



# Fisica Tecnica (Modulo 1)- LM4

## Fisica Tecnica – L23

A.A. 2021-2022





# Lezione n. 4

Energia interna

Temperatura

Scale termometriche



# Energia interna

**Energia totale** di un sistema: **somma di tutte le forme di energia** da esso possedute.

Energie manifeste a livello **macroscopico**: energia **potenziale** ed energia **cinetica**.

Energie **non apprezzabili** a livello **macroscopico**: **ENERGIA INTERNA** – energia **potenziale e cinetica** delle **particelle** microscopiche.

**Atomi ed elettroni** possiedono energie potenziali (**interazioni** tra di loro di tipo **elettrico** oppure **gravitazionale**). Le **molecole** sono dotate inoltre di **energia cinetica** (moti traslazionali, rotazionali e vibrazionali). Gli **elettroni** sono dotati di **moto rotazionale** intorno al proprio asse oltre che intorno al nucleo dell'atomo di appartenenza.

**Energia interna di un sistema**: contenuto globale di **energia a livello microscopico**, indipendentemente dalla posizione occupata nello spazio e dalla sua velocità.

$$E = E_c + E_p + U$$

$E_c$ : energia cinetica del sistema [J];

$E_p$ : energia potenziale del sistema [J];

$U$ : energia interna del sistema [J].

$$e = e_c + e_p + u$$

$e_c$ : energia cinetica specifica del sistema [J/kg];

$e_p$ : energia potenziale specifica del sistema [J/kg];

$u$ : energia interna specifica del sistema [J/kg].

**Temperatura:** indice macroscopico del **contenuto energetico** del sistema a **livello microscopico**.

In particolare dipende dall'**energia cinetica molecolare**.

**Cambiamento di stato** (es: liquido → vapore o viceversa)

**Variazione di energia interna:** i legami tra gli atomi che costituiscono le molecole si spezzano o si ricostituiscono → varia l'**energia potenziale microscopica**.

**Fenomeno isoterma** → ad una modificazione di energia interna del sistema non corrisponde una variazione di temperatura.

Energia termica necessaria ad effettuare i cambiamenti di stato: **CALORE LATENTE**.

**Processo di scambio termico con variazione di temperatura**

**Variazione di energia interna:** variazione di **energia cinetica delle molecole** → ad una modificazione di energia interna del sistema corrisponde una **variazione concorde della temperatura**.

Energia termica che produce variazione di temperatura: **CALORE SENSIBILE**.

**Temperatura:** indice dell'**agitazione molecolare** interna del sistema.

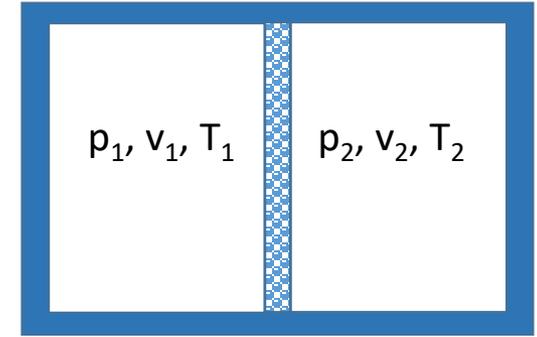
## Definizione di TEMPERATURA – scale termometriche

Contatto termico tra

Serbatoio 1 contenente il **gas 1**

Serbatoio 2 contenente il **gas 2**

$T_1 \neq T_2 \Rightarrow$  Scambio termico tra i due sistemi  $\rightarrow$  equilibrio termico.



### Condizioni ideali

- Parete **DIATERMICA**: **scambio** termico **efficacissimo** (resistenza nulla al passaggio di calore  $\Rightarrow$  velocità infinita) **equilibrio termico** raggiunto in un tempo nullo.
- Parete **ADIABATICA**: **scambio** termico **impossibile** (resistenza infinitamente grande al passaggio di calore)  $\Rightarrow$  **non si raggiunge equilibrio termico**, i due sistemi conservano la **temperatura iniziale**.

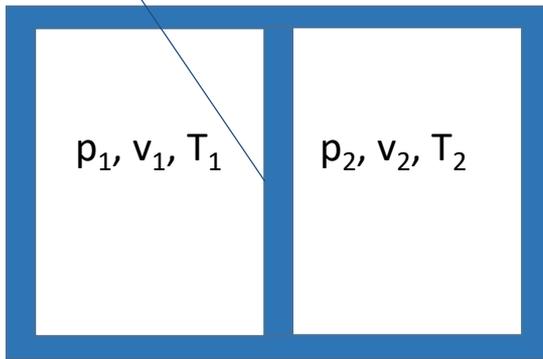
### Condizioni reali

**Non esistono pareti diatermiche o adiabatiche**, sono **condizioni estreme** a cui ci si può avvicinare facendo diminuire o aumentare la resistenza termica del materiale.

Durante il processo **p, v e T cambiano** continuamente **fino all'equilibrio**.

$$\text{Stato di equilibrio: } f(p, v, T) = 0 \quad \Rightarrow \quad T = f(p, v)$$

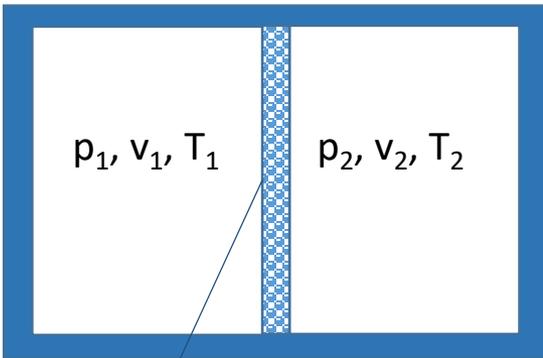
adiabatica



**Parete di separazione adiabatica:** scambio termico tra 1 e 2 nullo  $\rightarrow$  **1 e 2** mantengono ciascuno la propria **temperatura iniziale.**

$$T_1 \neq T_2$$

$$T_1 = f(p_1, v_1) \quad T_2 = f(p_2, v_2)$$



**Parete di separazione diatermica:** scambio termico tra 1 e 2 efficacissimo  $\rightarrow$  1 e 2 raggiungono istantaneamente la condizione di equilibrio.

$$T_1 = f(p_1, v_1) = T_2 = f(p_2, v_2)$$

diatermica

adiabatica

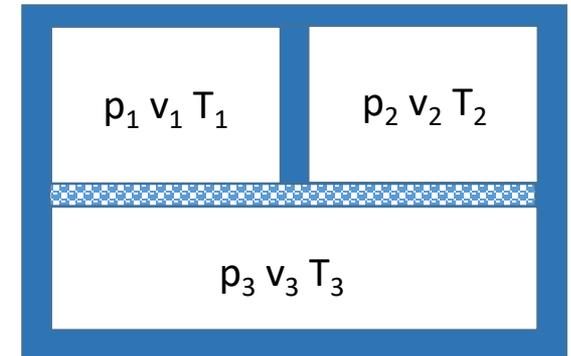
La **temperatura del sistema 1** può essere espressa **in funzione** delle variabili **p e v del sistema 2** e viceversa.

**Pareti di separazione tra 1 e 3 e tra 2 e 3 diatermiche**

**Parete di separazione tra 1 2 adiabatica**

$$T_1 = f(p_1, v_1) = T_3 = f(p_3, v_3)$$

$$T_2 = f(p_2, v_2) = T_3 = f(p_3, v_3)$$

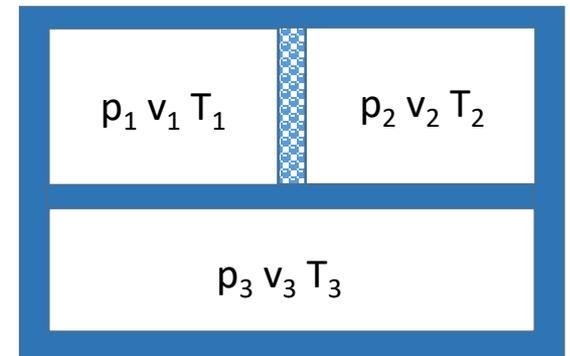


**Pareti di separazione tra 1 e 3 e tra 2 e 3 adiabatiche**

**Parete di separazione tra 1 2 diatermica**

**Tra 1 e 2 non avviene nessuno scambio termico:**

$$T_1 = T_2$$



## Principio zero della termodinamica

“Se due sistemi sono in equilibrio termico con un terzo sistema, lo sono anche tra di loro ed hanno in comune la proprietà **temperatura**”.

$$\begin{array}{l} T_2 = T_3 \\ T_1 = T_3 \end{array} \Rightarrow T_1 = T_2$$

Se il **sistema 1** ed il **sistema 2** sono **in equilibrio con il sistema 3** si può scrivere:

$$T_1 = f(p_3, v_3)$$

$$T_2 = f(p_3, v_3)$$

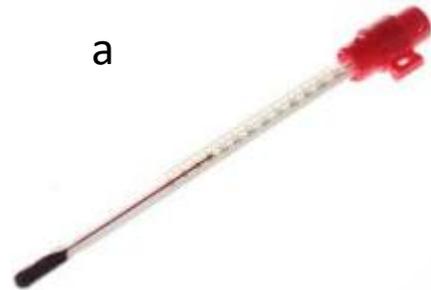
Le **temperature dei sistemi 1 e 2** possono essere **misurate in funzione** delle variabili termodinamiche **del sistema 3**. Così con **ogni altro sistema in equilibrio** con il sistema 3.

Il **sistema 3** può essere usato come **strumento di misura della temperatura**.

**$p_3$  e  $v_3$**  sono dette **variabili termometriche**.

**Numerosi dispositivi** adottabili per la misura della temperatura: **termometri a colonna di liquido (a), termocoppie (b), termoresistenze (c), termistori (d), termografia (e) etc...**

La termografia consente una misura areale e non puntuale, ma presenta costi notevolmente superiori.



Hp: **relazione lineare** (la più semplice) **tra temperatura e variabile termometrica**

$$T = a \cdot x$$

x: generica variabile termometrica

**Termometro a gas** con variabili termometriche pressione p e volume V:

**Volume costante**  $\Rightarrow$  variabile termometrica: pressione **p**;

**Pressione costante**  $\Rightarrow$  variabile termometrica: volume **V**.

**Dipendenza lineare** tra temperatura e variabile termometrica **pienamente soddisfatta** dal **termometro a gas a volume costante** (variabile termometrica **pressione p**).

- **Due metodi** per la **determinazione di a**

## **I METODO**

Due punti fissi di riferimento riproducibili in laboratorio:

**PFN:** punto di  **fusione normale** – stato termodinamico dell’acqua pura nel passaggio dallo stato solido a quello liquido alla pressione atmosferica.

**PEN:** punto di  **ebollizione normale** – stato termodinamico dell’acqua pura nel passaggio dallo stato liquido a quello di vapore alla pressione atmosferica.

$X_v$ : valore assunto dalla variabile termometrica in corrispondenza del **PEN**

$T_v$ : valore della temperatura; in corrispondenza del **PEN**

$$T_v = a \cdot x_v$$

$X_g$ : valore assunto dalla variabile termometrica in corrispondenza del **PFN**

$T_g$ : valore della temperatura; in corrispondenza del **PFN**

$$T_g = a \cdot x_g$$

Combinando le due relazioni si ottiene:

$$T_v - T_g = a \cdot (x_v - x_g) \Rightarrow a = \frac{T_v - T_g}{(x_v - x_g)}$$

Essendo:

$$T(x) = a \cdot x$$

si ottiene:

$$T(x) = \frac{T_v - T_g}{(x_v - x_g)} \cdot x$$

Si definisce **pari a 100** la differenza  $T_v - T_g$  e si ottiene:

$$T(x) = 100 \cdot \frac{x}{(x_v - x_g)}$$

Termometro a **gas a volume costante** (variabile termometrica: **pressione**)

$$T(p) = 100 \cdot \frac{p}{(p_v - p_g)}$$

**Termometro a gas a volume costante tanto più ripetitivo** nelle misure, indipendentemente dal tipo di gas scelto, **quanto più bassa è la pressione** del gas nel bulbo termometrico.

**Gas molto rarefatto** → pressione molto bassa → **legami** tra le molecole e **interazioni** tra le particelle molto deboli.

Comportamento da **“gas ideale o perfetto”**

$$T = \lim_{p_{gas} \rightarrow 0} 100 \cdot \frac{p}{p_v - p_g} = 100 \cdot \lim_{p_{gas} \rightarrow 0} \frac{p}{p_v - p_g}$$

$p_{gas}$ : pressione del gas nel bulbo termometrico.

L'espressione scritta **definisce la temperatura** del termometro a gas ideale a volume costante che **si misura in K**.

La **temperatura di fusione normale** dell'acqua (**PFN**) a questo punto vale:

$$T_g = 100 \cdot \lim_{p_{gas} \rightarrow 0} \frac{p_g}{p_v - p_g} = 100 \cdot \lim_{p_{gas} \rightarrow 0} \frac{1}{\frac{p_v}{p_g} - 1}$$

Le più **accurate misure sperimentali** di tale grandezza hanno prodotto il valore seguente:

$$T_g = 273,15K$$

**Punto di zero della scala centigrada o Celsius.**

Questa scala prevede inoltre la **stessa ampiezza del singolo grado** rispetto a quella della **scala Kelvin (K)**.

Naturalmente, in corrispondenza del **punto di ebollizione normale (PEN)** si ha:

$$T_v = T_g + 100 = 373,15 K$$

	Scala Celsius	Scala Kelvin
PEN	100 °C	373,15 K
PFN	0 °C	273,15 K
	-273,15 °C	0 K

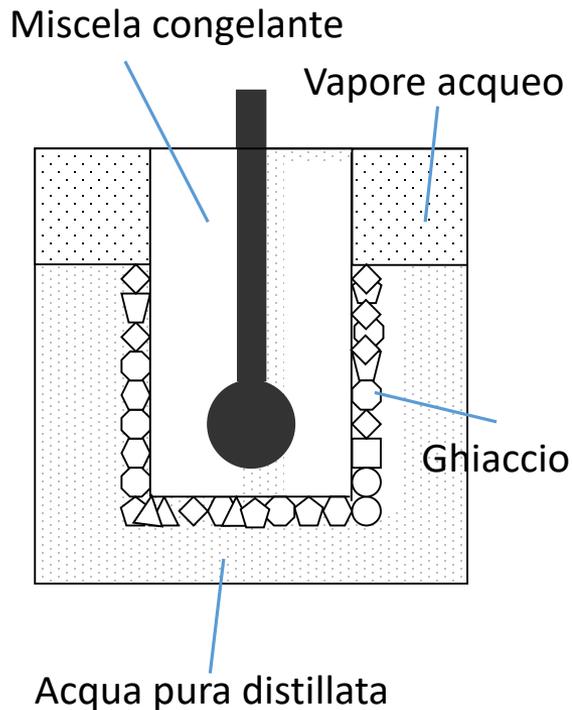
**Relazione tra scala Celsius e scala Kelvin**

$$t(^{\circ}C) = T(K) - 273,15$$

**ZERO ASSOLUTO**

## II METODO

Un solo punto fisso riproducibile, il punto **triplo dell'acqua**  $P_T$ : stato di **coesistenza** della fase **solida**, di quella **liquida** e di quella **gassosa**.



Recipiente contenente **acqua pura distillata** con una **cavità interna**.

Mediante una pompa da vuoto si **estrae l'aria** e si sigilla il recipiente.

**Evaporazione** di parte **dell'acqua** sul pelo libero del liquido.

La pressione che si instaura è dovuta al solo vapore acqueo e dipende dalla temperatura.

Nella cavità interna: **miscela congelante** che provoca la **formazione di uno strato di ghiaccio**

Si inserisce il **bulbo di un termometro a gas**.

**Fusione** di un sottile strato di ghiaccio **sulla parete** (il bulbo si trova ad una temperatura maggiore di quella della miscela congelante)

**Coesistenza delle fasi solida, liquida e vapore**: stato termodinamico denominato **punto triplo**.

Si fissa la temperatura del **punto triplo**:

$$T = 273,16 \text{ K}$$

$x_T$ : valore assunto dalla **variabile termometrica** in corrispondenza del **punto triplo**

$$T_T = a \cdot x_T \Rightarrow 273,16 = a \cdot x_T \Rightarrow a = \frac{273,16}{x_T}$$

$$T(x) = a \cdot x \Rightarrow T(x) = 273,16 \frac{x}{x_T}$$

**Termometro a gas a volume costante a comportamento ideale:**

$$T(p) = 273,16 \cdot \lim_{p_{gas} \rightarrow 0} \frac{p}{p_T}$$

Attuale **definizione operativa della temperatura**, misurabile in K.

Definizione di Kelvin [K]: ampiezza dell'intervallo di temperatura pari alla **frazione 1/273,16 della temperatura del punto triplo** dell'acqua.

La **pressione** al valore di saturazione del punto triplo è  **$p_T = 0,006 \text{ atm}$** .

Nel caso dell'**acqua**, **umentando** la **pressione**, **diminuisce** la **temperatura** di fusione.

Questa osservazione conferma che la scelta del **valore della temperatura del punto triplo** dell'acqua risulta **in accordo** con il valore della **temperatura di fusione normale** pari a 273,15 K, cioè 0,01 K inferiore alla  $T_T$ .

L'**acqua** è una delle pochissime sostanze il cui **volume diminuisce** durante un processo di **fusione**, di conseguenza **un aumento della pressione favorisce la fusione** abbassando la temperatura a cui si realizza.

Il **punto triplo** dell'acqua è quindi definito dai seguenti valori di pressione e temperatura:

$$T_T = 273,16K$$

$$t_T = 0,01^\circ C$$

$$p_T = 0,006atm$$