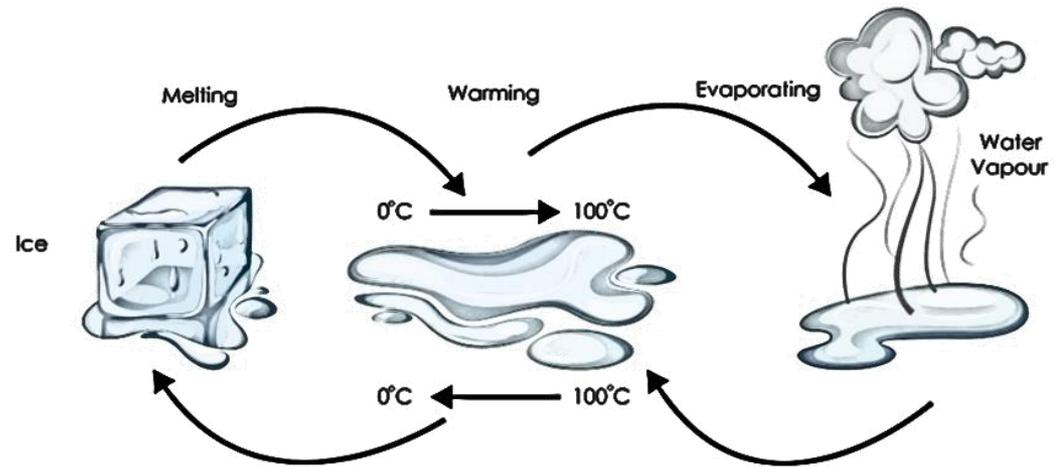


Stato liquido, solido e i passaggi di stato



©Ken Karp/McGraw-Hill Education



©Ken Karp/McGraw-Hill Education

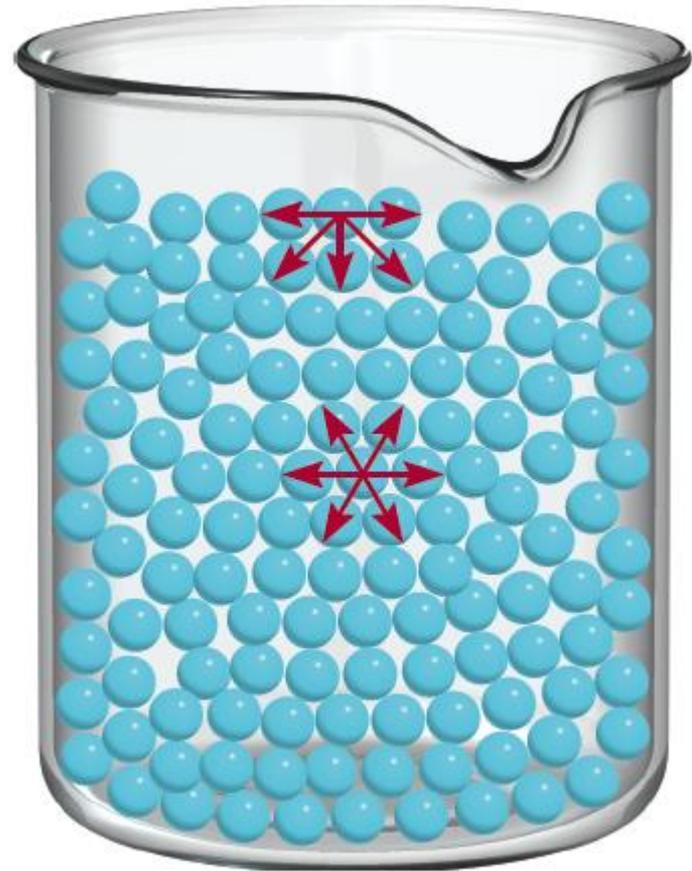
Le proprietà dei liquidi

La *tensione superficiale* è la quantità di energia richiesta per stirare o aumentare la superficie di un liquido di una unità d'area.

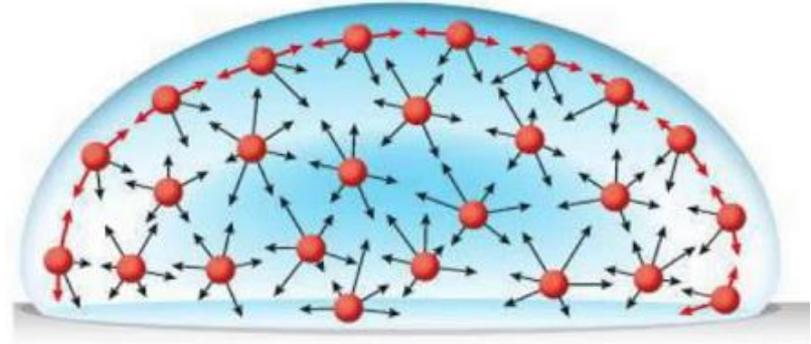
Forze
intermolecolari
intense

Alta
tensione
superficiale

LIQUIDI POLARI



TENSIONE SUPERFICIALE = Consiste nella forza che agisce tra le particelle che non sono completamente circondate da altre particelle e che quindi concentrano le forze intermolecolari in un'unica direzione, aumentandone quindi l'intensità. Questo si verifica sulle superficie dei liquidi composto da molecole particolarmente polarizzate.



Una particella che si trova all'interno del liquido disperde le sue forze intermolecolari in tutte le direzioni.

Invece quelle che si trovano in periferia le concentrano in un'unica direzione creando la tensione superficiale.



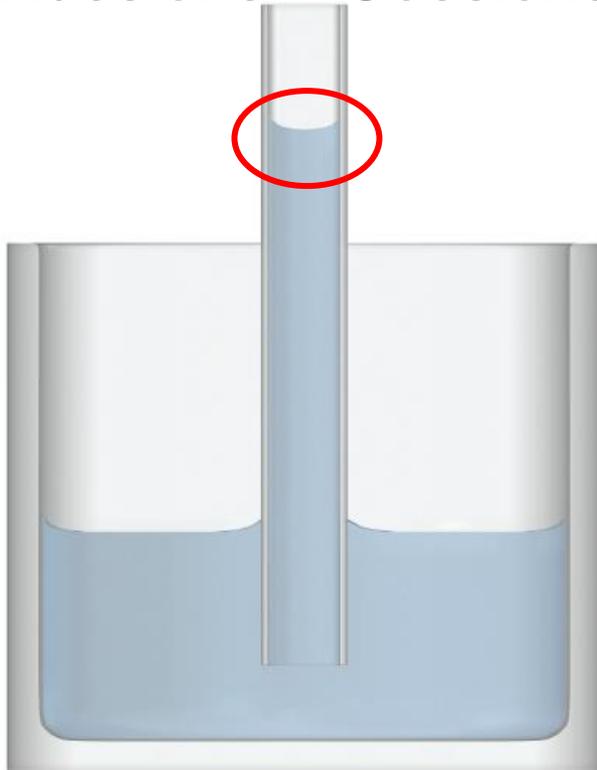
Le proprietà dei liquidi – La tensione superficiale

La **coesione** è l'attrazione intermolecolare tra molecole simili.

L'**adesione** è un'attrazione tra molecole diverse.

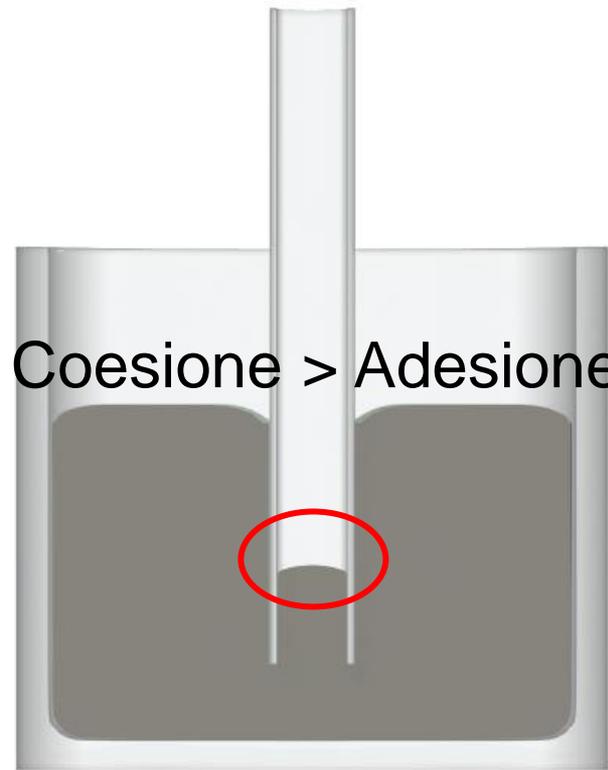
Azione capillare

Adesione > Coesione



H₂O

Coesione > Adesione



Hg

Le proprietà dei liquidi – Viscosità

La **viscosità** è una misura della resistenza del fluido al suo scorrere .

Forze
intermolecolari
intense

Alta
viscosità

Tabella 9.3 Viscosità di alcuni tra i liquidi più comuni a 20 °C

Liquido	Viscosità (N·s/m ²)*
Glicerolo (C ₃ H ₈ O ₃)	1.49
Sangue	4×10^{-3}
Mercurio (Hg)	1.55×10^{-3}
Etanolo (C ₂ H ₅ OH)	1.20×10^{-3}
Acqua (H ₂ O)	1.01×10^{-3}
Tetracloruro di carbonio (CCl ₄)	9.69×10^{-4}
Benzene (C ₆ H ₆)	6.25×10^{-4}
Acetone (C ₃ H ₆ O)	3.16×10^{-4}
Etere dietilico (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	2.33×10^{-4}

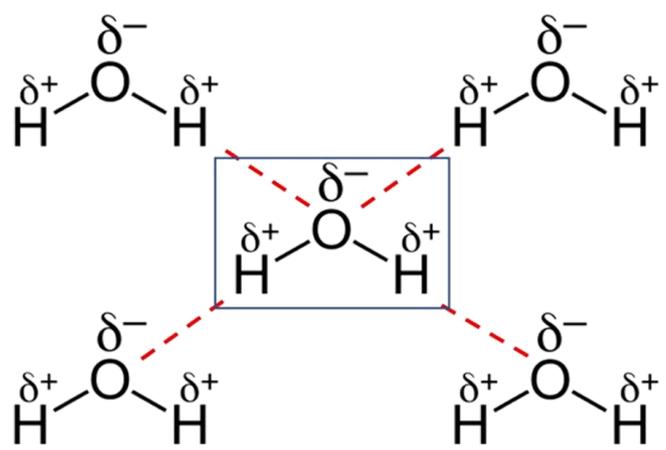
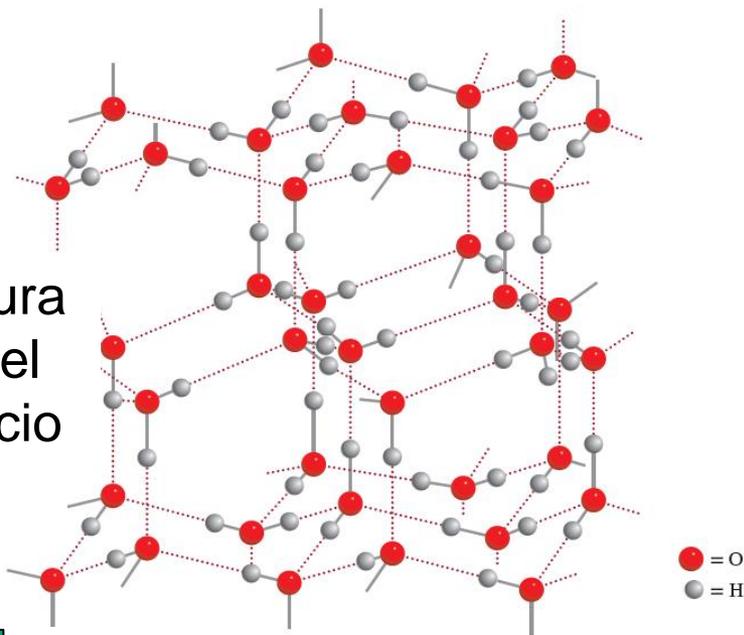
*L'unità di misura SI per la viscosità è newton-secondo per metro quadro.

Le proprietà dei liquidi – struttura e proprietà dell'acqua

L'acqua è una sostanza unica!

Il ghiaccio è meno denso dell'acqua

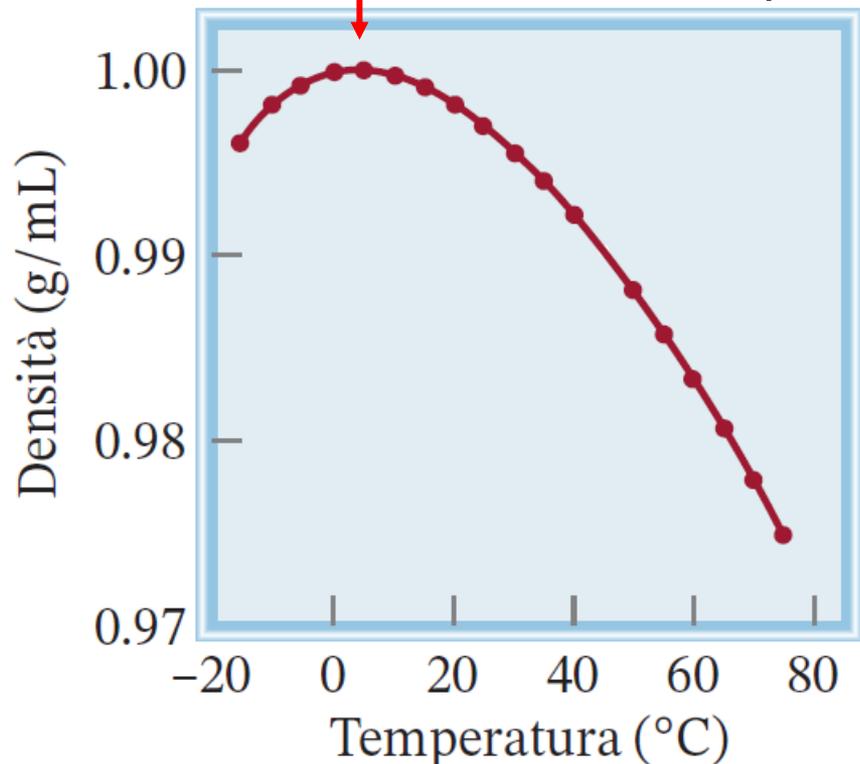
Struttura 3D del ghiaccio



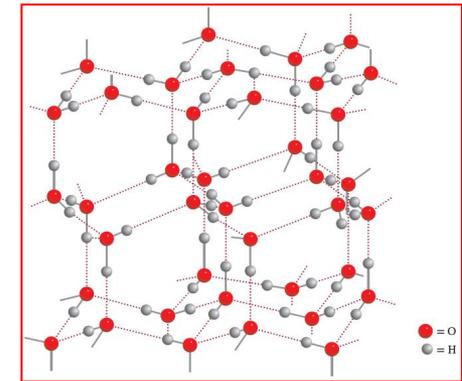
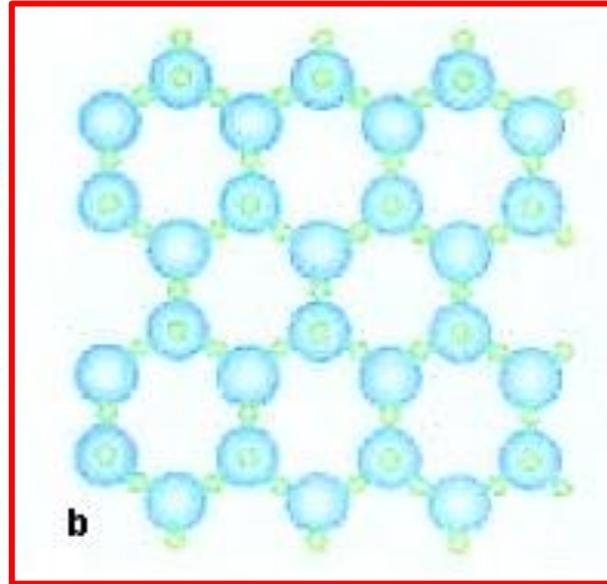
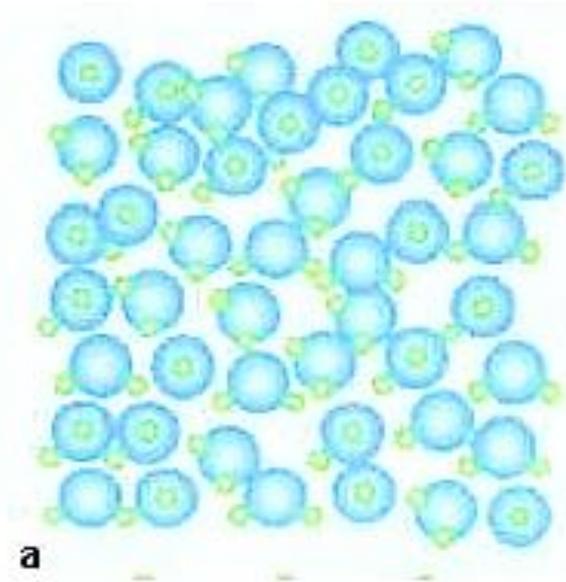
Densità massima

4 °C

Densità dell'acqua



Le proprietà dei liquidi – struttura e proprietà dell'acqua

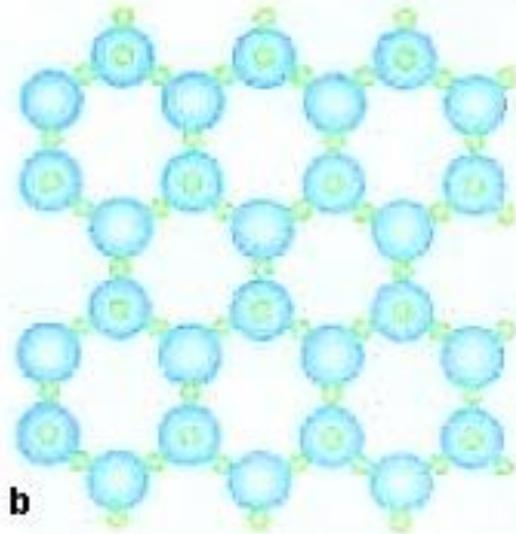
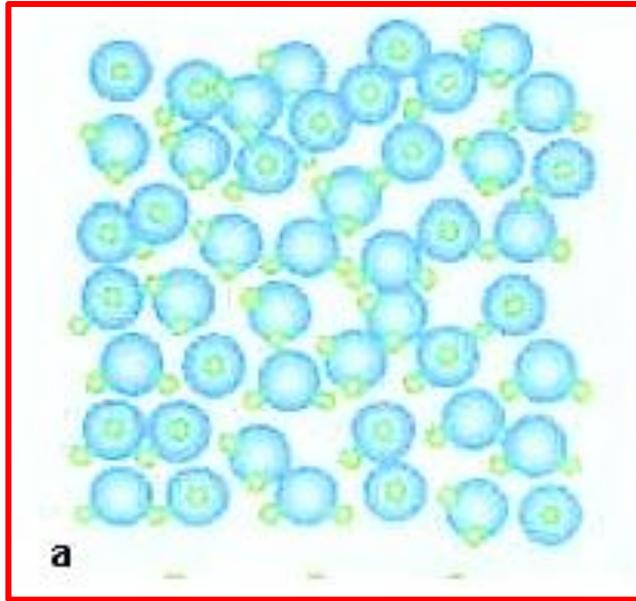


Il ghiaccio mostra una struttura cristallina piuttosto ariosa con ampi spazi vuoti fra una molecola e l'altra

Il reticolo cristallino che si forma è un sistema in equilibrio che corrisponde ad un contenuto minimo di energia.

In parole povere, le molecole assumono una certa disposizione per "adattarsi" alla diminuzione di energia disponibile per muoversi.

Le proprietà dei liquidi – struttura e proprietà dell'acqua



Quando il ghiaccio fonde l'impalcatura spaziosa crolla progressivamente, le molecole si avvicinano e diminuisce il volume dell'acqua che ne deriva.

Dunque due volumi uguali, uno contenente acqua allo stato liquido e l'altro acqua allo stato solido, non contengono un ugual numero di molecole.

Ossia:

il primo volume d'acqua (a) ne contiene un numero maggiore del secondo di ghiaccio (b).

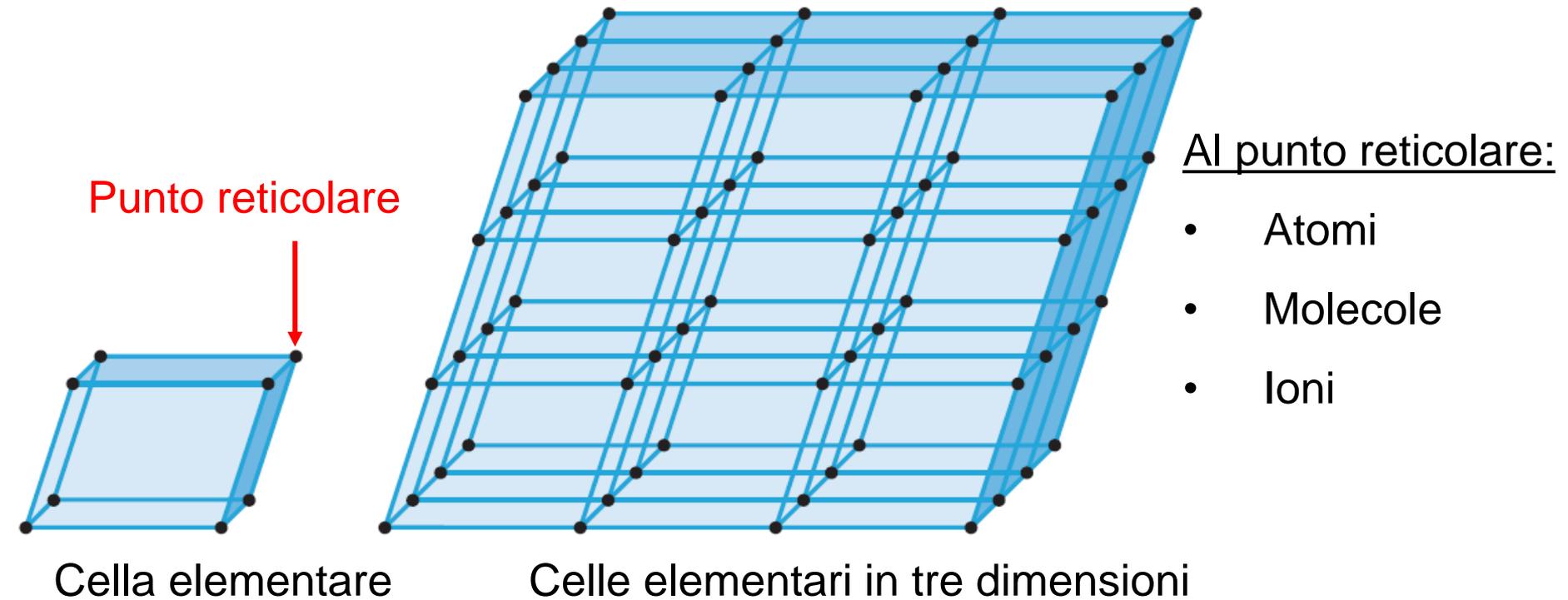
L'acqua così ottenuta ha densità maggiore del ghiaccio da cui deriva, essendo la densità massa/volume.

I solidi

Un **solido cristallino** possiede un ordine rigido e a lungo raggio. In un solido cristallino, gli atomi, le molecole o gli ioni occupano posizioni specifiche (prevedibili).

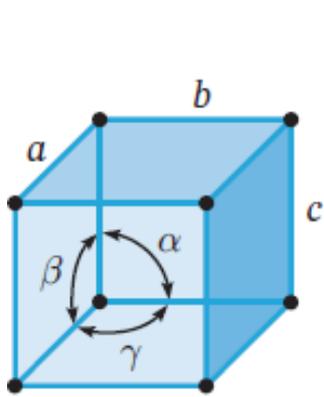
Un **solido amorfo** non possiede un arrangiamento ben definito e un ordine molecolare a lungo raggio.

Una **cella elementare** è l'unità strutturale ripetitiva di un solido cristallino.

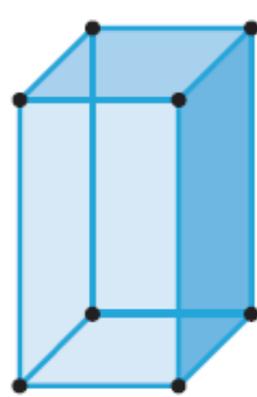


I solidi cristallini

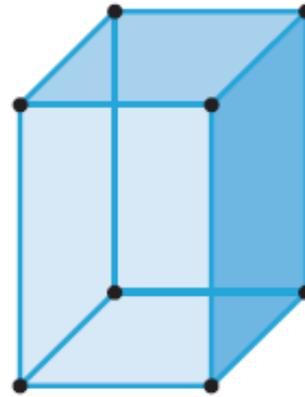
Sette tipi di celle elementari



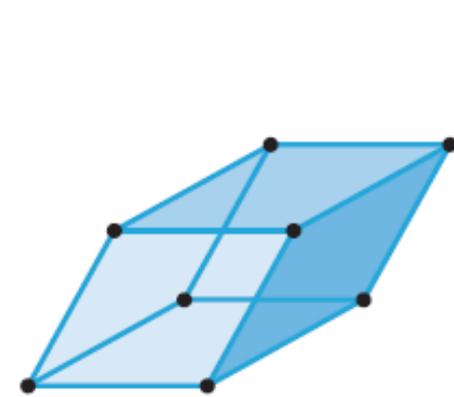
Cubica semplice
 $a = b = c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



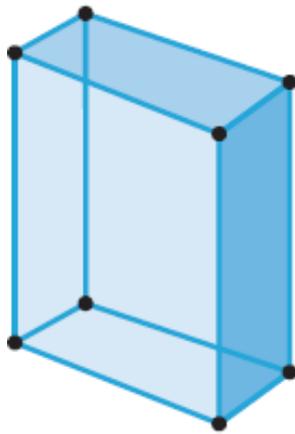
Tetragonale
 $a = b \neq c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



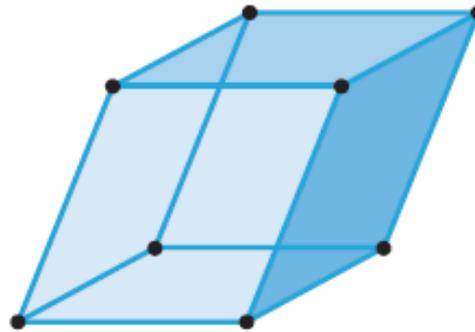
Ortorombica
 $a \neq b \neq c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



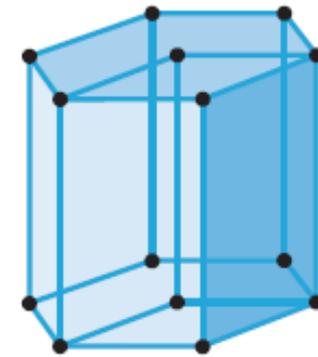
Romboedrica
 $a = b = c$
 $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$



Monoclina
 $a \neq b \neq c$
 $\gamma \neq \alpha = \beta = 90^\circ$

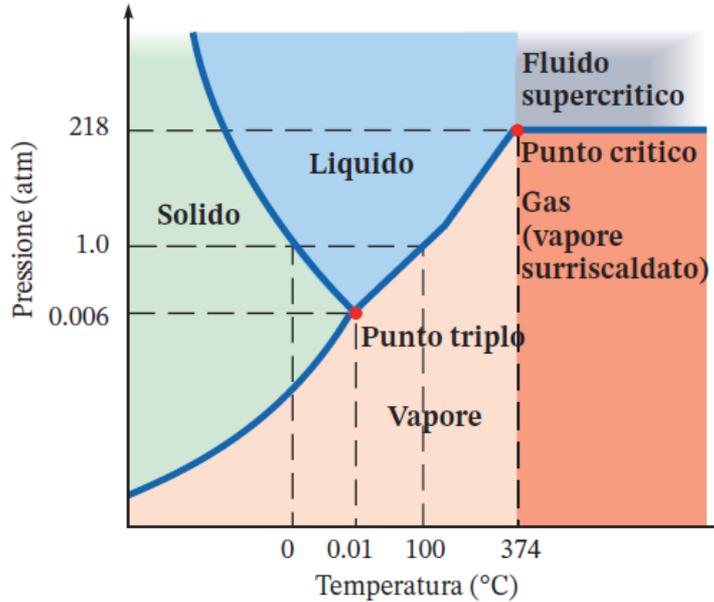
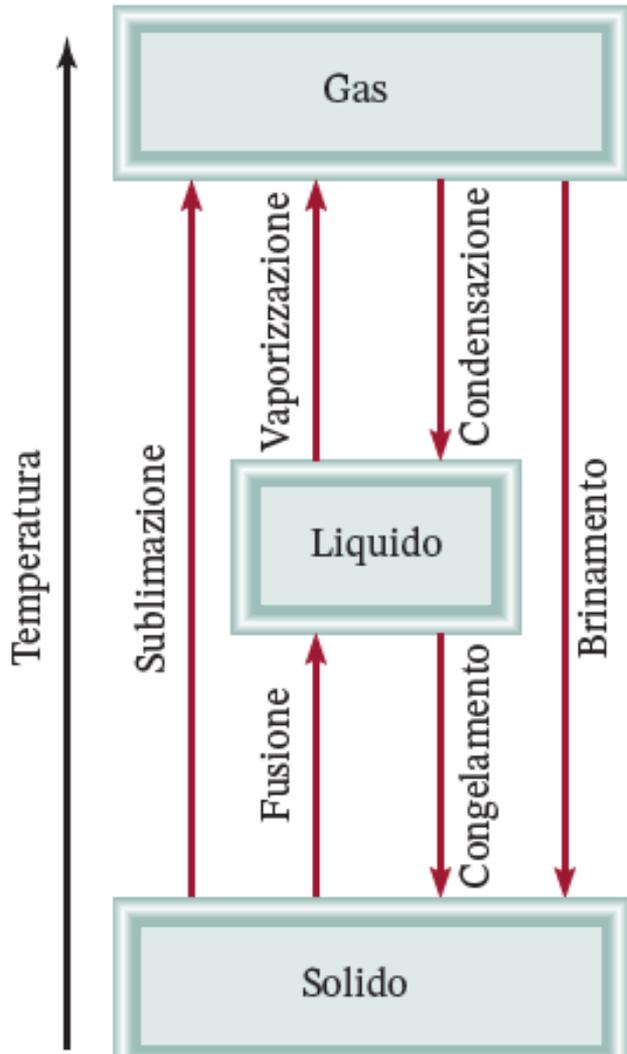
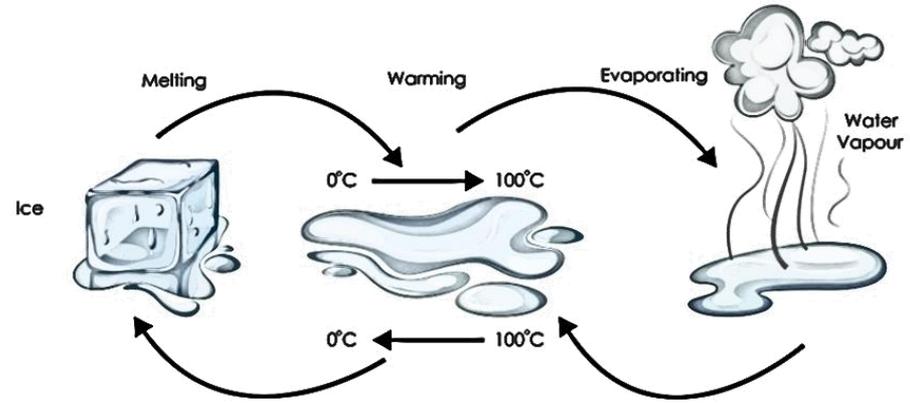


Triclina
 $a \neq b \neq c$
 $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$



Esagonale
 $a = b \neq c$
 $\alpha \neq \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$

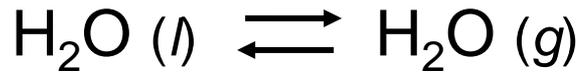
Passaggi di stato



FORZE INTERMOLECOLARI
VARIAZIONI DI ENERGIA
ORDINE MOLECOLARE

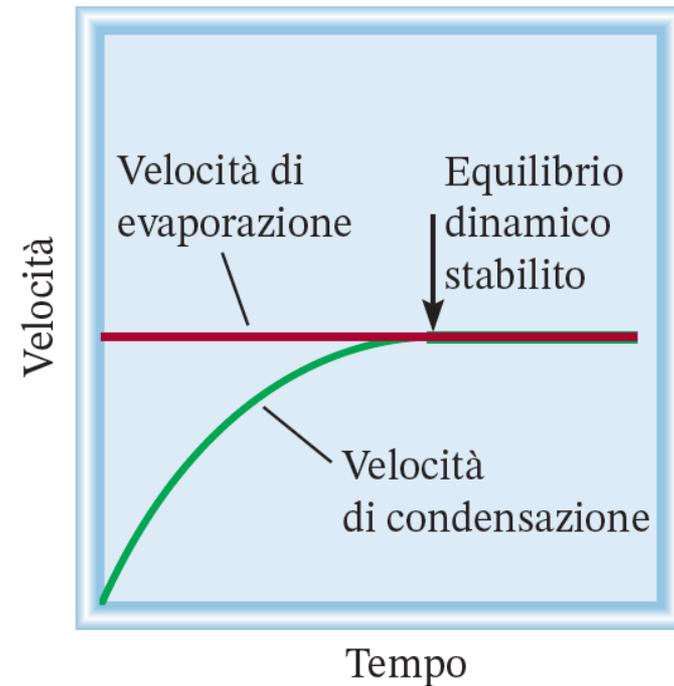
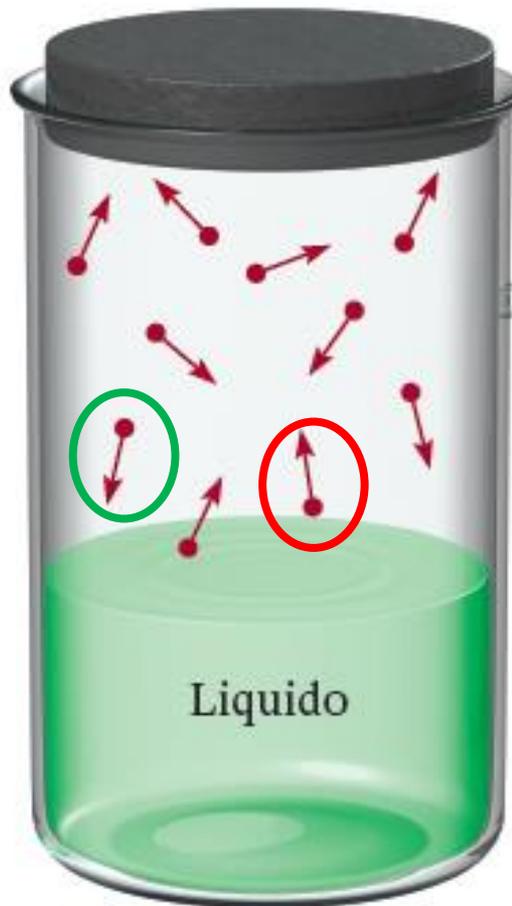
Passaggi di stato

La **tensione di vapore all'equilibrio** è la pressione di vapore misurata quando esiste un equilibrio dinamico tra condensazione ed evaporazione



Equilibrio dinamico

Velocità di condensazione = Velocità di evaporazione



La tensione di vapore è la massima pressione di vapore che un liquido può avere ad una certa T ed è costante a T costante.

Equazione di Clausius-Clapeyron

$$\ln P = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT} + C$$

ΔH_{vap} è il **calore molare di vaporizzazione o entalpia di evaporazione** ed è l'energia necessaria per vaporizzare 1 mole di un liquido al suo punto di ebollizione

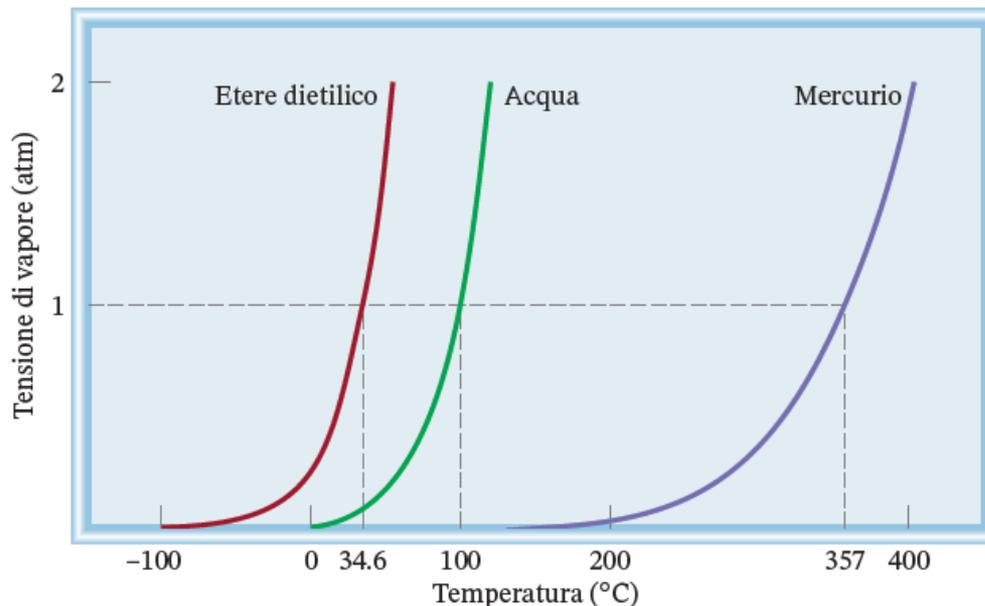
P = (equilibrio) tensione di vapore

T = temperatura (K)

R = costante dei gas (8.314 J/K·mol)

$$y = mx + b$$

L'andamento (pendenza) dipende dal ΔH_{vap}



Questo diagramma ci consente di determinare il punto di ebollizione

La T_{eb} aumenta per le curve con pendenza maggiore ossia ΔH_{vap} maggiore



Passaggio liquido-vapore



Quando la tensione di vapore del liquido diventa uguale alla pressione esterna.

Passaggi di stato

Il **punto di ebollizione** è la temperatura alla quale (all'equilibrio) la tensione di vapore di un liquido è uguale alla pressione esterna.

Il **punto normale di ebollizione** è la temperatura a cui un liquido bolle quando la pressione esterna è 1 atm.

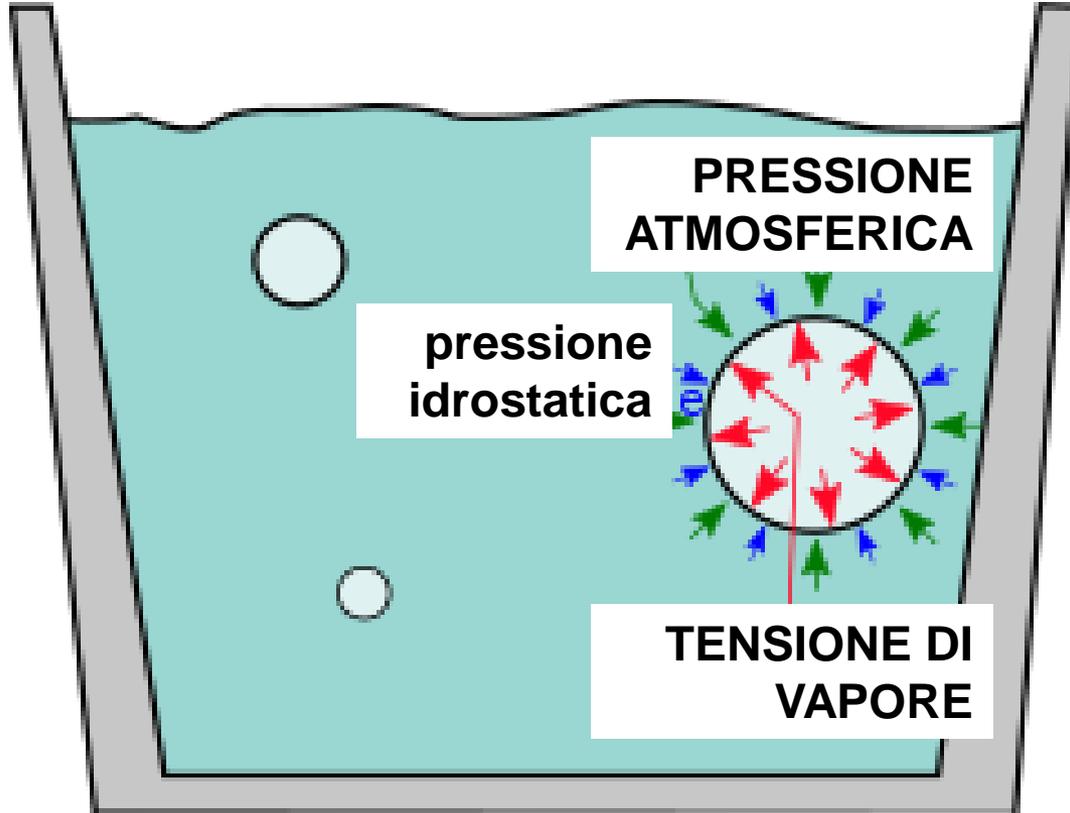
Tabella 9.5 Calori molari di vaporizzazione di alcuni liquidi

Sostanza	Punto di ebollizione* (°C)	ΔH_{vap} (kJ/mole)
Argon (Ar)	-186	6.3
Metano (CH ₄)	-164	9.2
Etere dietilico (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	34.6	26.0
Benzene (C ₆ H ₆)	80.1	31.0
Etanolo (C ₂ H ₅ OH)	78.3	39.3
Acqua (H ₂ O)	100	40.79
Mercurio (Hg)	357	59.0

* Misurato a 1 atmosfera.

Passaggi di stato

Il **punto di ebollizione** è la temperatura alla quale (all'equilibrio) la tensione di vapore di un liquido è uguale alla pressione esterna.



Solo quando la tensione di vapore eguaglia la pressione esterna le bolle possono formarsi, salire e poi scoppiare senza collassare nel liquido



IL PUNTO DI
EBOLLIZIONE
DIPENDE DALLA
PRESSIONE
ESTERNA

L'acqua a 1atm bolle a 100°C, invece a 0,5atm bolle a 82°C

Passaggi di stato

Un liquido è tanto più **volatile** quanto minore è la sua temperatura di ebollizione ovvero quanto maggiore è la sua tensione di vapore.

Il **punto di ebollizione** quindi dipende dalla pressione esterna.

La **condensazione** è il passaggio inverso, da gas a liquido.

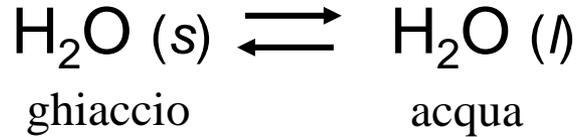
La **temperatura critica** (T_c) è la temperatura sopra la quale la forma gassosa di una sostanza non può essere liquefatta, indipendentemente dall'entità della pressione esercitata.

La **pressione critica** (P_c) è la pressione minima che deve essere esercitata per ottenere la liquefazione alla temperatura critica.

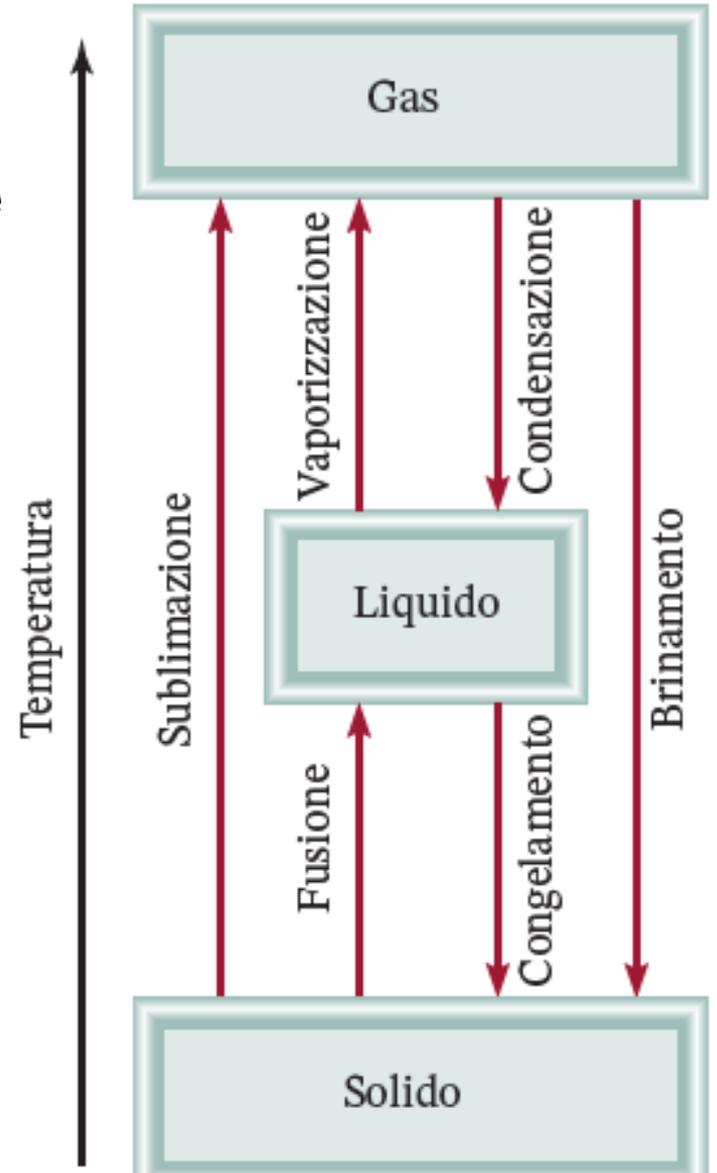
Passaggi di stato

Il **punto di fusione** di un solido o il **punto di congelamento** di un liquido è la temperatura a cui le fasi solide e liquide coesistono all'equilibrio.

0°C e 1atm

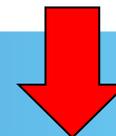


Il **calore molare di fusione** (ΔH_{fus}) è l'energia necessaria per fondere 1 mole di una sostanza solida al suo punto di fusione.



Passaggi di stato

Tabella 9.7 Calori molari di fusione di alcuni liquidi



Sostanza	Punto di fusione* (°C)	ΔH_{fus} (kJ/mole)
Metano (CH ₄)	-183	0.84
Argon (Ar)	-190	1.3
Acqua (H ₂ O)	0	6.01
Etere dietilico (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	-116.2	6.90
Etanolo (C ₂ H ₅ OH)	-117.3	7.61
Benzene (C ₆ H ₆)	5.5	10.9
Mercurio (Hg)	-39	23.4

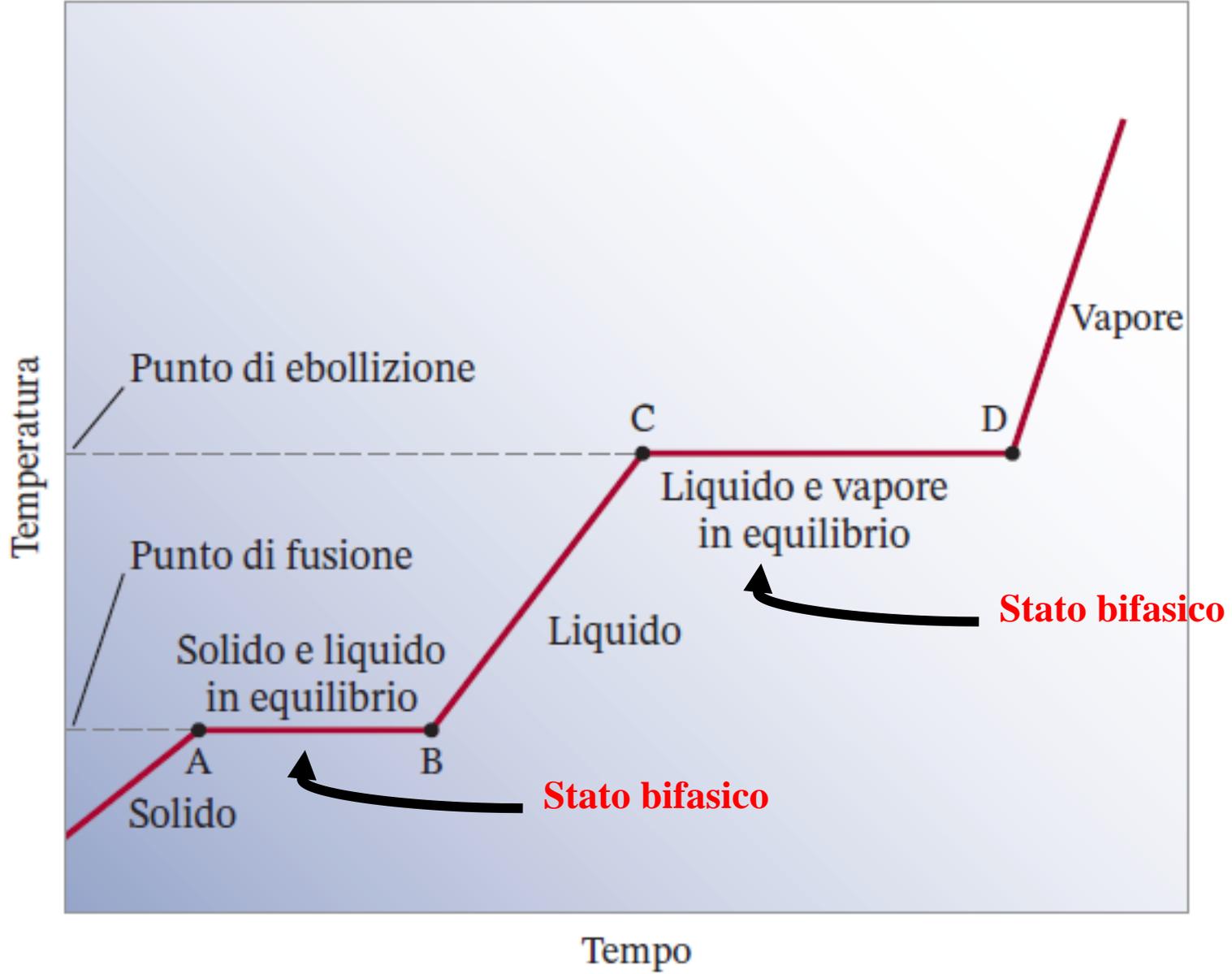
* Misurato a 1 atmosfera.

Sono più basse delle ΔH_{vap} perché le molecole del liquido sono abbastanza legate tra loro ed è più facile farle riorganizzare per passare dal solido al liquido e quindi serve meno energia di quella invece necessaria per far separare completamente le molecole del liquido e farle passare in fase di vapore.



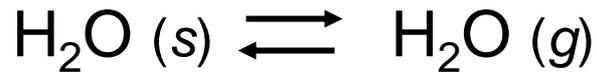
Passaggi di stato

Curva di riscaldamento



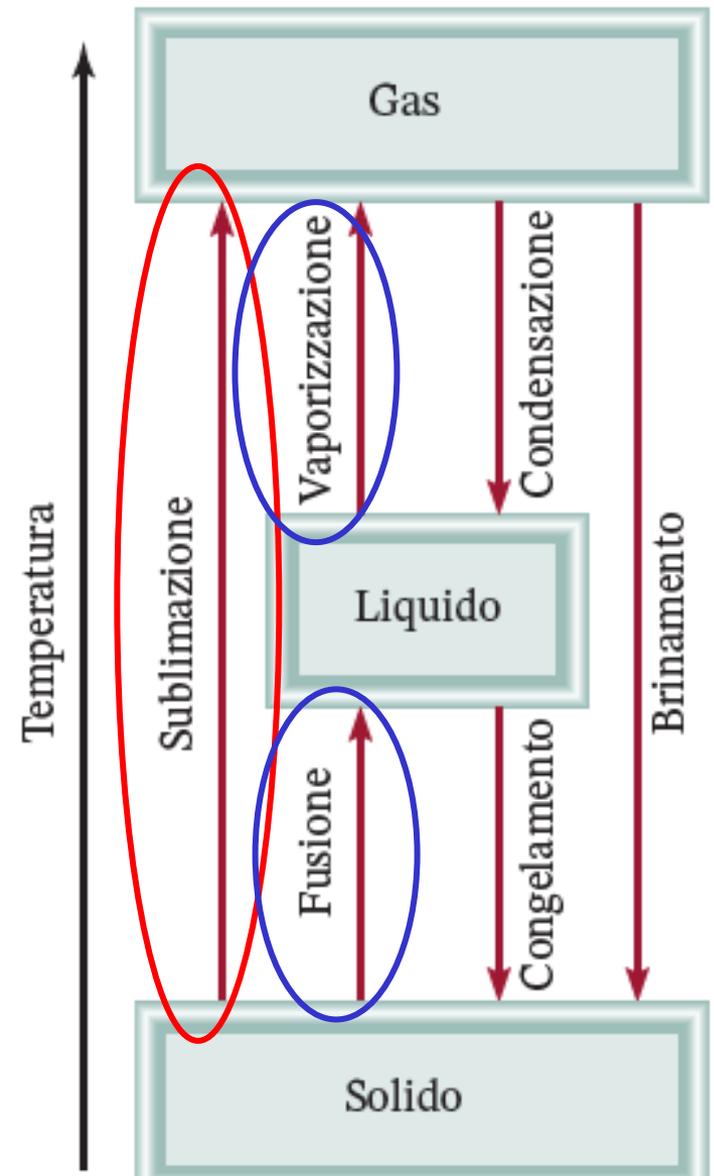
Passaggi di stato

Il **calore molare** di sublimazione (ΔH_{sub}) è l'energia necessaria per sublimare 1 mole di un solido.



$$\Delta H_{\text{sub}} = \Delta H_{\text{fus}} + \Delta H_{\text{vap}}$$

(Per la legge di Hess)



Diagrammi di stato

Un diagramma di stato riassume le condizioni per le quali una sostanza può esistere nella forma di solido, liquido o gas.

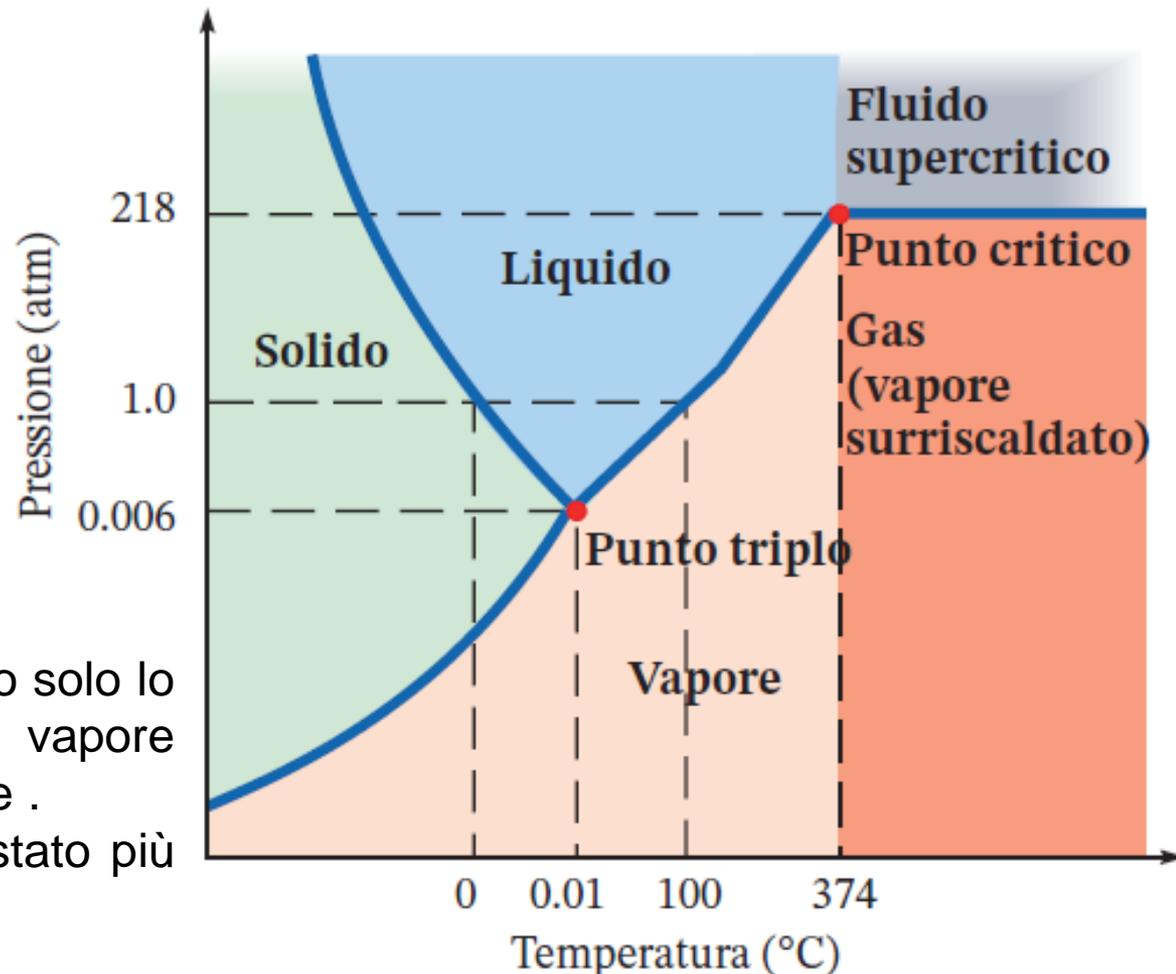
Lo stato dipende dalla **T** e dalla **P** oltre che dalle **forze intermolecolari**

L'andamento è di tipo esponenziale come indicato dall'equazione di Clausius-Clapeyron.

Al **punto triplo** abbiamo la comparsa di un sistema trifasico.

Continuando a riscaldare avremo solo lo stato liquido e la tensione di vapore aumenterà in modo esponenziale. L'aumento della **P** favorisce lo stato più condensato.

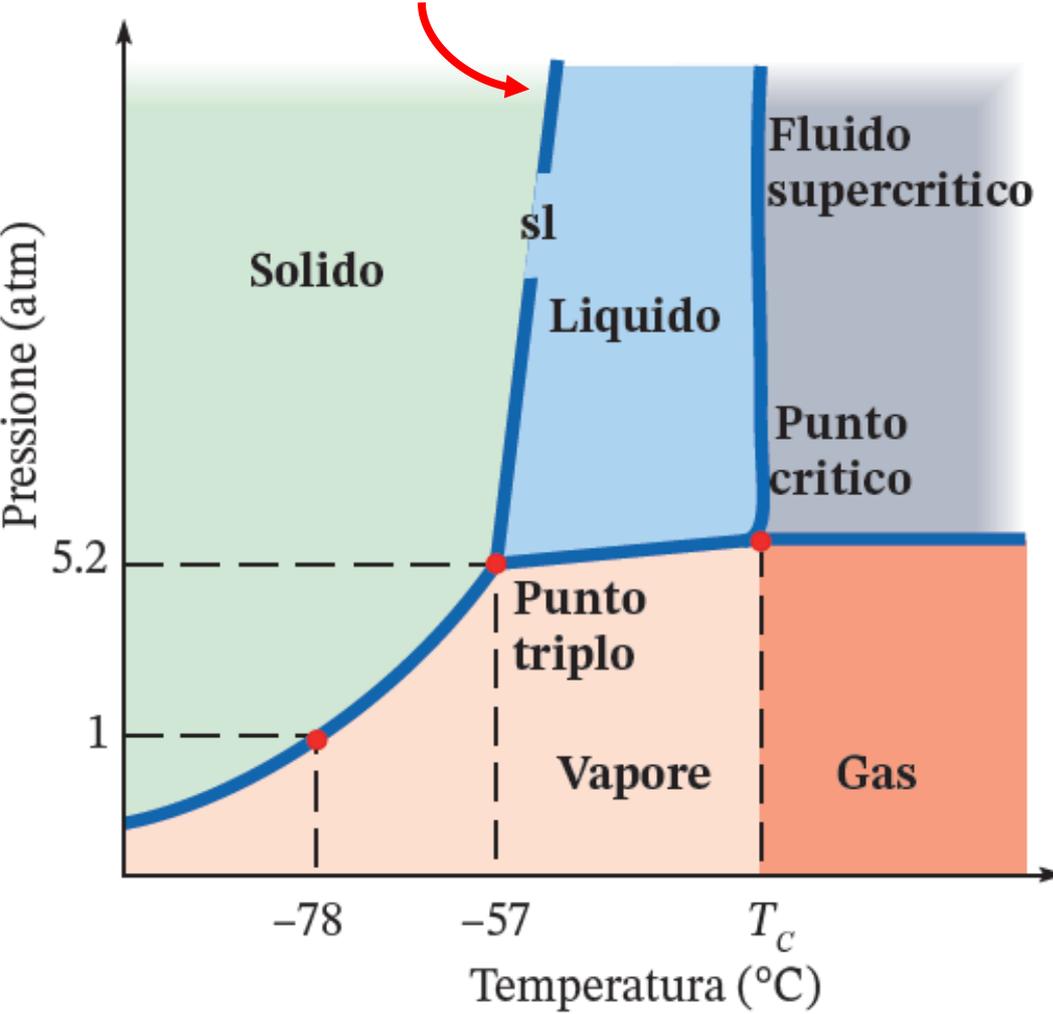
Diagramma di stato dell'acqua



Diagrammi di stato

Diagramma di stato del diossido di carbonio

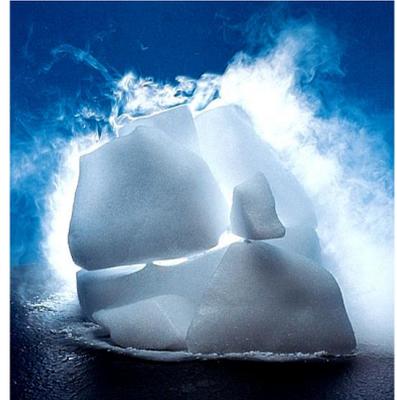
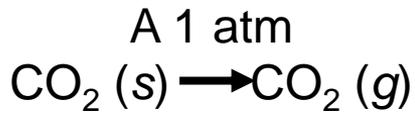
Pendenza positiva



Densità (s) > Densità (l)

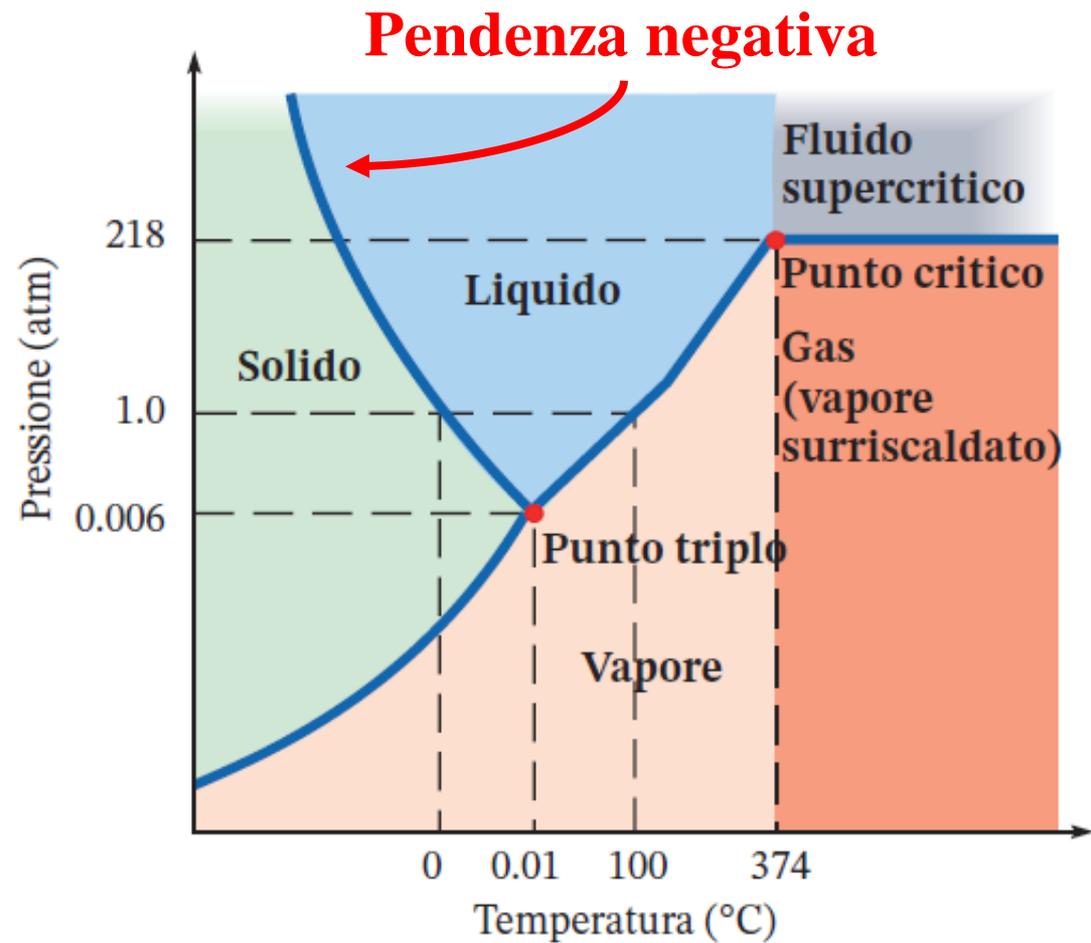
La T di fusione aumenta all'aumentare della pressione (l'aumento della P favorisce la fase più condensata)

In condizioni atmosferiche passa direttamente da solido a gas senza passare dallo stato liquido



Diagrammi di stato

Diagramma di stato dell'acqua



Densità (s) < Densità (l)

La T di fusione diminuisce all'aumentare della pressione, in tal caso all'aumentare della P è favorita la fase liquida che effettivamente nel caso dell'H₂O è quella più densa

Diagrammi di stato

Dal diagramma di stato si evince che la trasformazione di un solido dipende dalla pressione a cui è riscaldato: se il solido è riscaldato ad una pressione maggiore di quella del suo punto triplo passa in fase liquida, viceversa passa in fase di vapore.

Effetto dell'aumento della pressione sul punto di fusione del ghiaccio e sul punto di ebollizione dell'acqua

