



# Fisica Tecnica (Modulo 1)- LM4

## Fisica Tecnica – L23

A.A. 2021-2022





# Lezione n. 10

Stati di aggregazione della materia  
Cambiamenti di stato



Tre **stati di aggregazione** della materia o **fasi**: ***solido, liquido e gassoso***.

**Fase solida**: forma e volume propri → **legami rigidi** tra le particelle elementari

**Fase liquida**: volume proprio ma non forma propria → **legami più deboli** tra le particelle elementari

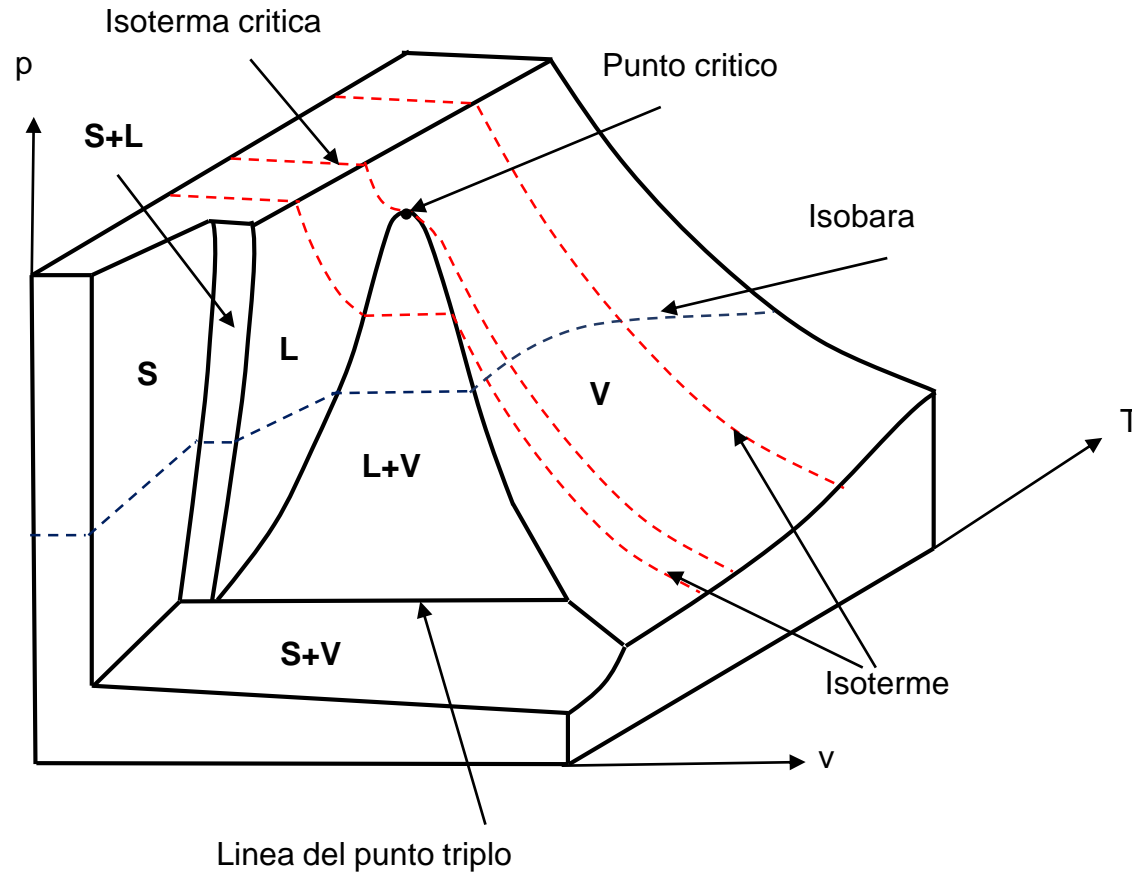
**Fase gassosa**: né volume né forma propri → **legami molto deboli** tra le particelle.

**Passaggi di stato** attuabili **attraverso processi di scambio termico (calore latente)**

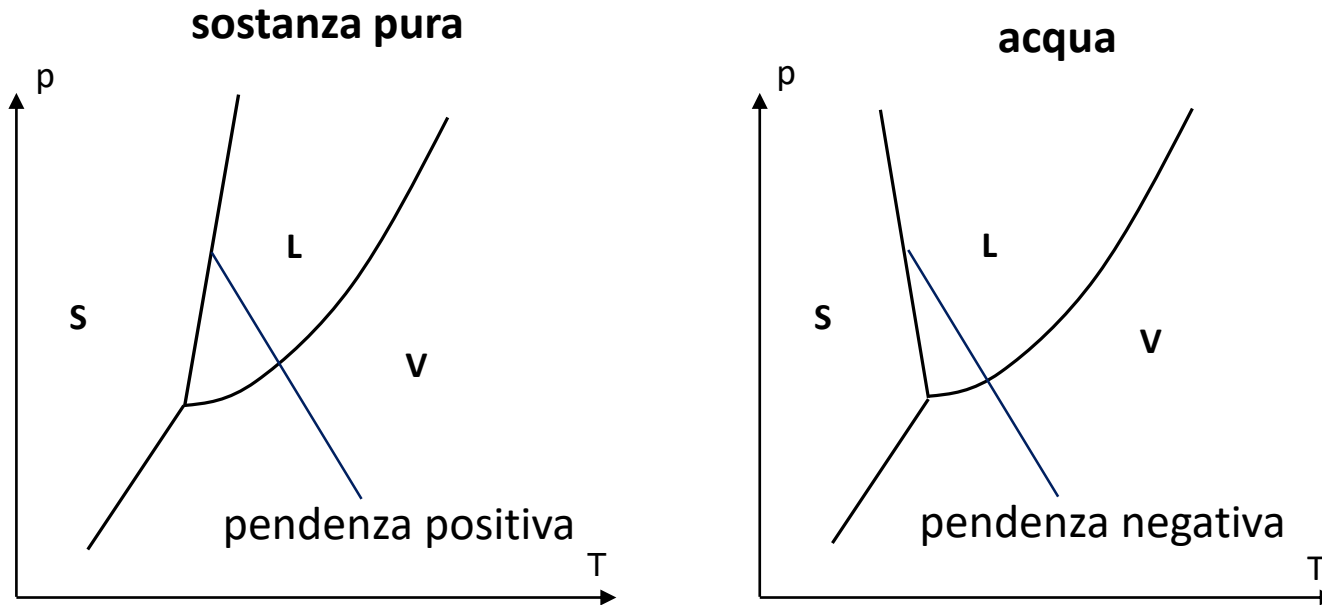
In tutti i cambiamenti di stato: **temperatura e pressione costanti**

- **Fusione**: solido → liquido
- **Solidificazione**: liquido → solido
- **Vaporizzazione**: liquido → vapore
- **Condensazione**: vapore → liquido
- **Sublimazione**: solido → vapore
- **Brinamento**: vapore → solido

Esempio di **diagramma p-v-T** degli **stati di aggregazione della materia** in cui è possibile studiare i vari **processi di cambiamento di stato**



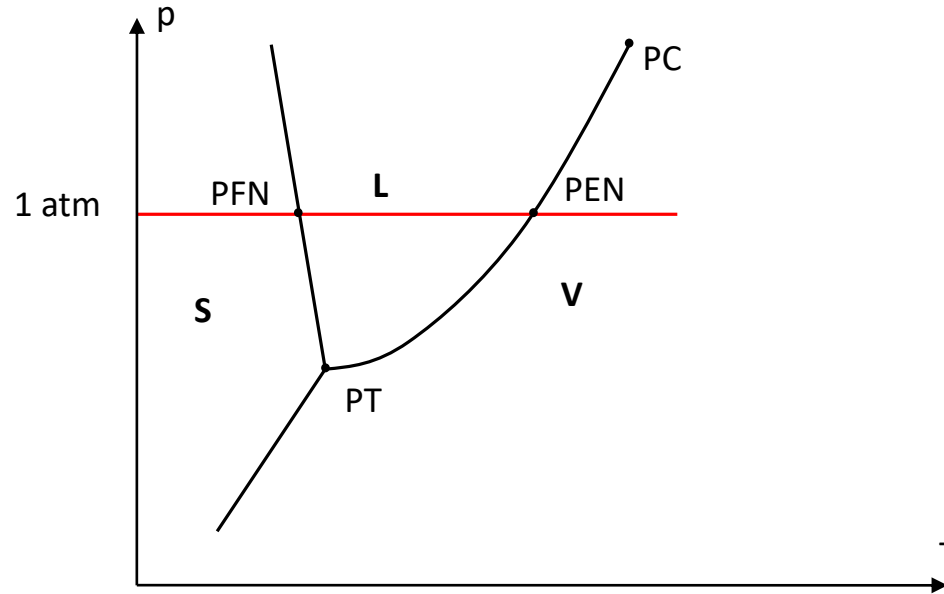
## Proiezione sul diagramma $p$ - $T$ del **diagramma** tridimensionale **degli stati di aggregazione** della materia



**Comportamento anomalo dell'acqua: aumenta di volume durante la solidificazione e diminuisce durante la fusione.**

Un **aumento di pressione** va a **vantaggio della fusione** che avviene a temperature più basse, mentre una **diminuzione di pressione favorisce la solidificazione** che avviene a temperature più elevate.

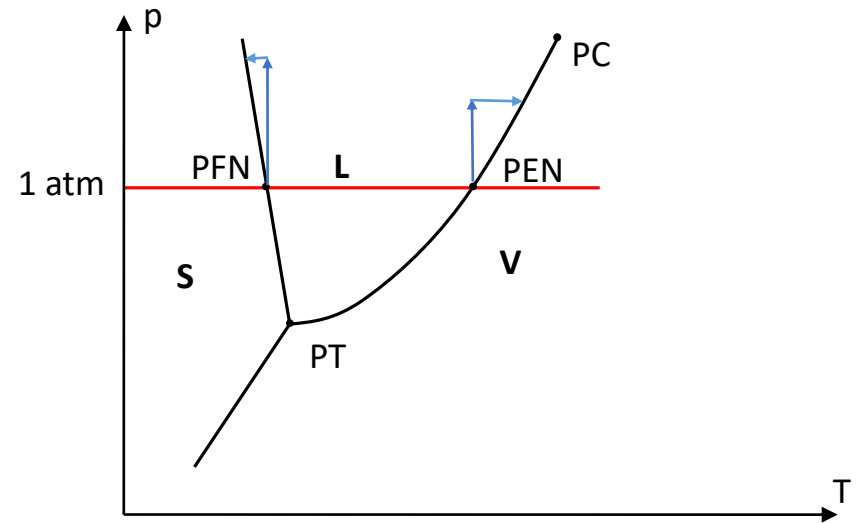
## Diagramma p -T dell'acqua



Punto di <b> fusione normale (PFN):</b>	$T = 273,15 \text{ K}$	$p = 1 \text{ atm (} 101325 \text{ Pa)}$
Punto di <b> ebollizione normale (PEN):</b>	$T = 373,15 \text{ K}$	$p = 1 \text{ atm (} 101325 \text{ Pa)}$
Punto <b> triplo (PT):</b>	$T = 273,16 \text{ K}$	$p = 6 \times 10^{-3} \text{ atm (} 607,95 \text{ Pa)}$
Punto <b> critico (PC)</b>	$T = 647,3 \text{ K}$	$p = 2,21 \times 10^7 \text{ Pa}$

## Regola di **Gibbs** o **delle fasi**

$$V = C - F + 2$$



- Zone **S**, **L** e **V**:  $V = C - F + 2 = 1 - 1 + 2 = 2$

**Pressione e temperatura possono variare indipendentemente l'una dall'altra.**

- Punti **PFN** e **PEN**:  $V = C - F + 2 = 1 - 2 + 2 = 1$

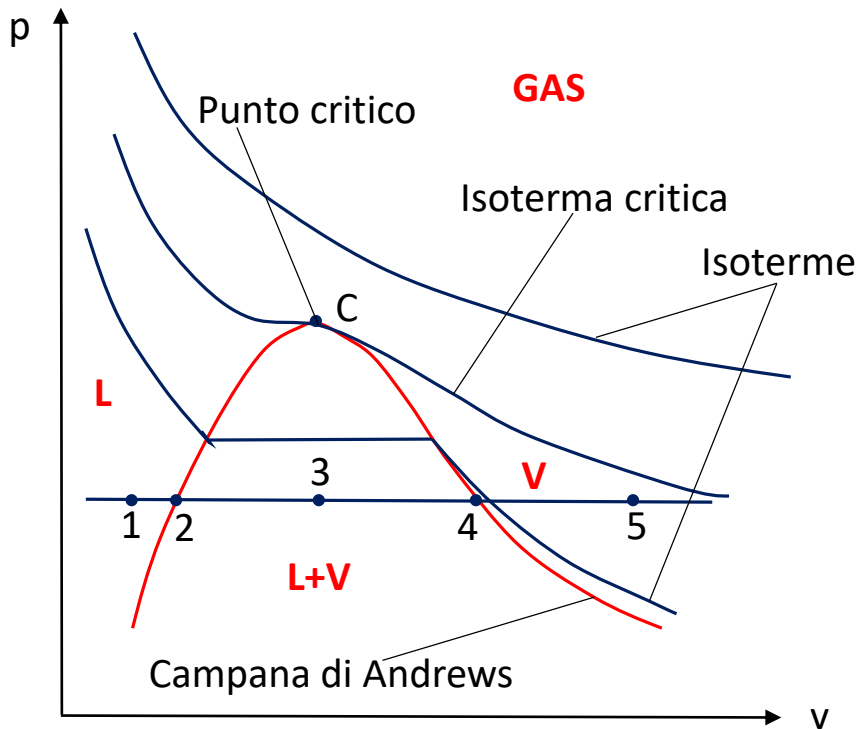
Variando la **temperatura**, si deve variare corrispondentemente la **pressione**.

- Punto **PT**:  $V = C - F + 2 = 1 - 3 + 2 = 0$

**Nessun parametro** di stato può essere **modificato indipendentemente dagli altri**.

Al di sopra del punto critico **PC non è più possibile il passaggio** vapore → liquido:  
**sostanza sempre allo stato gassoso**

**Diagramma p–v di una sostanza pura**  
(es. acqua)



**Punto 1:**  $V = C - F + 2 = 1 - 1 + 2 = 2$

**Zona bivalente - liquido sottoraffreddato:**

La sostanza si trova ad una temperatura minore di quella di saturazione alla sua stessa pressione

**Punto 2:**  $V = C - F + 2 = 1 - 2 + 2 = 1$

**Zona monovariante - liquido saturo:**

Inizia la trasformazione  $L \rightarrow V$

**Punto 3:**  $V = C - F + 2 = 1 - 2 + 2 = 1$

**Zona monovariante bifase:**

È in atto la trasformazione  $L \rightarrow V$

**Punto 4:**  $V = C - F + 2 = 1 - 2 + 2 = 1$

**Zona monovariante – vapore saturo secco:**

È stata completata la trasformazione  $L \rightarrow V$

**Punto 5:**  $V = C - F + 2 = 1 - 1 + 2 = 2$

**Zona bivalente – vapore surriscaldato:**

La sostanza si trova ad una temperatura maggiore di quella di saturazione alla sua stessa pressione



## Titolo di vapore in una miscela bifase liquido-vapore

$$x = \frac{M_V}{M_V + M_L} = \frac{M_V}{M}$$

$$0 \leq x \leq 1$$

$M_V$ : massa del vapore nella miscela (kg)

$M_L$ : massa del liquido nella miscela (kg)

$M$ : massa totale della miscela (kg)

$$V = V_L + V_V = v_L \cdot M_L + v_V \cdot M_V \Rightarrow$$

$$v \cdot M = v_L \cdot (M - M_V) + v_V \cdot M_V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (v - v_L) \cdot M = (v_V - v_L) \cdot M_V \Rightarrow x = \frac{M_V}{M} = \frac{(v - v_L)}{(v_V - v_L)}$$

$V$ : volume totale della miscela ( $m^3$ )

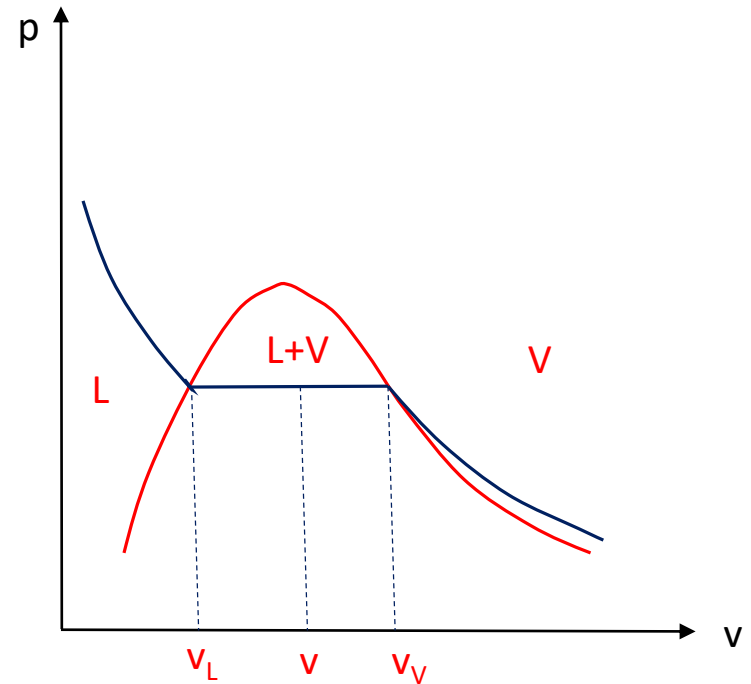
$V_V$ : volume occupato dal vapore ( $m^3$ )

$V_L$ : volume occupato dal liquido ( $m^3$ )

$v$ : volume specifico della miscela ( $m^3/kg$ )

$v_V$ : volume occupato dall'unità di massa del vapore ( $m^3/kg$ )

$v_L$ : volume occupato dall'unità di massa del liquido ( $m^3/kg$ )



$$v = v_L \Rightarrow x = 0$$

$$v = v_V \Rightarrow x = 1$$