

**Sostanze pure:
Fasi, miscele, cambiamenti di fase**

Lezione 27/10/2021

Contenuti della lezione

- Concetto di sostanza pura
- Fisica delle trasformazioni con cambiamento di fase
- Miscele sature di liquido saturo e vapore

Stati della materia

Una **sostanza pura** è una sostanza la cui composizione chimica non varia.

Acqua



Ossigeno



Aria



1. Una **sostanza pura** non deve necessariamente essere composta da un'unica sostanza.
2. Anche una **miscela di più sostanze** può essere considerata una sostanza pura purché abbia una composizione chimica uniforme

SOSTANZE PURE

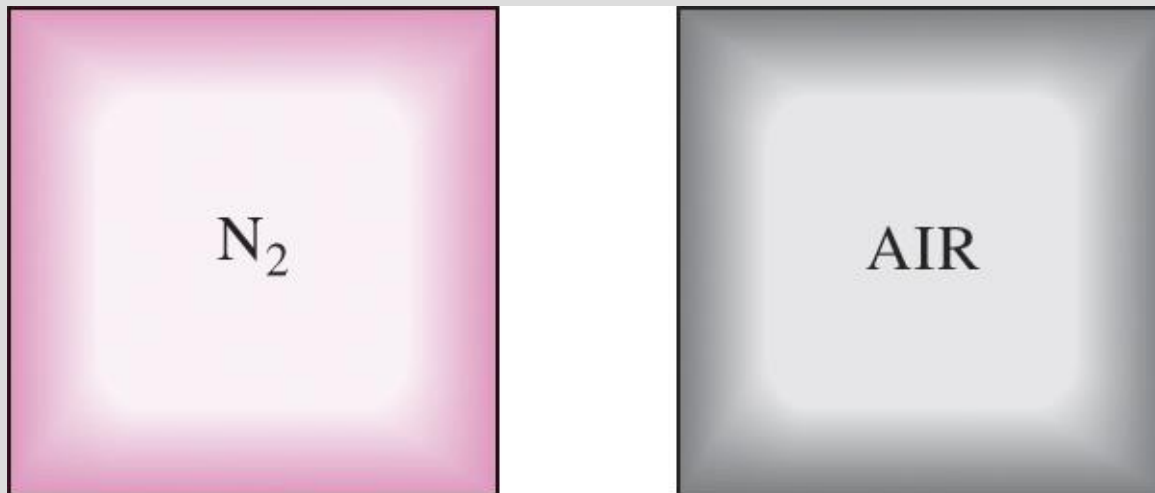
ARIA

L'aria è una miscela di diversi gas, ma è considerata una sostanza pura perché ha una composizione chimica uniforme

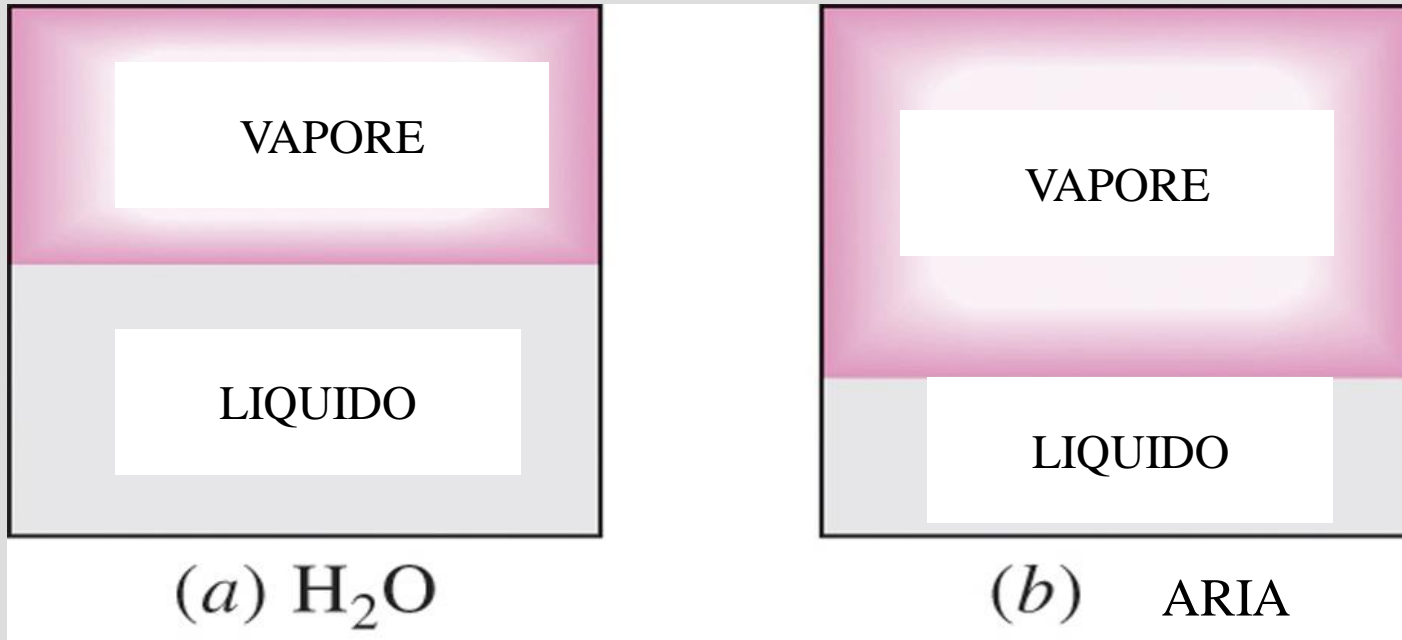
AZOTO gassoso

Sostanza pura ad un componente

Azoto gassoso e aria sono sostanze pure.



SOSTANZE PURE



- a) Una miscela di acqua liquida e acqua gassosa (vapor d'acqua) è una sostanza pura
- b) Una miscela di aria liquida e di aria gassosa non è sostanza pura perchè le due fasi hanno composizione chimiche diverse. Ciò accade perchè ad una data pressione i gas presenti nell'aria hanno diverse temperature di condensazione

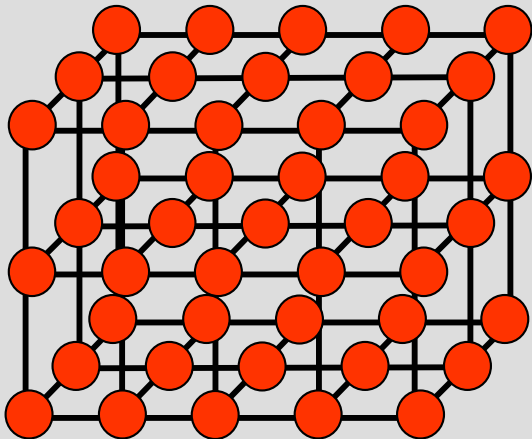
Fasi

La **fase** è l'insieme delle parti omogenee del sistema aventi lo stesso stato fisico.

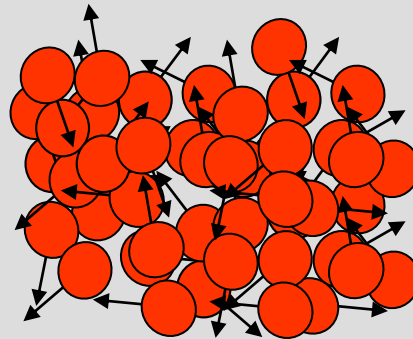
Una sostanza pura può trovarsi in diverse fasi.



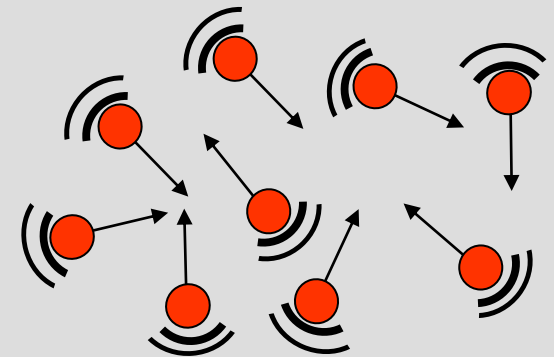
solida



liquida



aeriforme



FASI DI UNA SOSTANZA PURA

Forze di coesione: tendono a legare le particelle (atomi, molecole, ioni), che formano le varie sostanze, le une alle altre.

L'energia con cui le particelle sono legate tra loro, dipende dalla natura del legame chimico che intercorre tra di esse (**energia di coesione**).

In aggiunta all'energia di coesione, tutte le particelle che formano la materia possiedono anche **un'energia cinetica**, ovvero di movimento, che non dipende dal legame chimico tra di esse, ma unicamente dalla temperatura.

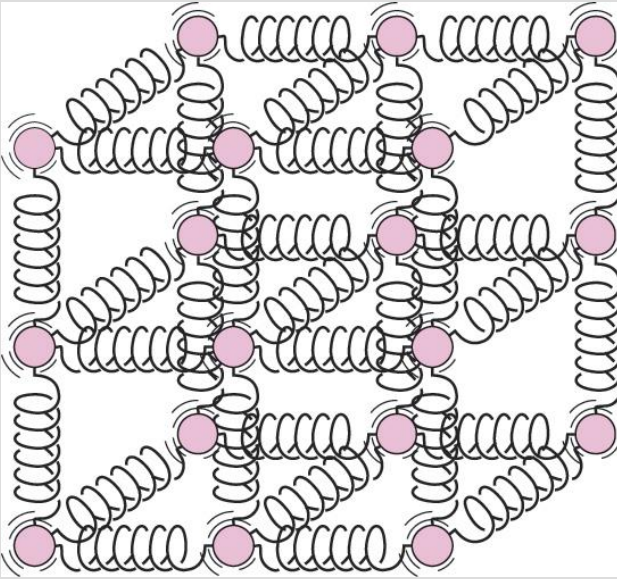
L'**energia cinetica**, facendo agitare le particelle, tende a farle allontanare tra loro, fenomeno dimostrato anche dal fatto che, all'aumentare della temperatura, tutti i corpi si dilatano.

IMPORTANTE

Lo stato fisico assunto dalla materia dipende in definitiva da quale delle due forme di energia (di coesione oppure cinetica) prevale sull'altra.

FASI DI UNA SOSTANZA PURA

SOLIDI



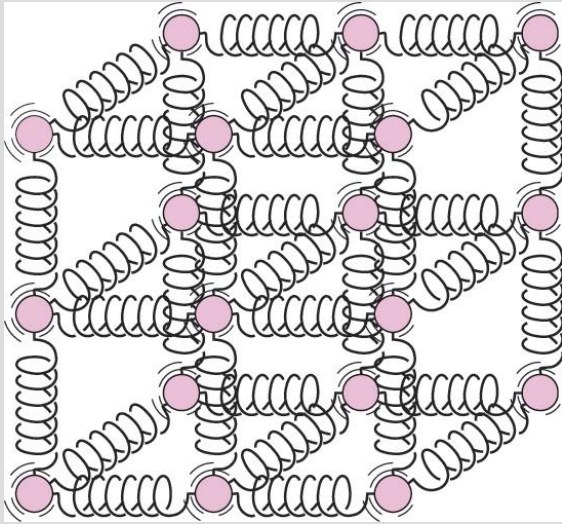
Le molecole in un solido rimangono nella propria posizione a causa di **forze intermolecolari** che agiscono come molle.

Forze attrattive che tendono ad avvicinare le molecole

Forze repulsive che tendono ad allontanare le molecole

La risultante è una forza che tende a mantenere costante la distanza tra le molecole.

SOLIDI



Forze attrattive che tendono ad avvicinare le molecole

Forze repulsive che tendono ad allontanare le molecole

La risultante è una forza che tende a mantenere costante la distanza tra le molecole.

Le molecole di un solido sono disposte in un reticolo tridimensionale che si ripete in tutto il corpo.

Poiché le distanze sono piccole le forze attrattive sono grandi tanto da mantenere le molecole in posizioni fisse all'interno del solido.

Tuttavia, le forze di attrazione si trasformano in forze di repulsione non appena la distanza tra le molecole tende ad annullarsi, impedendo così che queste si compenetrino l'un l'altra.

Le molecole non possono muoversi l'una rispetto all'altra, ma oscillano intorno alla loro posizione di equilibrio con una velocità che dipende dalla temperatura.

FASI DI UNA SOSTANZA PURA

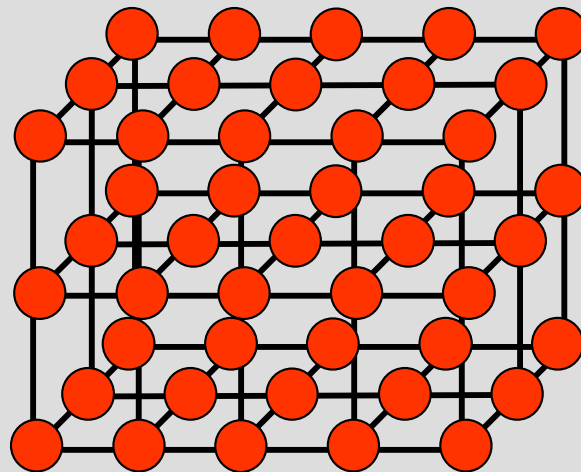
Stato solido:

L'**energia di coesione** è **nettamente** prevalente su quella cinetica

Le **particelle** sono strettamente legate le une alle altre, tanto da occupare delle posizioni fisse nello spazio.

Il movimento è limitato a piccole oscillazioni intorno a queste posizioni.

I solidi hanno pertanto volume e forma propri.

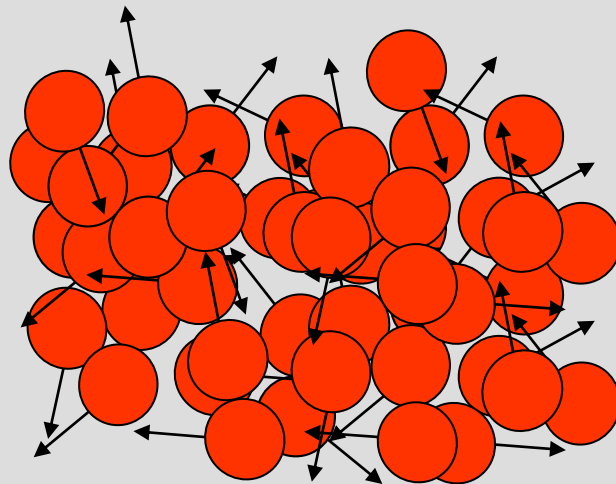


FASI DI UNA SOSTANZA PURA

Stato liquido:

L'energia di coesione prevale ancora su quella di movimento, ma è minore che nei solidi.

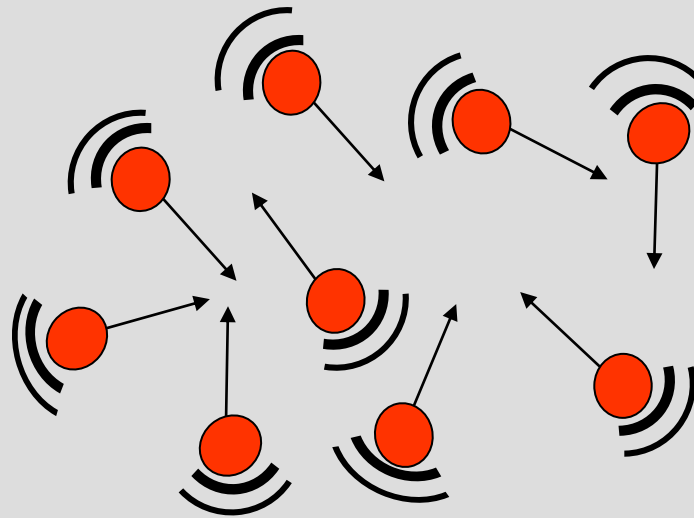
Le particelle del liquido possono scorrere le une sulle altre, variando così la forma, ma rimanendo però sempre a contatto tra loro e circa alla stessa distanza.



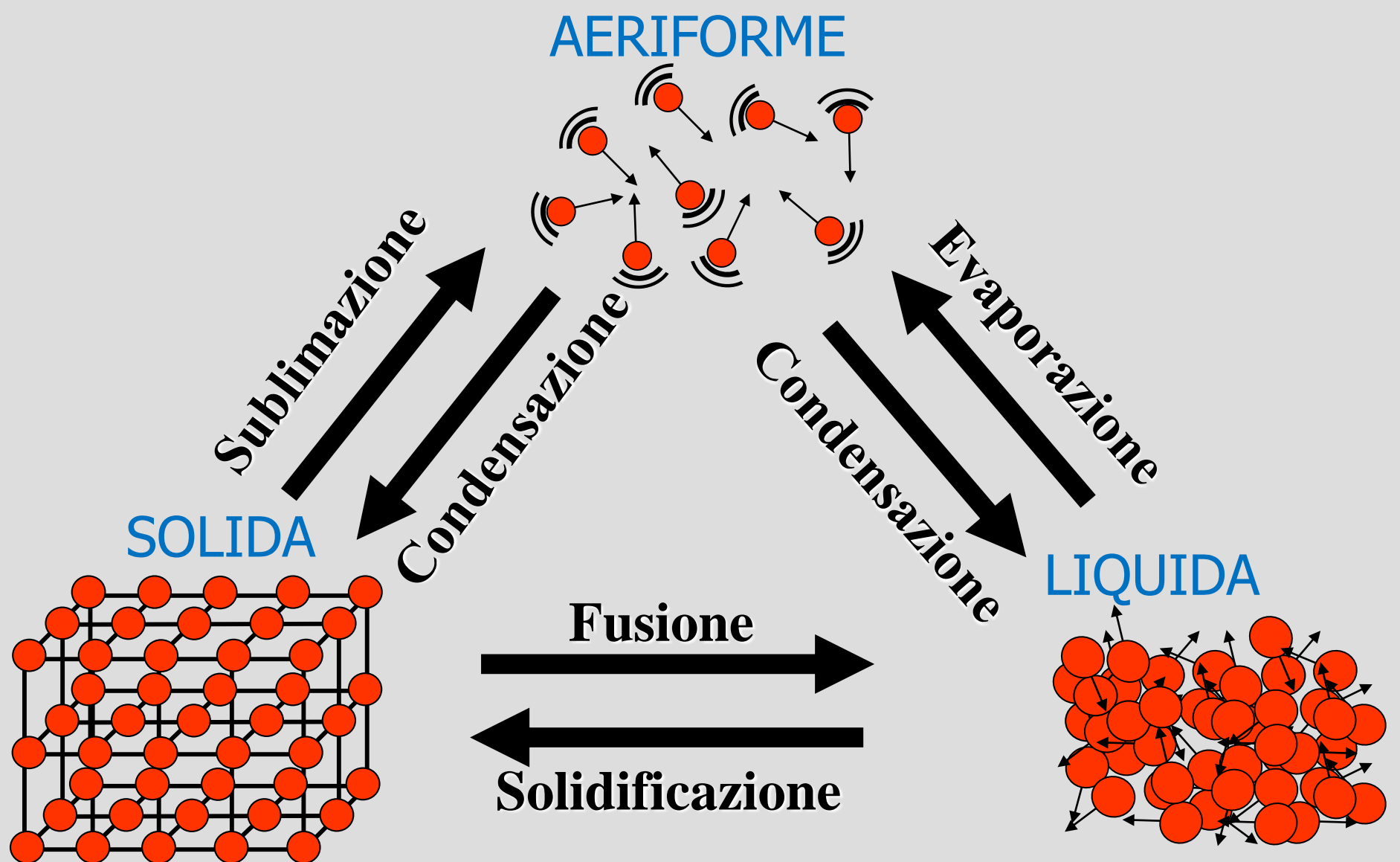
FASI DI UNA SOSTANZA PURA

Stato gassoso:

l'energia cinetica prevale su quella di coesione e le particelle sono del tutto separate le une dalle altre e libere di muoversi in tutto lo spazio a loro disposizione. I gas non hanno quindi né forma né volume proprio, risultando comprimibili

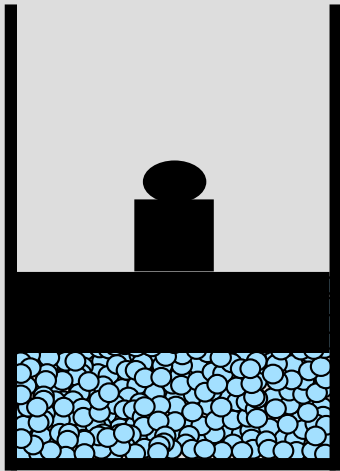


Passaggi di fase



Si consideri un sistema pistone-cilindro contenente una sostanza pura, al quale viene somministrato calore a pressione costante (trasformazione isobara)

Il sistema è inizialmente nello stato A (fase solida)

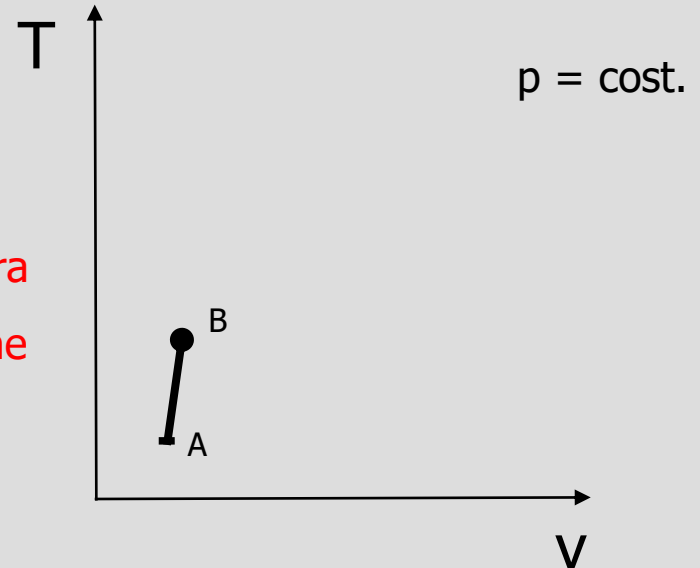


Calore

$$T_B > T_A$$

$$V_B > V_A$$

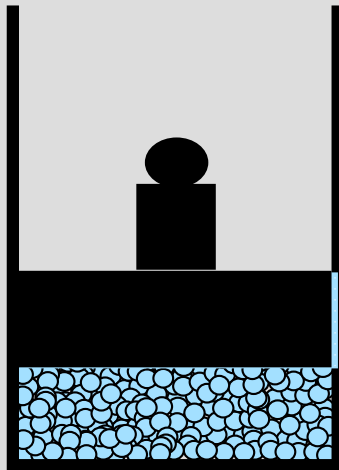
T_B temperatura
di liquefazione



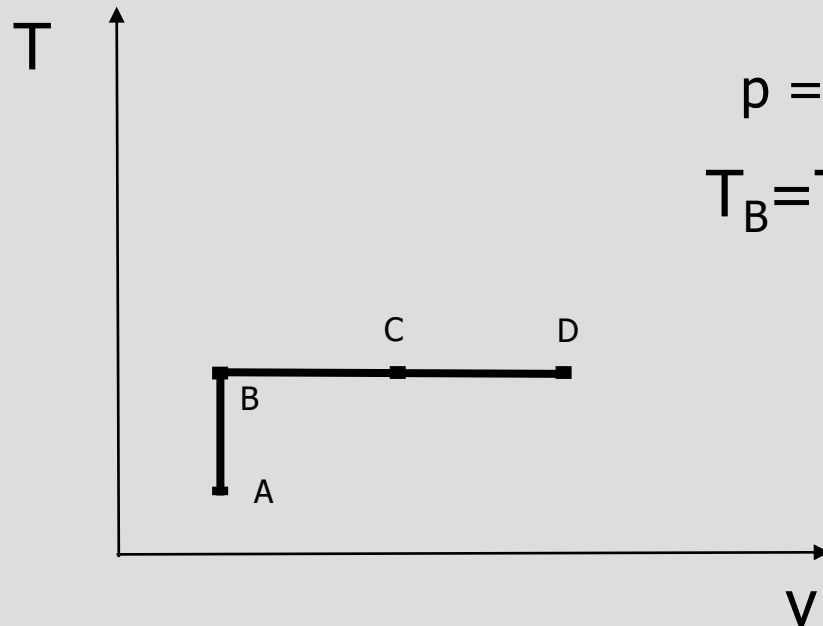
Raggiunto lo stato B la sostanza in fase solida comincia a **liquefarsi (fondersi)**.

Nello stato C sono presenti la fase liquida e la fase solida. Durante questa trasformazione aumenta la quantità di sostanza in fase liquida e diminuisce quella in fase solida. La trasformazione termina quando l'ultima particella di solido liquefa. Il processo è **isotermo** e **isobaro**.

D: stato liquido



Calore



$$p = \text{cost.}$$

$$T_B = T_C = T_D$$

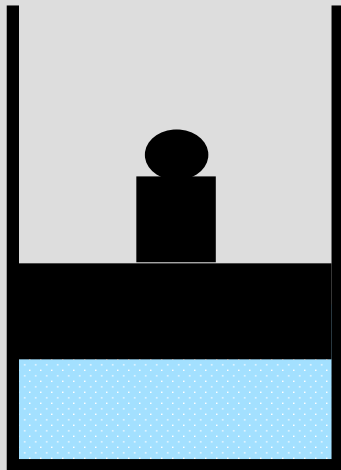
Raggiunto lo stato D la sostanza è in fase liquida e subisce un aumento di temperatura fino al punto E.

Inoltre è possibile osservare un leggero incremento del volume

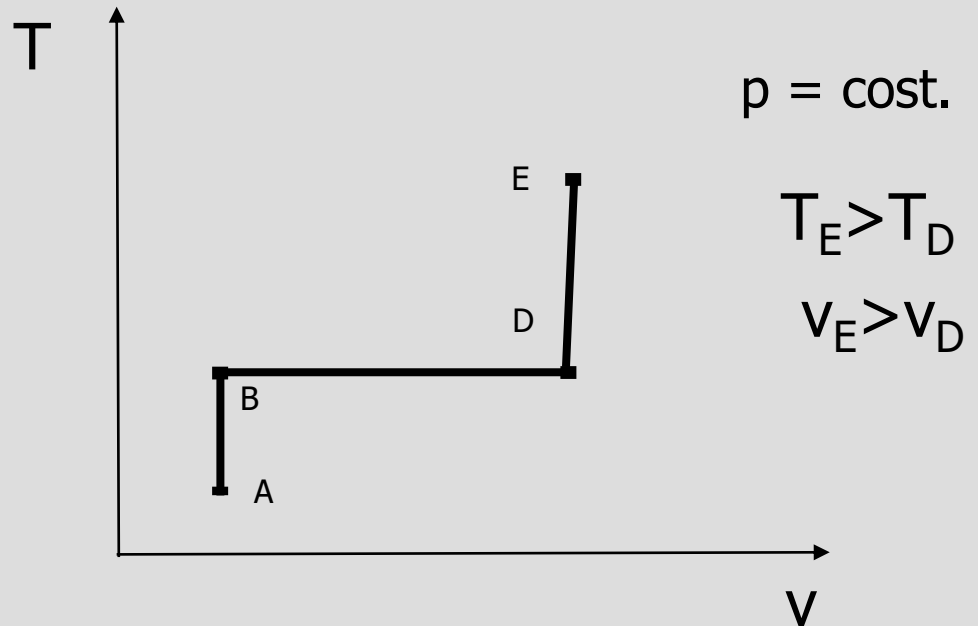
Dallo stato D allo stato E: **liquido sottoraffreddato**

L'acqua si trova in fase liquida ed in **E** è in procinto di evaporare.

Si parla di **liquido saturo** in E



Calore



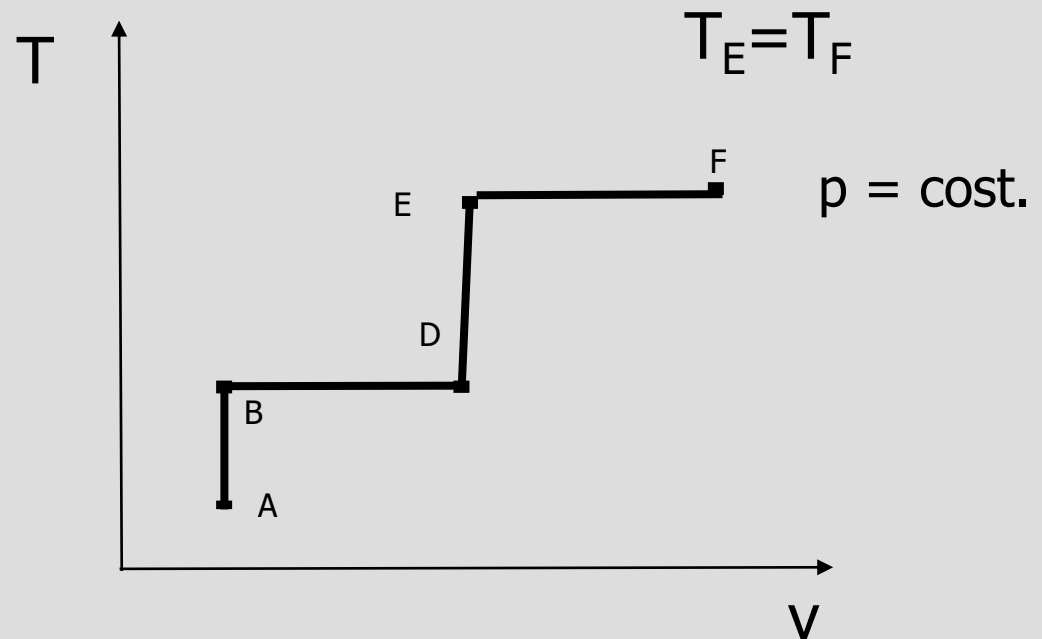
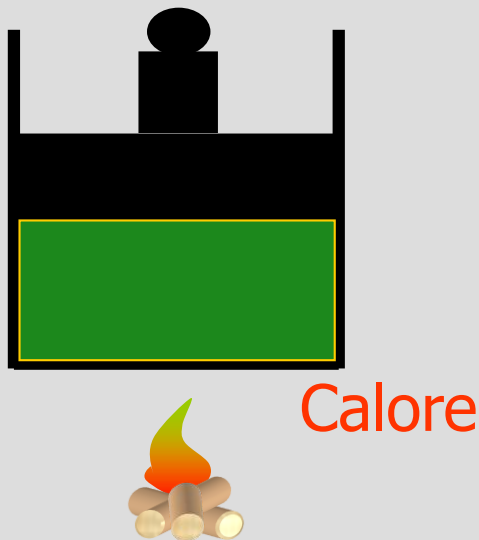
Raggiunto lo stato E la sostanza in fase liquida comincia ad **evaporare**.

LIQUIDO SATURO.

Ogni ulteriore somministrazione di calore determinerà la vaporizzazione del liquido

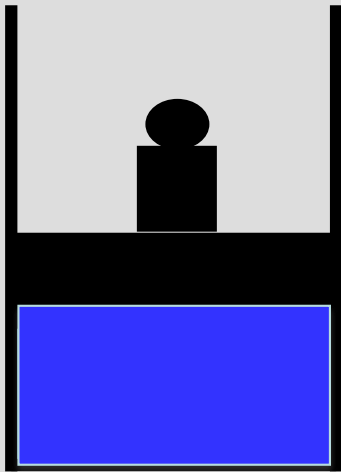
Sono presenti la fase liquida e la fase gassosa. Durante questa trasformazione aumenta la quantità di sostanza in fase gassosa e diminuisce quella in fase liquida. La trasformazione termina quando l'ultimo goccia di acqua evapora. Il processo è **isotermo** e **isobaro**.

Miscela satura di liquido e vapore

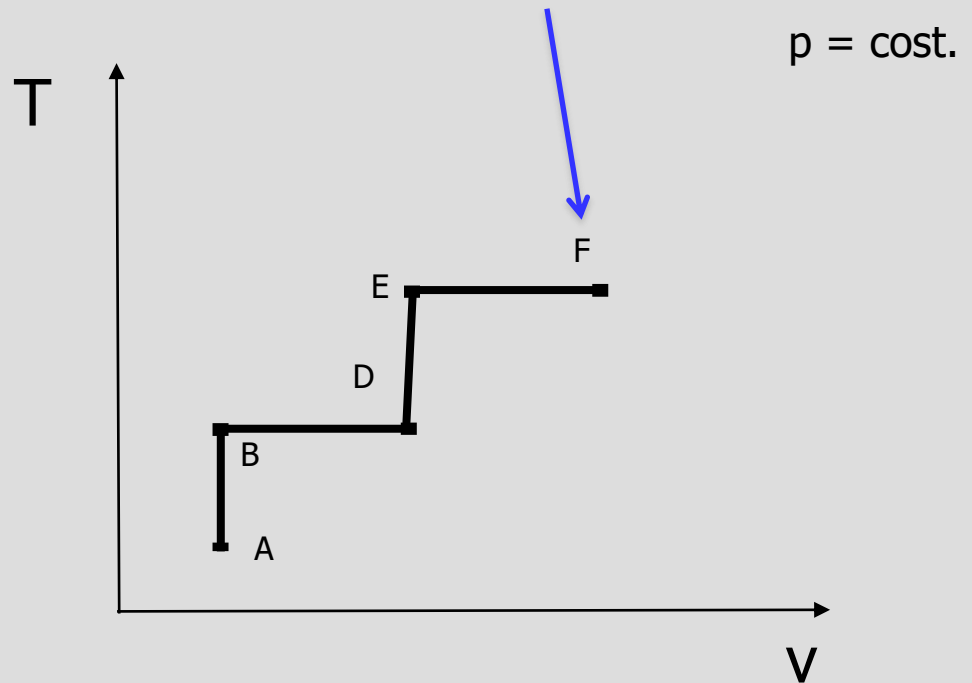


Raggiunto lo stato F la sostanza è vapore saturo

Durante questa trasformazione aumenta la quantità di sostanza in fase gassosa e diminuisce quella in fase liquida. La trasformazione termina quando l'ultimo goccia di liquido evapora (Stato F).

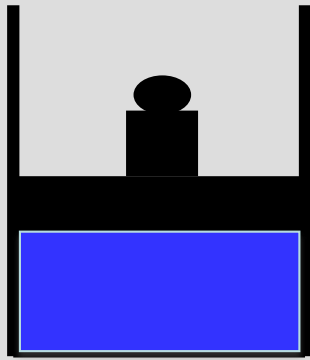


Calore



Raggiunto lo stato F la sostanza è **vapore saturo**

Durante questa trasformazione aumenta la quantità di sostanza in fase gassosa e diminuisce quella in fase liquida. La trasformazione termina quando l'ultimo goccia di liquido evapora (Stato F).

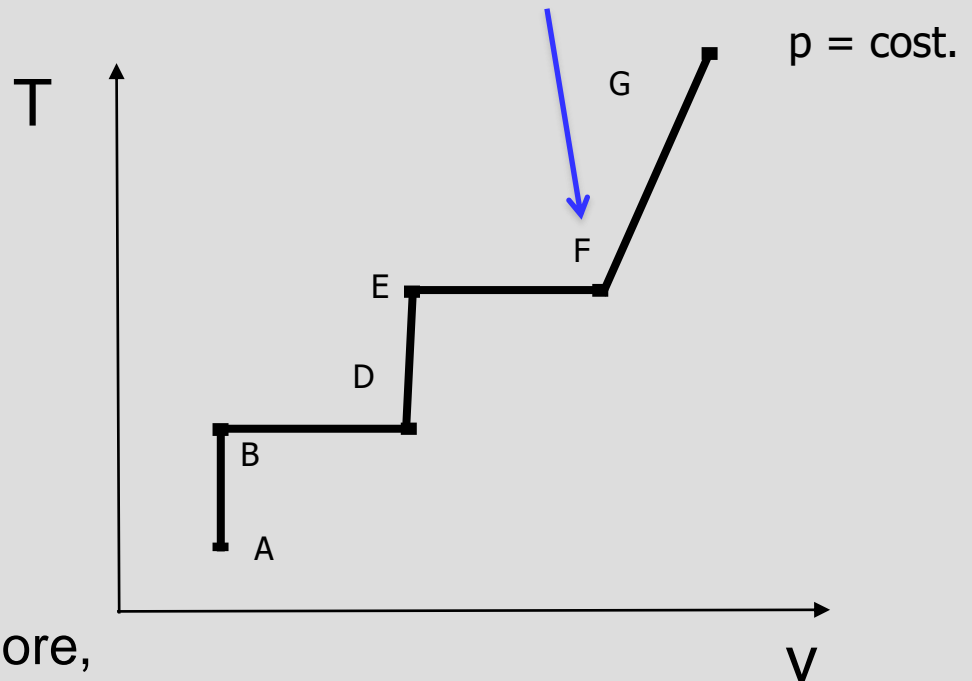


Calore

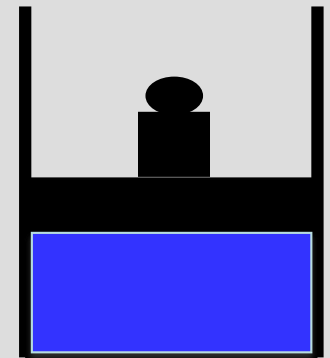
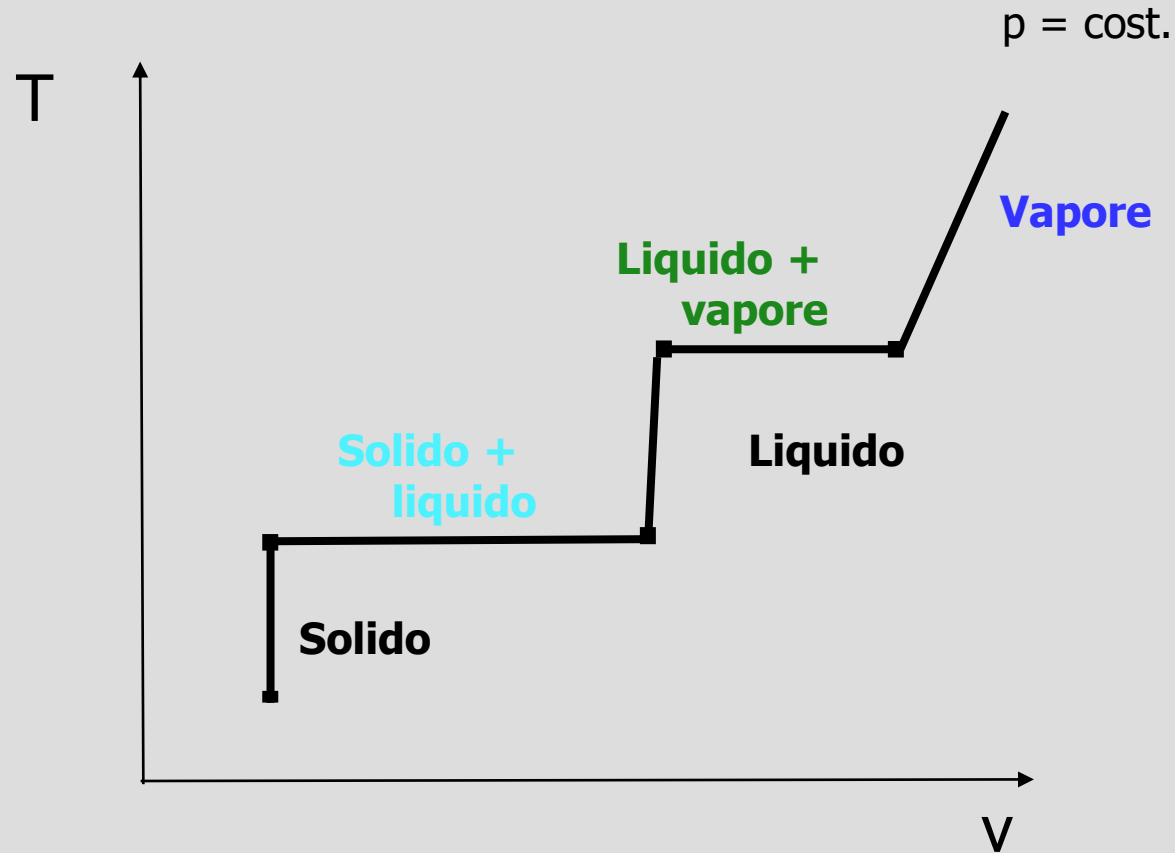
Vapore surriscaldato

Continuando a somministrare calore, la temperatura del vapore comincia ad aumentare dai 100° C in su.

Vapore che non è in procinto di condensare (cioè **non saturo**)



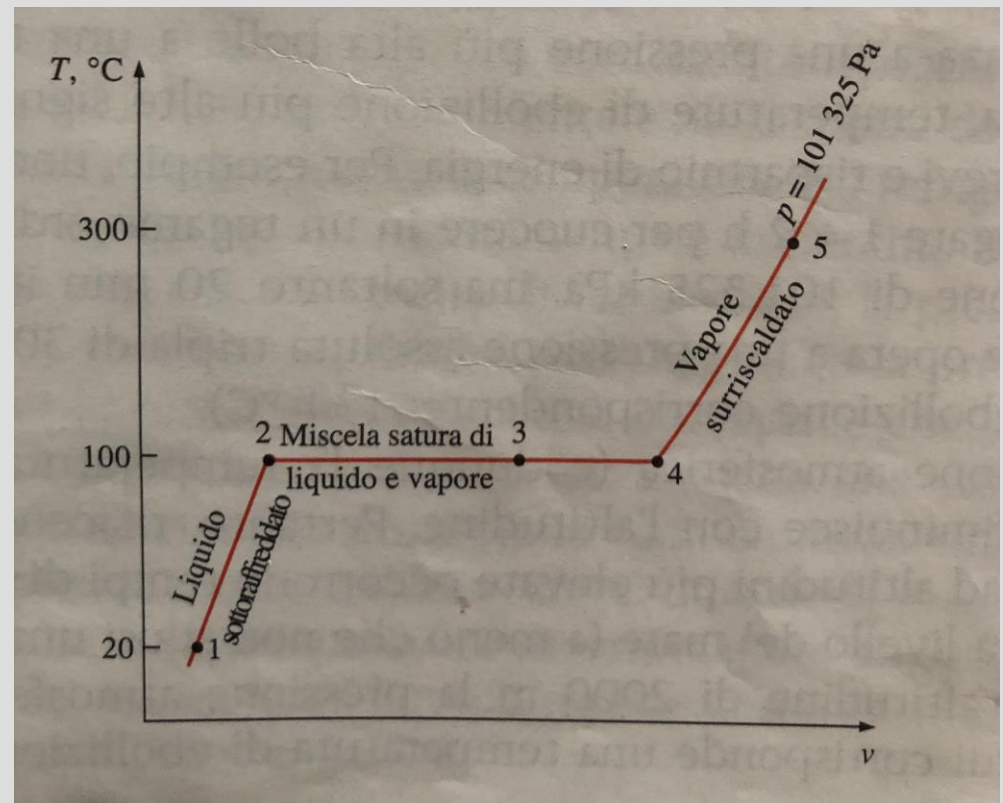
Riassumendo



Calore

Diagramma T-v processo di riscaldamento dell'acqua a pressione costante

- La temperatura alla quale l'acqua inizia a evaporare dipende dalla pressione. Quindi fissata la pressione, risulta fissata la temperatura
- Alla pressione di 1 atm la $T = 100^{\circ}\text{C}$



Temperatura di saturazione - Pressione di saturazione

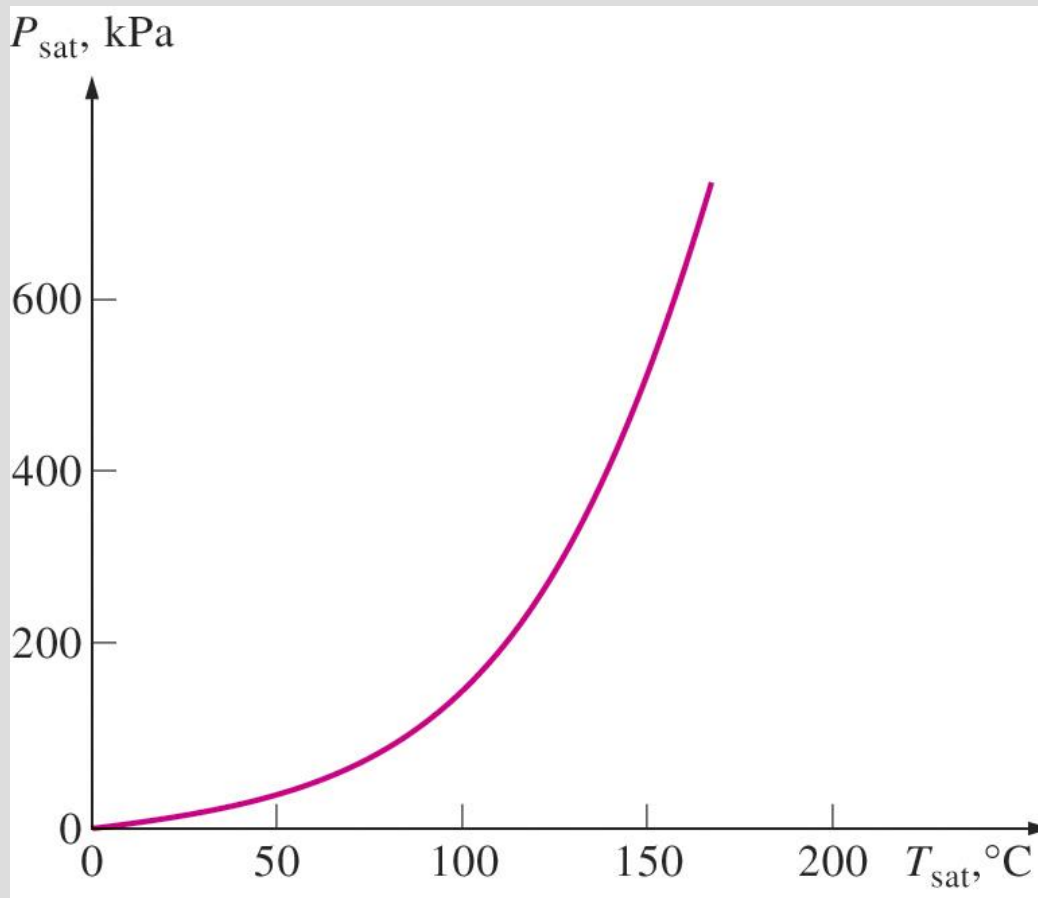
Temperatura di saturazione T_{sat} :

Temperatura a cui una sostanza pura inizia a evaporare, a data pressione.

Pressione di saturazione P_{sat} :

Pressione a cui una sostanza pura inizia a evaporare, a data temperatura.

Temperatura di saturazione e Pressione di saturazione



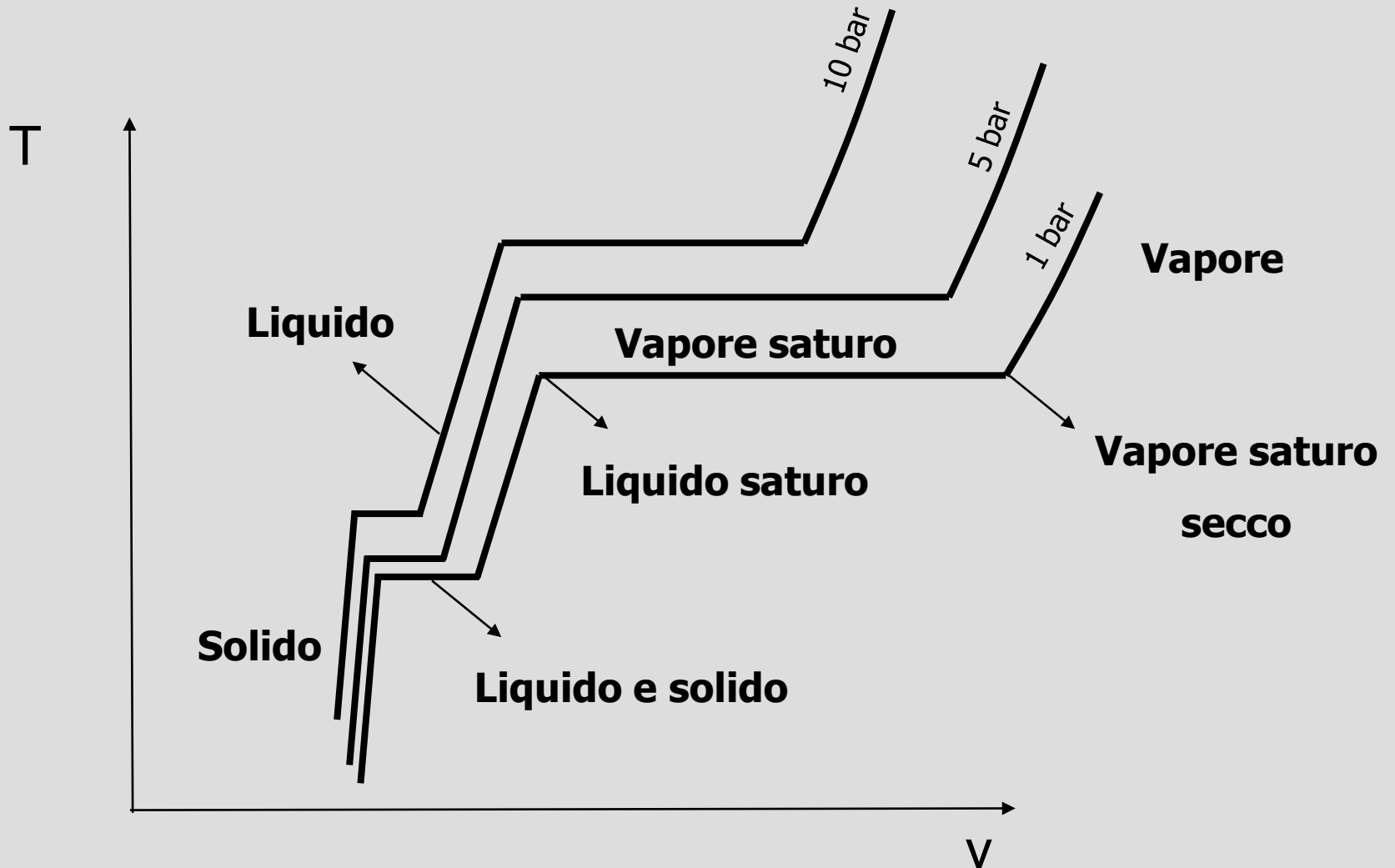
Curva di saturazione liquido-vapore per una sostanza pura
(I valori numerici della tabella si riferiscono all'acqua).

TABLE 3-1

Saturation (boiling) pressure of water at various temperatures

Temperature, T , °C	Saturation pressure, P_{sat} , kPa
-10	0.26
-5	0.40
0	0.61
5	0.87
10	1.23
15	1.71
20	2.34
25	3.17
30	4.25
40	7.39
50	12.35
100	101.4
150	476.2
200	1555
250	3976
300	8588

Riassumendo



- **Calore latente:**

Quantità di energia assorbita o rilasciata durante un cambiamento di fase.

- **Calore latente di fusione:**

Quantità di energia assorbita durante il processo di fusione. Essa è uguale (verso opposto) a quella rilasciata durante il processo di solidificazione.

- **Calore latente di vaporizzazione:**

Quantità di energia assorbita durante il processo di vaporizzazione, uguale (segno opposto) a quella rilasciata durante il processo di liquefazione o condensazione.

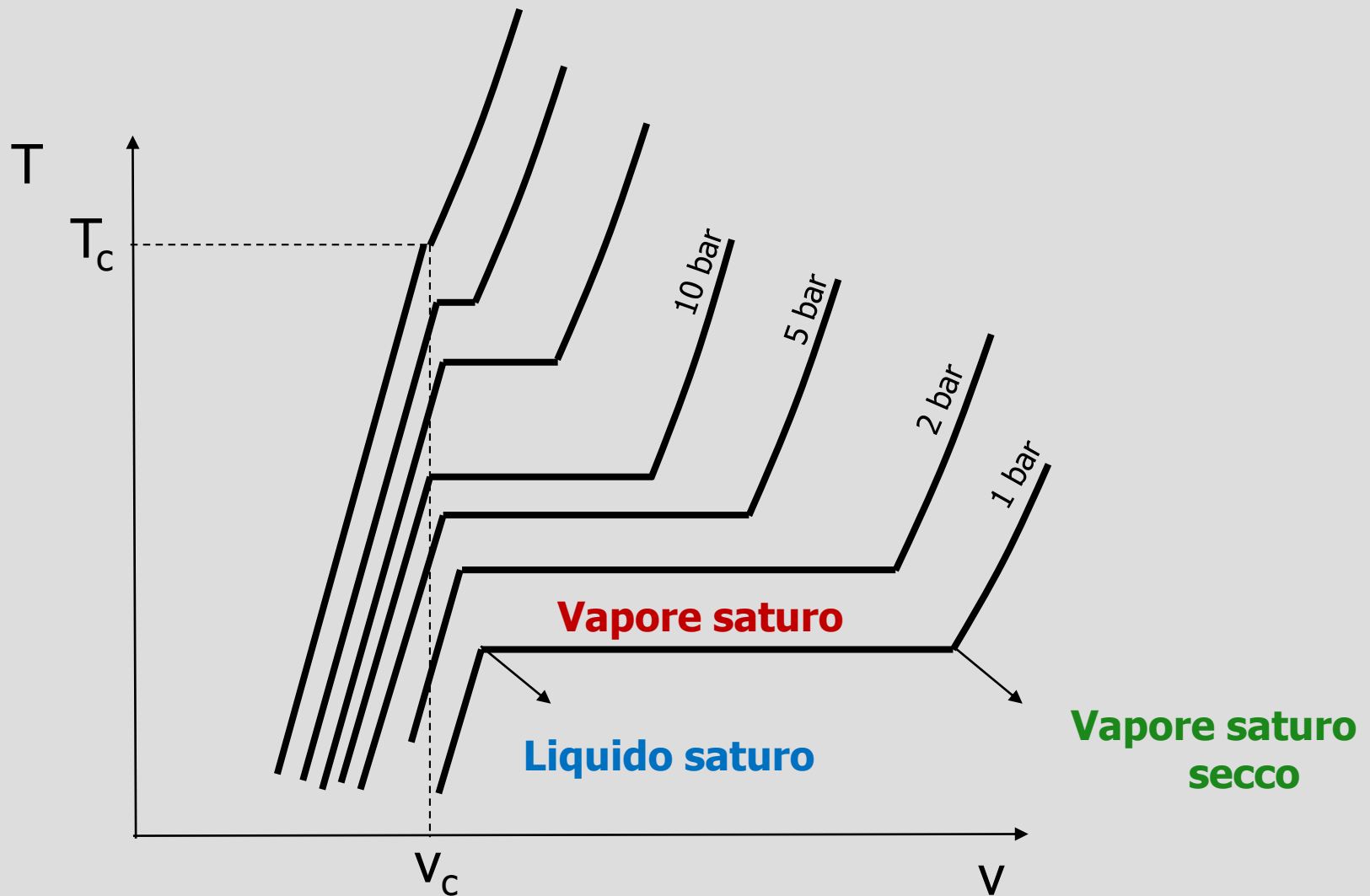
- L'entità dei calori latenti dipende dalla pressione o dalla temperatura alla quale avviene il passaggio di stato.
- Alla pressione di 1 atm, il calore latente di fusione dell'acqua è **333.7 kJ/kg** e il calore latente di vaporizzazione dell'acqua è **2256.5 kJ/kg**.
- All'aumentare dell'altitudine diminuisce la pressione atmosferica e quindi diminuisce anche la temperatura di evaporazione.

TABLE 3-2

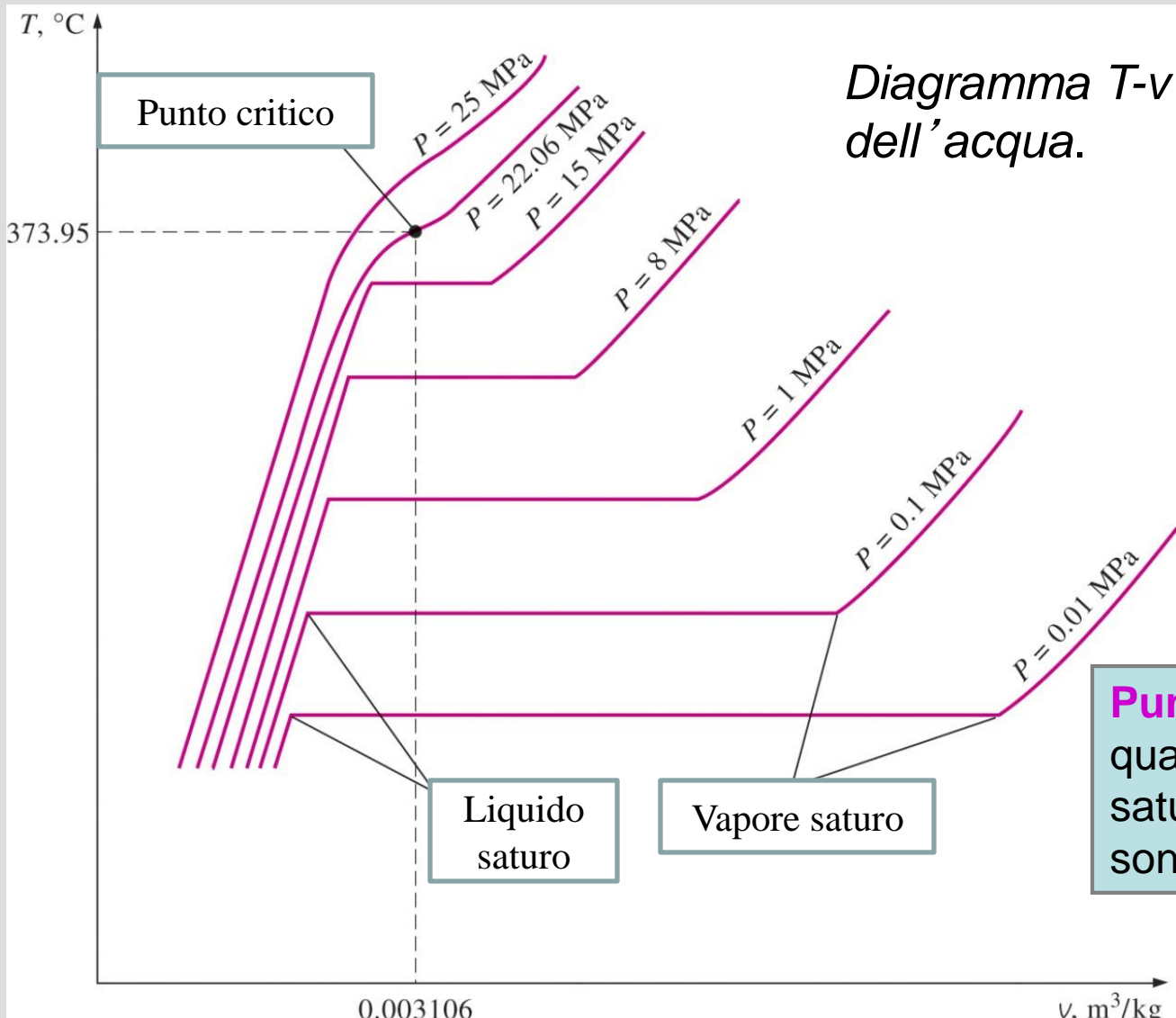
Variation of the standard atmospheric pressure and the boiling (saturation) temperature of water with altitude

Elevation, m	Atmospheric pressure, kPa	Boiling temperature, °C
0	101.33	100.0
1,000	89.55	96.5
2,000	79.50	93.3
5,000	54.05	83.3
10,000	26.50	66.3
20,000	5.53	34.7

Temperatura e pressione critica



- Le variazioni delle proprietà di stato durante i cambiamenti di fase si studiano nei diagrammi $T-v$, $P-v$, and $P-T$ (Diagrammi delle sostanze pure)



Punto critico: Punto al quale gli stati di liquido saturo e vapore saturo sono identici.

- **Linea del liquido saturo**
- **Linea del vapore saturo**
- **Regione del liquido sottoraffreddato**
- **Regione del vapore surriscaldato**
- **Regione della miscela satura liquido-vapore**

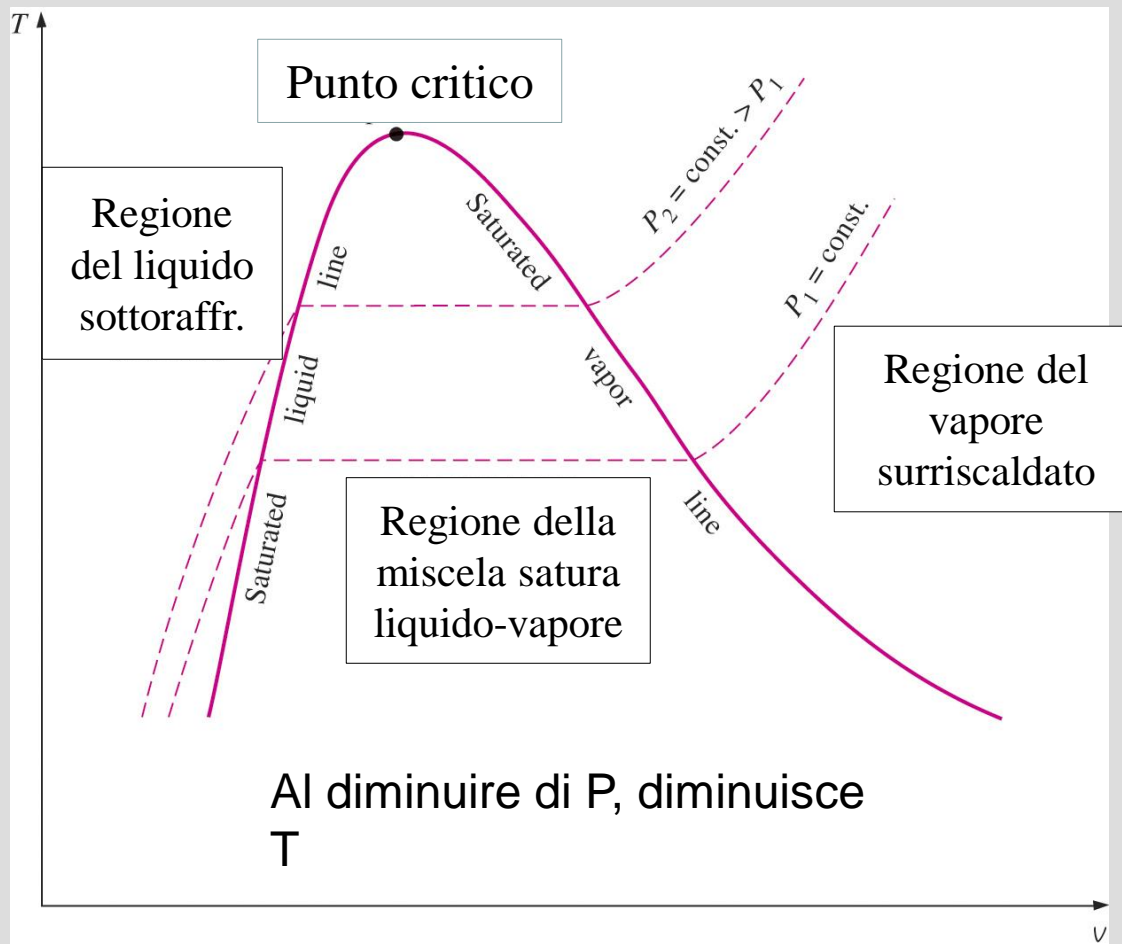
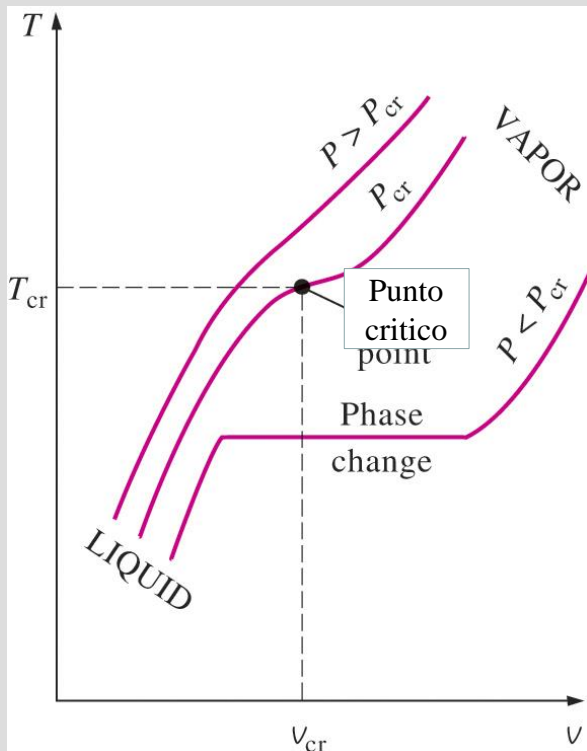
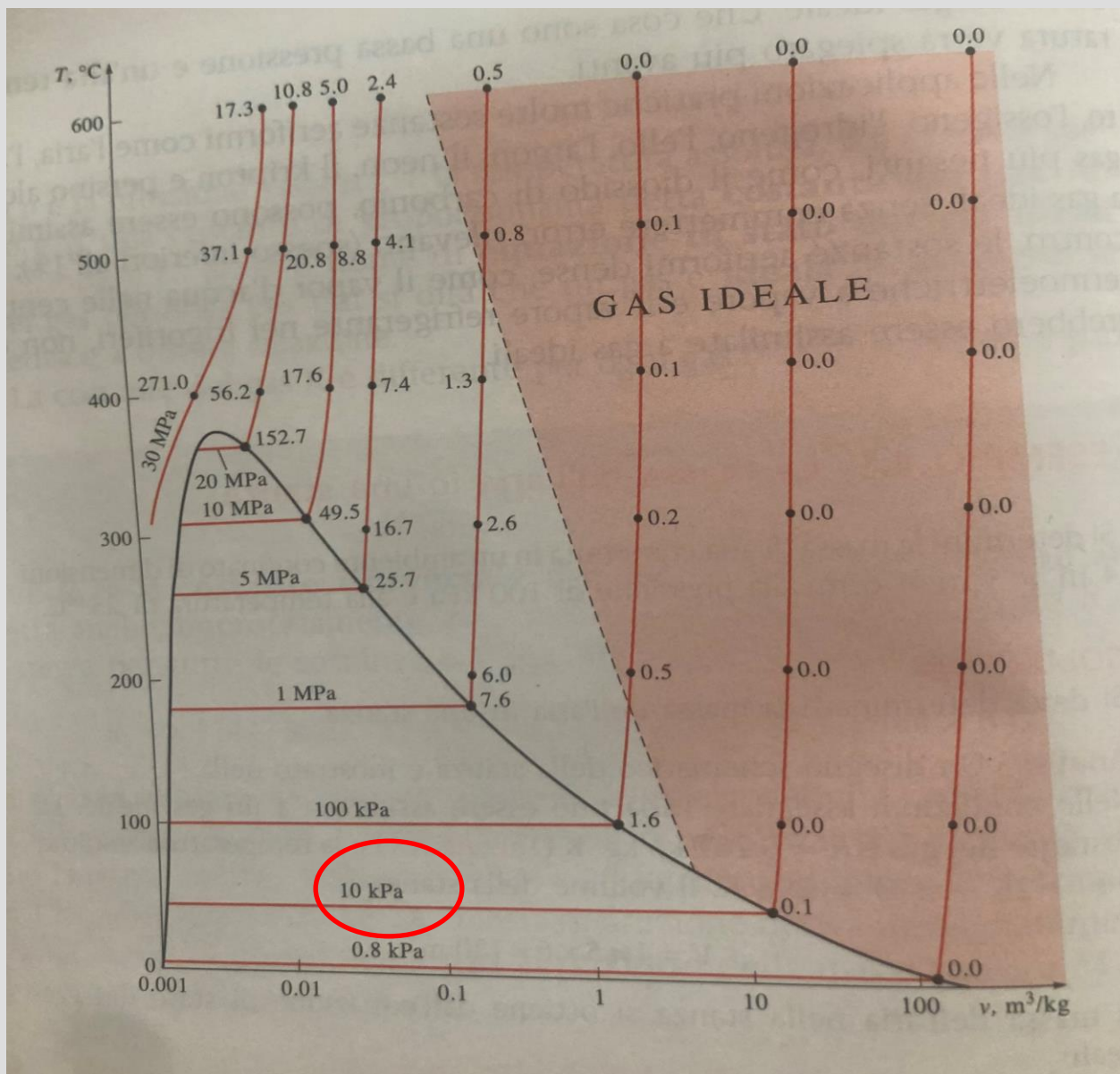


Diagramma T-v

Alla pressione $p > p_{cr}$, nel cambiamento di fase (evaporazione) non c'è nessuna distinzione tra le due fasi

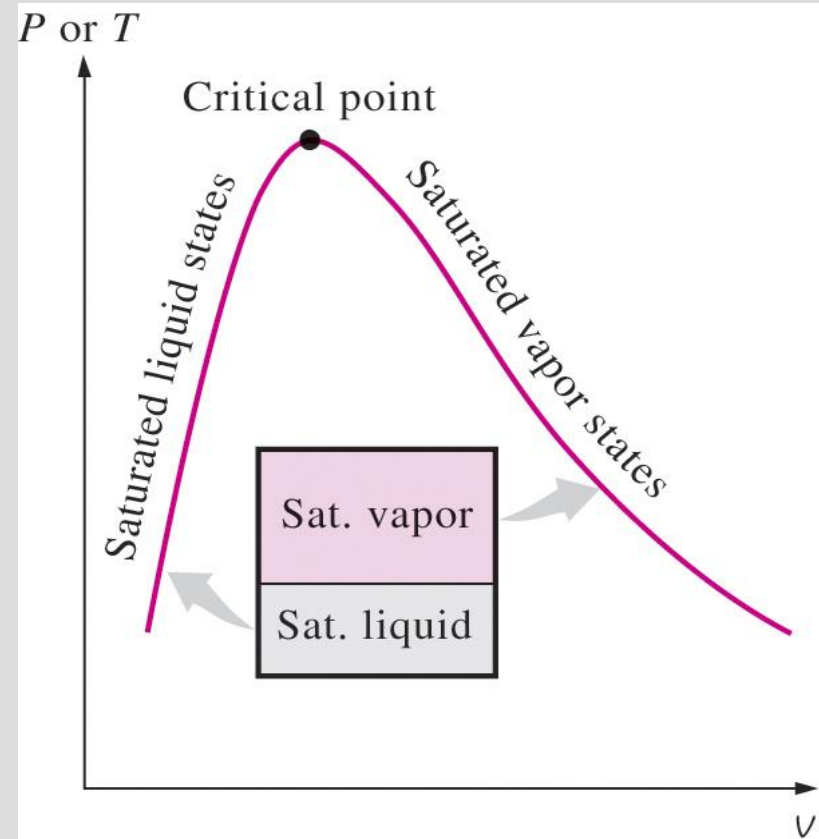
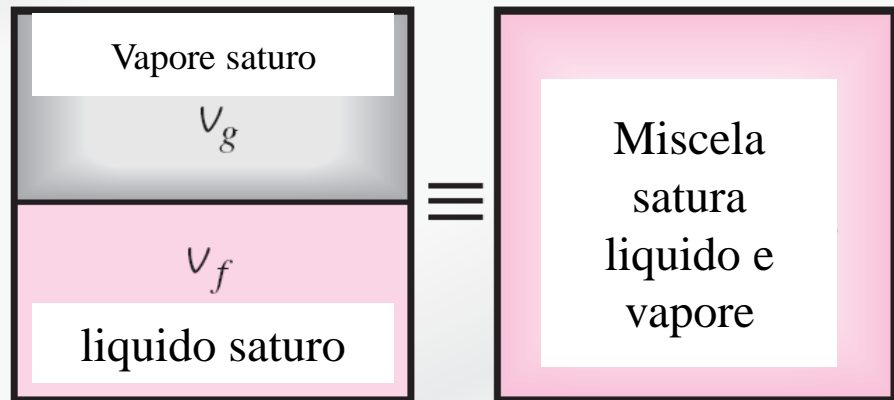


Errore percentuale commesso nel considerare il vapore acqueo come gas perfetto



<0,1% se $p < 10 \text{ kPa}$ e T elevate

Miscela satura di liquido e vapore

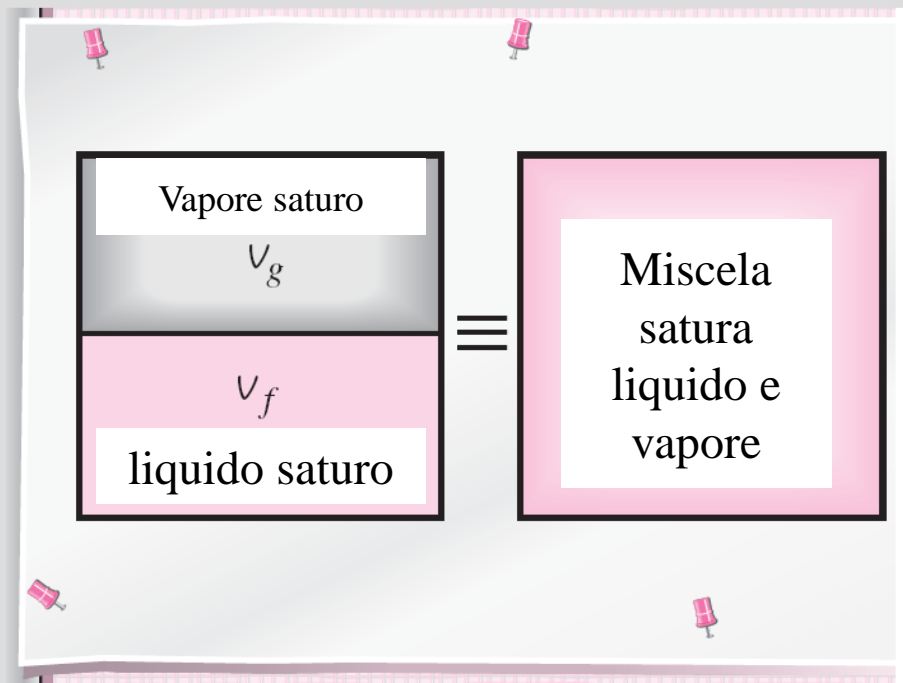


Miscela satura di liquido saturo e vapore

La quantità di liquido e di vapore in una miscela satura viene espressa dal **titolo x** .

Titolo, x : Il rapporto tra la massa di vapore e la massa totale della miscela

Il titolo varia da 0 a 1 → **$x = 0$: in condizione di liquido saturo**
 $x = 1$: in condizione di vapore saturo



Un sistema a due fasi può essere trattato come un'unica miscela omogenea.

Miscela satura di liquido saturo e vapore

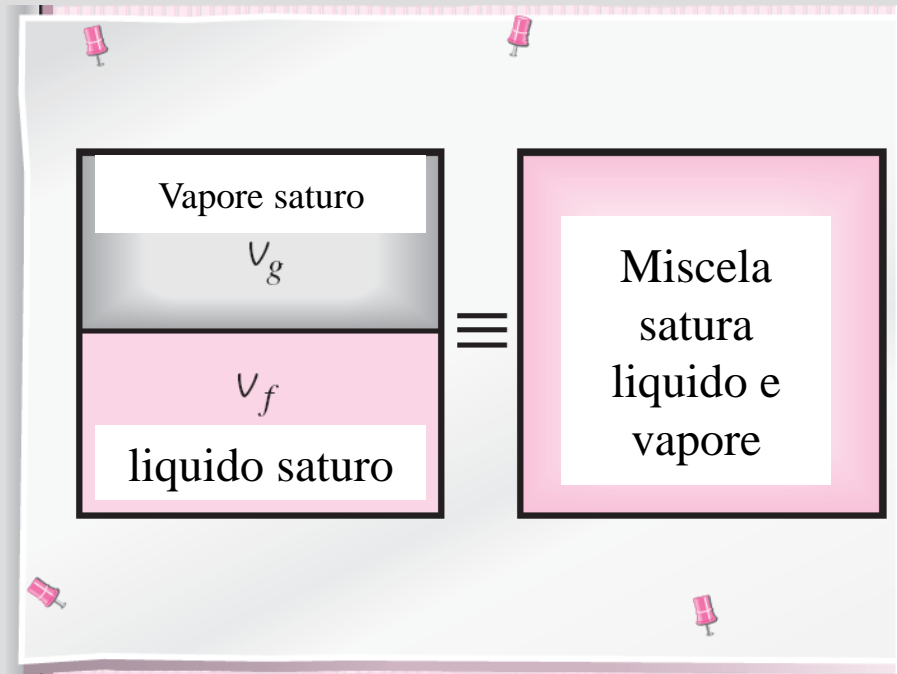
$$m_{totale} = m_{liquido} + m_{vapore} = m_l + m_g$$

m_g = massa vapore

m_l = massa liquida

**TITOLO
DELLA
MISCELA**

$$x = \frac{m_{vapore}}{m_{totale}}$$



$$m_{\text{totale}} = m_{\text{liquido}} + m_{\text{vapore}} = m_l + m_g$$

l = liquido
 g = vapore

$$x = \frac{m_{\text{vapore}}}{m_{\text{totale}}} = \frac{m_g}{m_{\text{totale}}}$$

ma

$$V_{\text{totale}} = V_{\text{vapore}} + V_{\text{liquido}}$$

$$m_{\text{totale}} v_{\text{totale}} = m_l v_l + m_g v_g$$

$$m_l = m_{\text{totale}} - m_g$$

quindi

$$m_{\text{totale}} v_{\text{totale}} = (m_{\text{totale}} - m_g) v_l + m_g v_g$$

essendo

$$m_{\text{totale}} v_{\text{totale}} = (m_{\text{totale}} - m_g) v_l + m_g v_g$$

divido per m_{totale}

$$\frac{m_{\text{totale}} v_{\text{totale}}}{m_{\text{totale}}} = \left(\frac{m_{\text{totale}}}{m_{\text{totale}}} - \frac{m_g}{m_{\text{totale}}} \right) v_l + \frac{m_g v_g}{m_{\text{totale}}}$$

e ricordando l'espressione di x , cioè :

$$x = \frac{m_g}{m_{\text{totale}}}$$

si può scrivere :

$$v_{\text{totale}} = (1 - x) v_l + x v_g$$

quindi

$$v_{\text{totale}} = v_l + x(v_g - v_l)$$

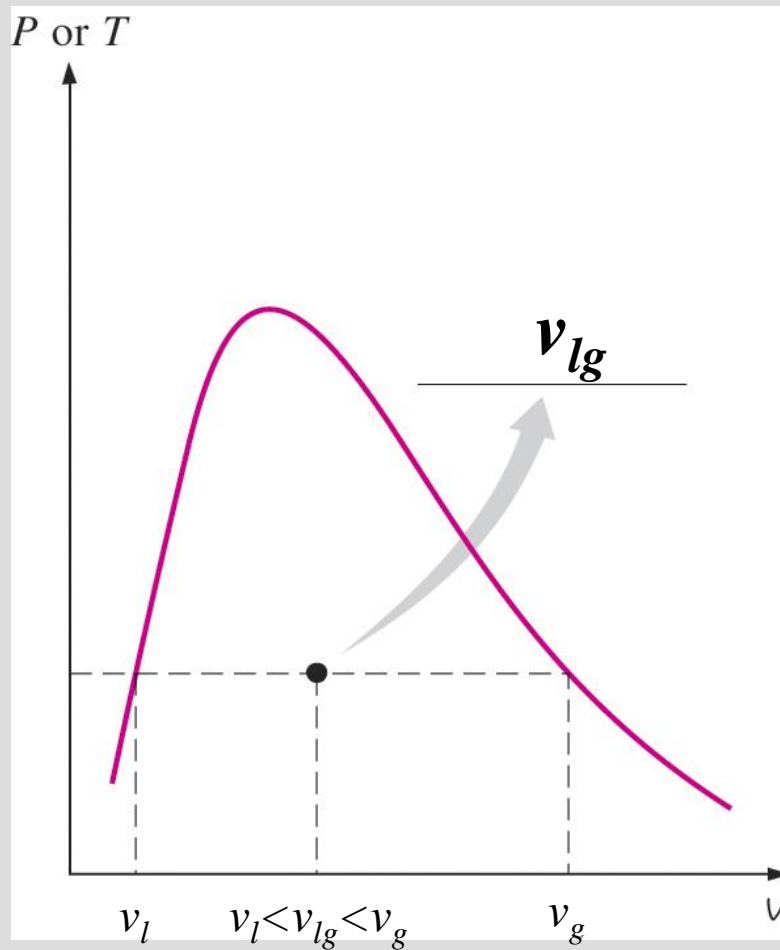
$$v_{totale} = v_l + x(v_g - v_l)$$

pongo

$$v_g - v_l = v_{lg}$$

allora

$$v_{totale} = v_l + xv_{lg}$$



Il valore $v_{l,g}$ di una miscela satura sta tra v_l and v_g a date p e T

Come il volume specifico qualunque proprietà della miscela satura liquido-vapore si esprime in funzione del titolo x

**Volume
specifico**

$$v_{miscela} = v_l + xv_{fg} \quad \left(\frac{m^3}{kg} \right)$$

**Energia interna
specifica**

$$u_{miscela} = u_l + xu_{fg} \quad \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

**Entalpia
specifica**

$$h_{miscela} = h_l + xh_{fg} \quad \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

Liquido saturo e vapore saturo

- **Tabelle:** Proprietà dell'acqua al variare della temperatura.
Proprietà dell'acqua al variare della pressione.

Temp. °C T	Sat. press. kPa P_{sat}	Specific volume m^3/kg	
		Sat. liquid v_l	Sat. vapor v_g
85	57.868	0.001032	2.8261
90	70.183	0.001036	2.3593
95	84.609	0.001040	1.9808

Volume specifico di liquido saturo

Volume specifico di vapore saturo

Differenza tra il v_f e v_g

Temperatura

Volume
specifico di
liquido saturo

Corrispondente
valore della
pressione di
saturazione

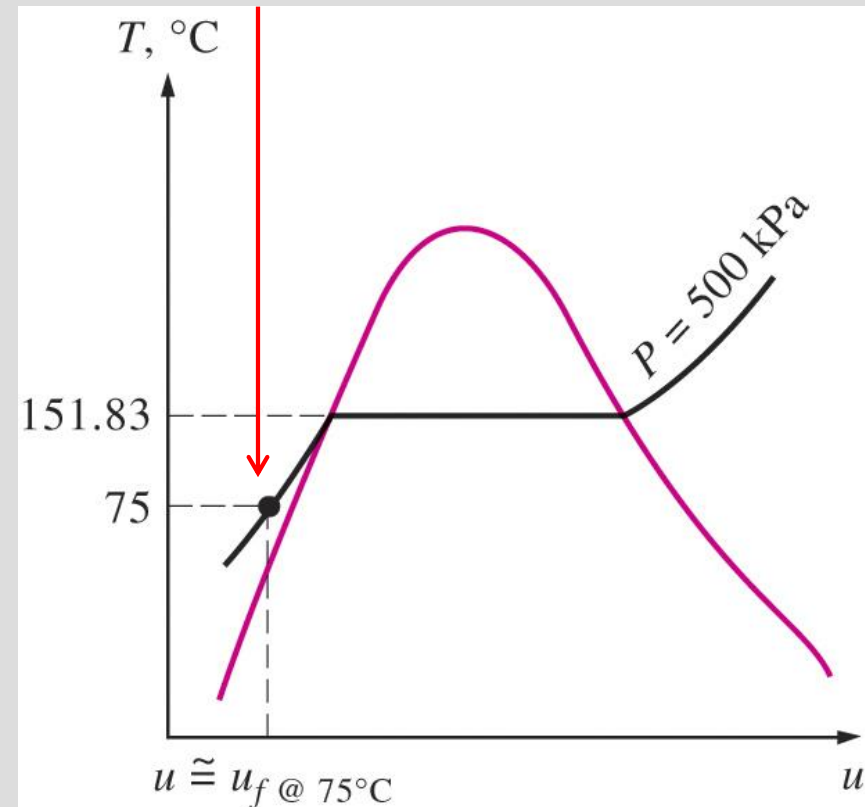
Volume
specifico di
vapore saturo

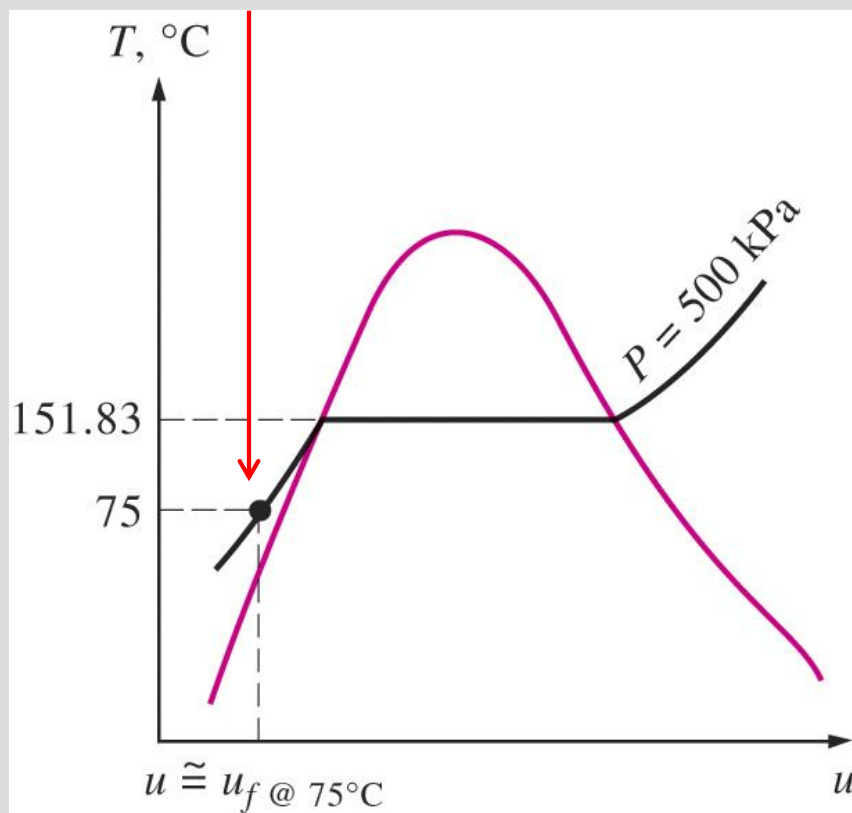
Liquido sottoraffreddato

Esso è caratterizzato:

- Alte pressioni ($P > P_{\text{sat}}$) a data T
- Basse temperature ($T < T_{\text{sat}}$) a data P
- Bassi valori volume specifico, entalpia ed energia interna

A sinistra della curva del liquido saturo la sostanza si trova come liquido sottoraffreddato ($T < T_{\text{sat}}$)





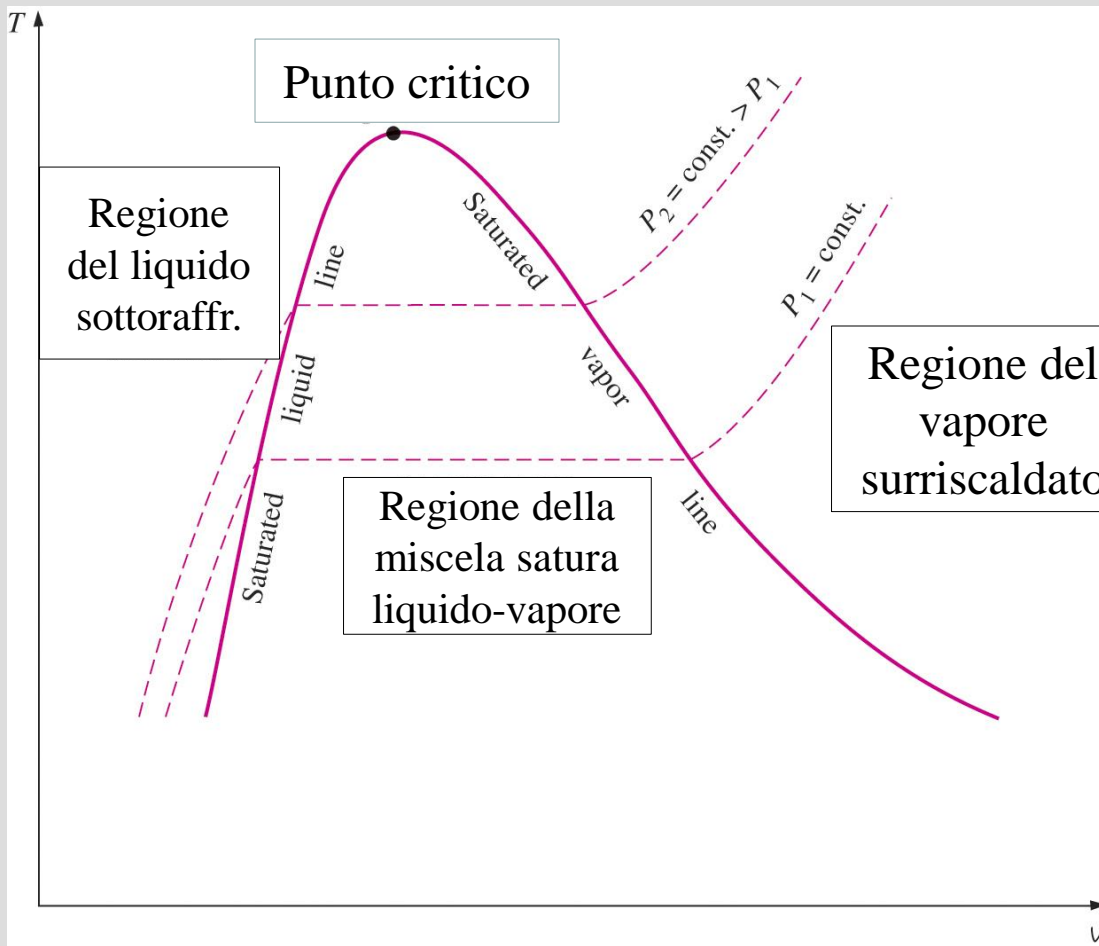
$$v \cong v_f @ T$$

$$u \cong u_f @ T$$

$$h \cong h_f @ T$$

Le proprietà dell'acqua in fase di liquido sottoraffreddato possono essere approssimate a quelle dello stato di liquido saturo per data temperatura

Quindi esse sono fortemente dipendenti dalla temperatura



Esso è caratterizzato:

- Basse pressioni ($P < P_{\text{sat}}$) a data T
- Alte temperature ($T > T_{\text{sat}}$) a data P
- Alti valori volume specifico, entalpia ed energia interna

Nella regione a destra della linea del vapore saturo, la sostanza esiste come **vapore surriscaldato**