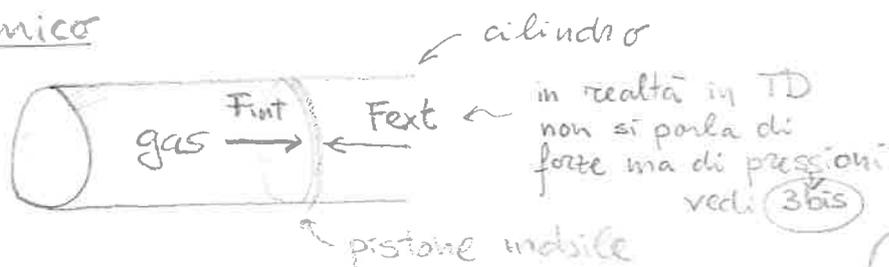
→ soluzione non satura di NaCl in H_2O in recipiente chiuso: $C=2, F=2$ (liquido e vapore) $\Rightarrow N=2$

1.1.3 Equilibrio TD - Pareti adiabatiche e diatermiche

In generale, un sistema TD è in equilibrio quando, ferme restando le condizioni dell'ambiente circostante, le coordinate TD del sistema non cambiano nel tempo.

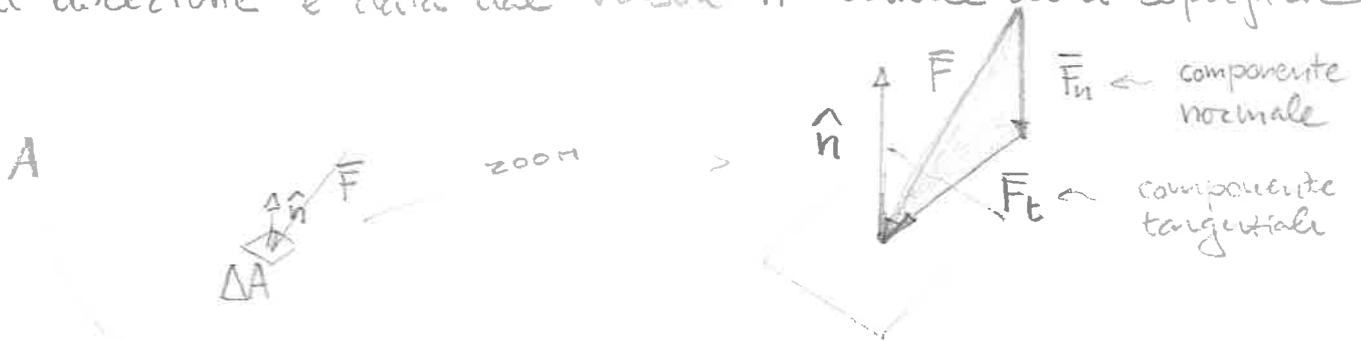
Affinché vi sia equilibrio TD, deve esserci:

A) equilibrio meccanico
(p e V cost.)



Pressione

\vec{F} forza che agisce su un elemento di superficie ΔA la cui direzione è data dal vettore \hat{n} normale alla superficie



pressione
$$p = \frac{|\vec{F} \cdot \hat{n}|}{\Delta A} = \frac{|\vec{F}_n|}{\Delta A}$$

Labels: "val. assoluto" points to the absolute value in the numerator of the first fraction; "modulo" points to the absolute value in the numerator of the second fraction.

→ grandezza fisica scalare

→
$$[p] = \frac{[F_n]}{[\Delta A]} = \frac{[MLT^{-2}]}{[L^2]} = [ML^{-1}T^{-2}]$$

→ nel sistema internazionale:

$$\frac{N}{m^2} = Pa \quad (\text{Pascal})$$

→ in c.g.s

non si usa

$$\frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} = \text{baria} = \frac{10^{-5} N}{10^{-4} m^2} = 0,1 Pa$$

→ unità pratiche

$$1 \text{ atm} = 101300 Pa \cong 10^5 Pa = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ bar} = 10^6 \text{ barie} = 10^5 Pa \cong 1 \text{ atm}$$

$$1 \text{ mbar} = 10^3 \text{ barie} = 10^2 Pa \cong 10^{-3} \text{ atm}$$

Valori caratteristici

→ in cima all'Everest: $\sim 3 \cdot 10^4 Pa \sim 0,3 \text{ atm}$

→ sott'acqua + 1 atm ogni 10 m di profondità

fossa delle Marianne (-11 000 m s.l.m.): $\sim 1100 \text{ atm} \sim 110 \text{ MPa}$

→ nucleo terrestre: 360 GPa

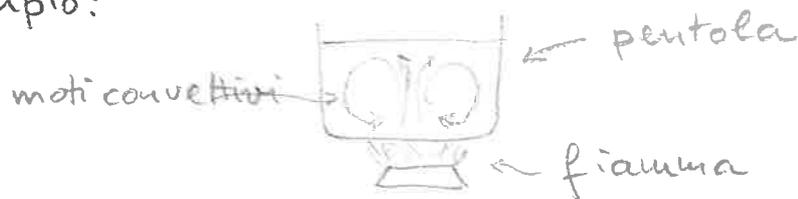
→ centro del Sole: $2,65 \cdot 10^{16} Pa = 2,65 \cdot 10^7 GPa$

→ vuoto interplanetario $\sim 10^{-6} Pa$; interstellare $\sim 10^{-13} Pa$

→ in laboratorio UHV $\sim 10^{-5} - 10^{-10} Pa$; XHV $< 10^{-10} Pa$ (3BIS)

B) equilibrio termico (T ben definita e costante)

Controesempio:



C) equilibrio chimico (n costante)

no reazioni chimiche che alterino n .

equilibrio meccanico, termico, chimico \Rightarrow equilibrio TD

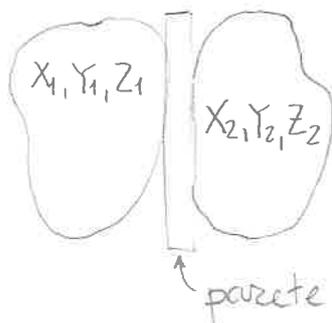
Pareti adiabatiche e diatermiche

Sistema 1 in equilibrio TD con coordinate X_1, Y_1, Z_1 .

" 2

"

X_2, Y_2, Z_2 .



adiabatica: i sistemi restano fermi sui loro rispettivi stati d'equilibrio

diatermica: i due sistemi evolvono* raggiungendo nuovi stati d'equilibrio X'_1, Y'_1, Z'_1 e X'_2, Y'_2, Z'_2

\Rightarrow si arriva all'equilibrio termico \Rightarrow c'è stata interazione, non meccanica, tra i due sistemi.

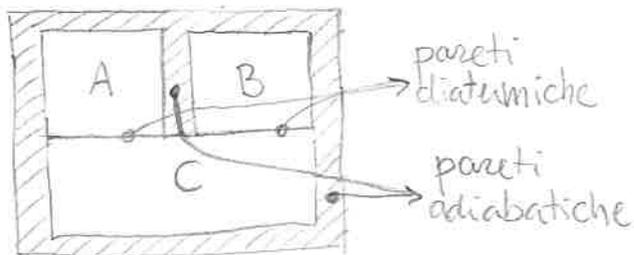
parete adiabatica:  isolanti termici: feltro, polistirolo, amianto, parete spessa

parete diatermica:  conduttori termici: metalli, parete sottile

* primo esempio di trasformazione termodinamica

1.1.4 Principio Zero della Termodinamica e Temperatura

"Se due sistemi, A e B, sono separatamente in equilibrio termico con un terzo sistema C, allora sono in equilibrio termico tra di loro"

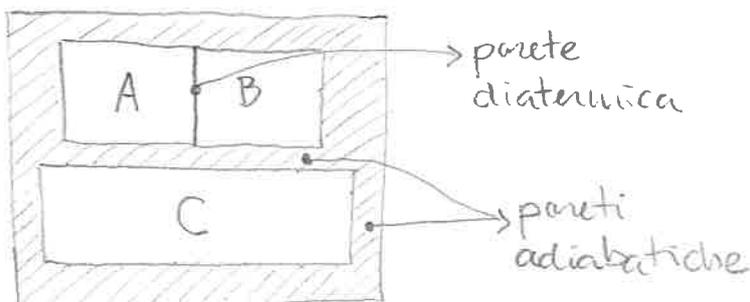


A e B raggiungono eq. con C

$$A \rightarrow (X_1, Y_1, Z_1)$$

$$B \rightarrow (X_2, Y_2, Z_2)$$

si attende che A e B raggiungano l'equilibrio termico con C.
→ Successivamente si sostituiscono le pareti diatermiche/adiabatiche tra A, B e C:



A resta in (X_1, Y_1, Z_1)

B resta in (X_2, Y_2, Z_2)

Si trova che A e B sono in equilibrio termico tra loro.

⇒ "Essere in equilibrio termico" è una proprietà transitiva.

⇒ Diciamo che due sistemi in equilibrio termico hanno la stessa temperatura (per definizione).

1.1.5 Termometri:

→ Come posso misurare operativamente la temperatura?

- 1) Costruisco un sistema (termometro) che presenta variazioni importanti di una sua proprietà (caratteristica termometrica) quando è in equilibrio termico con sistemi a temperature diverse

termometro

caratteristica termometrica

Esempi: colonna di mercurio	→	lunghezza (L)
filo conduttore	→	resistenza (R)
gas a V costante	→	pressione (P)
termocoppia	→	forza elettromotrice
lamina bimetallica	→	difformazione

2) assumo una relazione lineare tra la caratteristica termometrica e la temperatura.

3) taro il termometro utilizzando uno o più punti fissi.

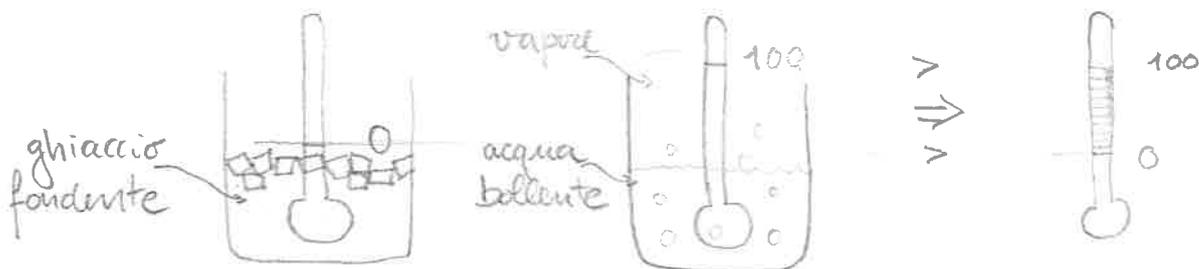
Esempio: - termometro a mercurio (L)

- scala Celsius ($^{\circ}\text{C}$): $T_c = aL + b$

- 2 punti fissi: punto di fusione dell'acqua a atm:
→ 0°C

punto di ebollizione dell'acqua a atm:
→ 100°C

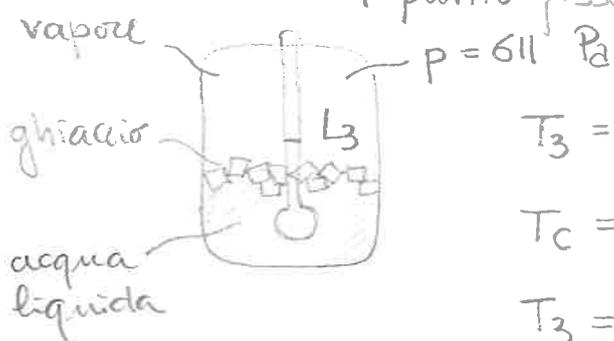
- divido la differenza tra le due lunghezze in 100 parti uguali (scala centigrada)



Altro esempio: - termometro a mercurio (L)

- scala Kelvin (K): $T = aL$

- 1 punto fisso: punto triplo dell'acqua



$$T_3 = aL_3 = 273,16 \text{ K} \Rightarrow a = \frac{273,16 \text{ K}}{L_3}$$

$$T_c = (T - 273,15) ^{\circ}\text{C}$$

$$T_3 = 273,16 \text{ K} = 0,01 ^{\circ}\text{C}$$