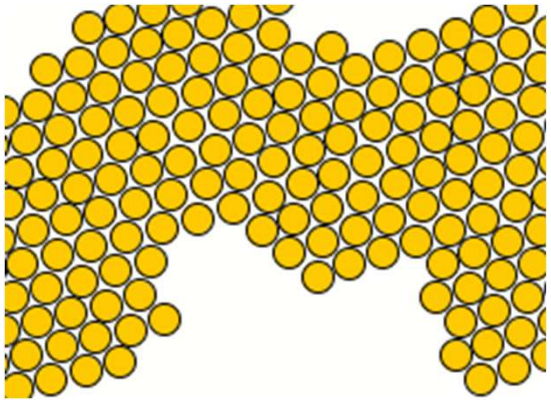
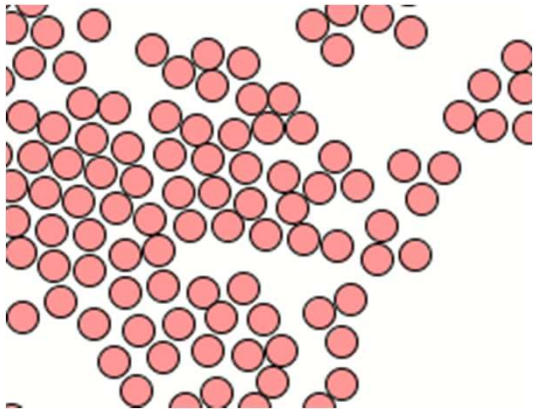
stati di aggregazione della materia

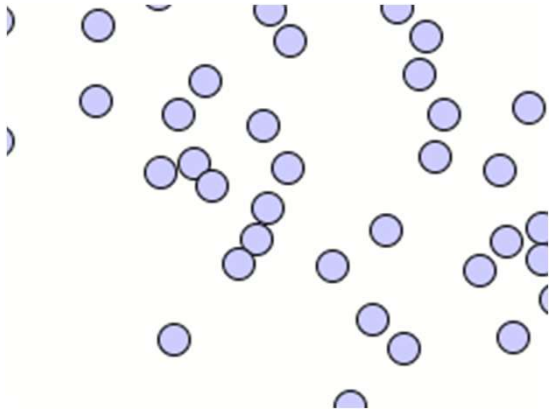
stato solido



stato liquido



stato gassoso



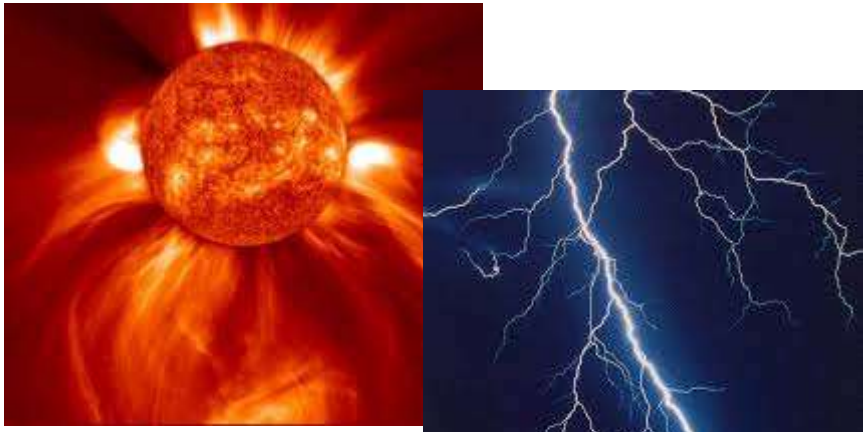
teoria
cinetico-molecolare
della materia

proprietà macroscopiche materia dipendono da ***struttura delle unità elementari*** *e dalle loro* ***interazioni***

stato di aggregazione più abbondante nell'universo

plasma

gas parzialmente o totalmente ionizzato, di carica complessiva neutra, costituito da particelle di vario tipo (i.e. elettroni, ioni, atomi neutri e molecole)



lo stato gassoso

stato gassoso o aeriforme

stato di aggregazione della materia nel quale atomi e molecole sono legati da forze molto deboli, caratterizzato dall'assenza di volume e forma propri.

definito da

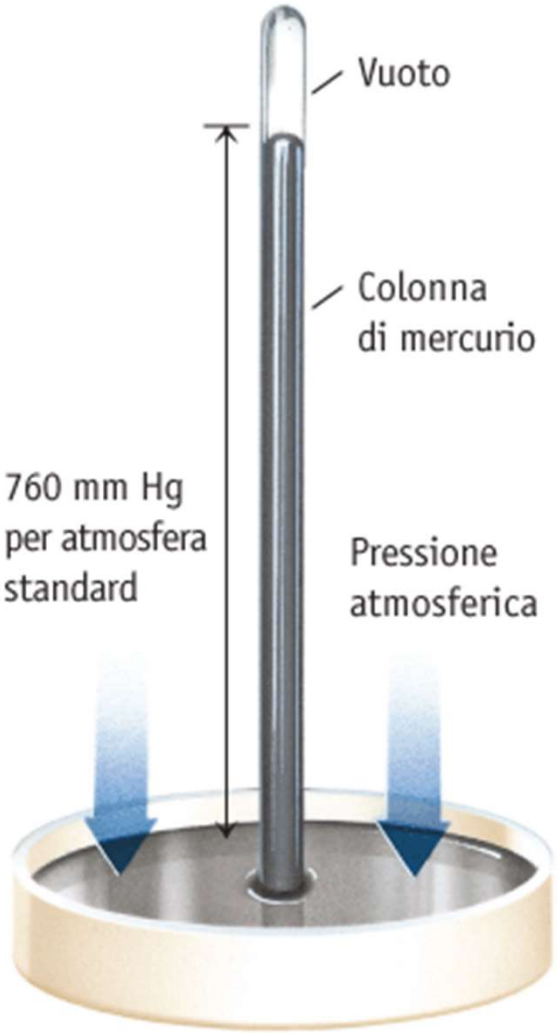
p, V, T, n

gas

sostanza che si trova allo stato gassoso a T e p ordinarie

vapore

stato gassoso di una sostanza che si trova nello stato liquido o solido a T e p ordinarie



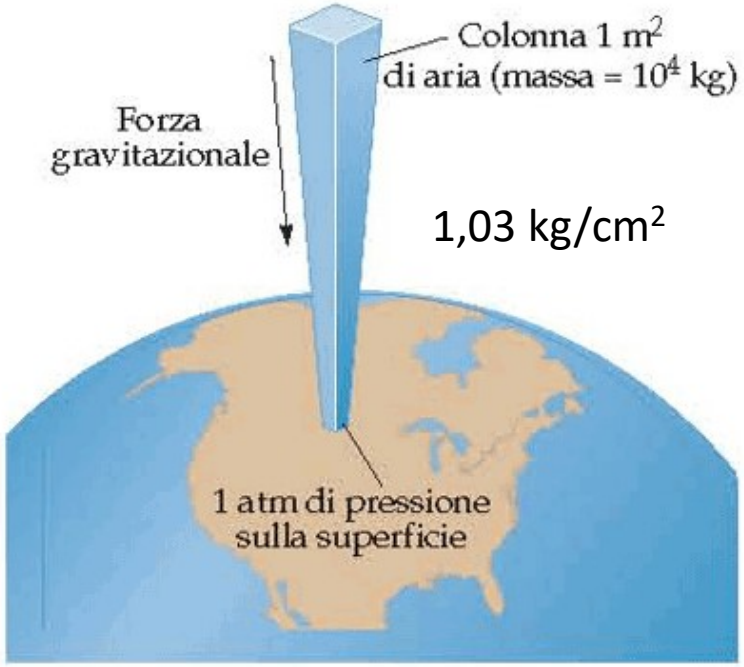
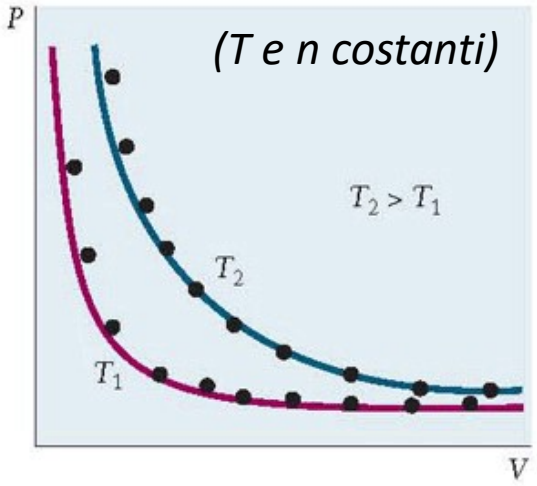


TABELLA 10.4 Fattori di conversione delle unità di pressione

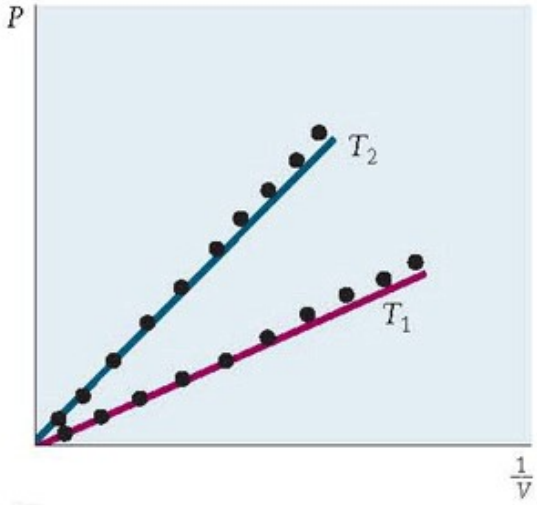
1 atmosfera standard è pari a…

- 760 mm Hg (millimetri di mercurio)
- 760 torr
- 14.7 psi (libbre per pollice quadrato)
- 101 325 Pa (pascal)
- 1.01325 bar
- 0.0 psig (pressione assoluta in libbre per pollice quadrato)
- 29.921 in Hg (pollici di mercurio)

la legge di Boyle



(a)



(b)

$$PV = costante$$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$P = costante \cdot \frac{1}{V}$$

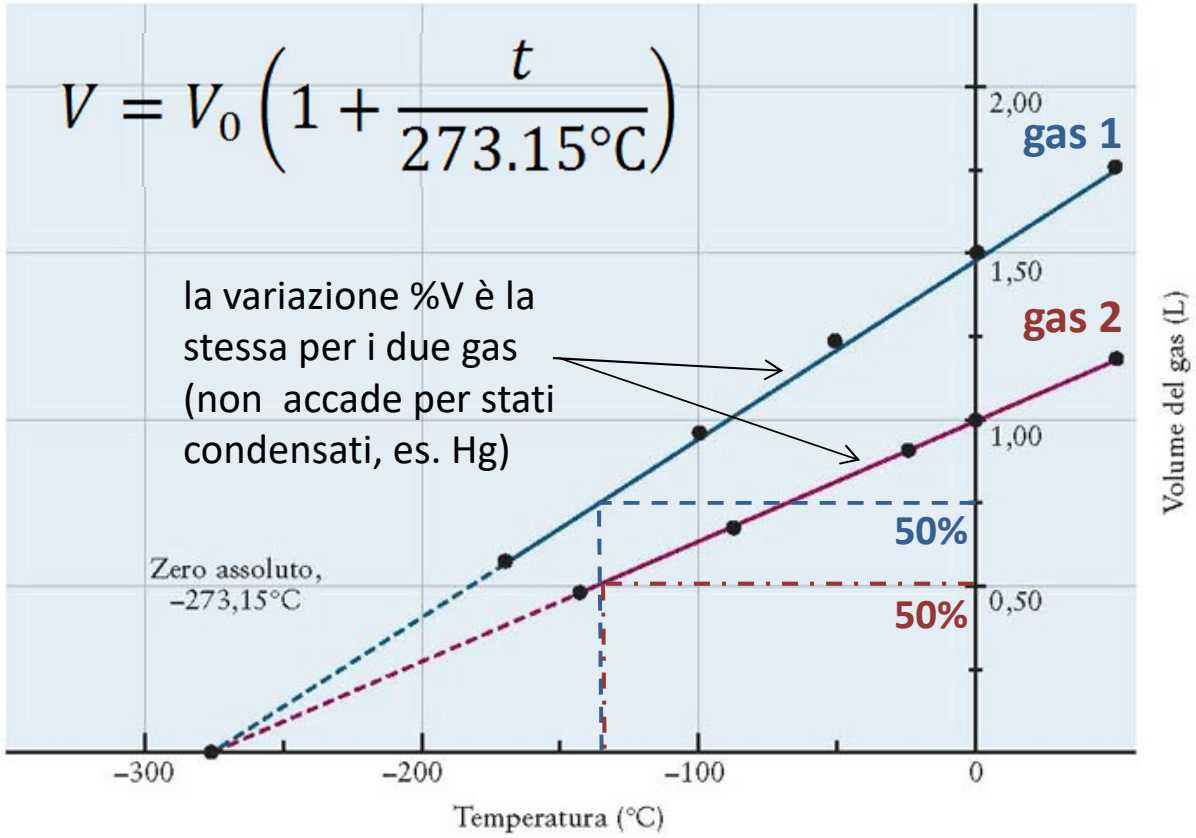
R. Boyle

la legge di Charles *(o prima legge di Gay-Lussac)*

"a pressione costante, il volume di una data quantità di gas varia linearmente con la temperatura"

$$V = costante \cdot T \qquad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

J. A. C. Charles



la variazione di V di un gas permette di definire una scala di temperatura "assoluta" (scala Kelvin)

T(K) = 273.15 + t(°C)

Seconda legge di Gay-Lussac

J.L. Gay-Lussac

$$P = cost \cdot T$$

a volume costante, la pressione esercitata da una data massa di gas è proporzionale alla temperatura

la legge di Avogadro

ipotesi di Avogadro

"Volumi uguali di gas diversi, misurati nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, contengono lo stesso numero di particelle"

legge di Avogadro

"il volume di un gas, in determinate condizioni di temperatura e pressione, è direttamente proporzionale alla quantità del gas"

$$V = costante \cdot n$$

la legge dei gas “ideali” (o “perfetti”)

(equazione di stato dei gas ideali o perfetti)

Legge di Boyle

$$V \propto \frac{1}{P}$$

Legge di Charles

$$V \propto T$$

Legge di Avogadro

$$V \propto n$$

$$V \propto \frac{nT}{P}$$

$$V = R\frac{nT}{P}$$

$$PV = nRT$$

costante universale dei gas

$R = 0.082\ L\ atm\ mol^{-1}\ K^{-1}$

$R = 8.3145\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$

limiti di validità

vale per tutti i gas a temperature e pressioni vicine a quelle ambiente, ma non per alte pressioni o basse temperature

le equazioni di stato

$$PV = nRT$$

equazione di stato

relazione matematica tra due o più ***funzioni (o variabili) di stato*** *di un sistema materiale*

funzione (o variabile) di stato

grandezza fisica o proprietà di un sistema che dipende solamente dal suo stato attuale, e non dal particolare cammino seguito per arrivarvi (es. p, V, T)

$$PV = nRT$$

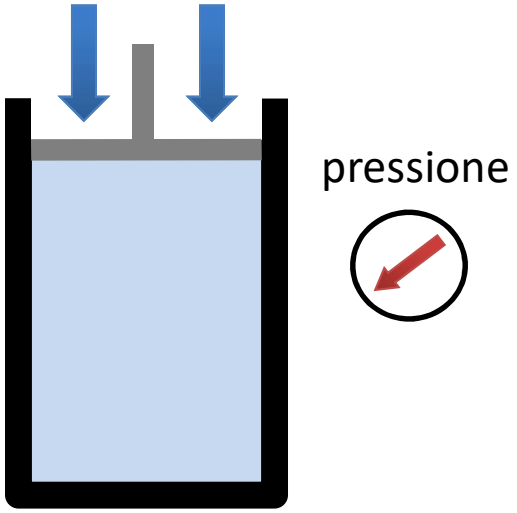
$$P = (\mathrm{nRT})\frac{1}{V}$$

$$V = \left(\frac{\mathrm{nR}}{\mathrm{P}}\right)T$$

P costante

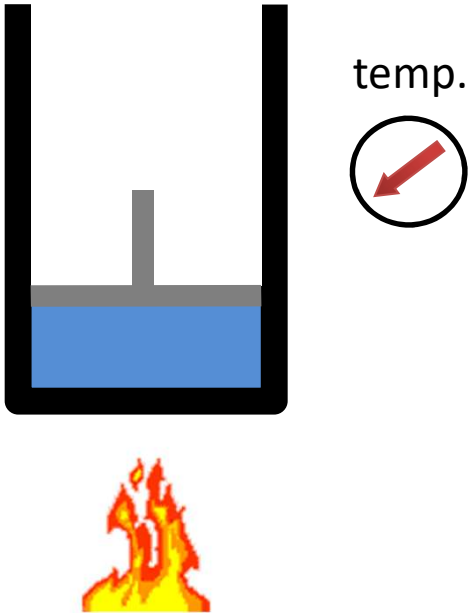
$$P = \left(\frac{\mathrm{nR}}{\mathrm{V}}\right)T$$

V costante

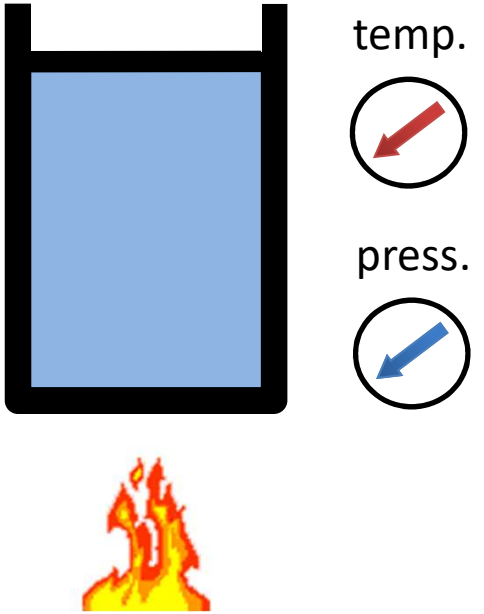


pressione

T costante



temp.



temp.

press.

legge dei gas e calcoli stechiometrici

(ricordiamo il concetto di ***massa molare****)*

MASSA MOLARE (g/mol)
(massa corrispondente ad una mole)

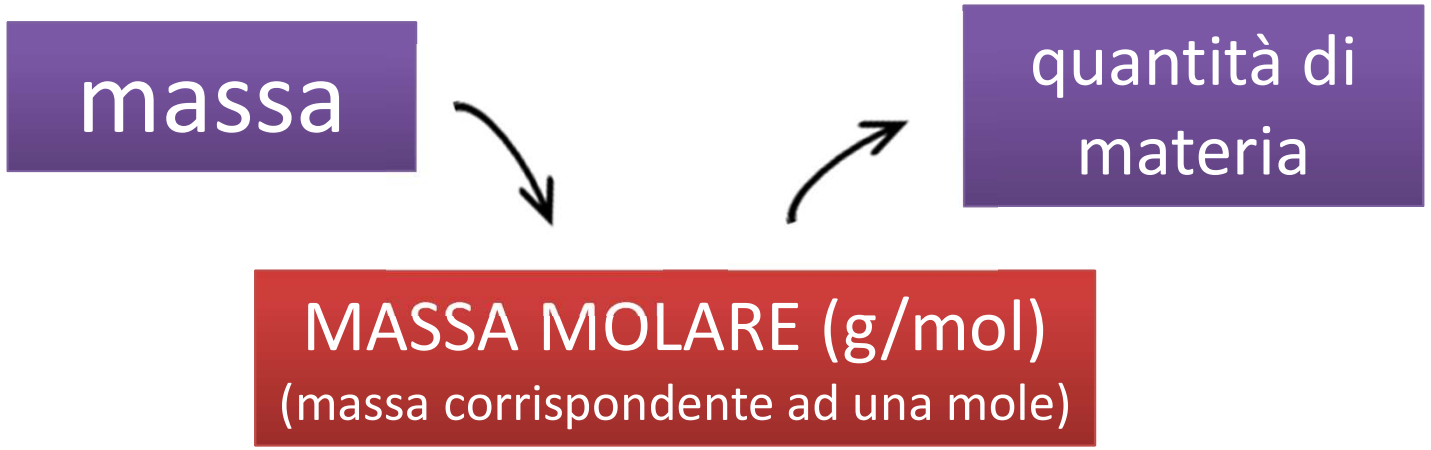
La massa di una mole di **molecole**, espressa in grammi,
è numericamente uguale **peso molecolare**.

P.M. H_2O
= (2·1) + 16 = 18 Da

P.M. CO_2
= 12 + (2·16) = 44 Da

somma dei pesi atomici degli atomi costituenti la molecola

legge dei gas e calcoli stechiometrici



$$n° \; moli \; (mol) = \frac{massa \; (g)}{massa \; molare \; (g \; mol^{-1})}$$

condizioni convenzionali

condizioni normali (c.n.)

0°C (273.15 K), 1 atm

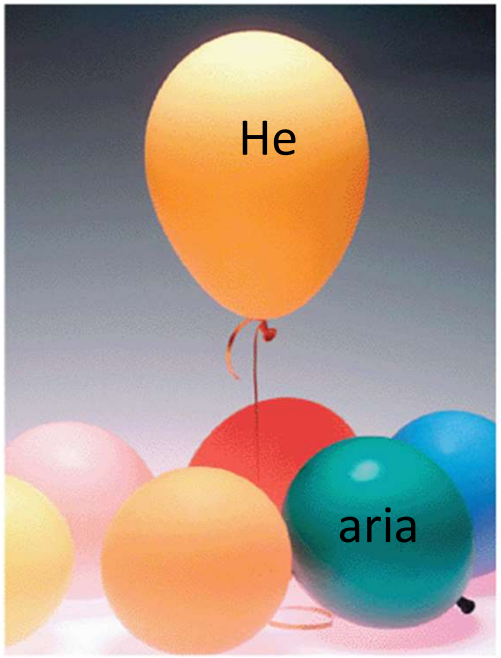
condizioni standard (t.p.s.)

25°C (298.15 K), 1 atm

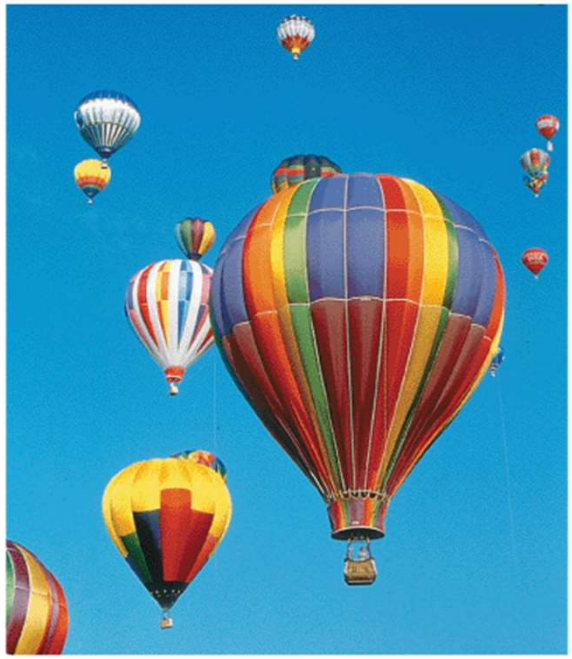
densità dei gas

$$PV = nRT \qquad \frac{n}{V} = \frac{P}{RT} \qquad \frac{m}{VM} = \frac{P}{RT}$$

$$\boxed{d = \frac{m}{V} = \frac{MP}{RT}}$$



(a)



(b)

miscele di gas (legge di Dalton)

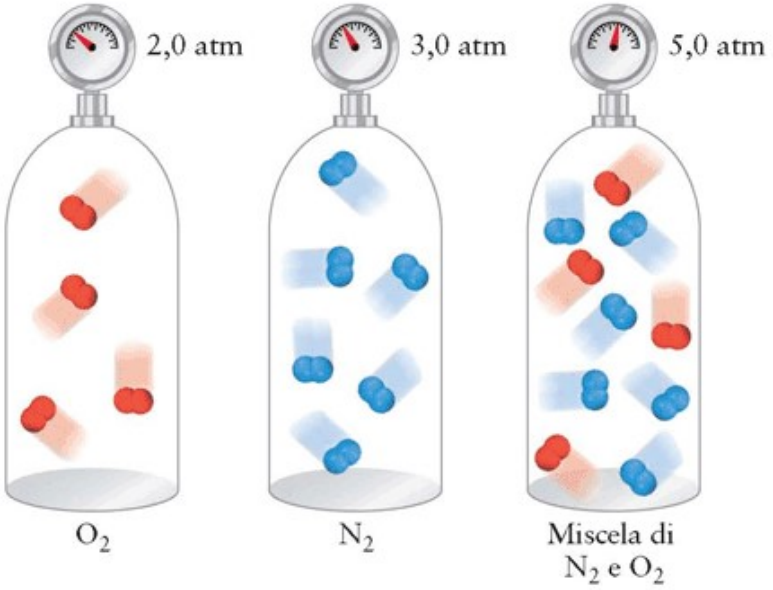
pressione parziale

"la pressione che un gas eserciterebbe se fosse da solo nel recipiente"

$$P_A = n_A \frac{RT}{V}$$

$$P_{totale} = P_A + P_B + P_C + (\dots) = \sum_i P_i$$

"la pressione totale di una miscela di gas è la somma delle pressioni parziali dei singoli gas"



$$P_{tot} = n_{tot} \frac{RT}{V}$$

$$\chi_A = \frac{n_A}{n_{tot}}$$ "frazione molare"

$$P_A = \chi_A \cdot P_{tot}$$

miscele di gas (legge di Dalton)

$$P_A = \chi_A \cdot P_{tot}$$

TABELLA 11.1 Componenti dell'aria atmosferica secca

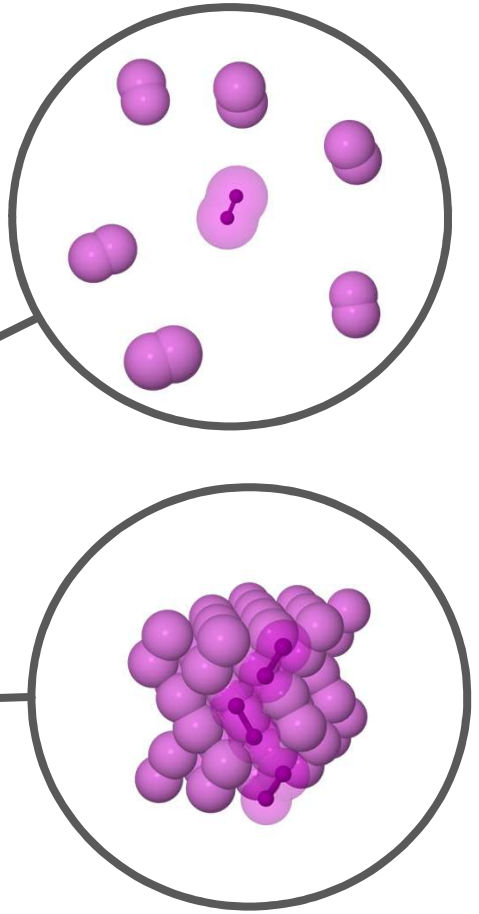
Costituente	Massa molare*	Mole percentuale	Pressione parziale a STP (atm)
N_2	28.01	78.08	0.7808
O_2	32.00	20.95	0.2095
CO_2	44.01	0.0385	0.00033
Ar	39.95	0.934	0.00934

*Massa molare media dell'aria secca = 28.960 g/mol.

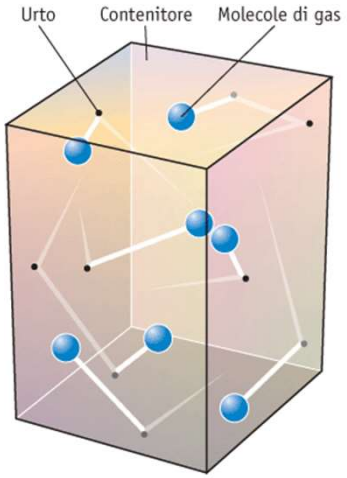
descrizione macroscopica
in termini di grandezze fisiche osservabili

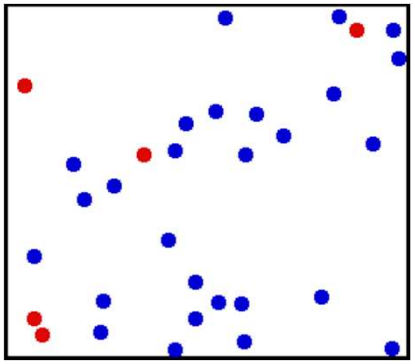
descrizione microscopica
in termini atomico-molecolari

$$PV = nRT$$



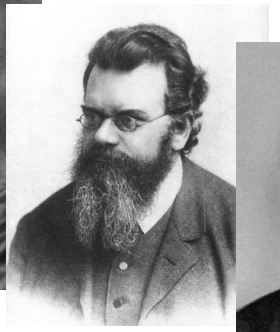
teoria cinetica dei gas (1857-1871)



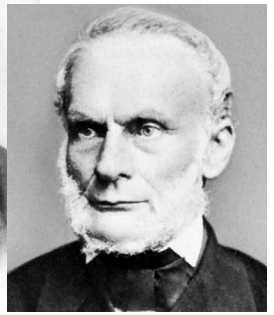


J. C. Maxwell

L. Boltzmann

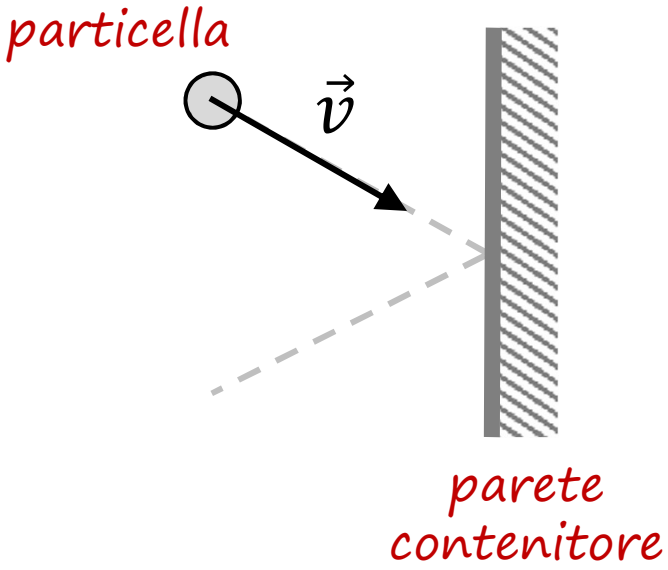


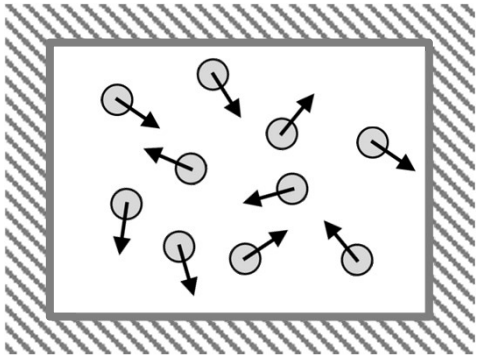
R. Clausius



1. un gas puro consiste in un grande numero di molecole identiche separate da **distanze** che sono **grandi** rispetto alle loro dimensioni (**puntiformi**, massa non nulla)
2. le molecole del gas sono **constantemente in moto, in direzioni casuali** e con una distrubuzione di velocità
3. le molecole **non esercitano forze** tra di esse, ed in assenza di collisioni si muovono in **linea retta con velocità costante**
4. le **collisioni** con le pareti del contenitore sono **elastiche**

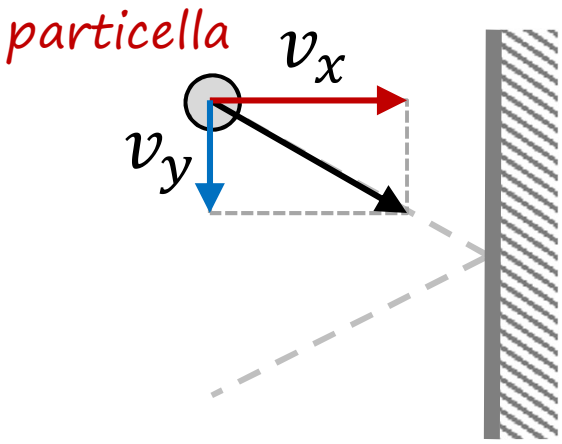
teoria cinetica dei gas (1857-1871)





la pressione del gas è dovuta
alle collisioni delle particelle
con le pareti del contenitore

teoria cinetica dei gas (1857-1871)

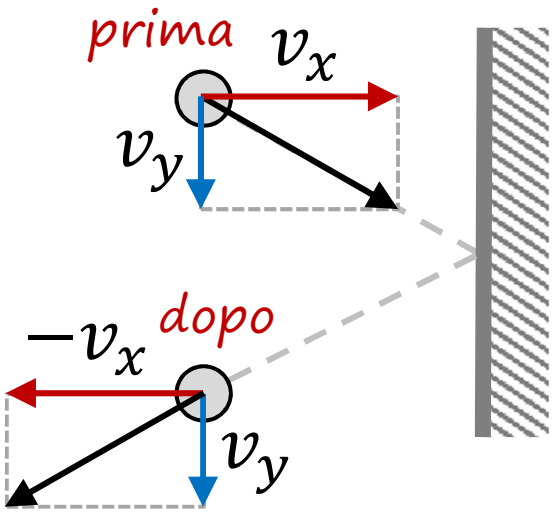


$$\vec{v} = v_x + v_y (+ v_z)$$

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad p_x = mv_x$$

componente in x della quantità di moto

teoria cinetica dei gas (1857-1871)



$$\vec{v} = v_x + v_y(+ v_z)$$

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad p_x = mv_x$$

$$\triangle p_x = p_{x,fin} - p_{x,ini}$$

$$\triangle p_x = m(-v_x) - mv_x$$

$$\triangle p_x^{mol} = -2mv_x$$

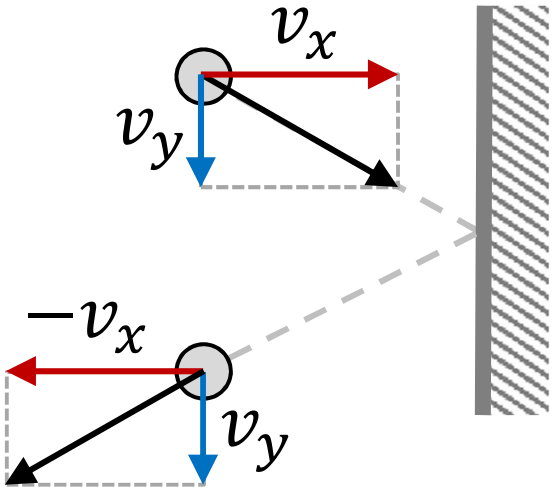
conservazione quantità di moto

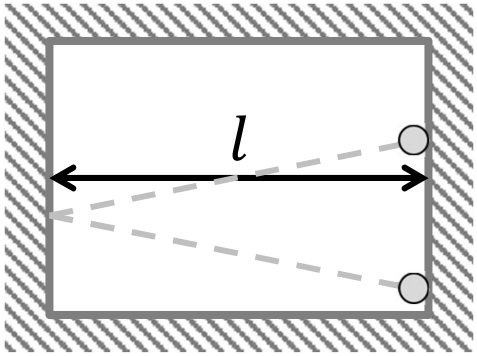
$$\triangle p_x^{parete} + \triangle p_x^{mol} = 0$$

$$\triangle p_x^{parete} = 2mv_x$$

quantità di moto trasferita alla parete del contenitore

teoria cinetica dei gas (1857-1871)





$$\triangle t = \frac{2l}{v_x}$$

tempo tra due collisioni con la stessa parete

p trasferito alla parete per unità di tempo

$$\frac{\triangle p_x^{parete}}{\triangle t} = \frac{2mv_x}{2l/v_x} = \frac{mv_x^2}{l}$$

teoria cinetica dei gas (1857-1871)

$$f = ma$$

forza trasferita alla parete

$$f = m\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta p_x}{\Delta t} = \frac{mv_x^2}{l}$$

$$f = \frac{mv_x^2}{l}$$

per N particelle

$$F = \frac{mv_{x1}^2}{l} + \frac{mv_{x2}^2}{l} + \cdots + \frac{mv_{xN}^2}{l}$$

$$F = \frac{Nm}{l}\left[\frac{1}{N}(v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + \cdots + v_{xN}^2)\right] = \frac{Nm}{l}\underbrace{\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_{xi}^2\right)}_{\overline{v_x^2}}$$

$$F = \frac{Nm}{l}\overline{v_x^2}$$

teoria cinetica dei gas (1857-1871)

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Nm}{Al}\overline{v_x^2} = \frac{Nm}{V}\overline{v_x^2}$$

superficie parete

$$\boxed{PV = Nm\overline{v_x^2}}$$

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

velocità quadratica media

$$\overline{v^2} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i^2 = \frac{1}{N}(v_1^2 + v_2^2 + \cdots)$$

$$\overline{v^2} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(v_{xi}^2 + v_{yi}^2 + v_{zi}^2\right) = \underbrace{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_{xi}^2}_{\overline{v_x^2}} + \underbrace{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_{yi}^2}_{\overline{v_y^2}} + \underbrace{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_{zi}^2}_{\overline{v_z^2}}$$

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$$

teoria cinetica dei gas (1857-1871)

velocità quadratica media

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$$

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$$

le molecole non hanno una direzione preferita di movimento

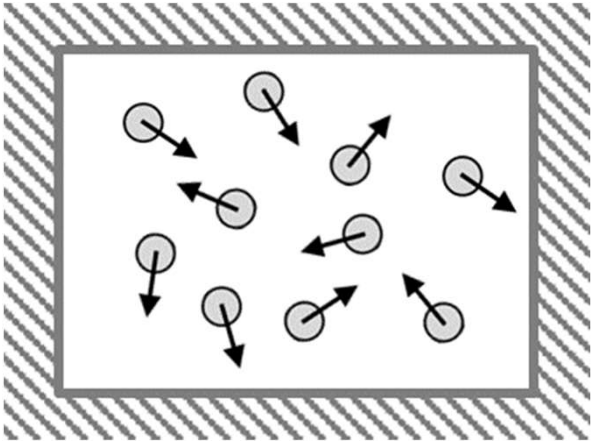
$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} = 3\overline{v_x^2}$$

$$\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$$

$$PV = Nm\overline{v_x^2}$$

$$PV = \frac{1}{3}Nm\overline{v^2}$$

teoria cinetica dei gas (1857-1871)



numero di particelle

$$pV = \frac{1}{3} N m \overline{v^2}$$

velocità quadratica media

massa di una particella

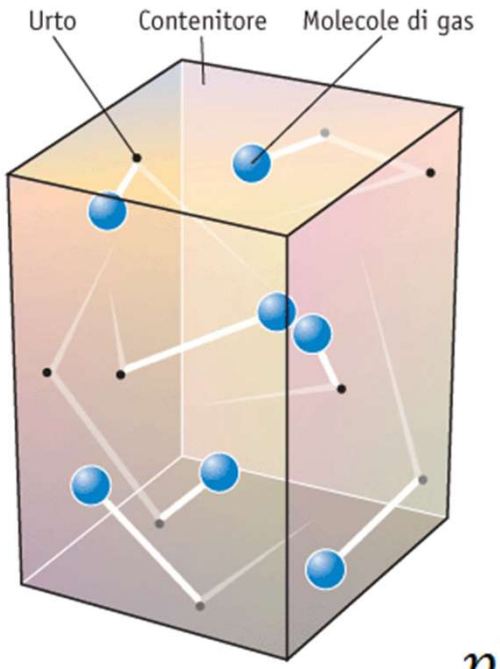
$$pV = nRT$$

$$\frac{1}{3} N m \overline{v^2} = nRT$$

$$\overline{K} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{N_A} \left(\frac{1}{3} N_A m \overline{v^2} \right)$$

$$\frac{1}{3} N_A m \overline{v^2} = RT$$

$$\overline{K} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{N_A} RT = \frac{3}{2} k_B T$$



la pressione del gas è dovuta alle collisioni delle particelle con le pareti del contenitore

si può dimostrare che:

numero di particelle

$$pV = \frac{1}{3} N m \overline{v^2}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{{v_i}^2}{N}}$$

velocità quadratica media

massa di una particella

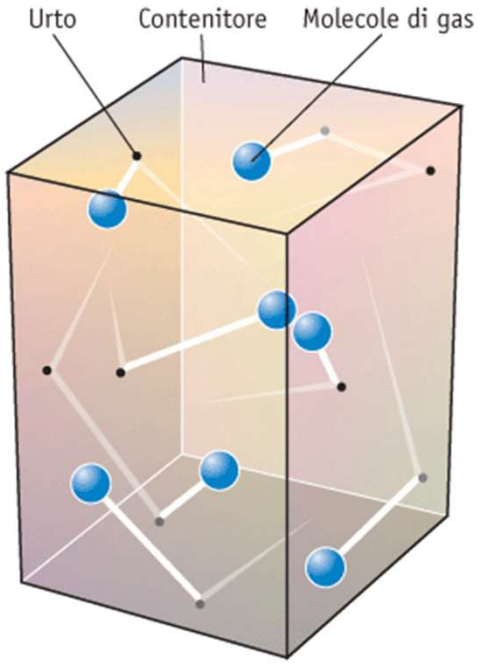
$$pV = nRT$$

$$\frac{1}{3} N m \overline{v^2} = nRT$$

$$\overline{K} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{N_A} \left(\frac{1}{3} N_A m \overline{v^2} \right)$$

$$\frac{1}{3} N_A m \overline{v^2} = RT$$

$$\overline{K} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{N_A} RT = \frac{3}{2} k_B T$$



energia cinetica media
di una singola particella

temperatura

$$\overline{K} = \frac{3}{2} k_B T$$

relazione tra energia e T

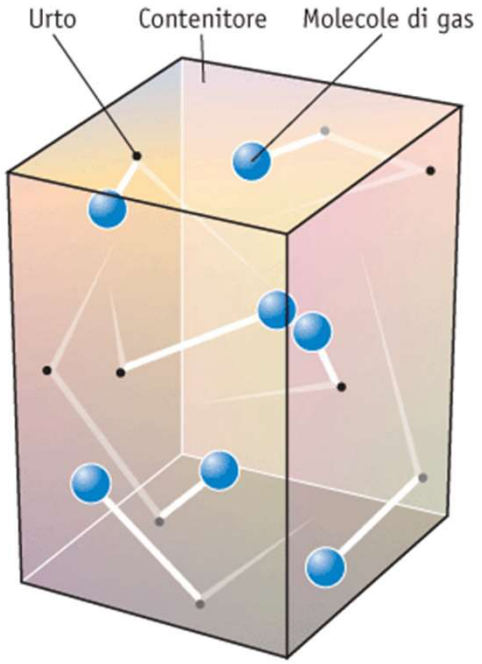
(definizione "microscopica")

la temperatura è una misura dell' ***energia cinetica***

(per una mole di gas)

$R = k_B \cdot N_A$

$$\overline{K} = \frac{3}{2} RT$$



velocità quadratica media

temperatura

$$\frac{1}{3} N_A m \overline{v^2} = RT$$

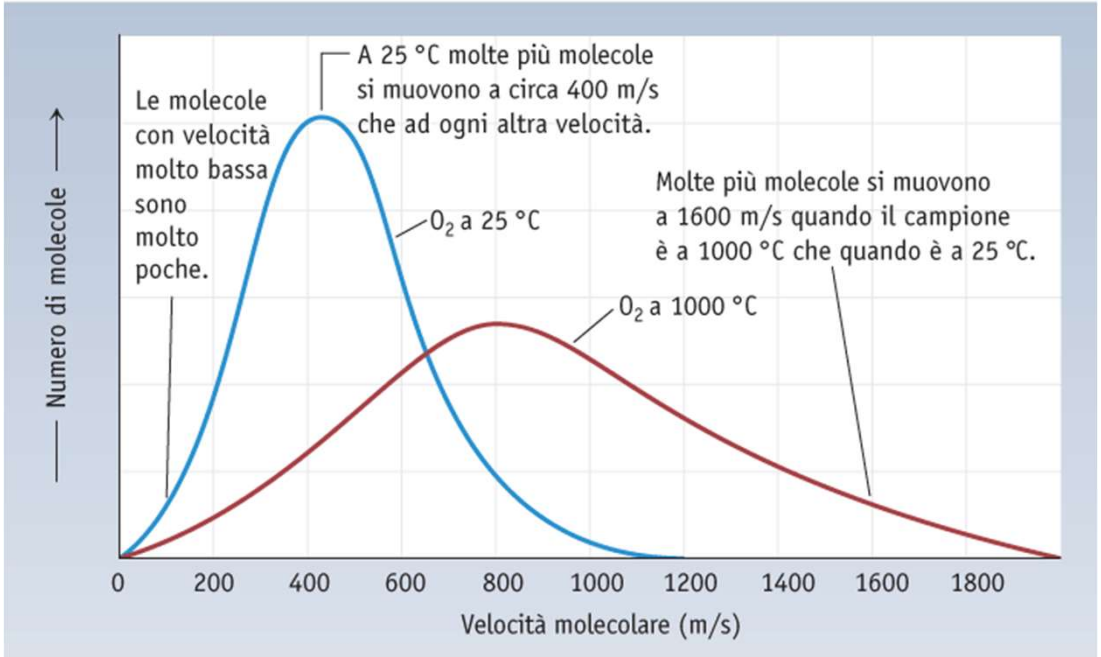
relazione tra velocità molecolare e T

(definizione “microscopica”)

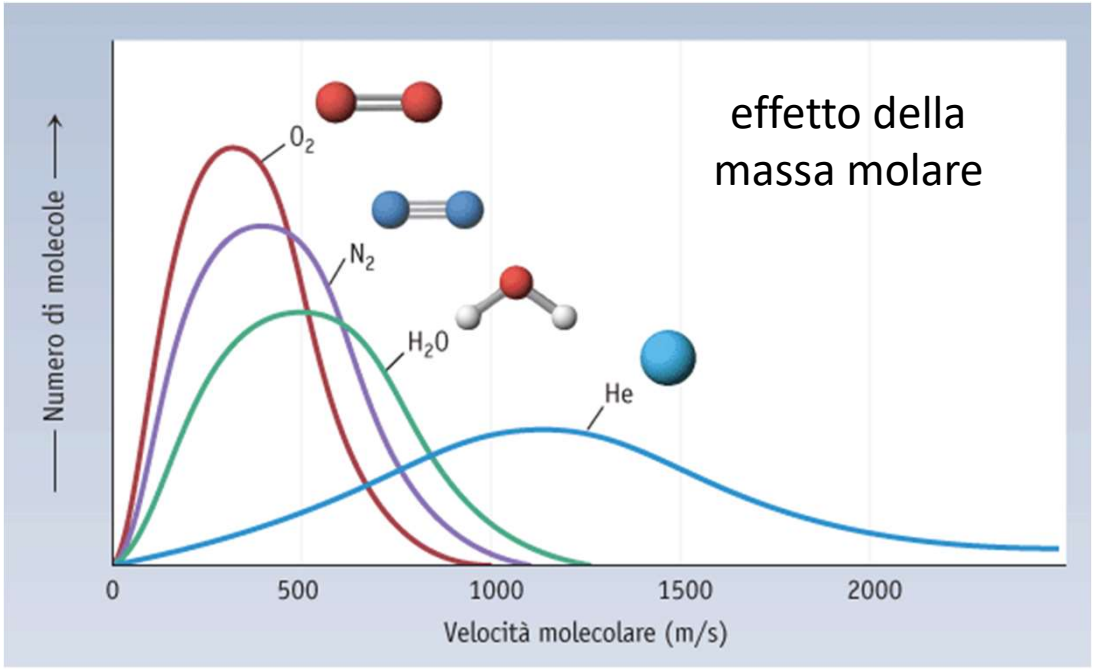
la temperatura è correlata alla ***velocità molecolare***

che velocità hanno le particelle del gas?

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi k_b T} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2k_b T}$$



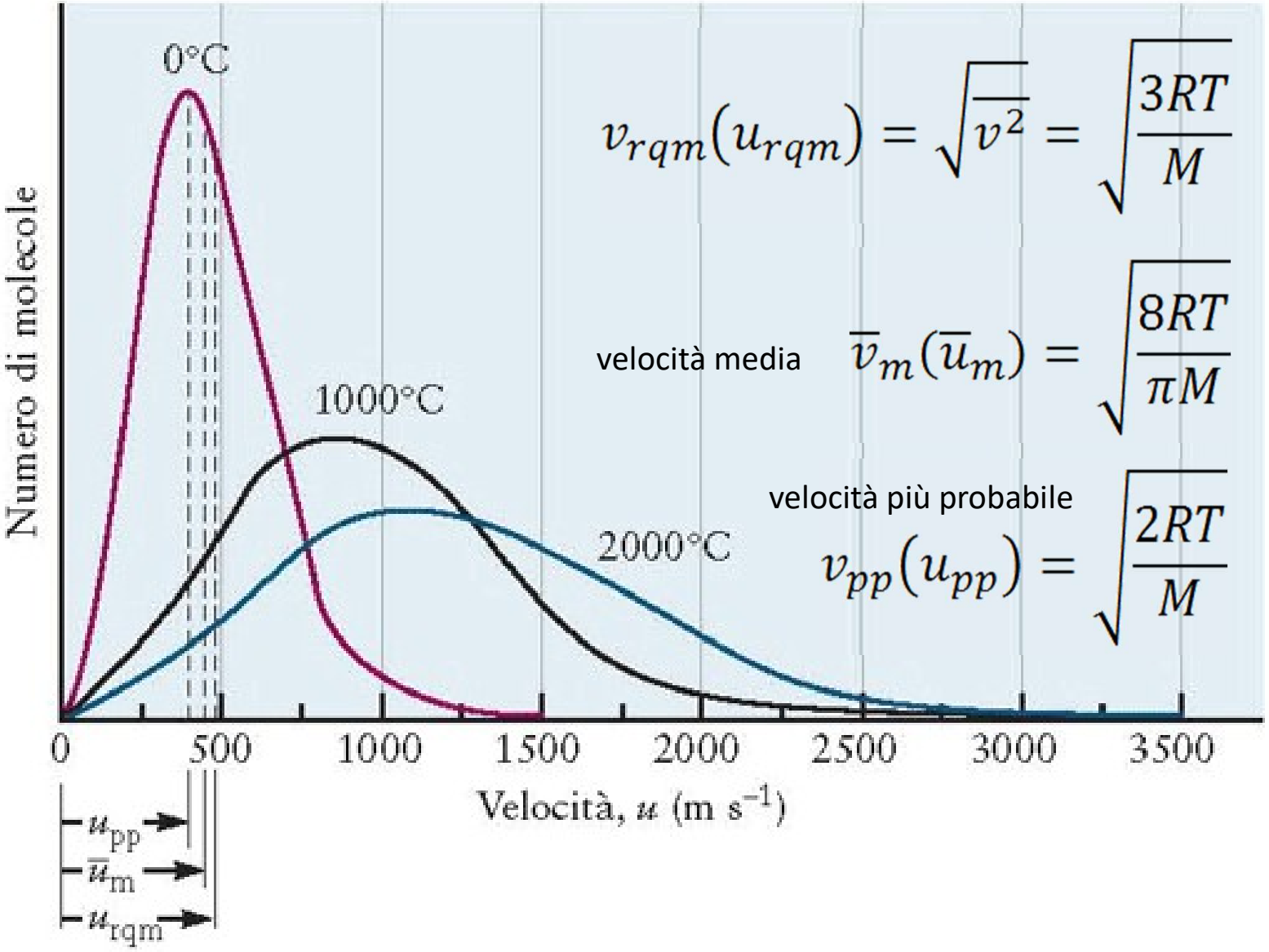
distribuzione delle velocità molecolari di *Maxwell - Boltzmann*



velocità media

$$\overline{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

massa molare



$$v_{rqm}(u_{rqm}) = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

velocità media $\quad \overline{v}_m(\overline{u}_m) = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$

velocità più probabile

$$v_{pp}(u_{pp}) = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

legge di Graham

$$\frac{1}{2}M\overline{v^2} = \frac{3}{2}RT \quad \rightarrow \quad \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3}{M}RT}$$

(da teoria cinetica)

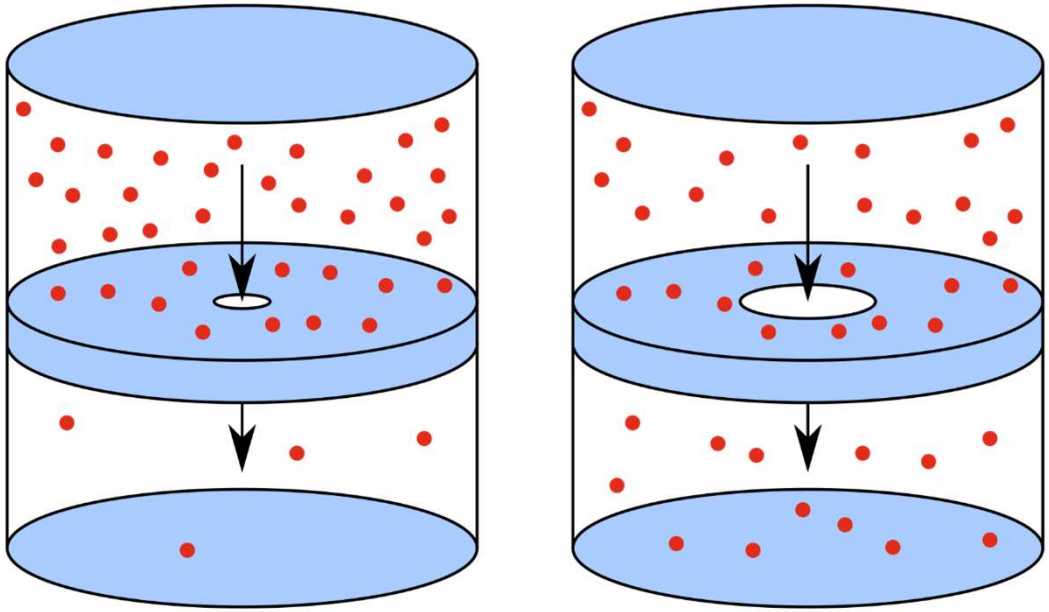
gas diversi hanno diverse velocità di effusione (i.e. movimento del gas attraverso una piccola apertura):

possono essere separati!

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

(legge di Graham)

legge di Graham



legge di Graham

usato per arricchimento U con ^{235}U, una volta trasformato nel gas UF_6

$$M_{^{235}UF_6} = 349.042$$

$$M_{^{238}UF_6} = 352.032$$

$$\frac{v_{^{235}UF_6}}{v_{^{23}\ UF_6}} = \sqrt{\frac{352.032}{349.042}} = 1.004$$

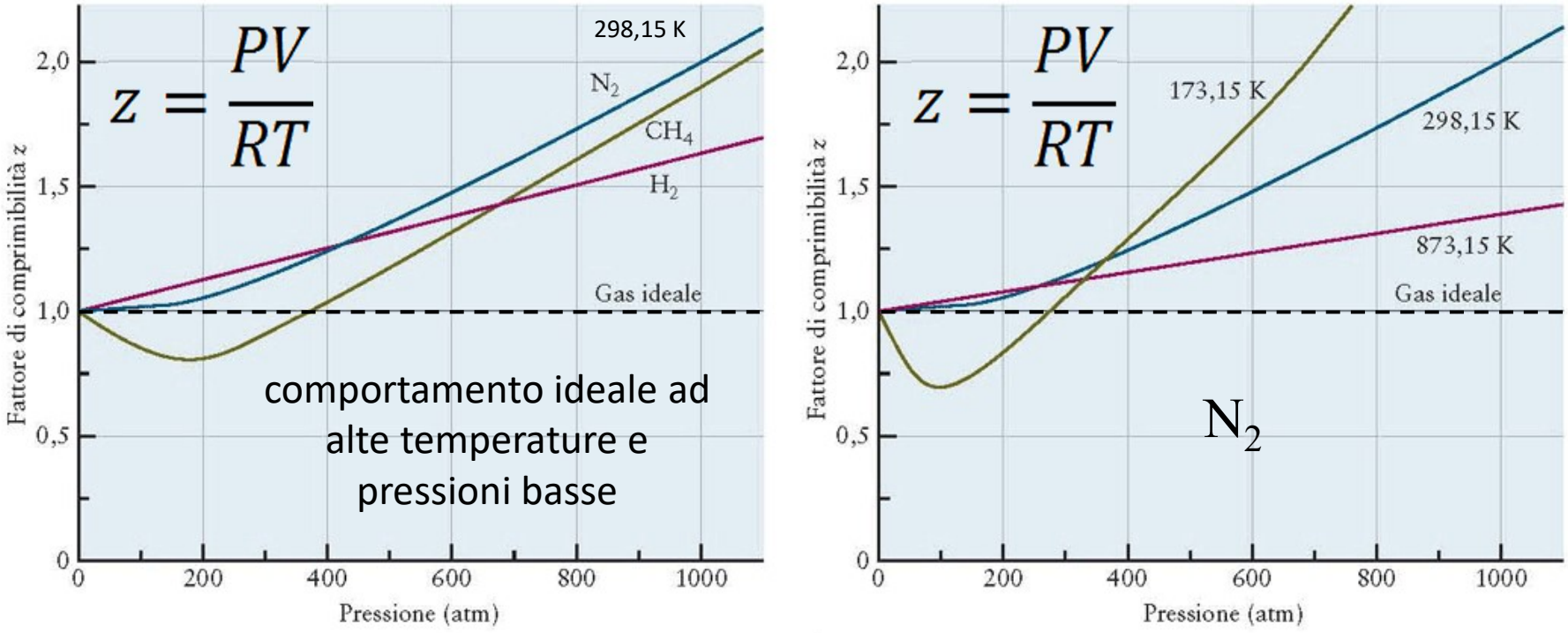
gas diversi hanno diverse velocità di effusione (i.e. movimento del gas attraverso una piccola apertura):

possono essere separati!

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

(legge di Graham)

gas “ideali” e gas “reali”



gas ideale *gas che obbedisce all’equazione di stato PV=nRT (IUPAC)*

gas reale *gas che NON obbedisce all’equazione di stato PV=nRT*

gas “ideali” e gas “reali”

ATTENZIONE!
Non esistono gas ideali o reali, ma **comportamenti** ideali o reali per un dato gas

equazione di van der Waals

$$\left(P + a\frac{n^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

$$P_{reale} = P_{ideale} - a(n/V)^2$$

termine dovuto alla presenza di **forze intermolecolari**

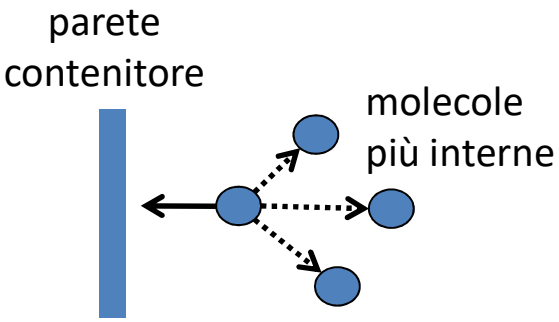
la pressione è minore a causa dell'attrazione tra molecole

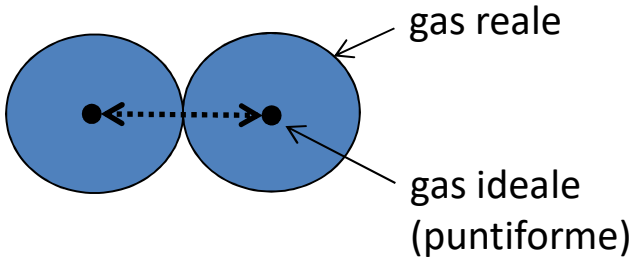
$$V_{reale} = V_{ideale} + nb$$

termine dovuto al **volume non-nullo** occupato dalle molecole

(b, "*volume escluso*" o "covolume")

il volume è maggiore a causa delle dimensioni molecolari





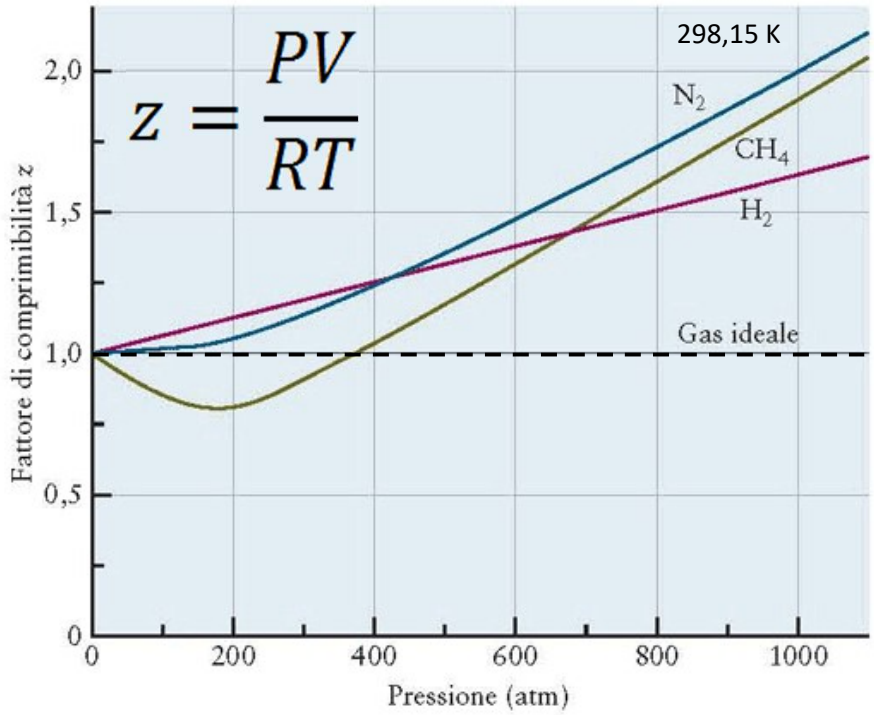
equazione di van der Waals

$$\left(P + a\frac{n^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

Gas	Formula	misura forze attrattive a (atm $L^2 \cdot mol^{-2}$)	misura dimensioni b ($L \cdot mol^{-1}$)
Acetilene	C_2H_2	4.39	0.0514
Ammoniaca	NH_3	4.17	0.0371
Argon	Ar	1.35	0.0322
Anidride carbonica	CO_2	3.59	0.0427
Cloro	Cl_2	6.49	0.0562
Etano	C_2H_6	5.49	0.0638
→ Elio	He	0.034	0.0237
→ Idrogeno	H_2	0.244	0.0266
Metano	CH_4	2.25	0.0428
→ Azoto	N_2	1.39	0.0391
→ Ossigeno	O_2	1.36	0.0318
Biossido di zolfo	SO_2	6.71	0.0564

Fonte: Maron and Prutton, *Principles of Physical Chemistry.* New York: MacMillan, 1959, p. 33.

equazione di van der Waals



si fanno sentire i **volumi non nulli** delle particelle
(V maggiore del previsto)

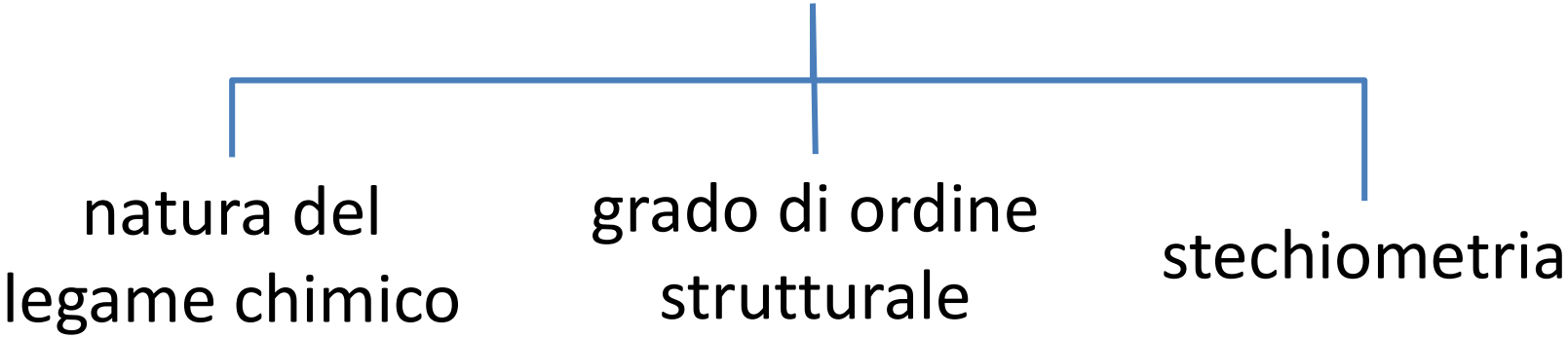
si fanno sentire gli effetti delle **forze intermolecolari**
(P minore del previsto)

stato solido

stato della materia nella quale i corpi hanno forma e volume propri

solidi classificabili in base a

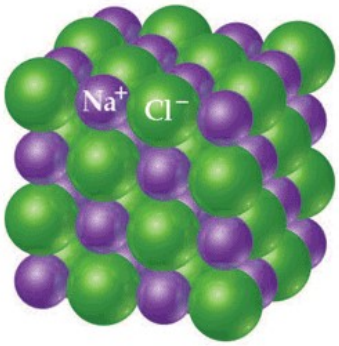
3 criteri

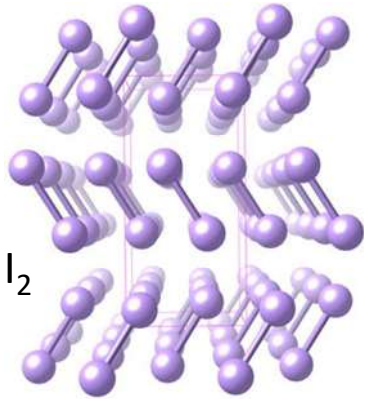


(1) natura del legame chimico

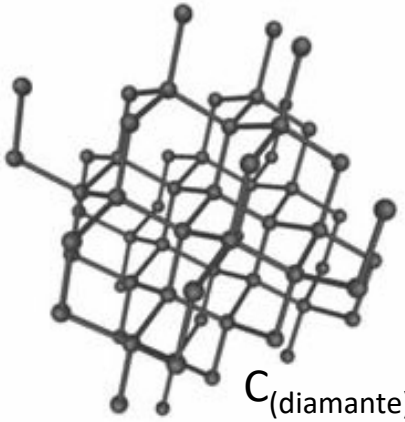
Tipo di solido	Particelle in un solido	Forze tra le particelle	Proprietà fisiche	Esempi
Ionico	Cationi e anioni	Attrazioni elettrostatiche	Duri e lucenti, alto punto di fusione, bassa conducibilità di calore ed elettricità	NaCl, CaO, $MgBr_2$
Molecolare	Atomi o molecole	Forze di London, dipolo-dipolo, e/o legame idrogeno	Leggermente teneri, punto di fusione basso o medio, bassa conducibilità di calore ed elettricità	CH_4, $C_6H_{12}O_6$ (glucosio), H_2O, Kr
Struttura covalente	Atomi	Legame covalente	Molto duri, punto di fusione elevato, bassa conducibilità di calore ed elettricità	C (diamante), SiO_2 (quarzo), SiC, BN
Metallico	Atomi	Legame metallico	Teneri o duri, da basso ad alto punto di fusione, buona conducibilità del calore ed elettrica	Na, Fe, Au, Ag, Al

NaCl



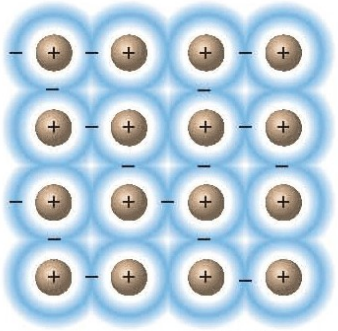


I_2

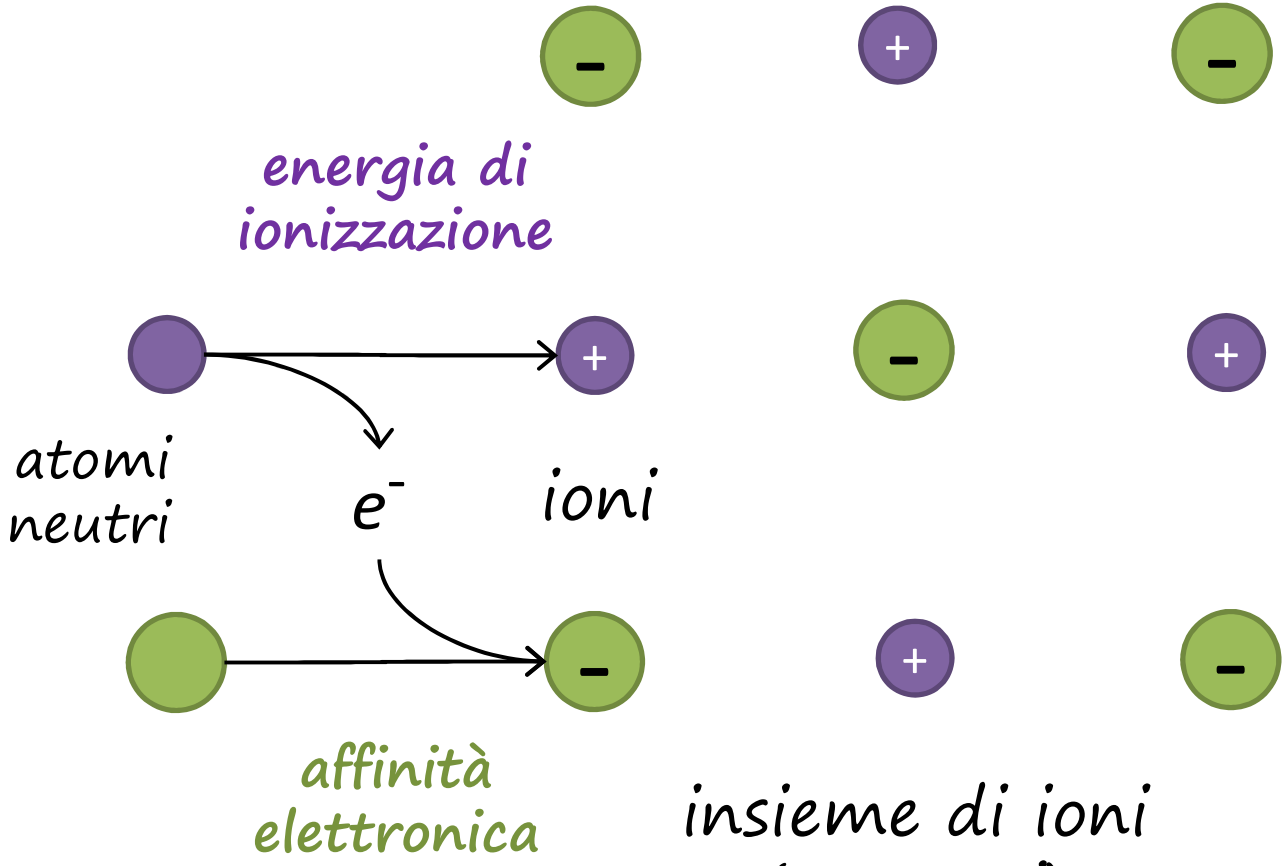


$C_{(diamante)}$

Ag



i solidi ionici

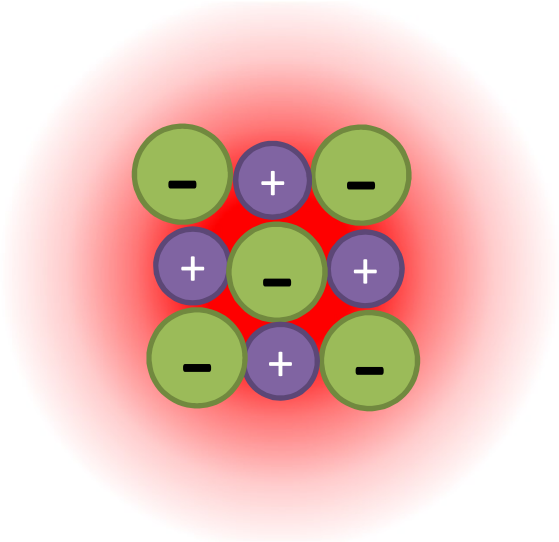


fattori convolti nel legame ionico

i solidi ionici

energia reticolare

energia liberata nel processo di formazione del reticolo cristallino solido a partire dagli ioni isolati allo stato gassoso



equazione di Born-Landè

$$E_{retic} = -\frac{N_A M |z^+||z^-| e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_0}\left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

costante di Madelung

cariche ioni

distanza reciproca

esponente di Born

i solidi ionici

energia reticolare

energia liberata nel processo di formazione del reticolo cristallino solido a partire dagli ioni isolati allo stato gassoso

energia reticolare aumenta con cariche ioni

	M	n	r_0	E_{retic}
Na^+ Cl^-	1.74	9.1	2.82 Å	-787 kJ/mol
Mg^{2+} O^{2-}	1.74	9.1	2.10 Å	-4113 kJ/mol

equazione di Born-Landè

$$E_{retic} = -\frac{N_A M |z^+||z^-| e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_0}\left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

costante di Madelung

cariche ioni

distanza reciproca

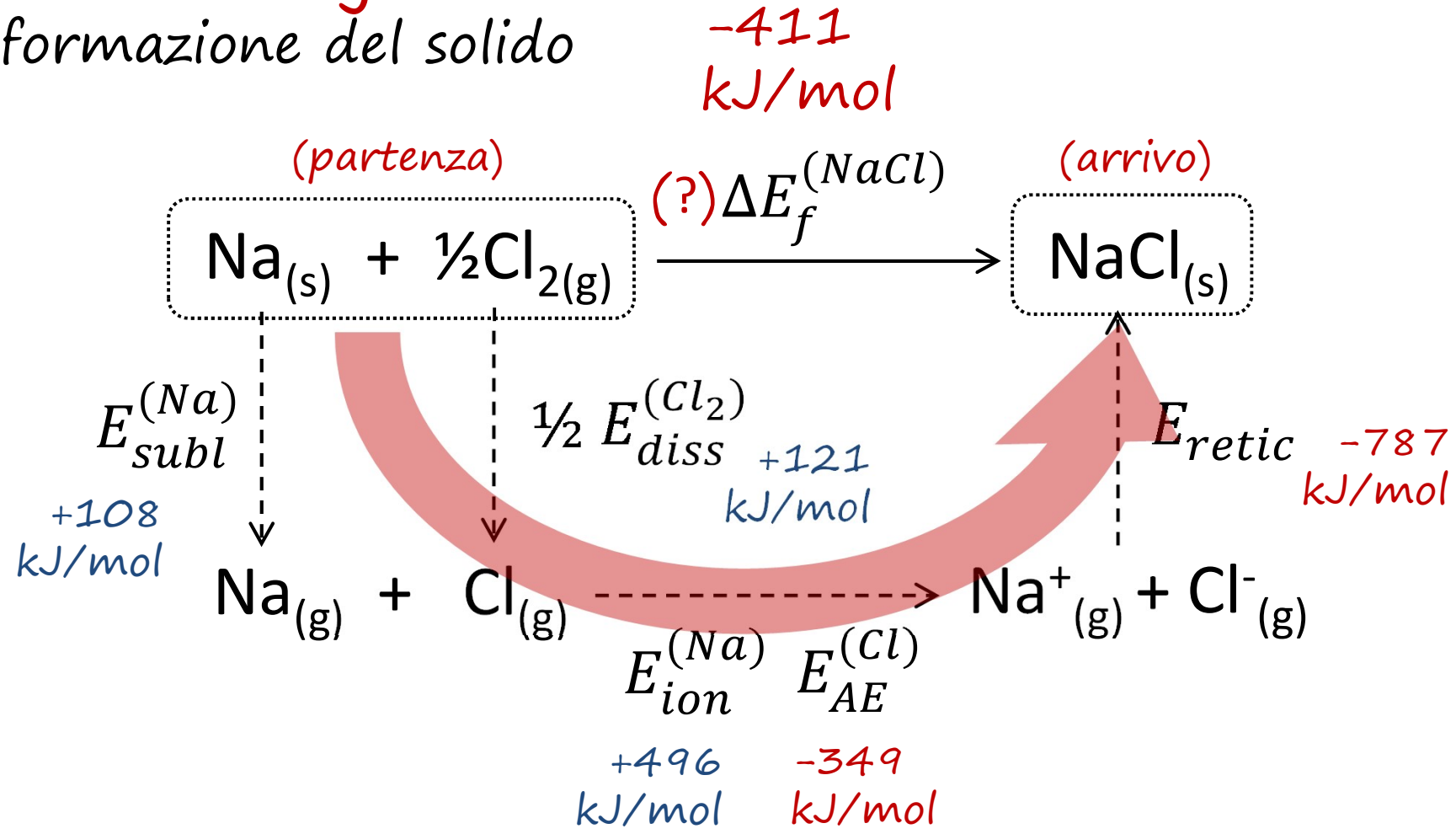
esponente di Born

r_0, M, n

determinati sperimentalmente

i solidi ionici – il ciclo di Born-Haber

bilancio energetico *della formazione del solido*

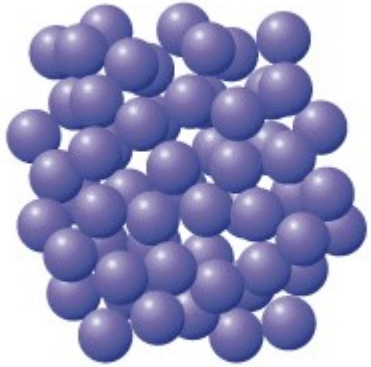


(2) grado di ordine strutturale

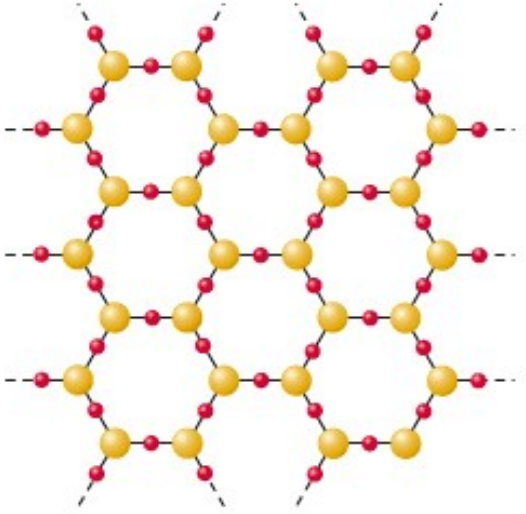
Solido cristallino

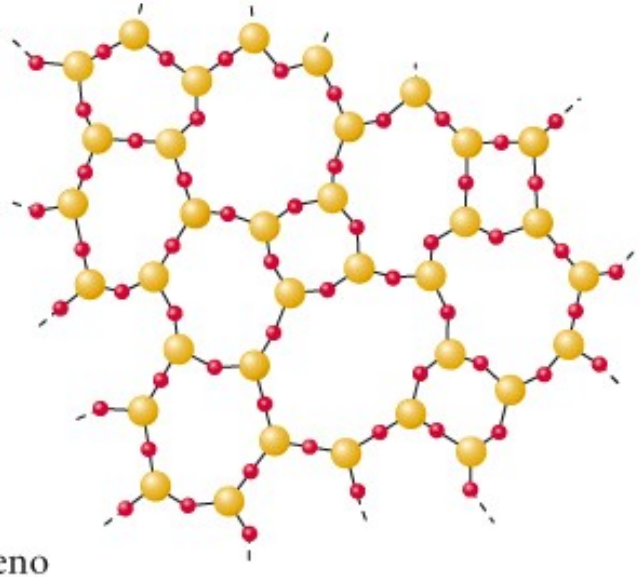
Cristallo di quarzo

Vetro



Solido amorfo





Ossigeno

Silicio

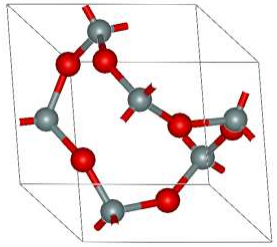
SiO_2 **cristallino**

SiO_2 **amorfo**

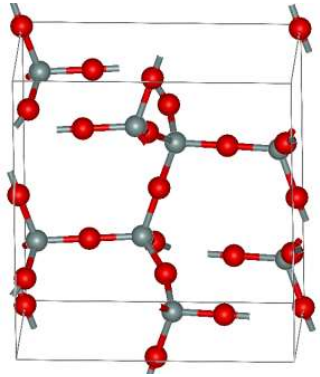
polimorfismo

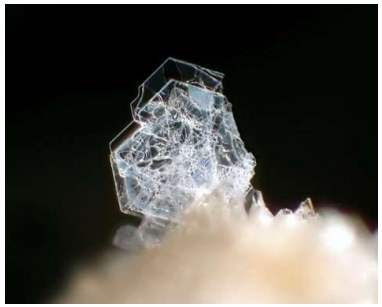
abilità di un composto di poter assumere più di una forma cristallina

SiO_2

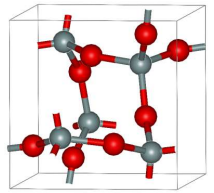


quarzo





tridimite



cristobalite

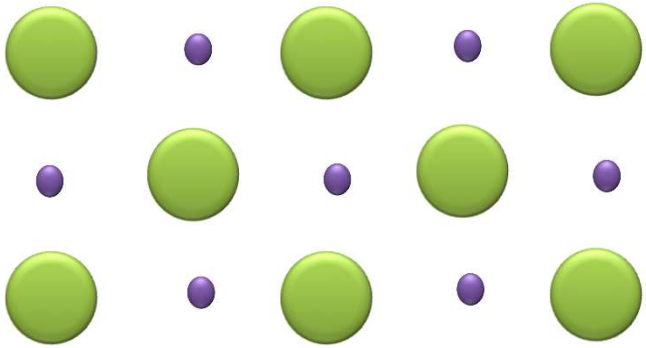
(3) stechiometria

composti stechiometrici

composizione elementare rispetta le leggi delle proporzioni definite e multiple,

formula chimica in termini di rapporti tra numeri interi

NaCl

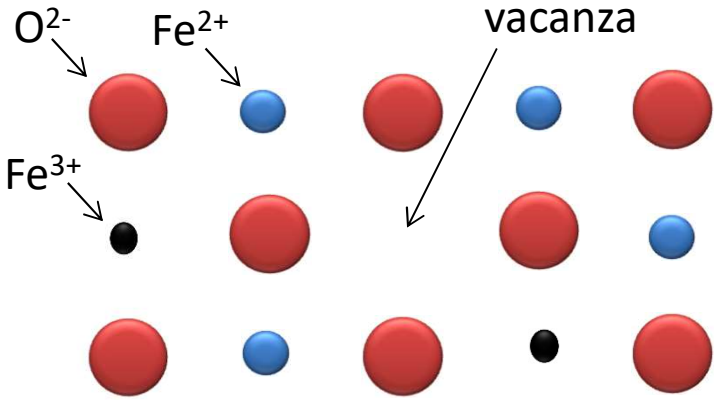


composti non-stechiometrici

composizione elementare NON rispetta le leggi delle proporzioni definite e multiple,

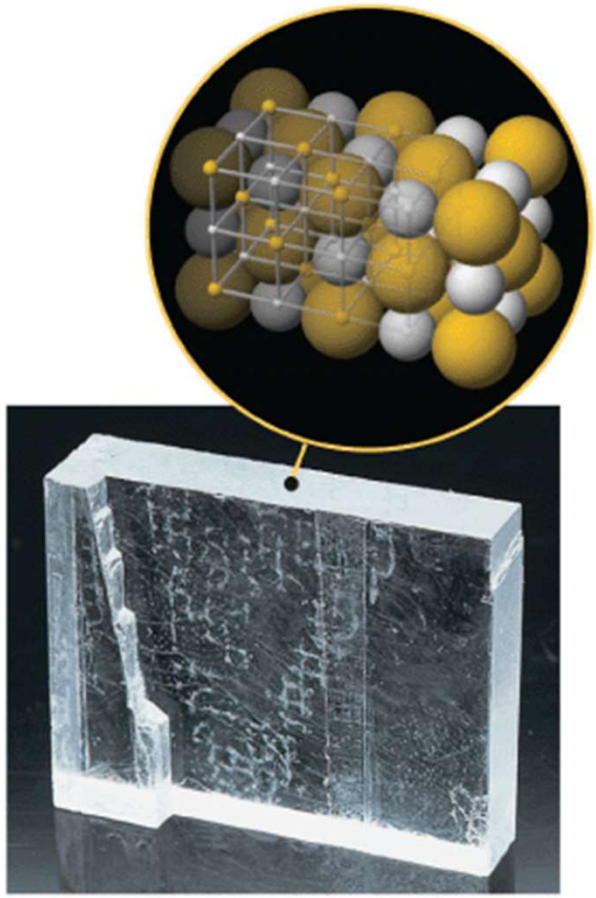
formula chimica NON può essere rappresentata in termini di rapporti tra numeri interi

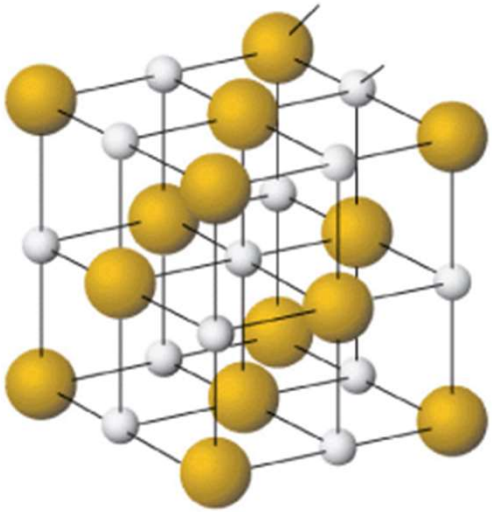
FeO $Fe_{(1-x)}O$ $0.05 < x < 0.12$



cristallo o solido cristallino

porzioni di materia solida ed omogenea di forma poliedrica regolare a cui corrisponde una struttura atomico-molecolare regolare

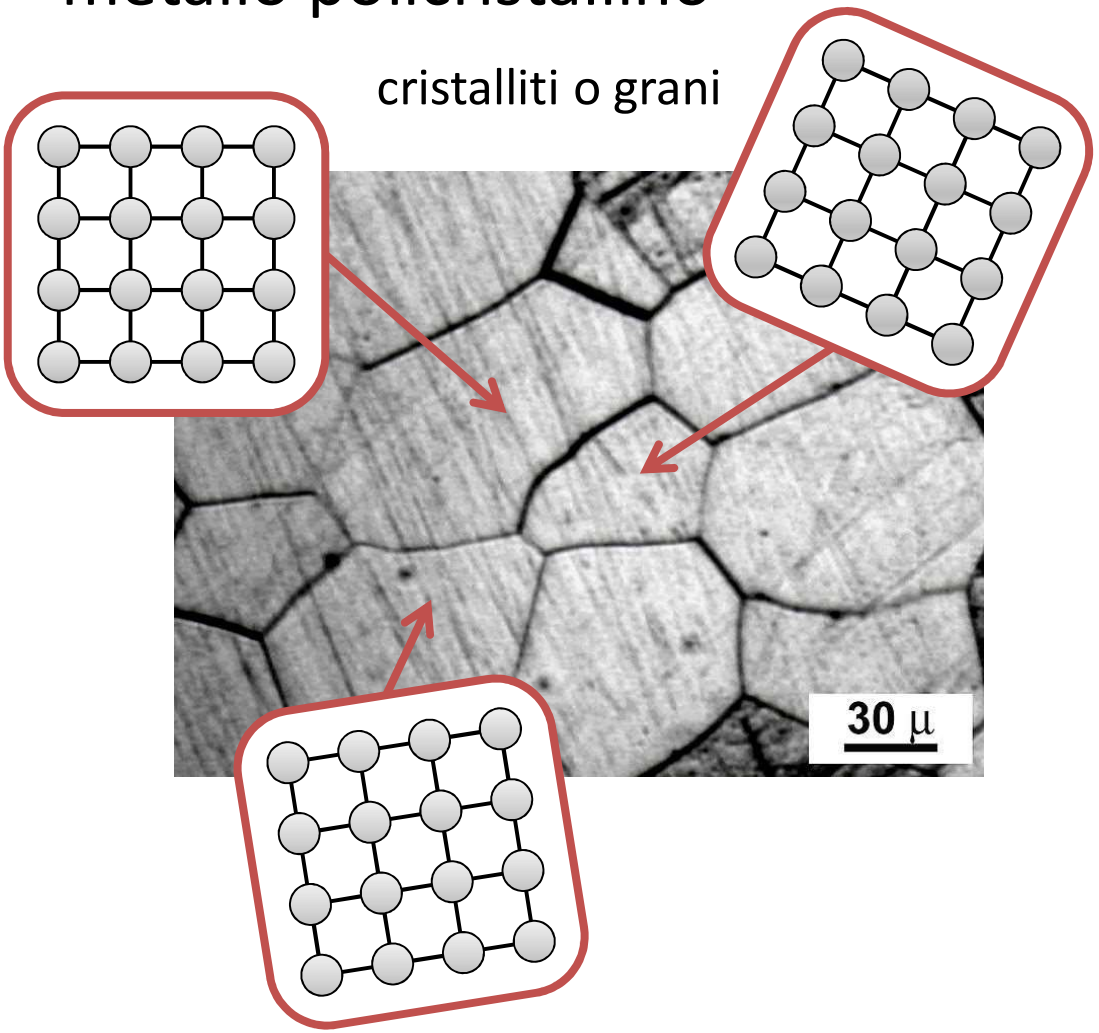




Cella elementare di NaCl (espansa)

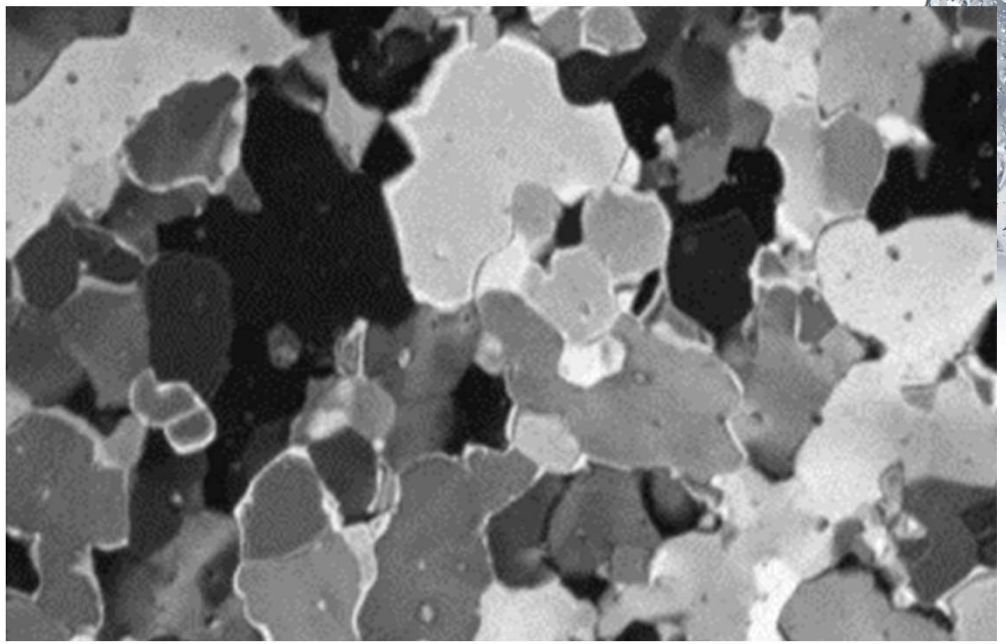
solidi policristallini

metallo policristallino



solidi policristallini

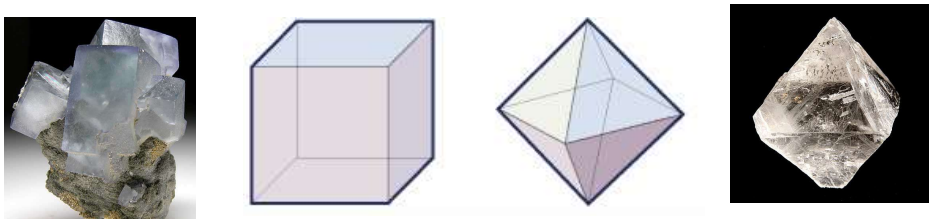
il ghiaccio è policristallino



solidi cristallini

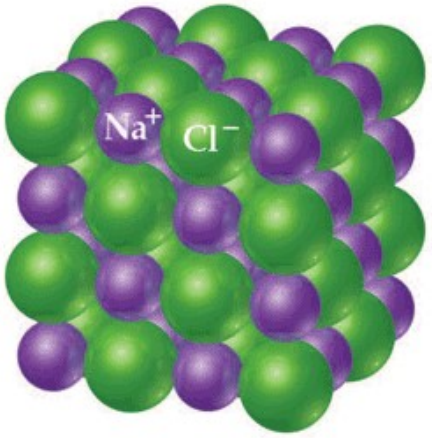
descrizione macroscopica

aspetto esterno (macroscopico) del cristallo → ABITO CRISTALLINO



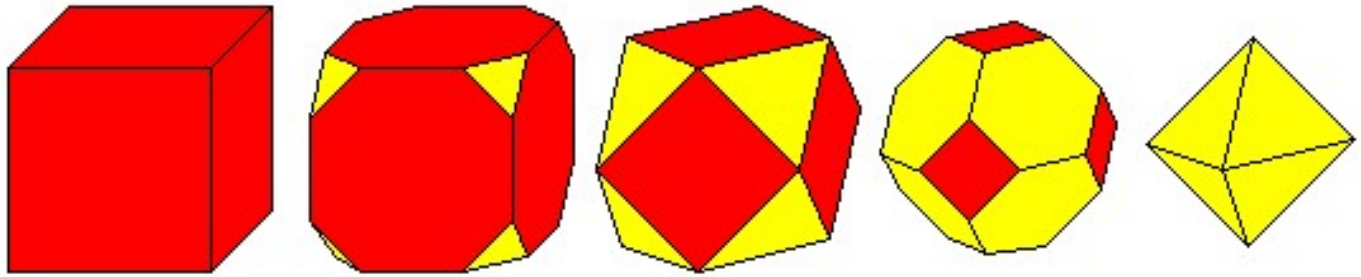
uno stesso composto può presentare ***diversi abiti cristallini*** *ma gli angoli tra le facce del cristallo rimangono uguali*

descrizione microscopica

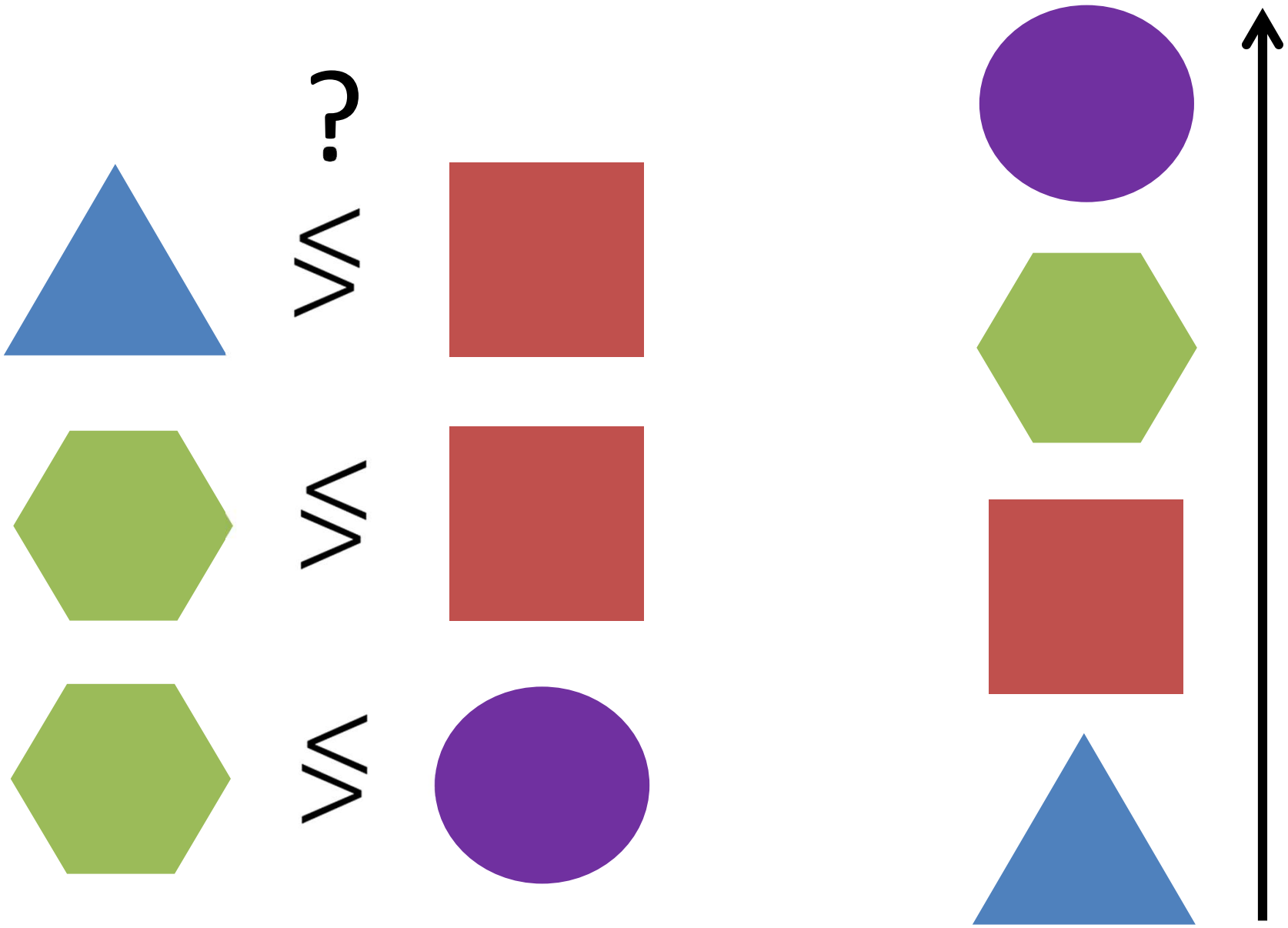


l'abito cristallino dipende dalla disposizione spaziale degli atomi o molecole nella struttura cristallina

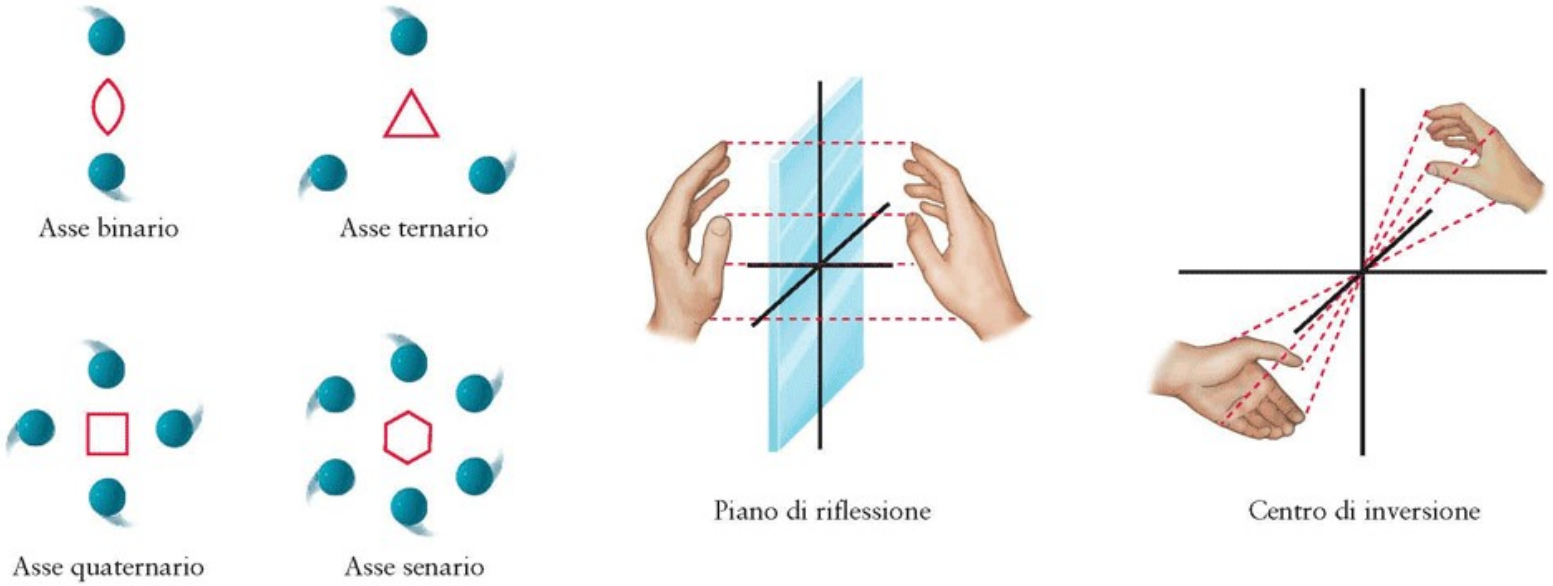
abiti cristallini



simmetria

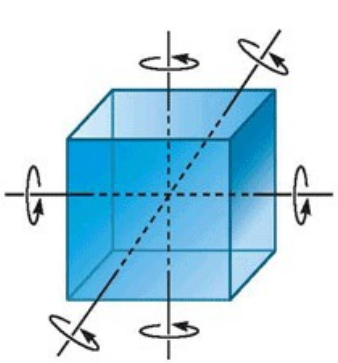


elementi ed operazioni di simmetria

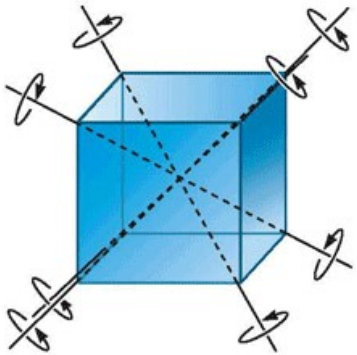


la "regolarità" della forma dei solidi cristallini si può descrivere con la teoria matematica della simmetria

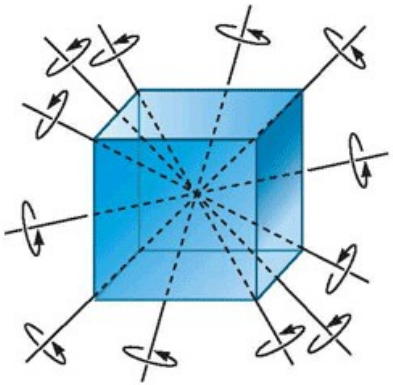
elementi di simmetria



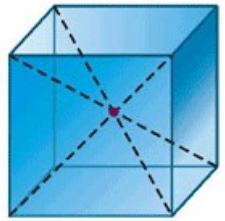
Tre assi quaternari



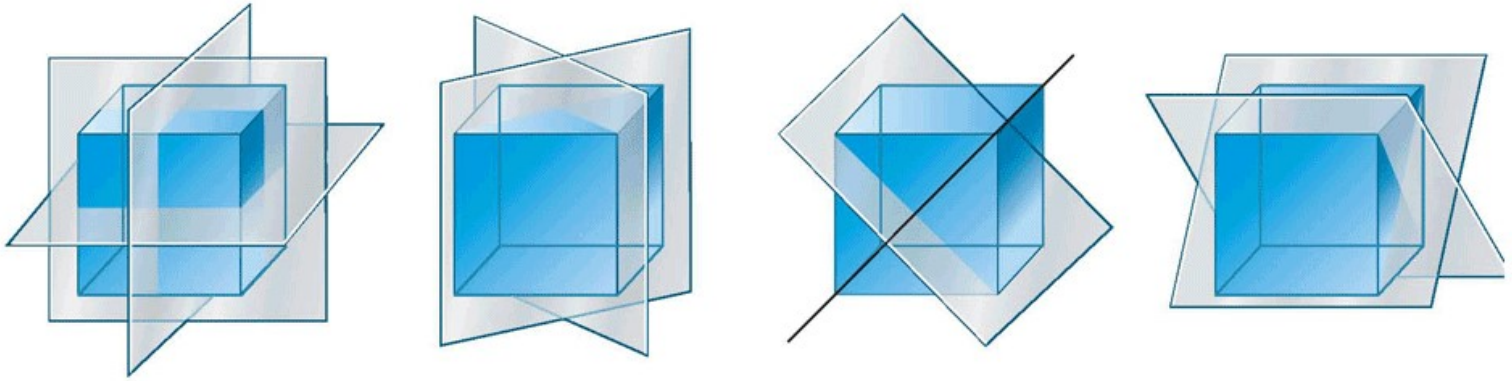
Quattro assi ternari



Sei assi binari



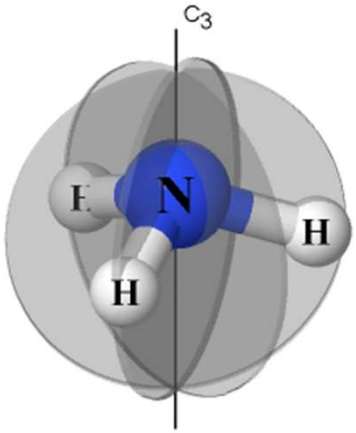
Centro di inversione

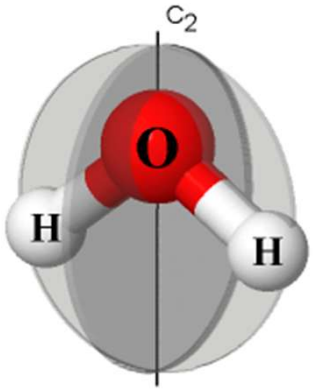


Nove piani di riflessione

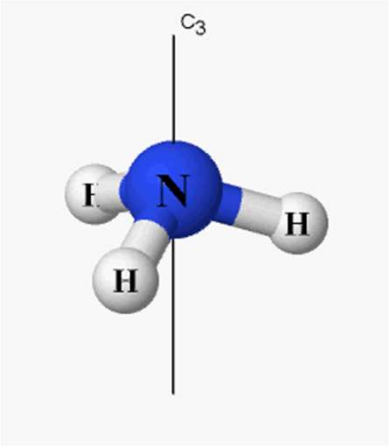
elementi ed operazioni di simmetria

la teoria della simmetria si può applicare anche alle strutture molecolari

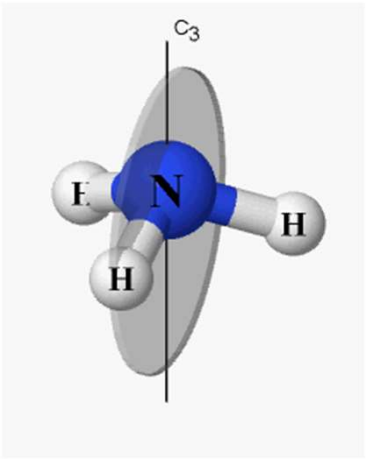




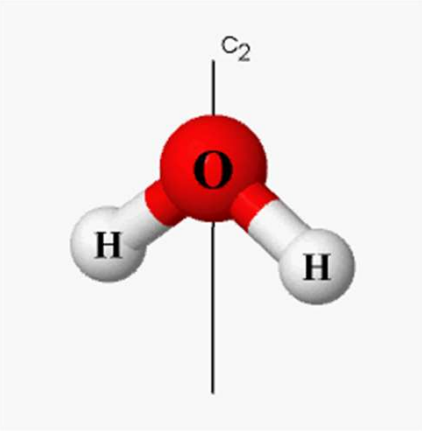
asse rotazione C3



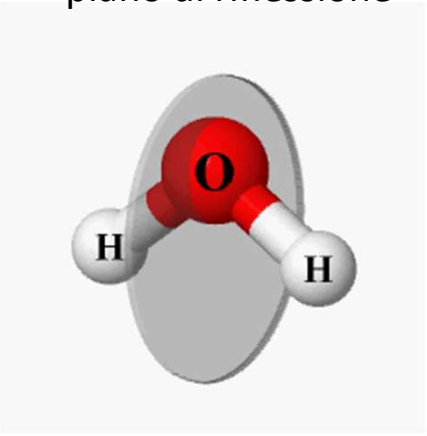
piano di riflessione



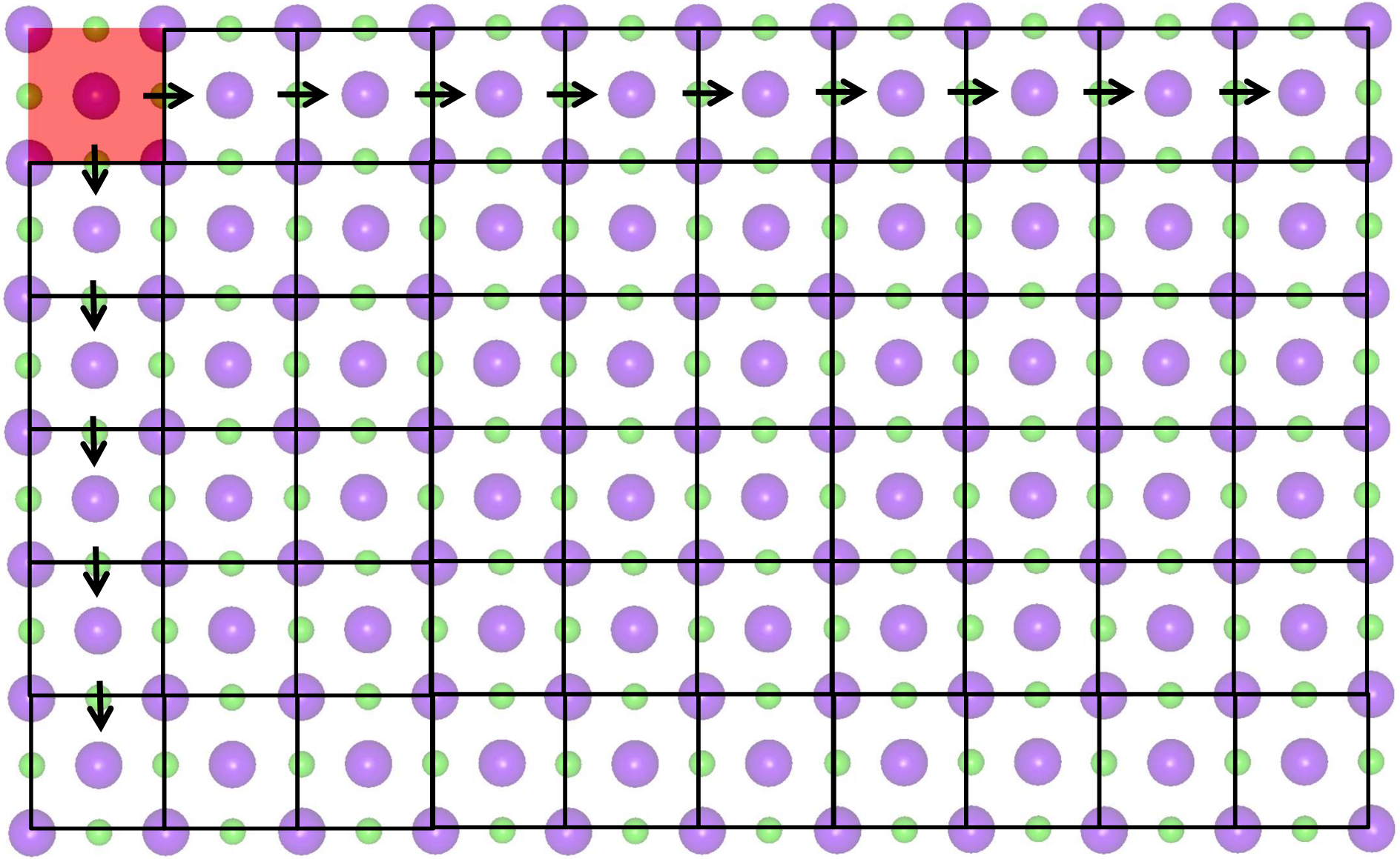
asse rotazione C2



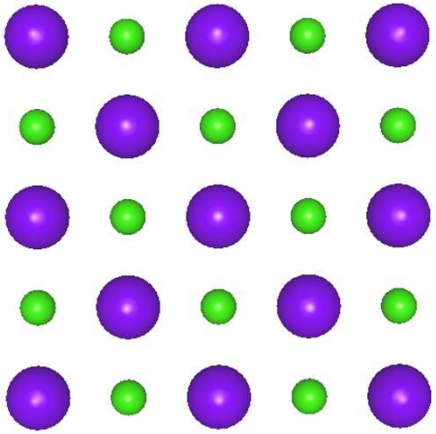
piano di riflessione



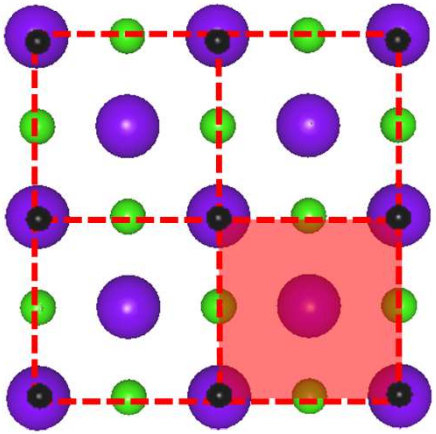
descrizione microscopica: reticolo cristallino



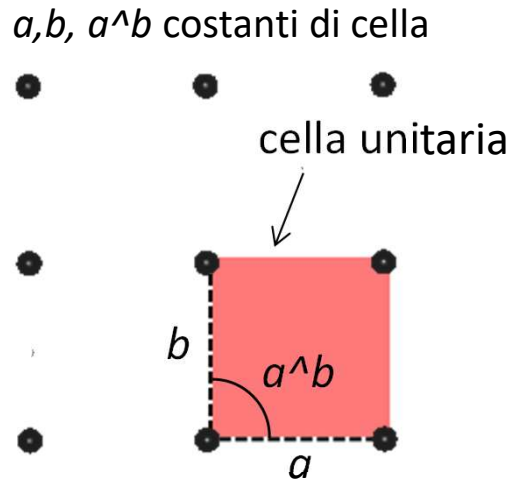
descrizione microscopica: reticolo cristallino



disposizione regolare atomi o molecole nello spazio



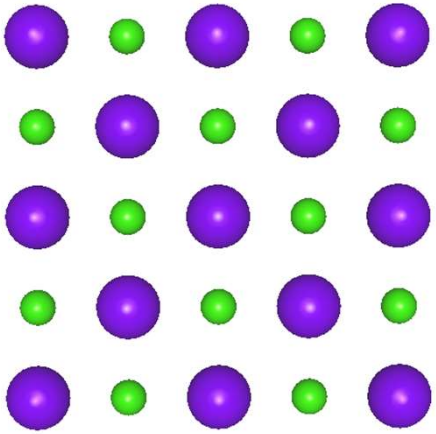
ad ogni punto del cristallo con lo stesso "intorno" è associato un punto del reticolo

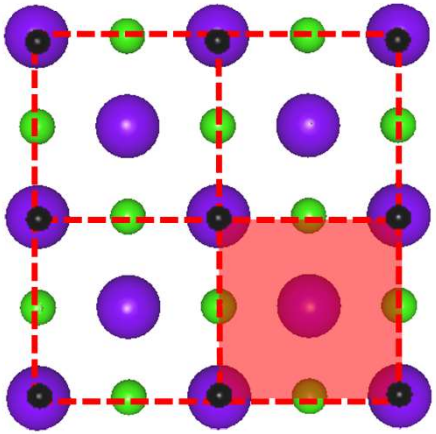


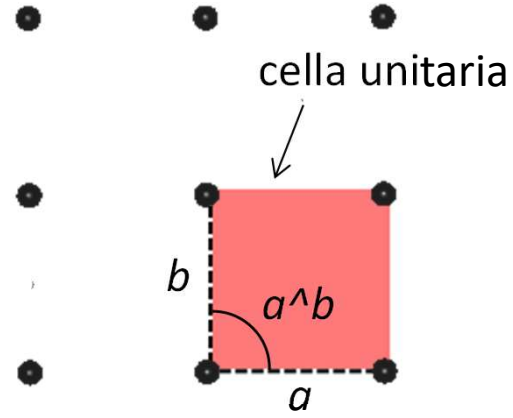
reticolo cristallino; insieme di punti che esprime lo schema di ripetizione presente nel cristallo

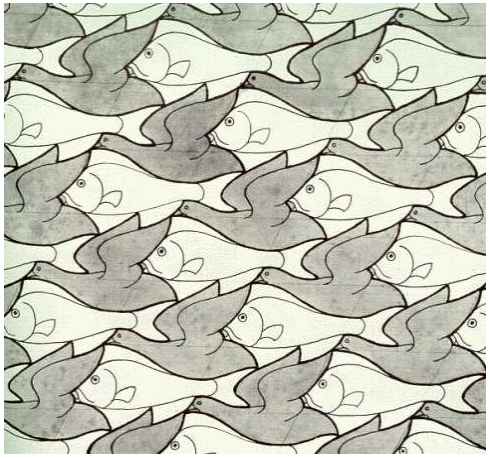
cella unitaria: rappresenta l'intero cristallo
l'intero reticolo (cristallo) può essere ottenuto dalla cella unitaria per traslazione

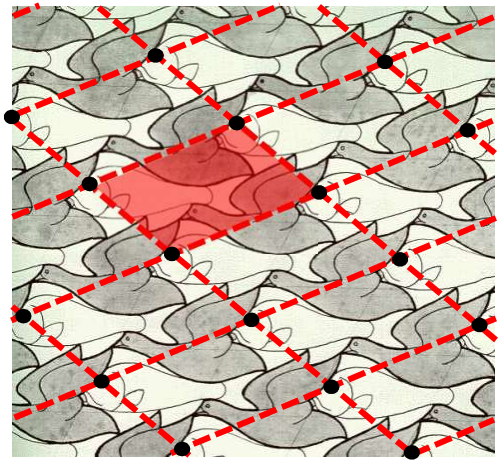
descrizione microscopica: reticolo cristallino

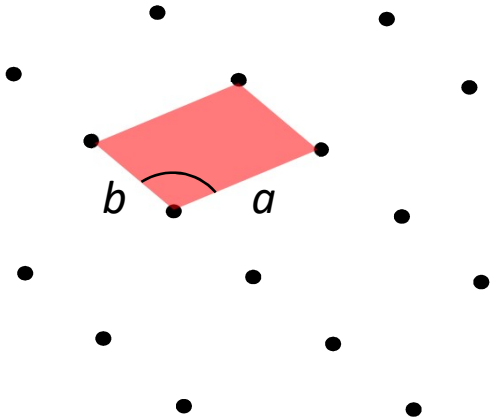






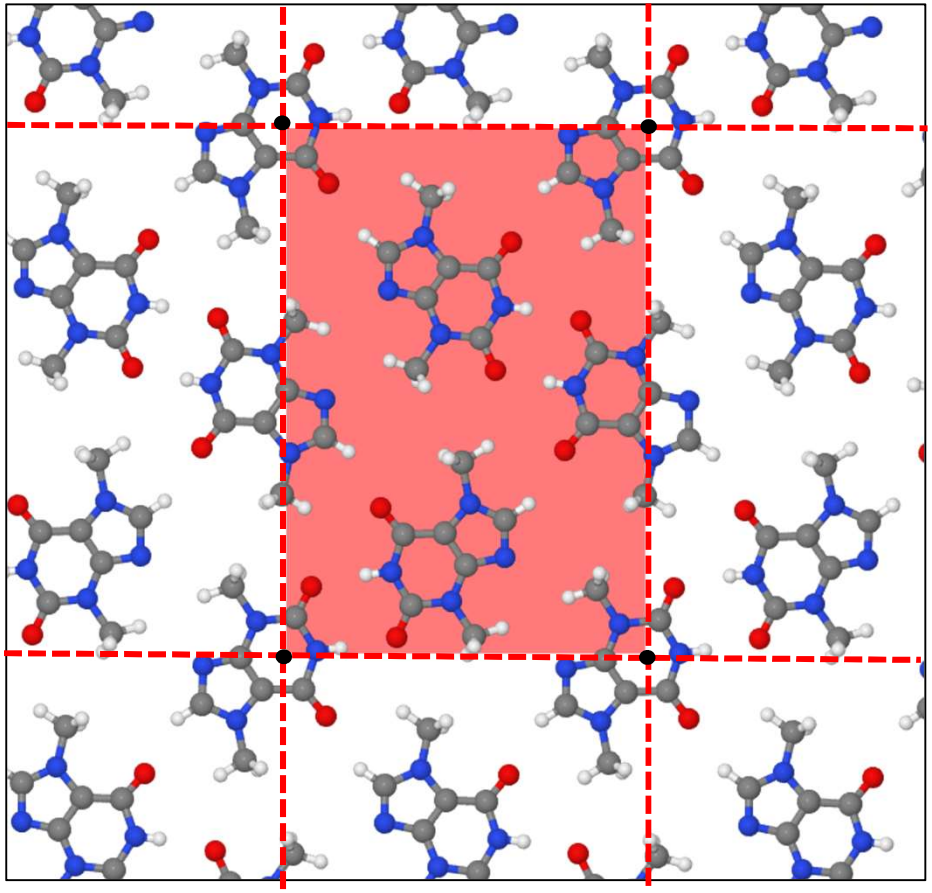






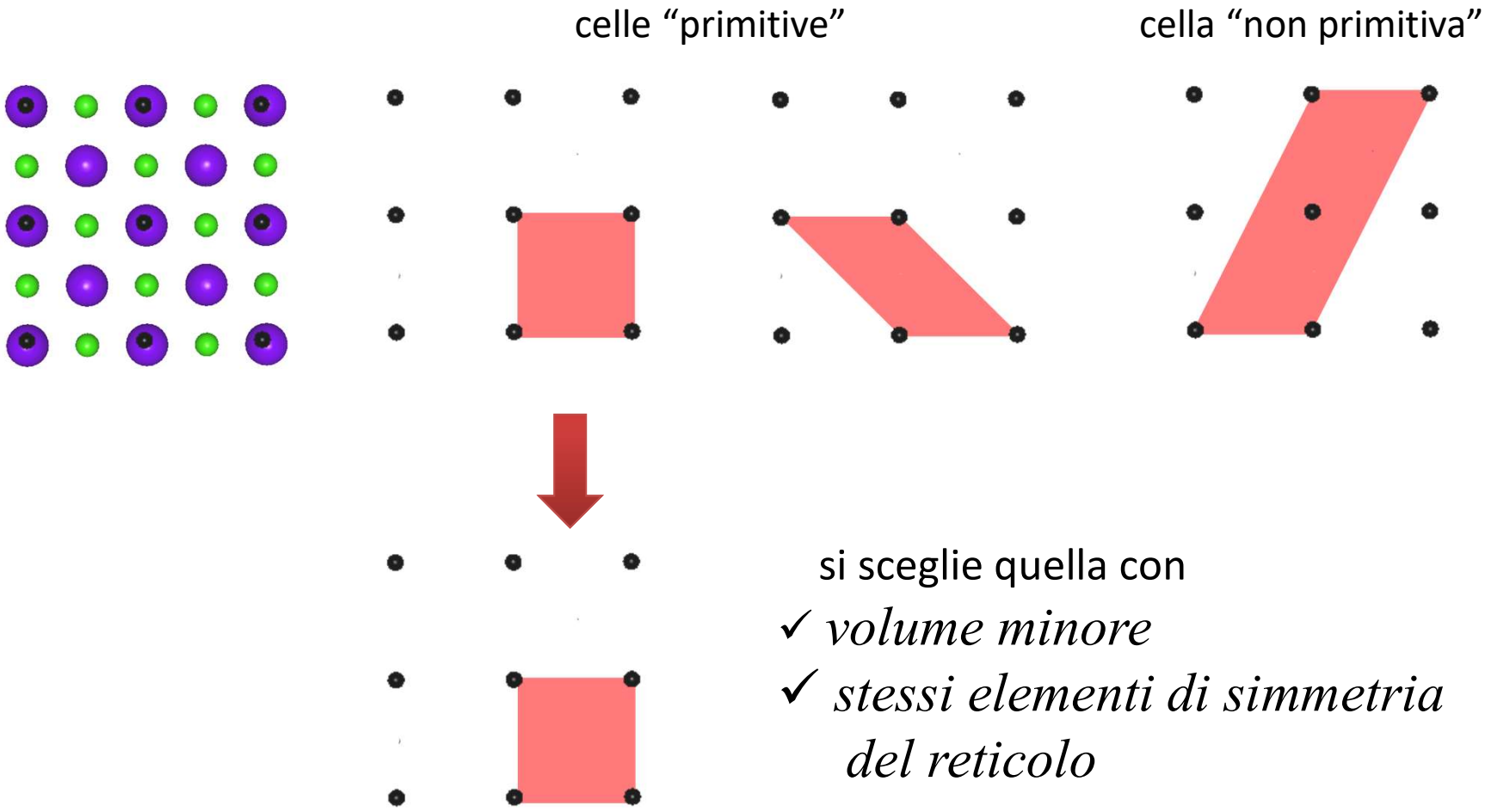
descrizione microscopica: reticolo cristallino

i punti del reticolo non corrispondono necessariamente ad atomi, ed anche molecole asimmetriche possono dare luogo a reticoli molto regolari (es. cristalli molecolari)



reticolo cristallino e cella unitaria

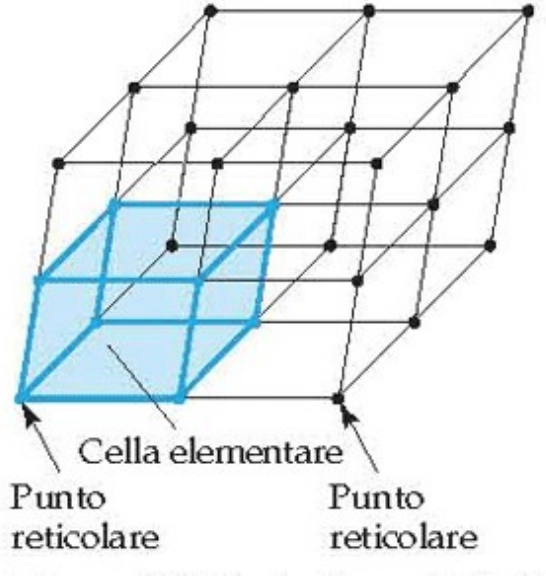
*per un dato reticolo sono possibili **infinite** celle unitarie*

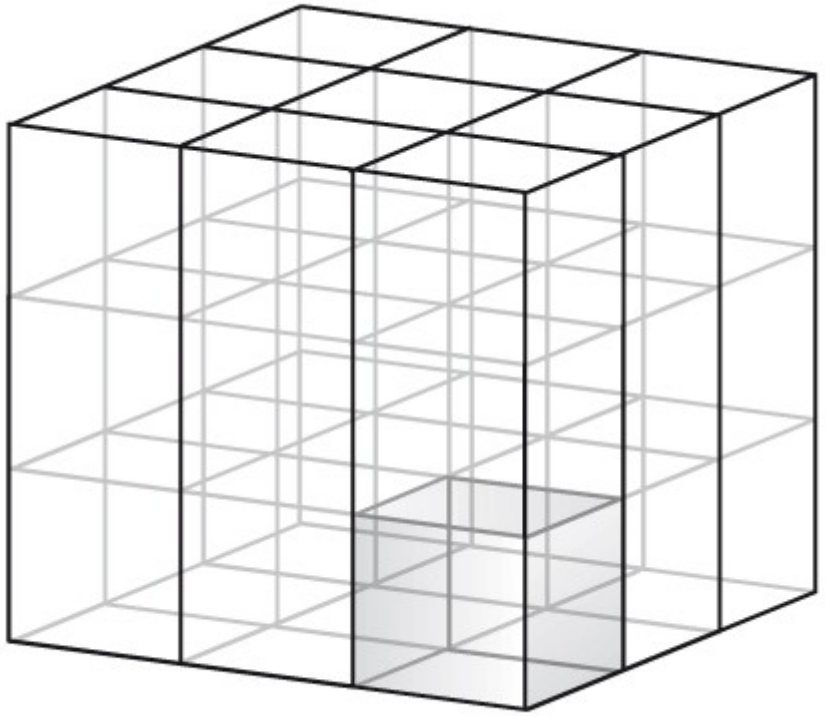


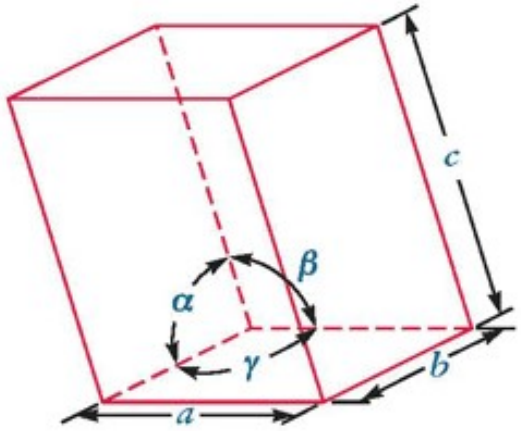
si sceglie quella con

- ✓ *volume minore*
- ✓ *stessi elementi di simmetria del reticolo*

reticolo cristallino tridimensionale



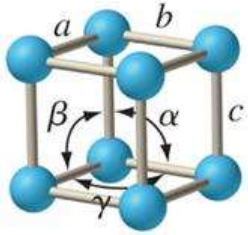




6 costanti o parametri di cella

(a, b, c, α, β, γ)

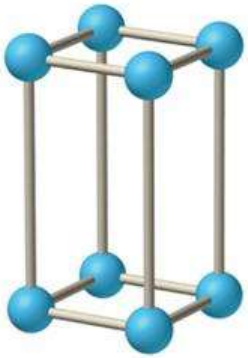
i sette sistemi cristallini



cubico

$a = b = c$

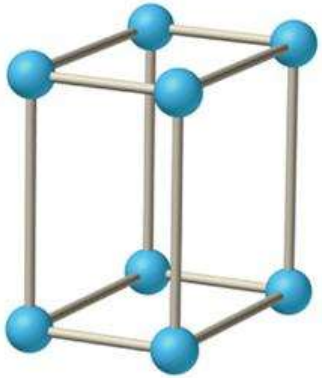
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



tetragonale

$a = b \neq c$

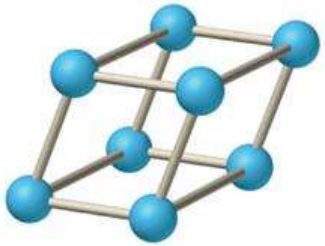
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



ortorombico

$a \neq b \neq c$

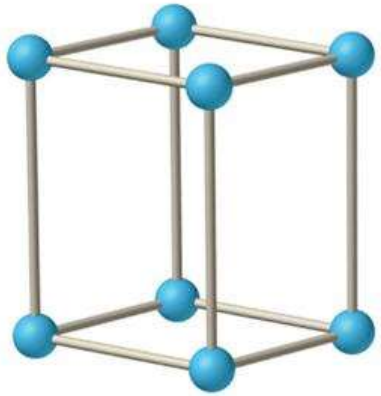
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



trigonale

$a = b = c$

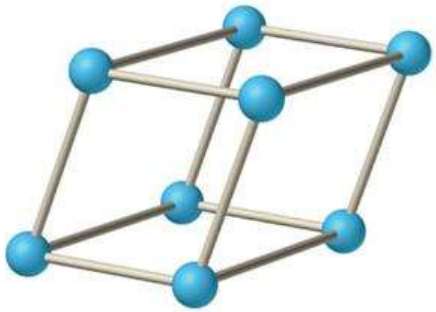
$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$



monoclino

$a \neq b \neq c$

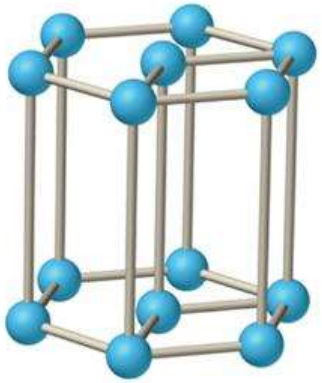
$\gamma \neq \alpha = \beta = 90^\circ$



triclino

$a \neq b \neq c$

$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$



esagonale

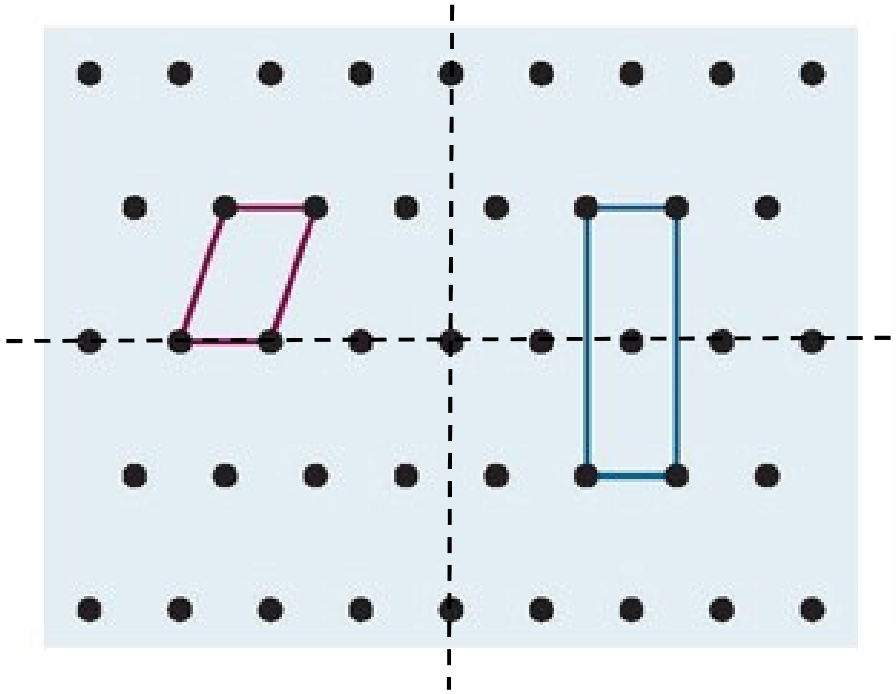
$a = b \neq c$

$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$

reticolo cristallino e cella unitaria

in alcuni casi la cella più piccola che soddisfa il criterio di simmetria contiene più di un punto reticolare

il reticolo ha due assi di simmetria



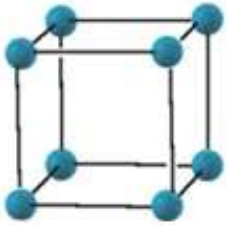
la cella non primitiva ha anche due assi di simmetria

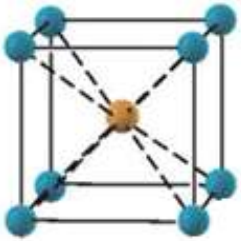
tipi di celle unitarie non-primitive

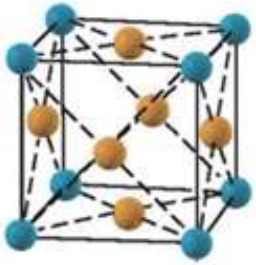
(esempio per sistema cubico)

bcc
(body-centered cubic)

fcc
(face-centered cubic)







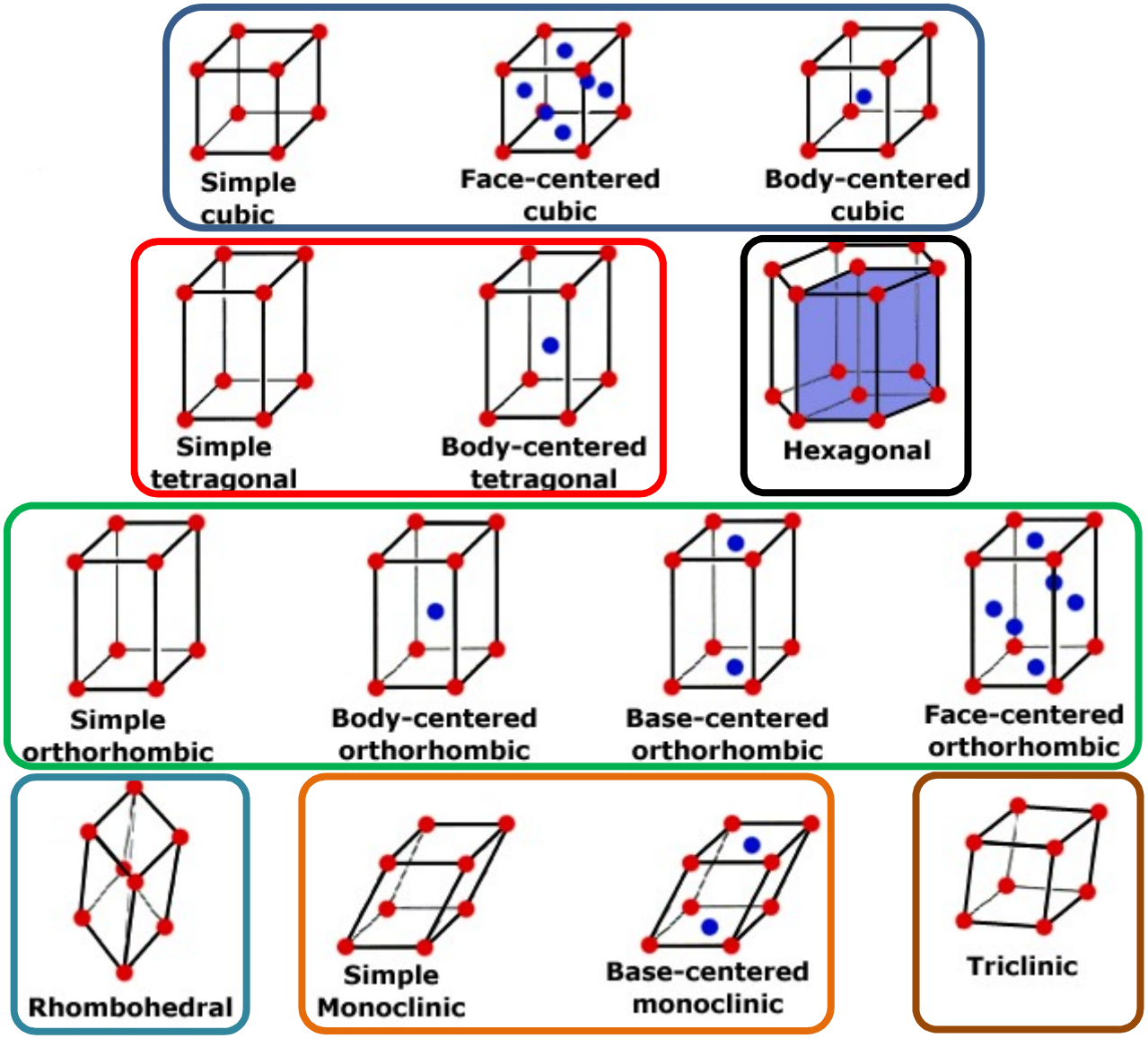
primitiva
(P)

corpo centrato
(I)

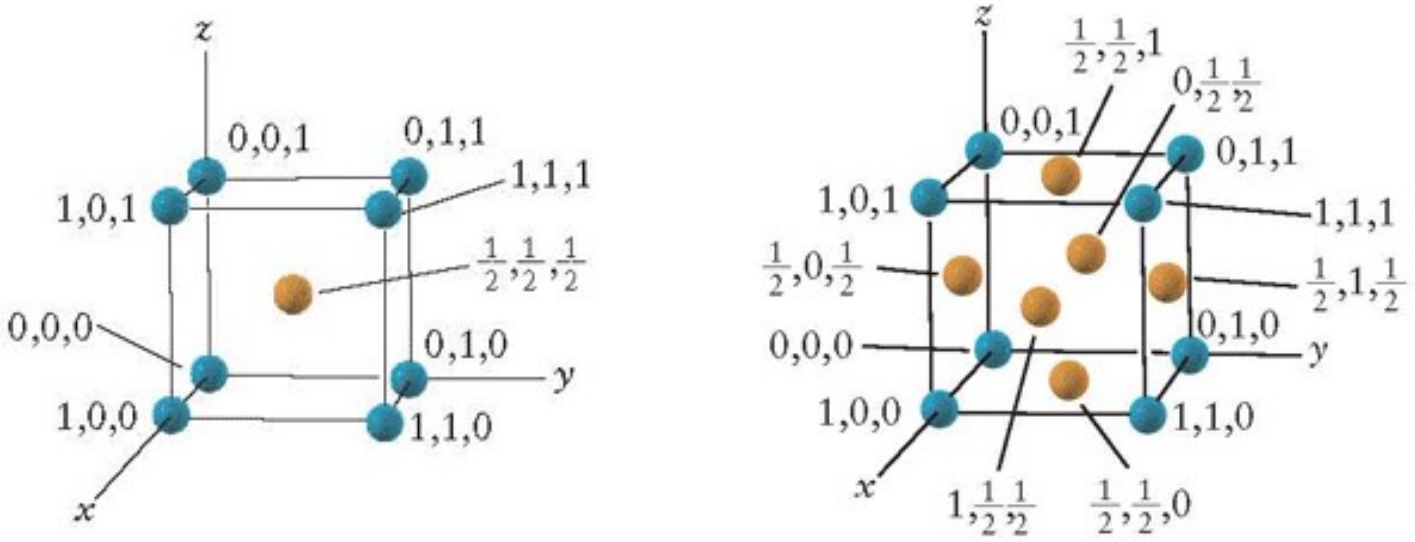
a facce centrate
(F)

2 tipi di celle unitarie non-primitive

i 14 reticoli di Bravais

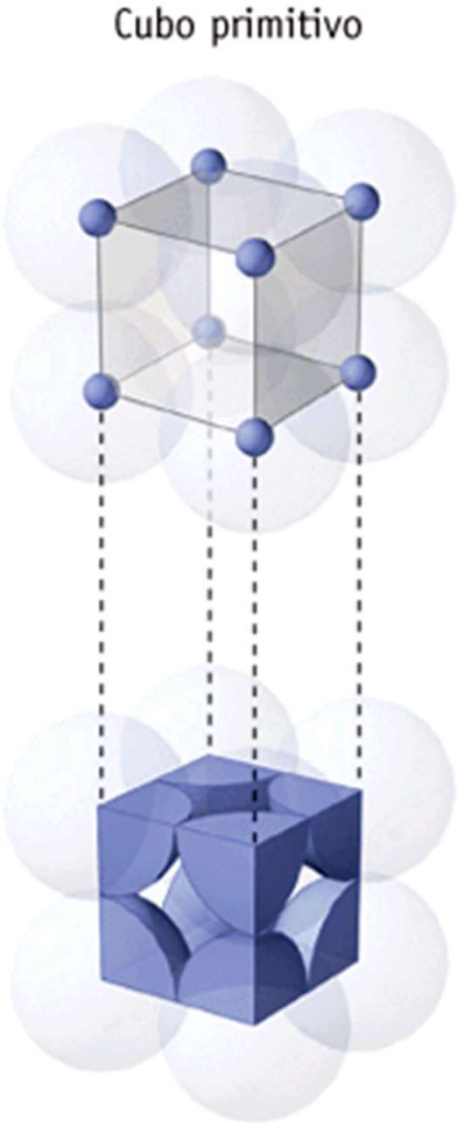


coordinate frazionarie

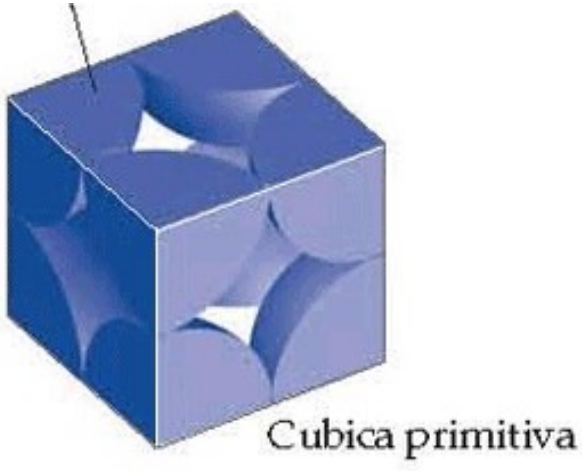


definiscono la posizione di un atomo
o di un punto reticolare all'interno
della cella cristallina

punti reticolari e celle unitarie

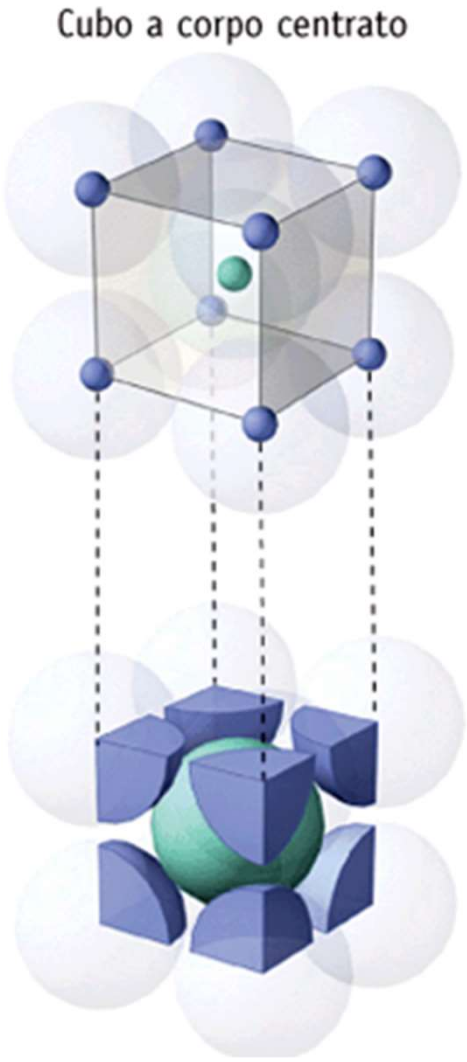


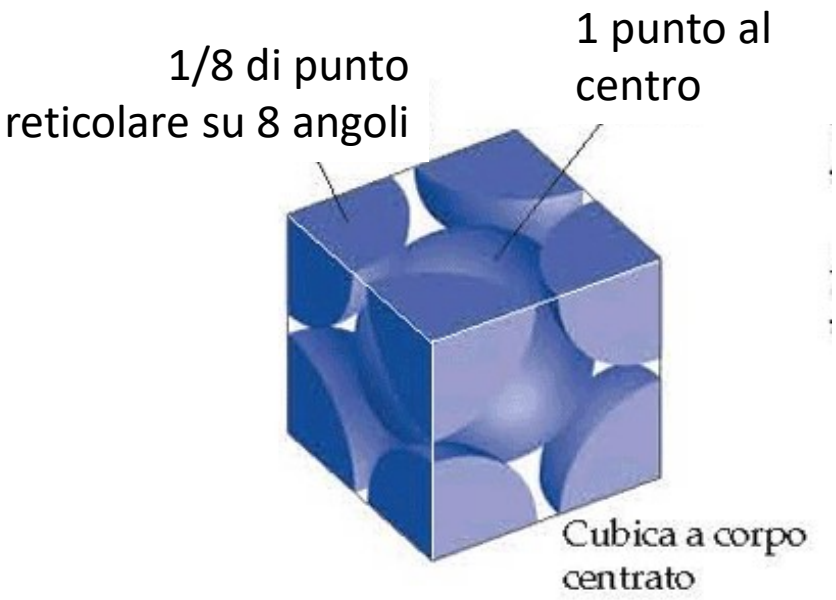
1/8 di punto
reticolare su 8 angoli



1/8 x 8 = **1 punto reticolare**

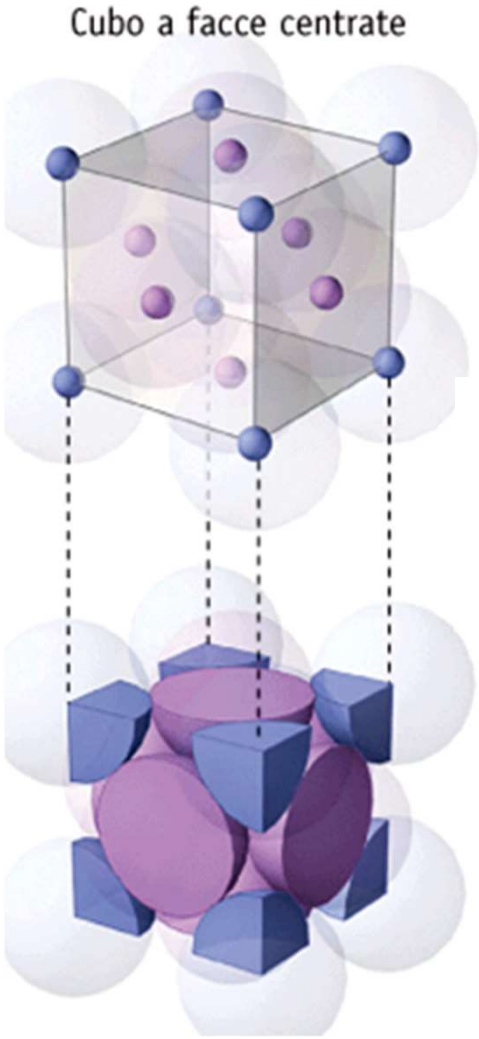
punti reticolari e celle unitarie





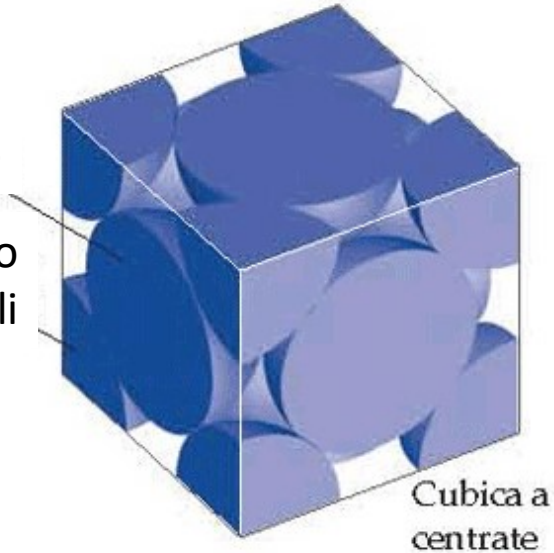
(1/8 x 8) + 1= **2 punti reticolari**

punti reticolari e celle unitarie



1/2 punto su
6 facce

1/8 di punto
reticolare su 8 angoli

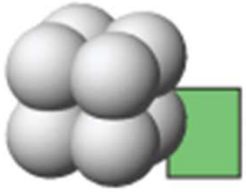


(1/8 x 8) + (1/2 x 6) = **4 punti reticolari**

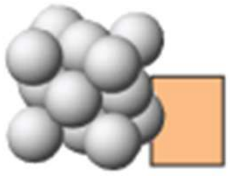
esempi di strutture cristalline: metalli

strutture semplici: ogni punto reticolare corrisponde ad un atomo

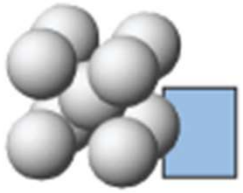
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															



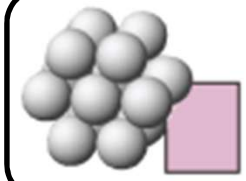
Cubo primitivo



Cubico compatto
(Cubo a facce centrate)



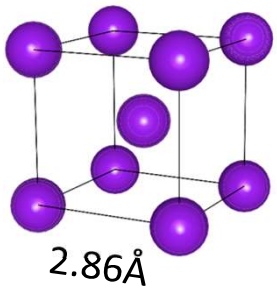
Cubo a corpo centrato

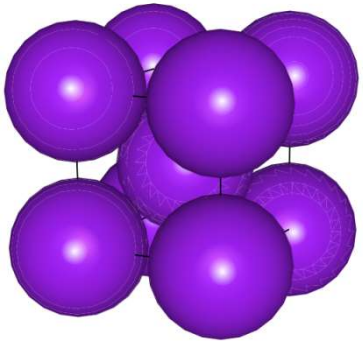


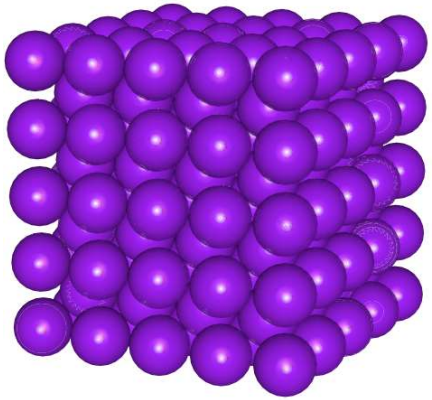
Esagonale compatto

esempi *bcc e fcc*: metalli

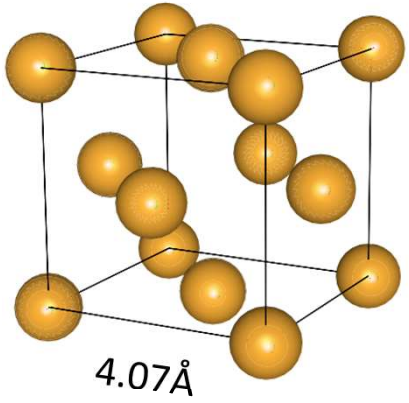
Fe

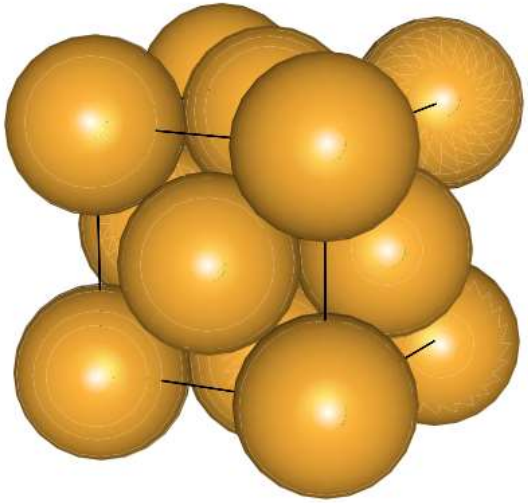


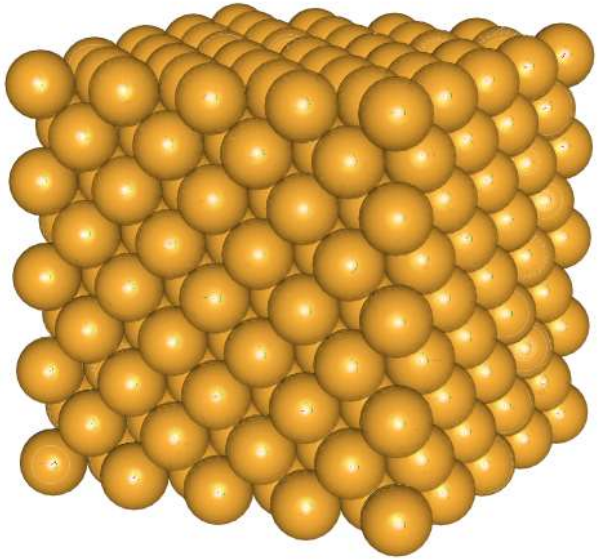




Au

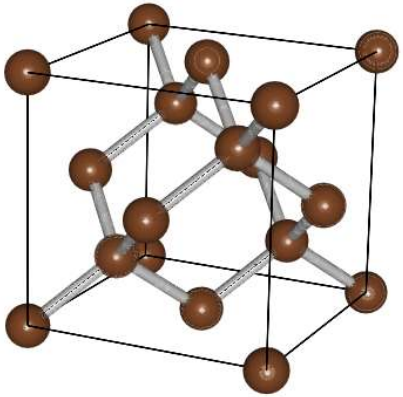


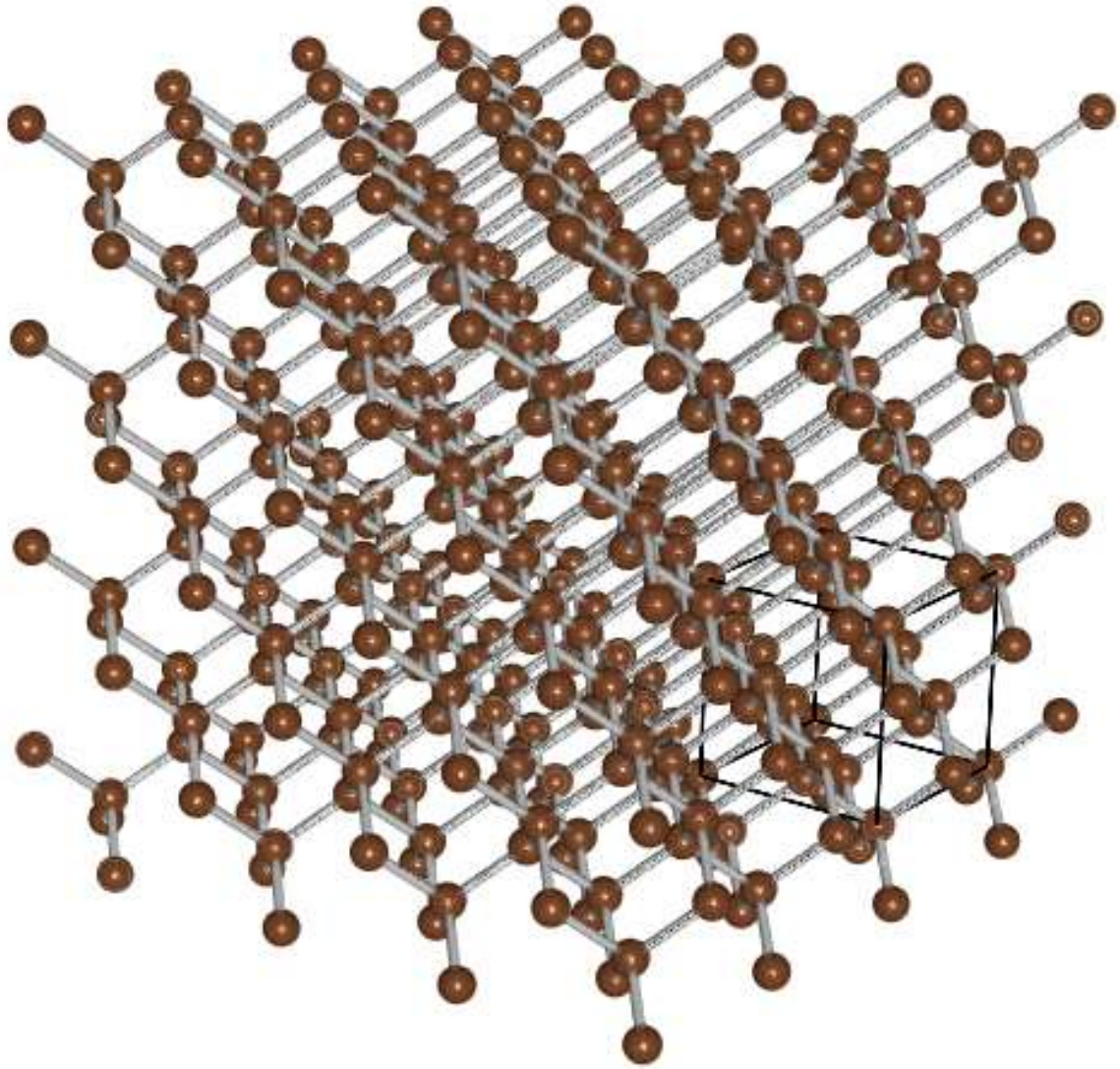




esempi cristalli altri elementi

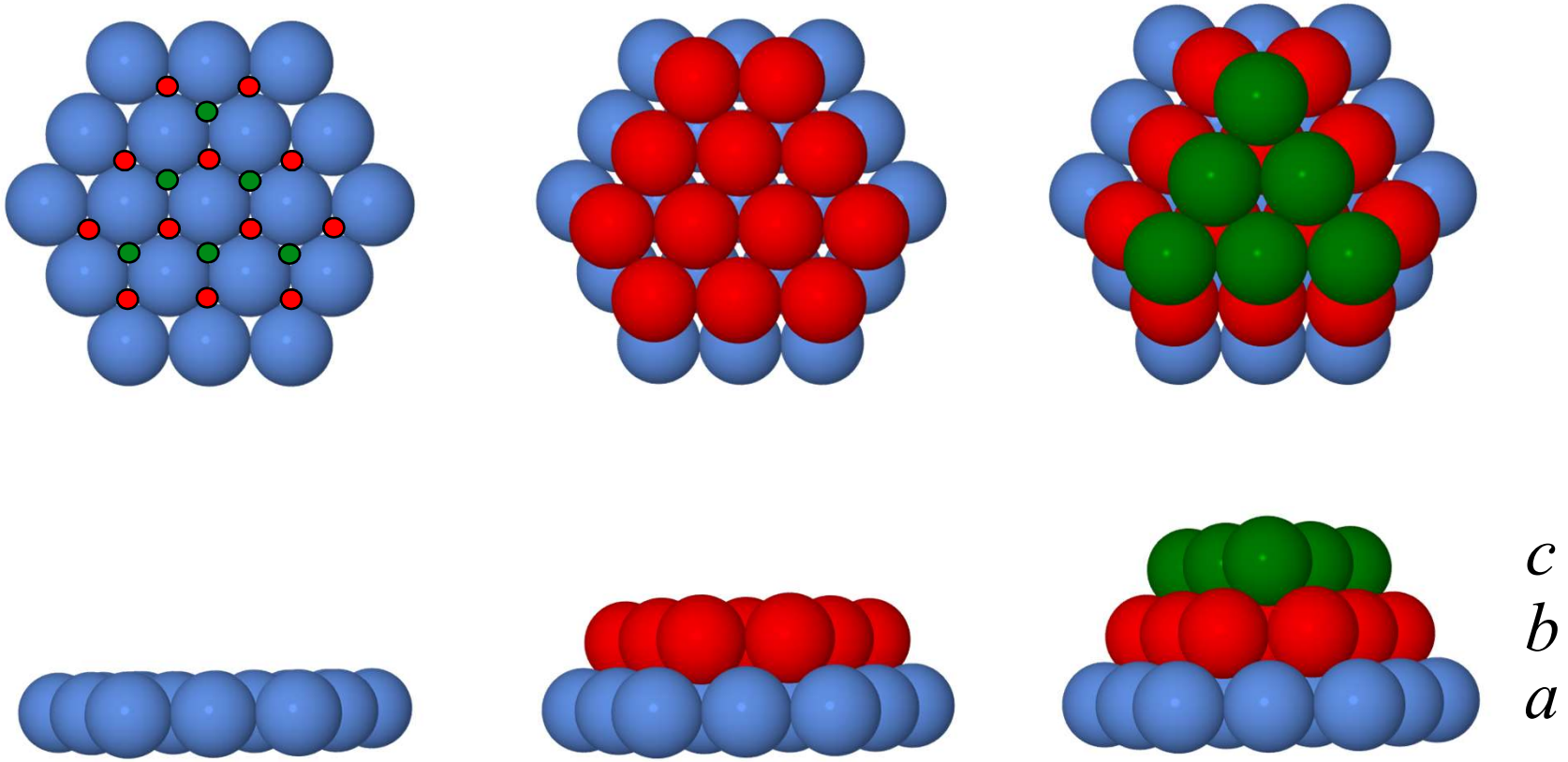
$C_{(diamante)}$





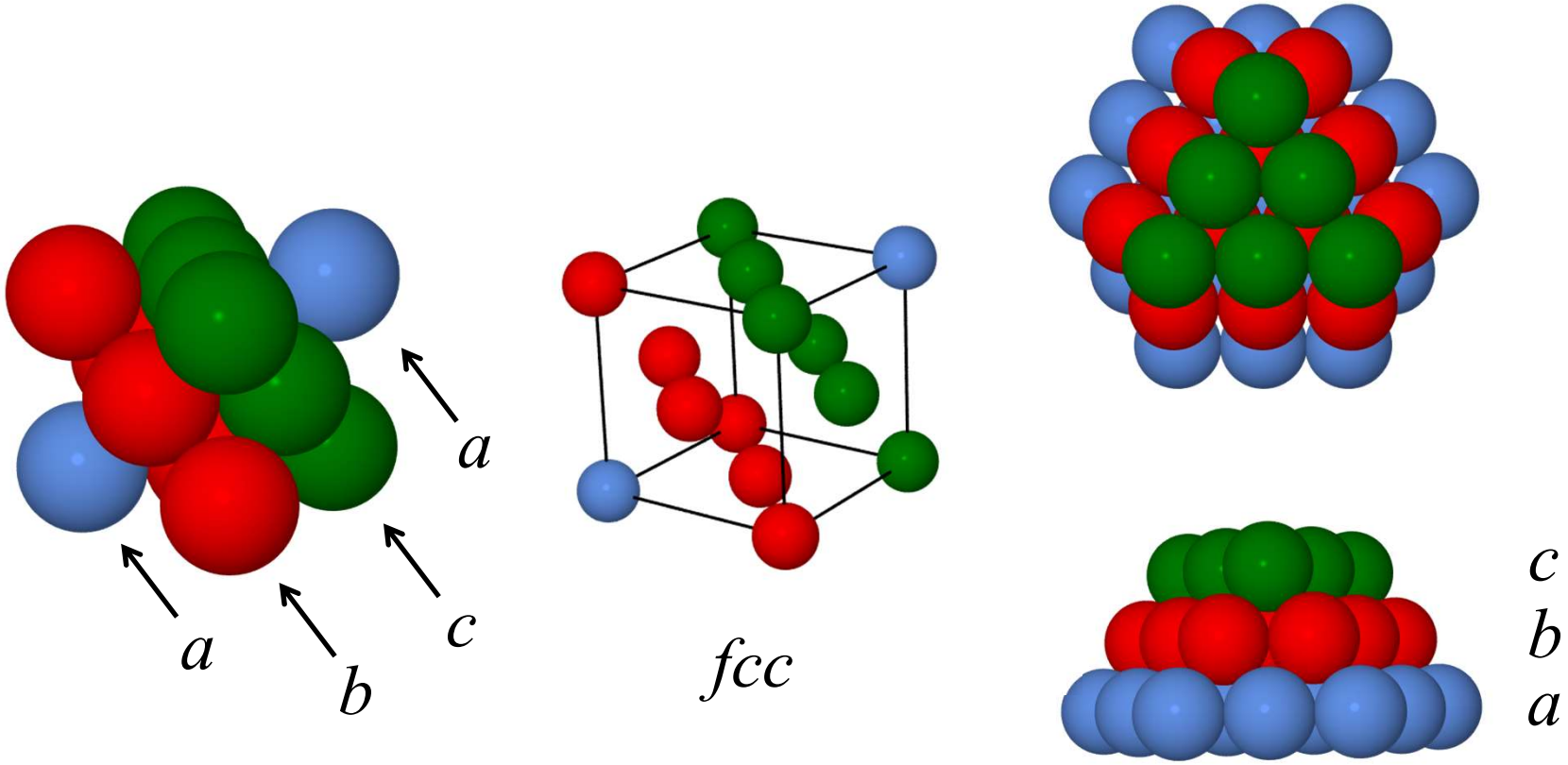
impaccamento nelle strutture cristalline

cubico compatto



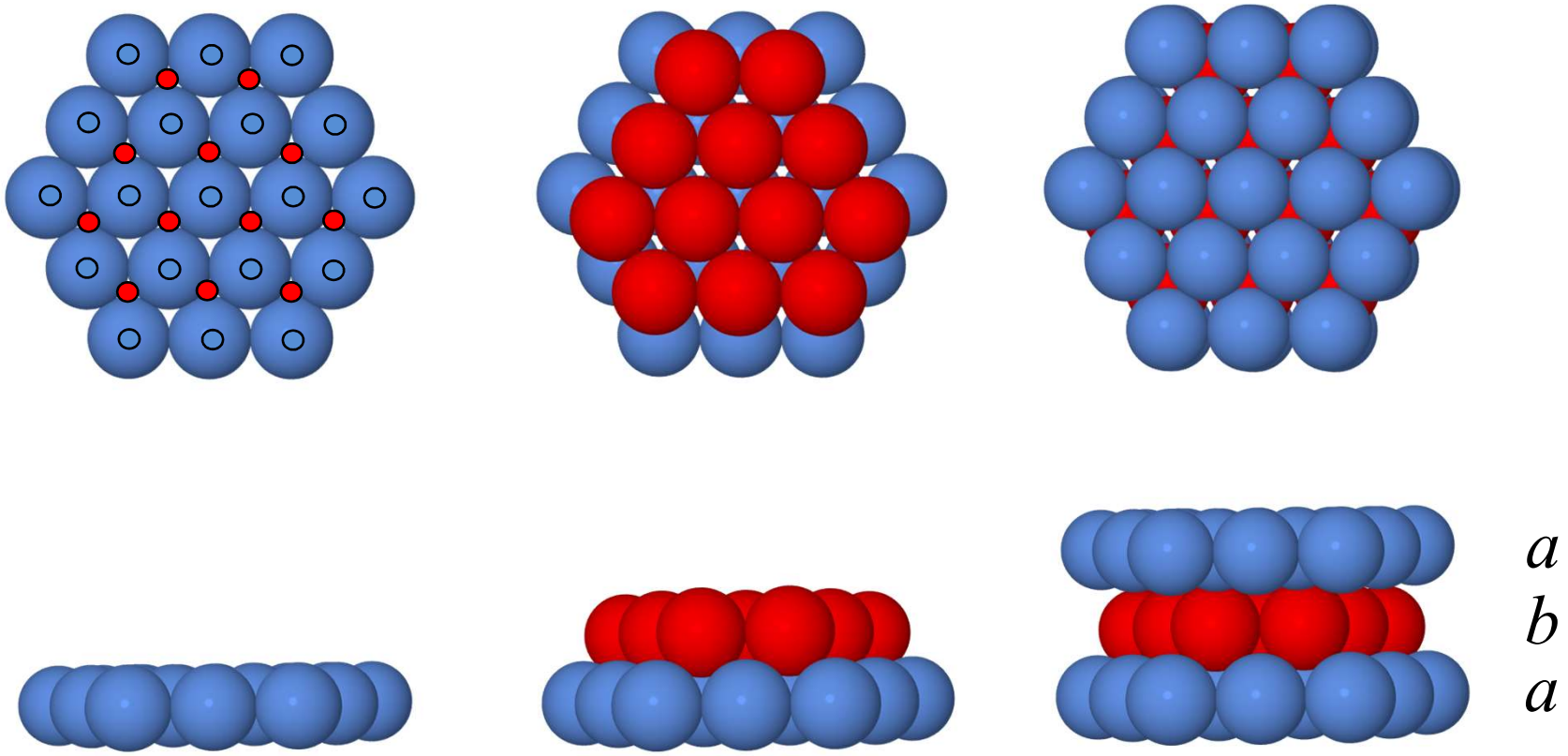
impaccamento nelle strutture cristalline

cubico compatto

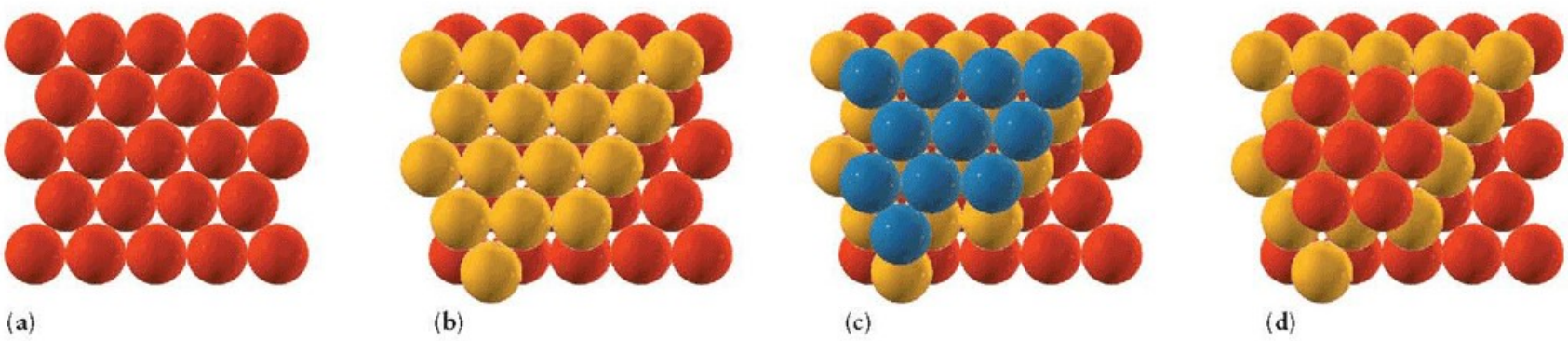


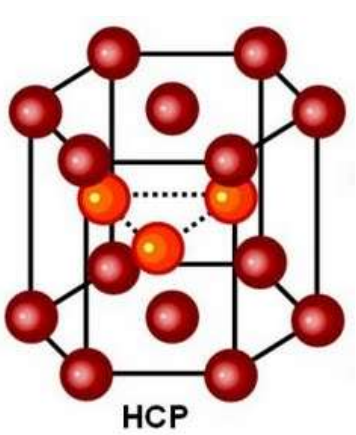
impaccamento nelle strutture cristalline

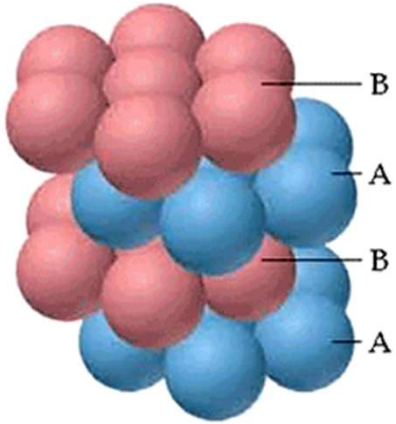
esagonale compatto



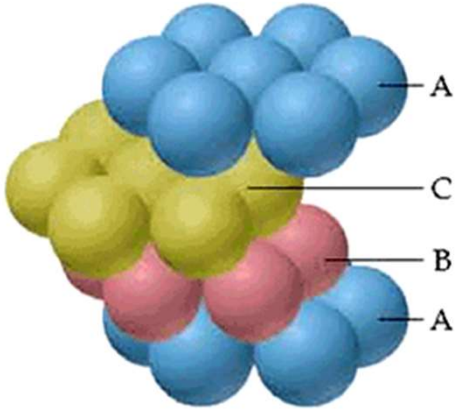
impaccamento nelle strutture cristalline



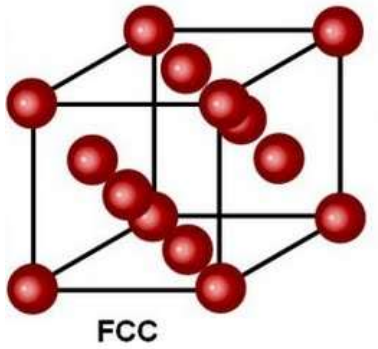




struttura esagonale compatta



struttura cubica compatta

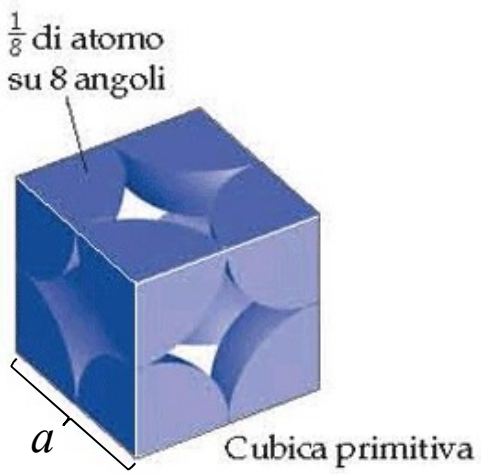


coefficienti di impaccamento

volume atomo raggio $r = 4/3\ \pi r^3$

volume cella cubica di lato $a = a^3$

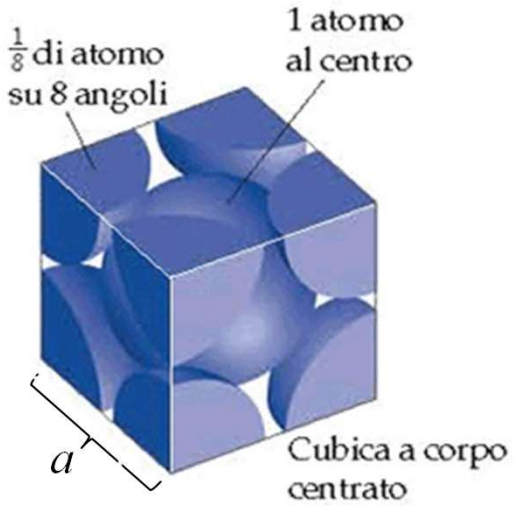
coefficiente di impaccamento $= \dfrac{\text{volume occupato da atomi}}{\text{volume cella}}$



$$\frac{4}{3}\pi\left(\frac{a}{2}\right)^3 \cdot \frac{1}{a^3} = \frac{\pi}{6} = 0.524$$

r

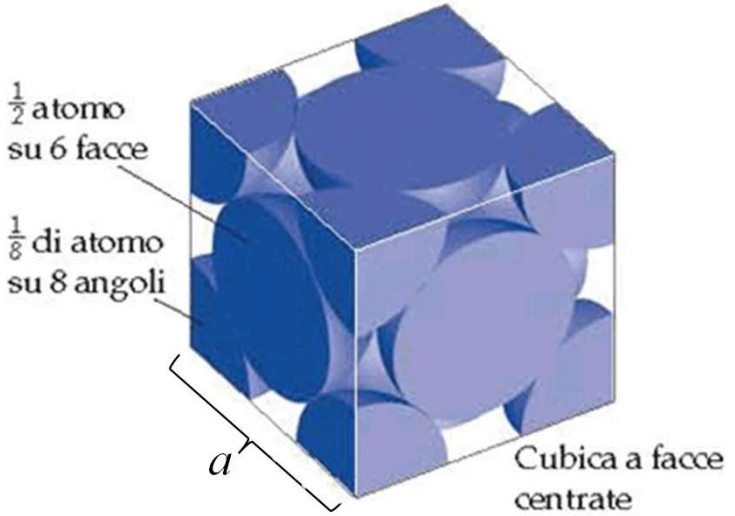
52.4%



$$2 \cdot \frac{4}{3}\pi\left(\frac{a\sqrt{3}}{4}\right)^3 \cdot \frac{1}{a^3} = \frac{\sqrt{3}\pi}{8} = 0.680$$

r

68%



$$4 \cdot \frac{4}{3}\pi\left(\frac{a\sqrt{2}}{4}\right)^3 \cdot \frac{1}{a^3} = \frac{\sqrt{2}\pi}{6} = 0.740$$

r

74%
(come hcp)

impaccamento e densità

numero atomi in una cella

massa di un atomo

massa molare (g/mol)

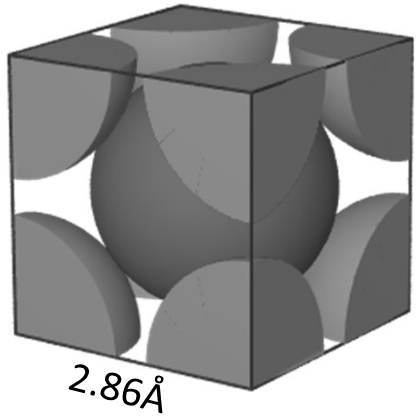
$$\rho_{solido} = \frac{m}{V} = \frac{n_{atomi} \cdot M_{atomi}}{V_{cella}} = \frac{n_{atomi}}{V_{cella}} \cdot \frac{MM}{N_A}$$

volume della cella

n° atomi in una mole

Fe

(bcc)



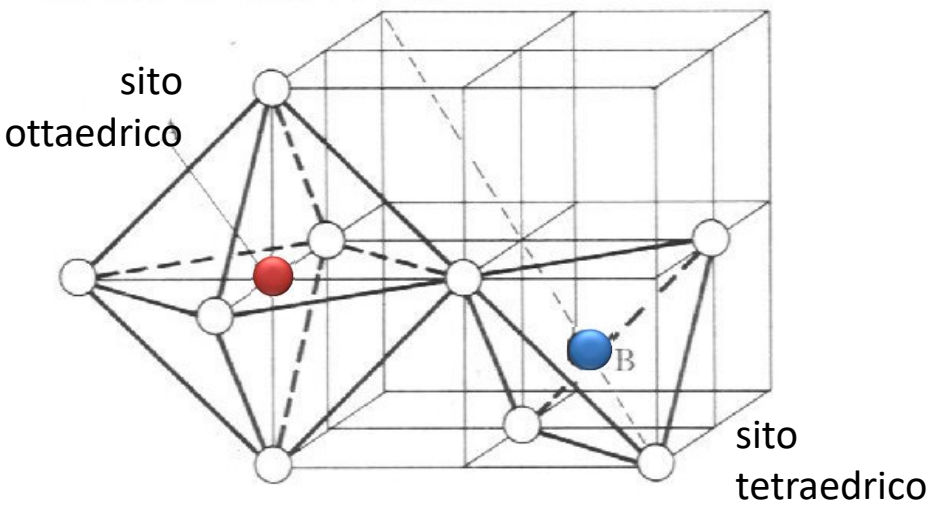
$$\rho_{solido} = \frac{2 \cdot 55.845\ g\ mol^{-1}}{(2.86 \cdot 10^{-10}\ m)^3 \cdot 6.022 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}} = 7921276\ g/m^3$$

(per il ferro)

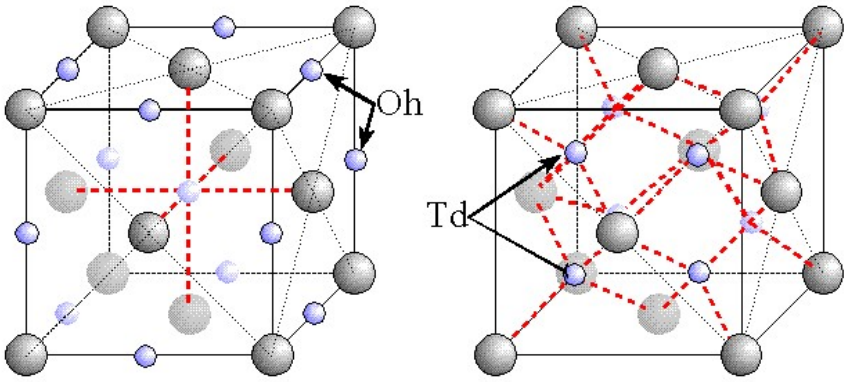
7.9 g/cm³

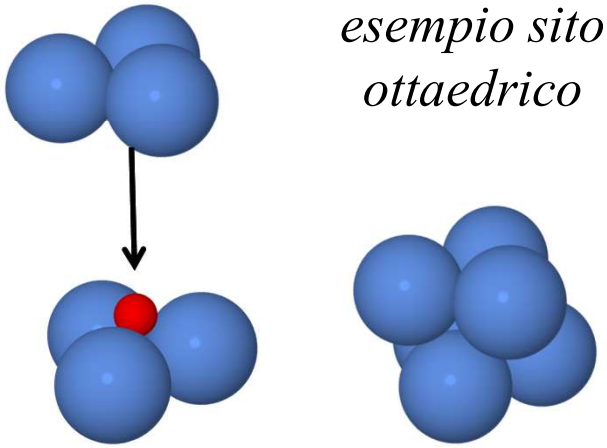
(7.87 g/cm³ misurati)

siti interstiziali nella *fcc*



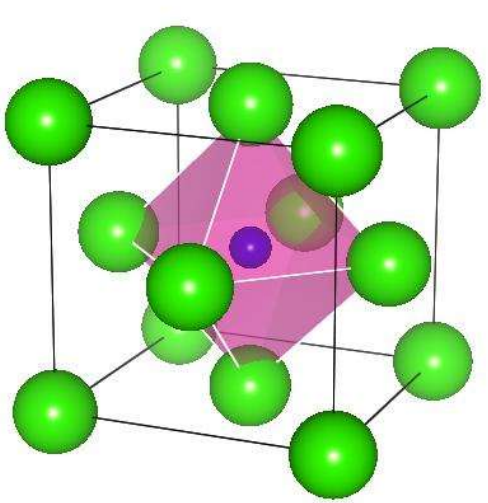
spazi (interstizi) tra gli atomi coincidenti con i punti reticolari

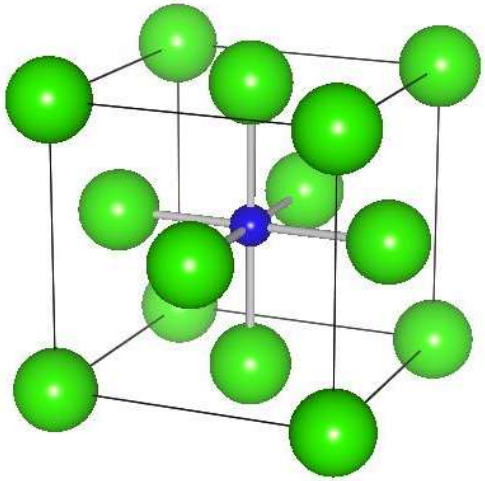




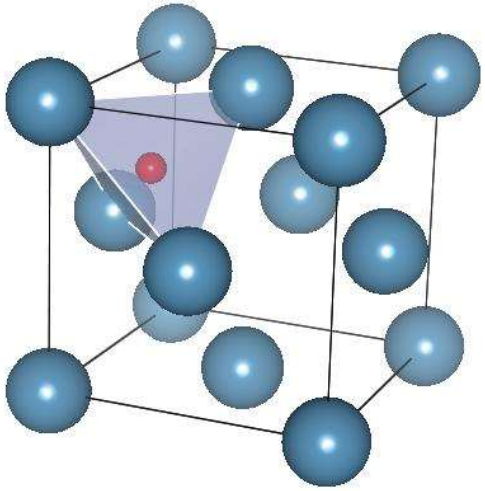
esempio sito ottaedrico

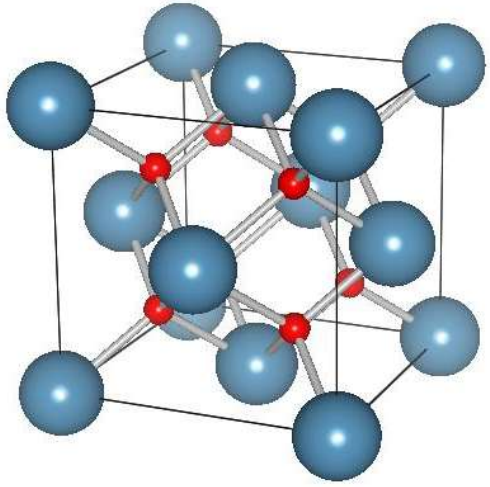
siti interstiziali nella *fcc*





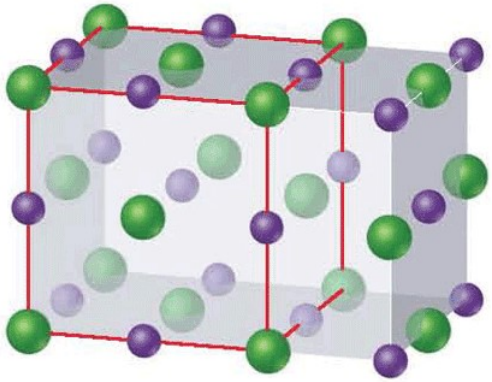
sito ottaedrico



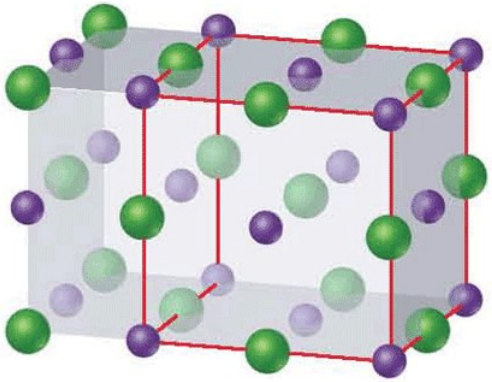


sito tetraedrico

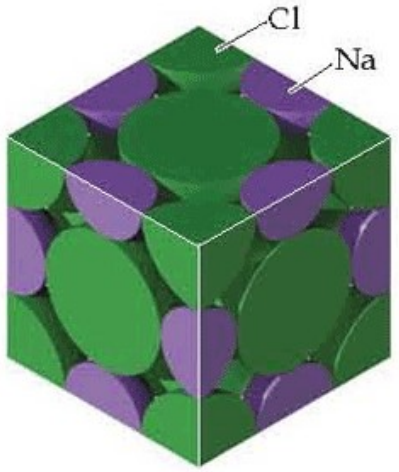
cristalli ionici(1): struttura del NaCl (salgemma)

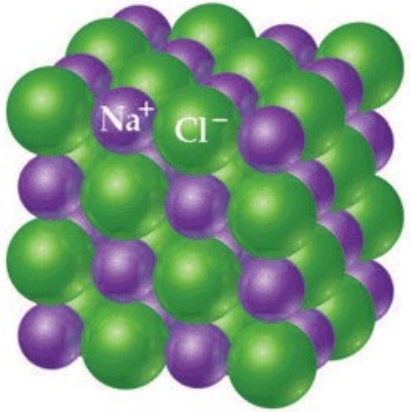


reticolo fcc di Cl^- in cui i siti ottaedrici sono occupati da Na^+



reticolo fcc di Na^+ in cui i siti ottaedrici sono occupati da Cl^-





hanno la stessa struttura cristallina:

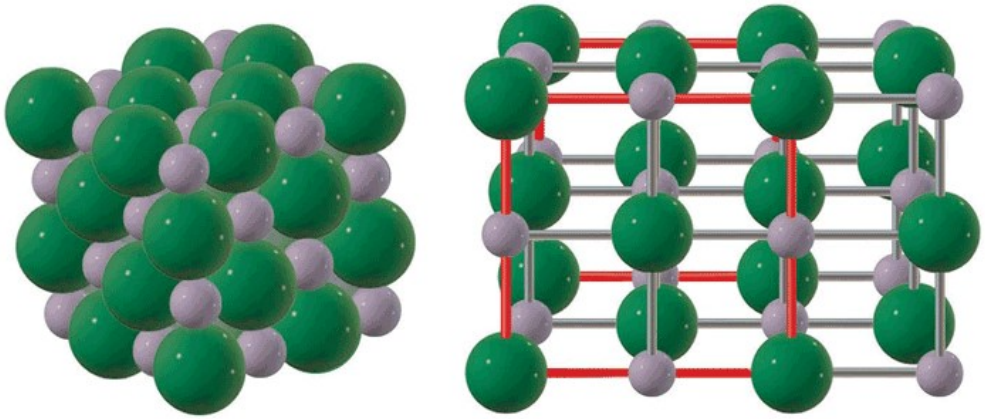
- MX alogenuri dei metalli alcalini (gruppo I)
  (es. KCl, LiF, KBr, …)
- MO, MS ossidi e solfuri dei metalli alcalino-terrosi (gruppo II)
  (es. CaO, MgO, BaO, MgS, …)

cristalli ionici(2): struttura del CsCl

struttura NaCl

reticolo fcc di anioni in cui i siti ottaedrici sono occupati da cationi

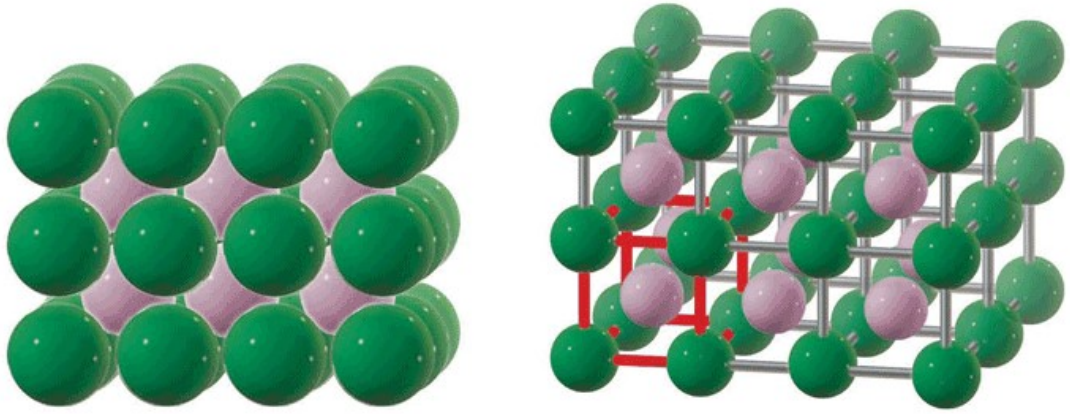
$$0.414 < \frac{raggio\ cationi}{raggio\ anioni} < 0.732$$



struttura CsCl

2 reticoli di celle cubiche primitive compenetrati

$$0.732 < \frac{raggio\ cationi}{raggio\ anioni}$$

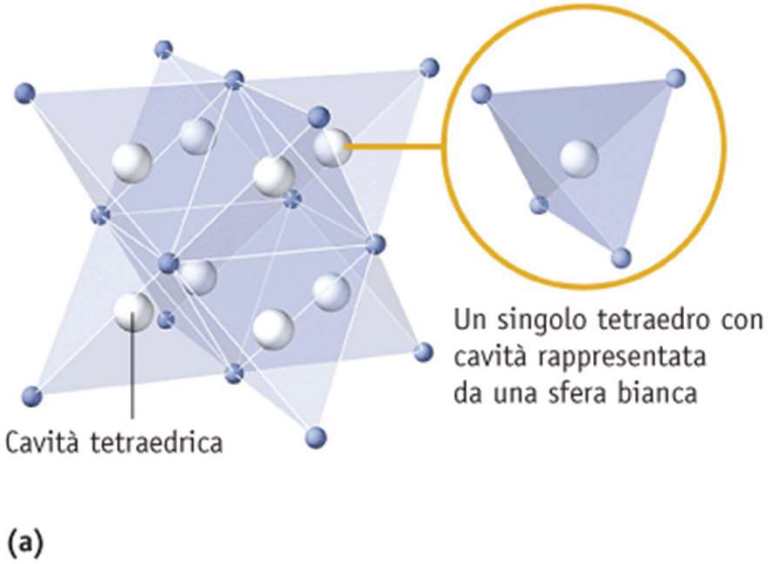


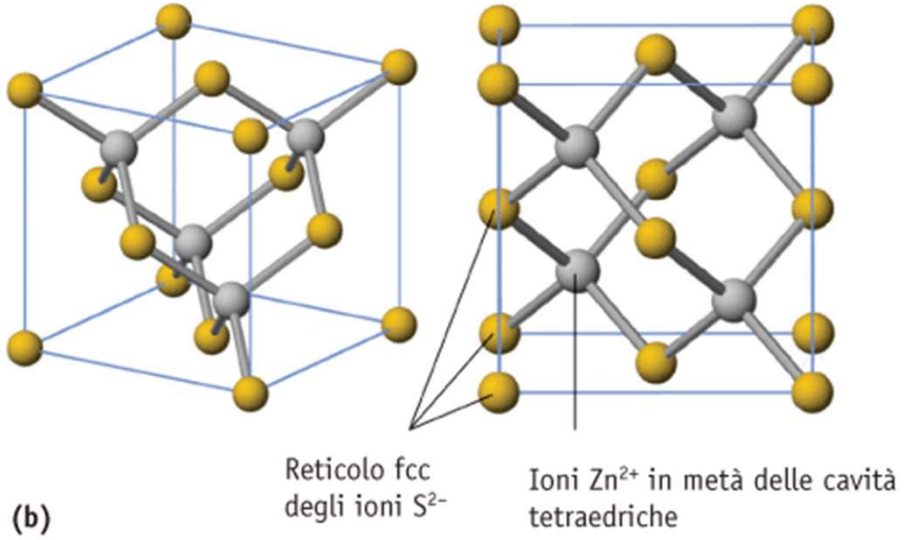
cristalli ionici(3): struttura del ZnS

$$\frac{raggio\ cationi}{raggio\ anioni} < 0.414$$

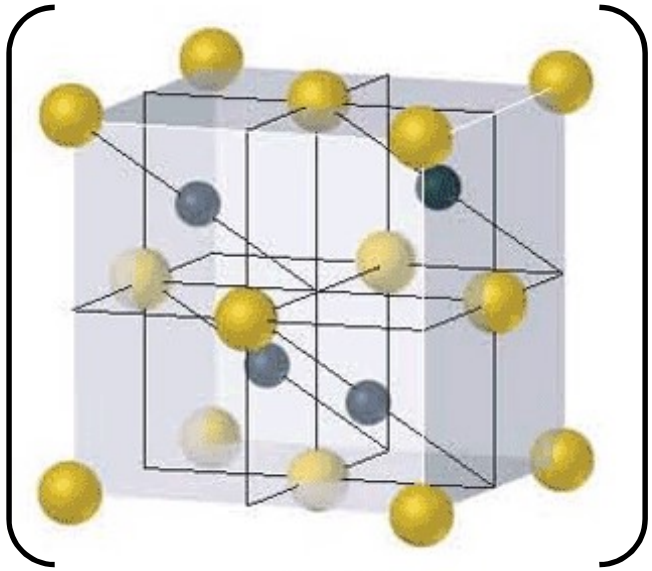
struttura ZnS
(blenda cubica o sfalerite)

reticolo fcc di anioni S^{2-} in cui metà dei siti tetraedrici sono occupati da cationi Zn^{2+}

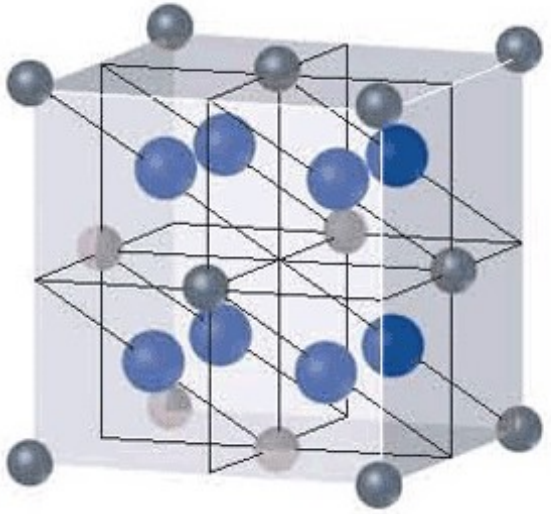




cristalli ionici(4): struttura del CaF_2



(b) ZnS



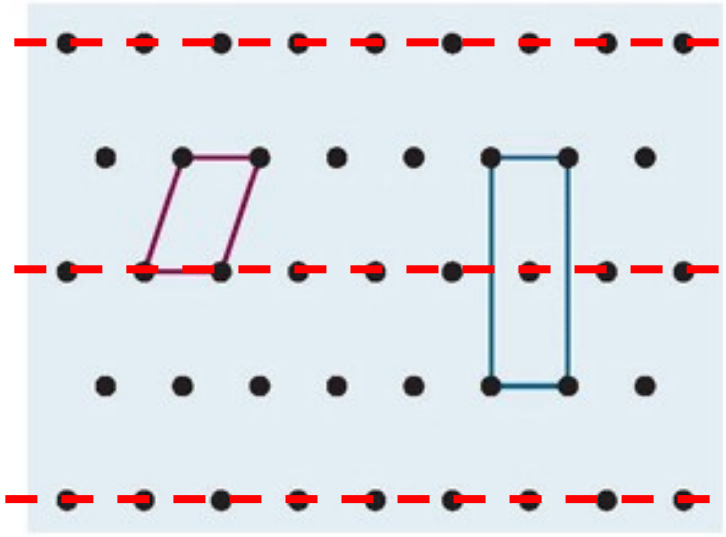
(c) CaF_2

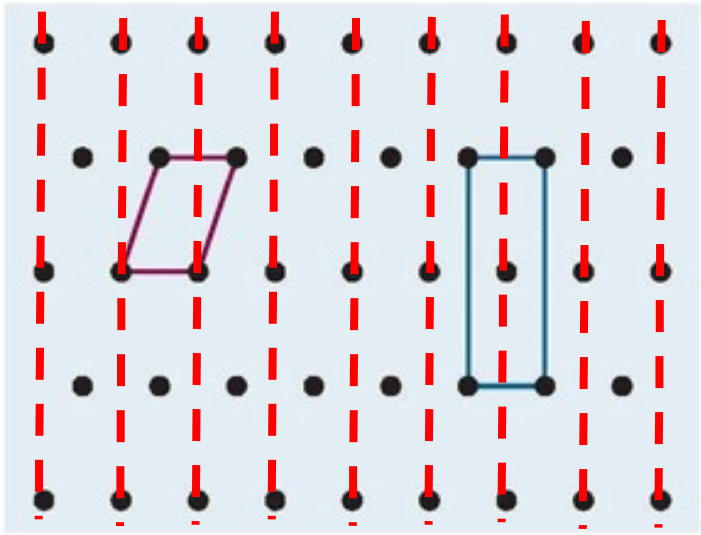
cella fcc
8 siti tetraedrici
4 punti reticolari

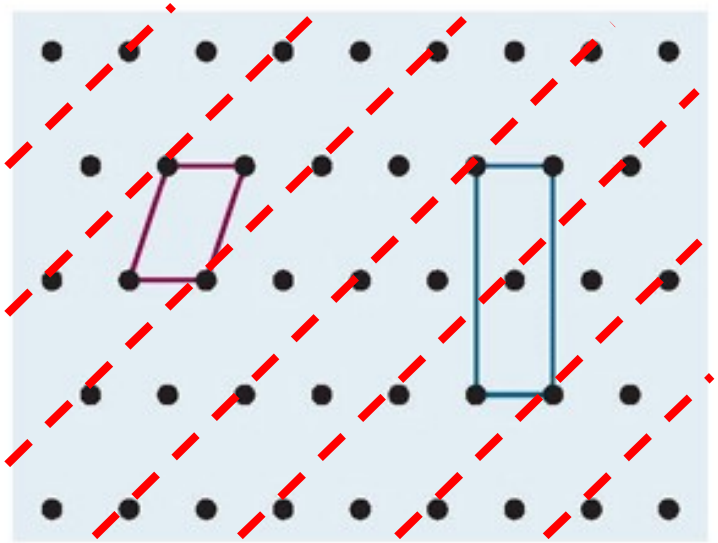
struttura CaF_2
(fluorite)

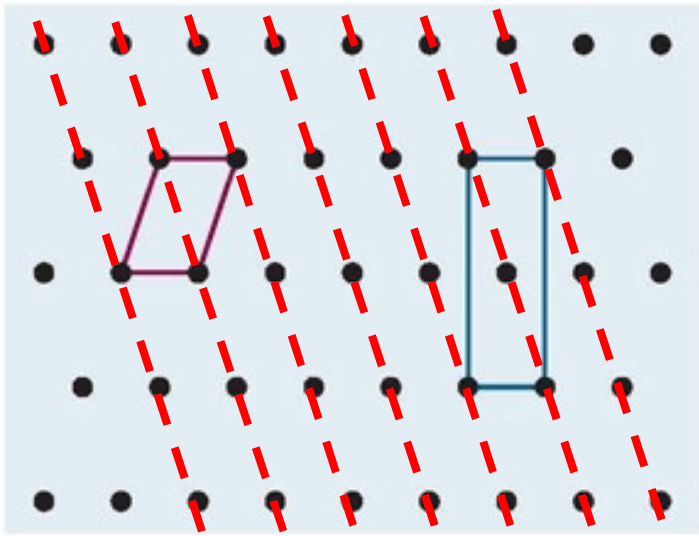
reticolo fcc di cationi Ca^{2+} in cui TUTTI i siti tetraedrici sono occupati da anioni F^-

Piani cristallini



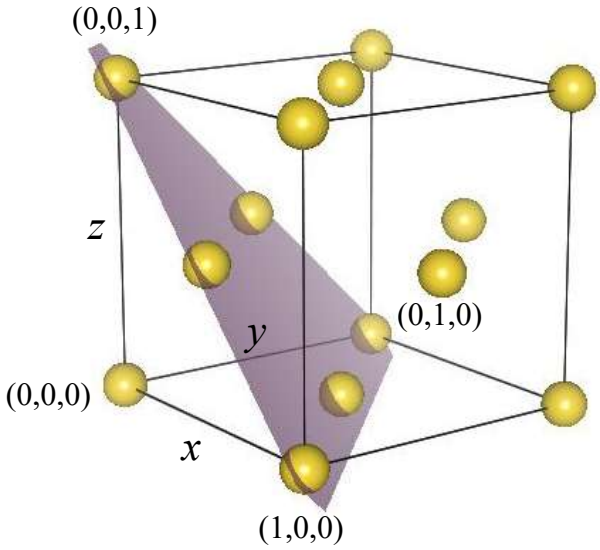






indici di Miller

(1 1 1)



(hkl) identificano una famiglia di piani cristallini in un reticolo di Bravais

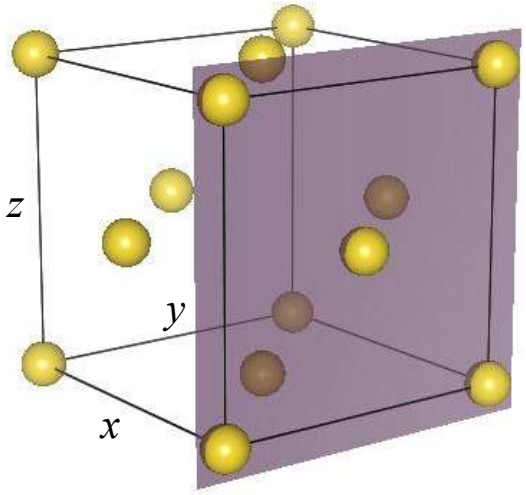
terna di reciproci delle intercette del piano in coordinate frazionarie

intercette	x	y	z
	1	1	1
reciproco	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$
indici	1	1	1

$$\overbrace{\left(\frac{1}{\text{intercetta } x}\right.}^{h}\ \overbrace{\frac{1}{\text{intercetta } y}}^{k}\ \overbrace{\left.\frac{1}{\text{intercetta } z}\right)}^{l}$$

indici di Miller

(1 0 0)



(hkl) identificano una famiglia di piani cristallini in un reticolo di Bravais

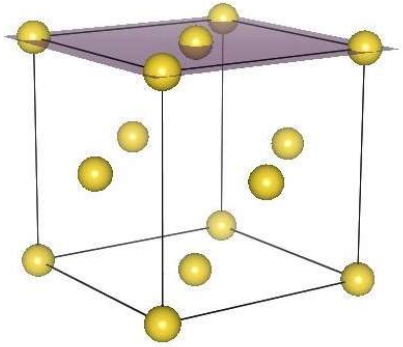
terna di reciproci delle intercette del piano in coordinate frazionarie

intercette	x	y	z
	1	∞	∞
reciproco	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{\infty}$	$\frac{1}{\infty}$
indici	1	0	0

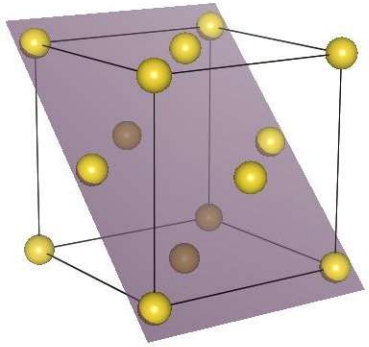
$$\overbrace{\left(\frac{1}{\text{intercetta } x}\right.}^{h}\ \overbrace{\frac{1}{\text{intercetta } y}}^{k}\ \overbrace{\left.\frac{1}{\text{intercetta } z}\right)}^{l}$$

indici di Miller

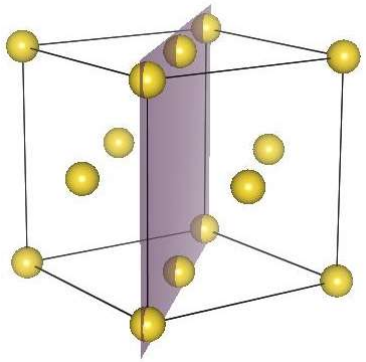
(0 0 1)



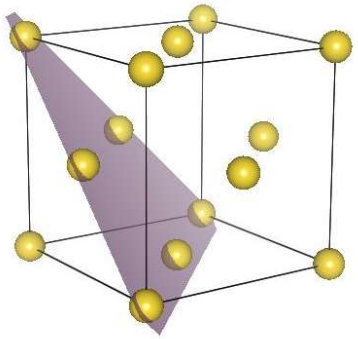
(1 0 1)

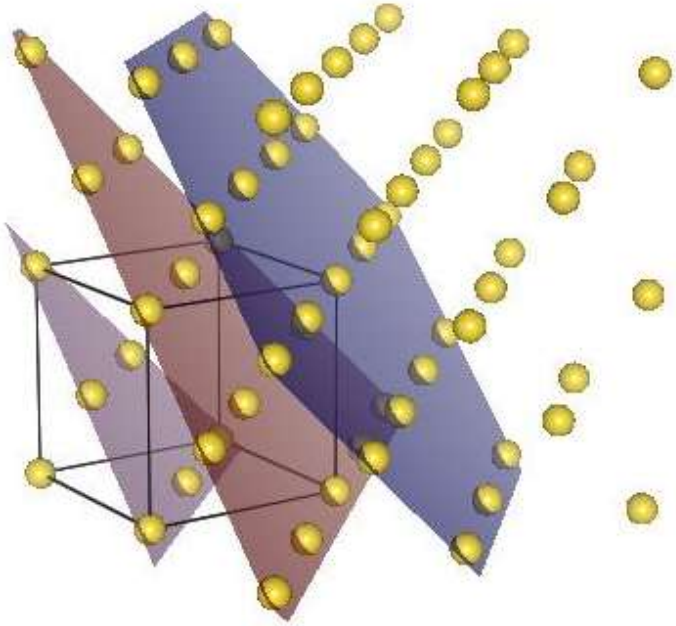


(1 1 0)



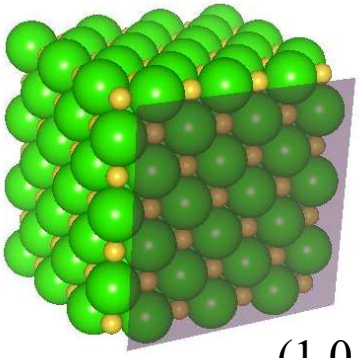
(1 1 1)



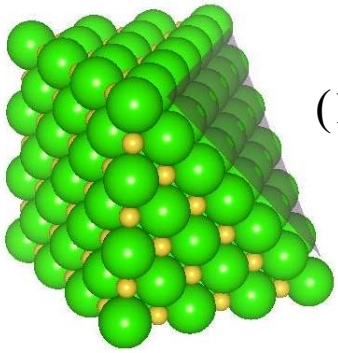


(hkl) identifica una famiglia di piani paralleli

piani cristallografici: esempio NaCl



(1 0 0)

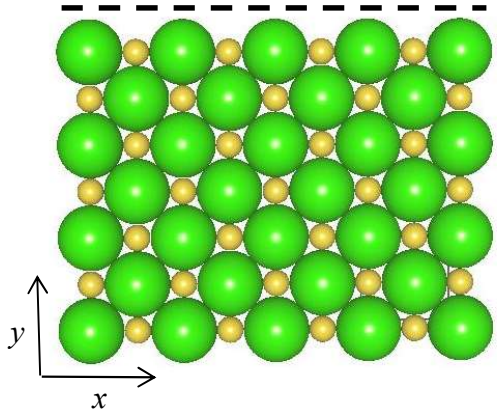


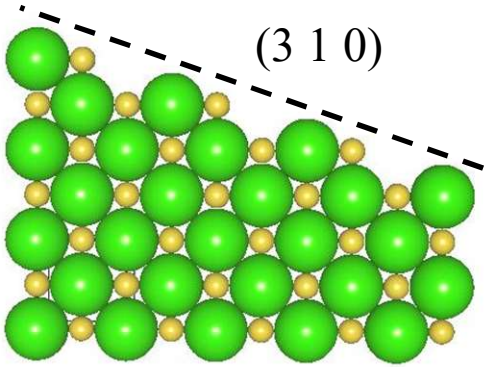
(1 1 1)

diversi piani cristallini hanno "densità" diverse

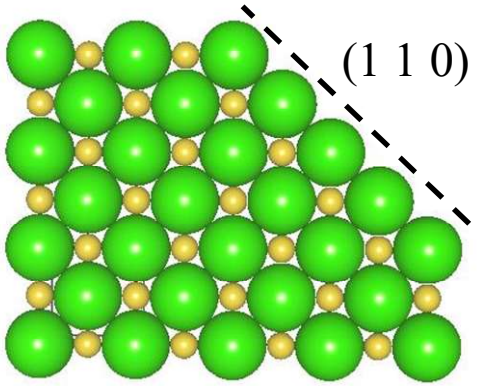
→ *proprietà chimiche e fisiche diverse a seconda della faccia del cristallo*

(0 1 0)





(3 1 0)

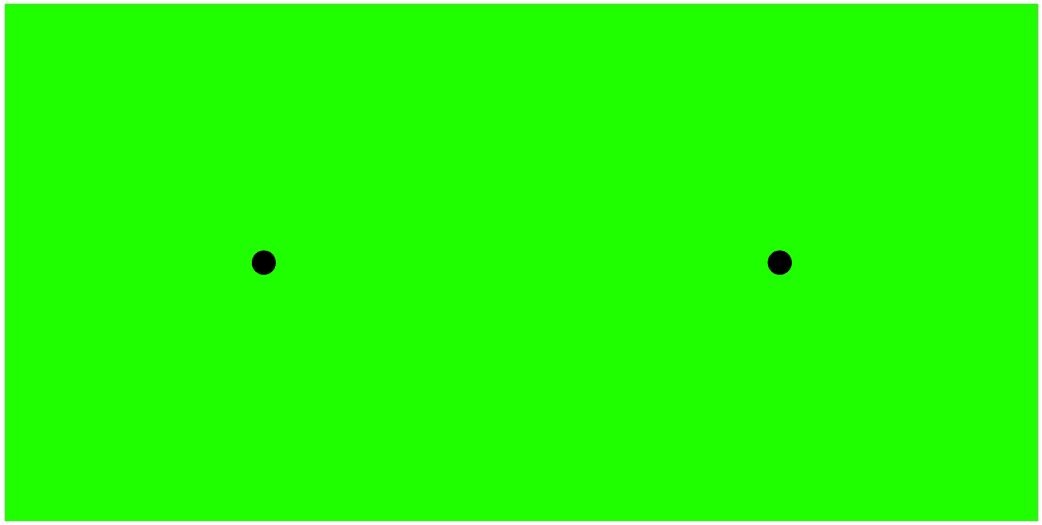


(1 1 0)

Raggi-x e struttura cristallina
un esperimento di **diffrazione**

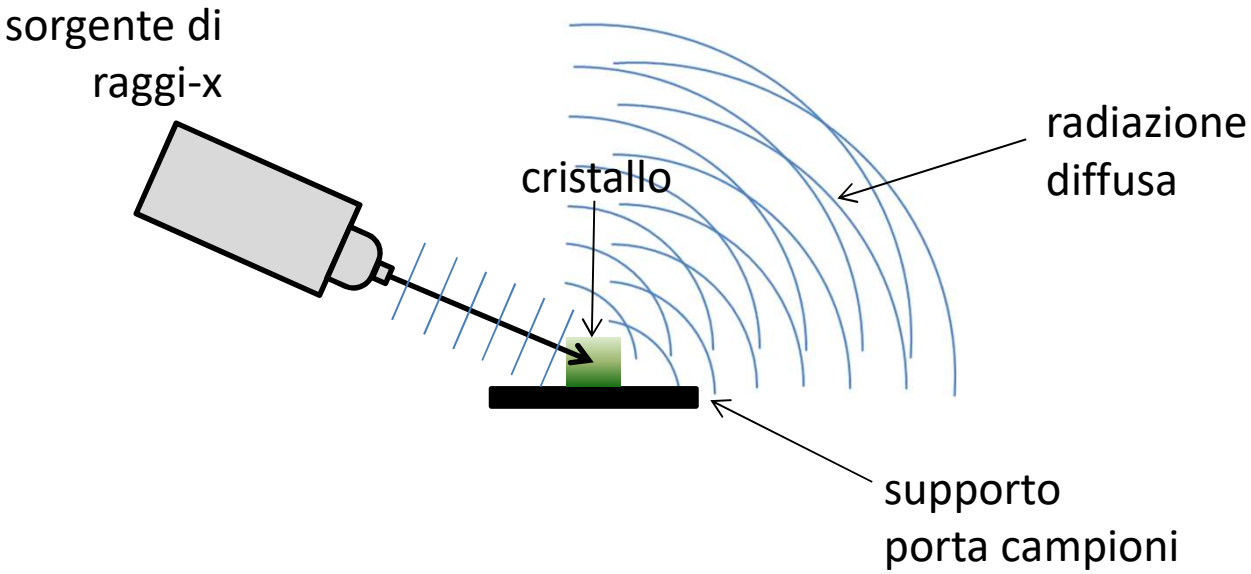
diffrazione

fenomeno per cui un' **onda**, dopo aver incontrato un **ostacolo** (*delle stesse dimensioni della lunghezza d'onda*), si propaga secondo una **direzione diversa** da quella prevista dalla legge della propagazione rettilinea.



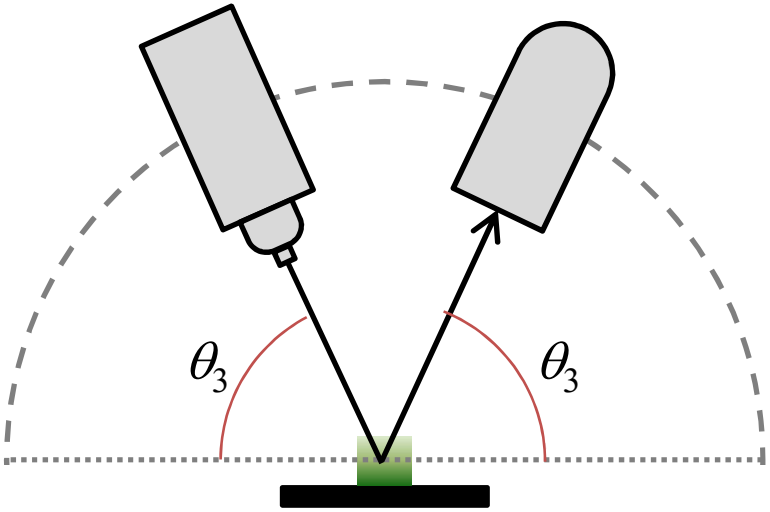
Raggi-x e struttura cristallina

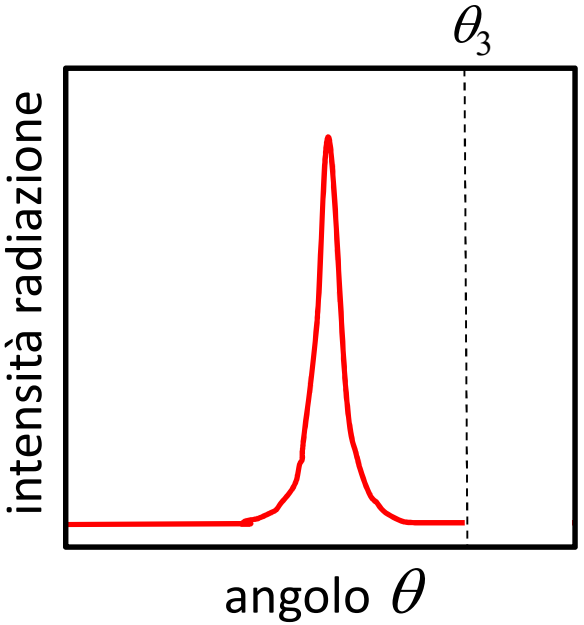
un esperimento di **diffrazione**



Raggi-x e struttura cristallina

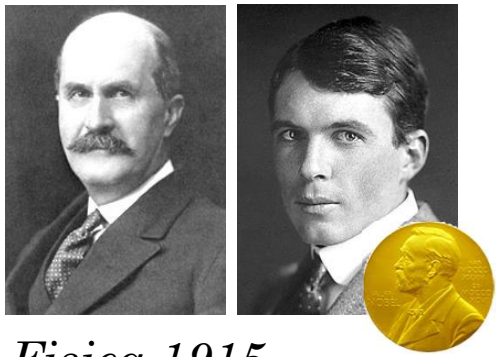
un esperimento di **diffrazione**





Legge dei Bragg (1913)

esprime la condizione per la quale l'intensità dei raggi x diffratti da un cristallo è massima ad un rilevatore posto ad un certo angolo θ



Fisica 1915

$$n\lambda = 2d \cdot sen(\theta)$$

λ lunghezza d'onda

è fissa durante una misura

d distanza tra due piani cristallini

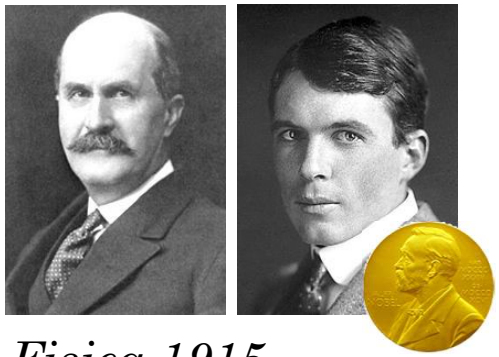
da determinare

θ angolo di incidenza dei raggi-x

varia durante la misura

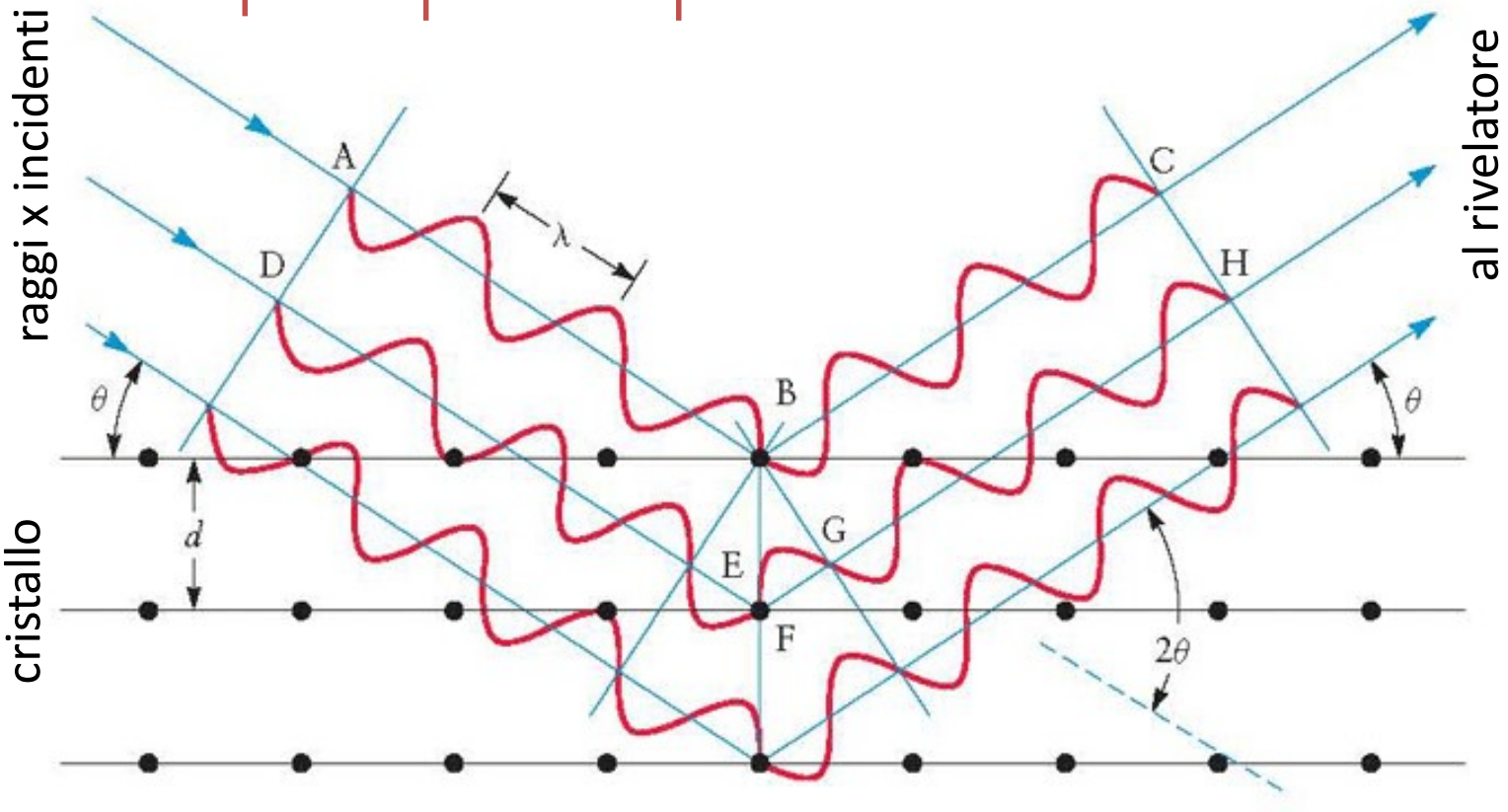
Legge dei Bragg (1913)

esprime la condizione per la quale l'intensità dei raggi x diffratti da un cristallo è massima ad un rilevatore posto ad un certo angolo θ



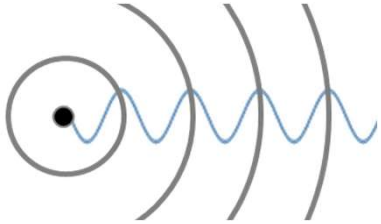
Fisica 1915

$$n\lambda = 2d \cdot sen(\theta)$$



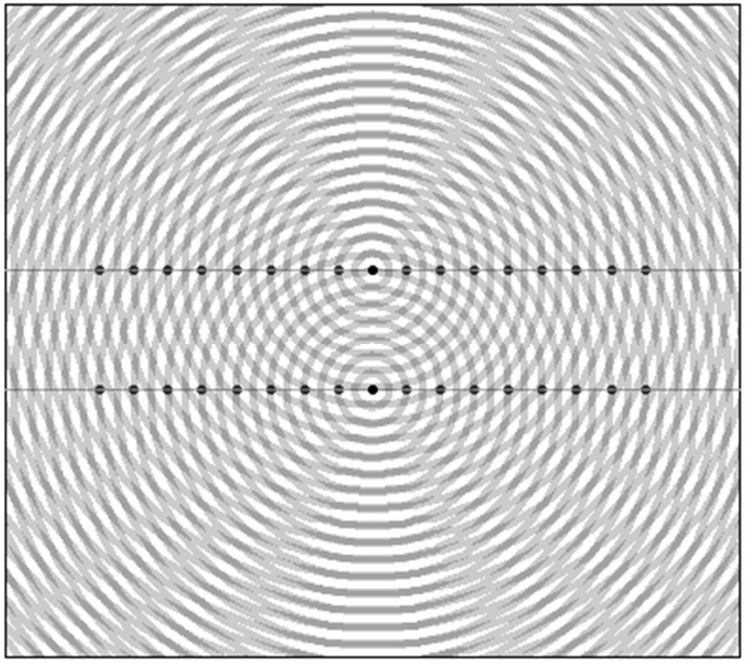
Legge dei Bragg (1913)

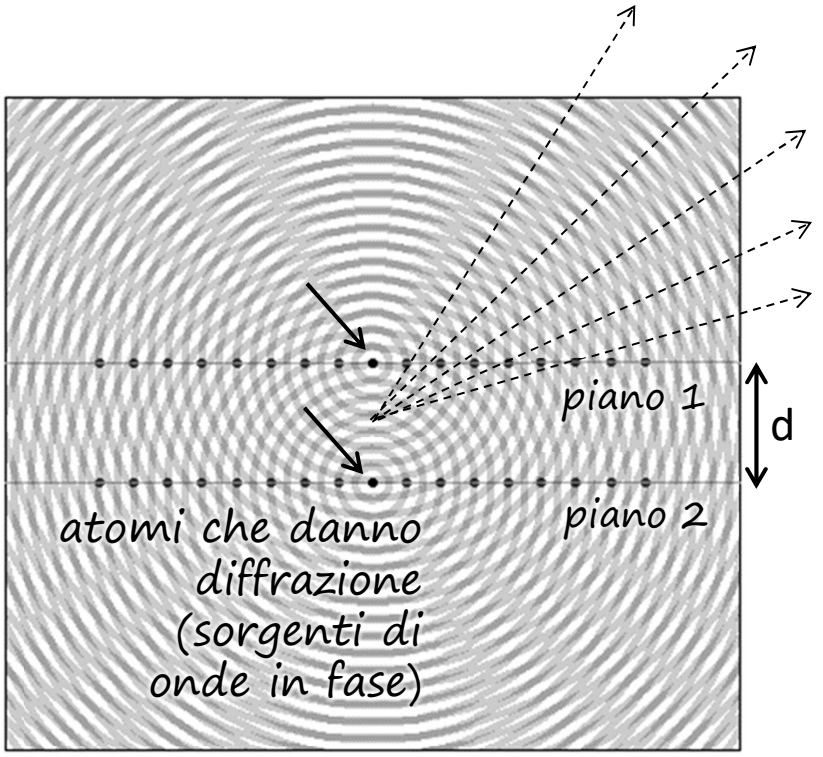
(da un altra prospettiva)



ogni linea corrisponde a una cresta

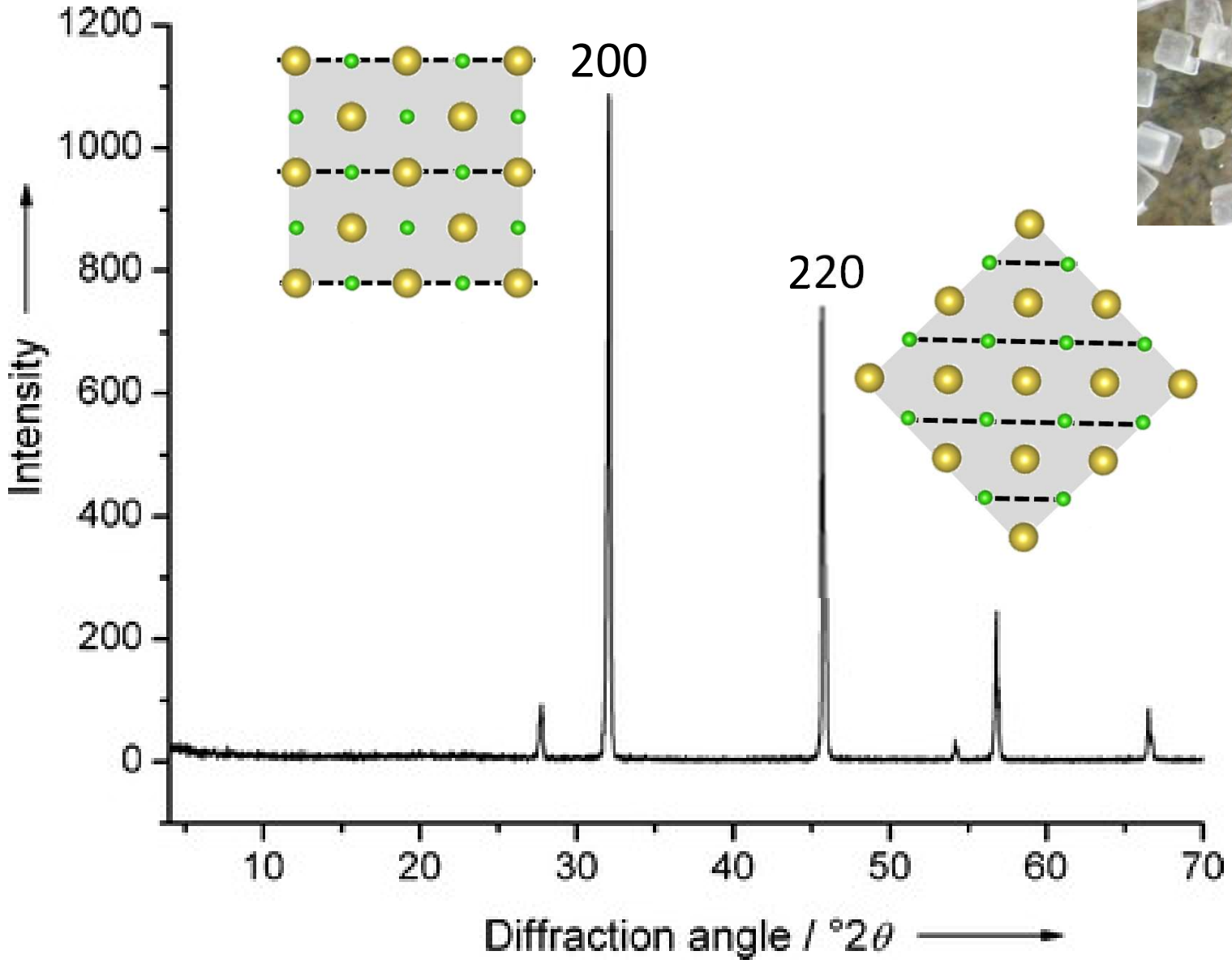
angoli per I quali l'intensità è **massima** (interferenza costruttiva)
NB. variano con d!



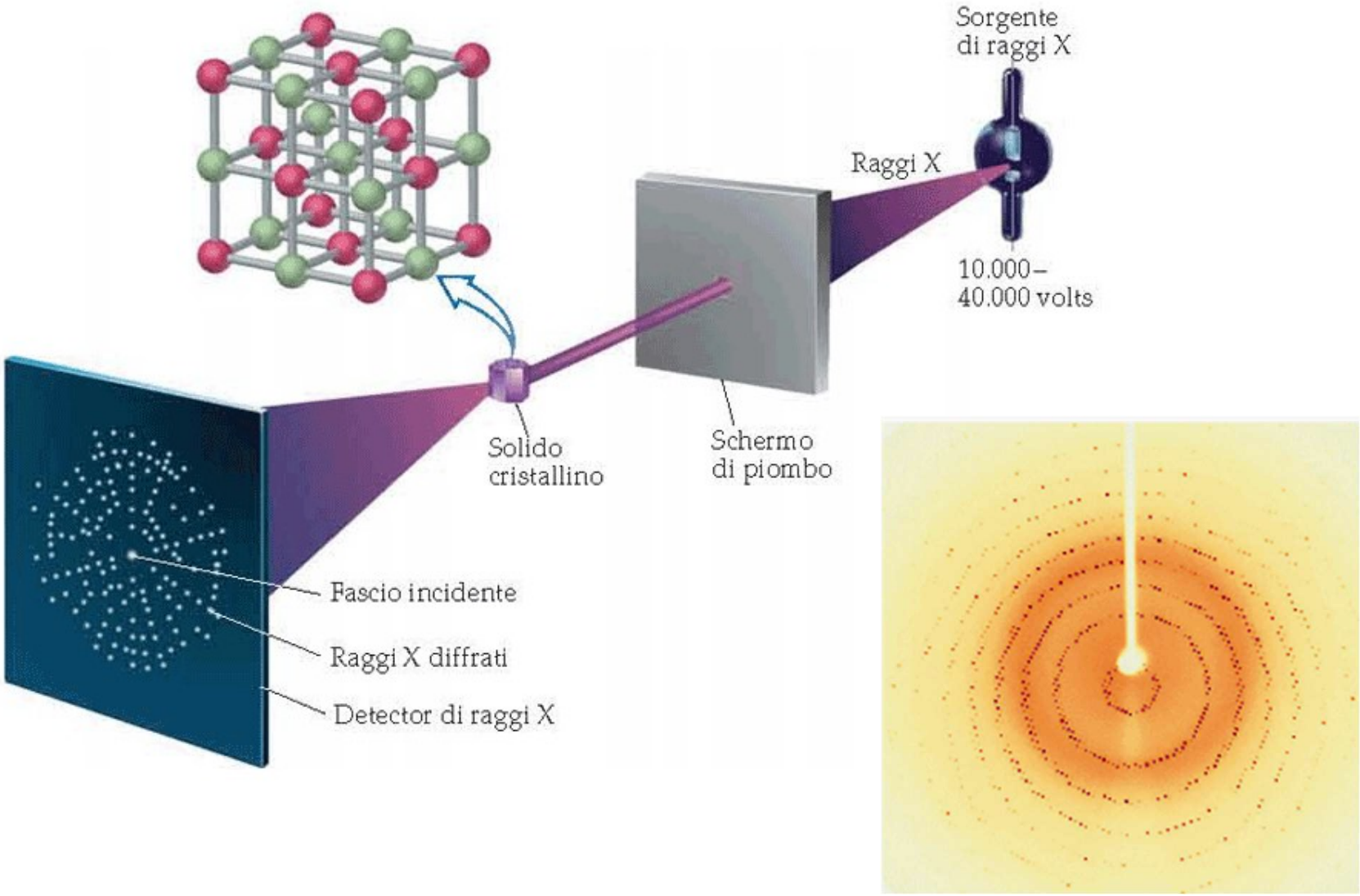


diffrattogramma NaCl

(polvere microcristallina)

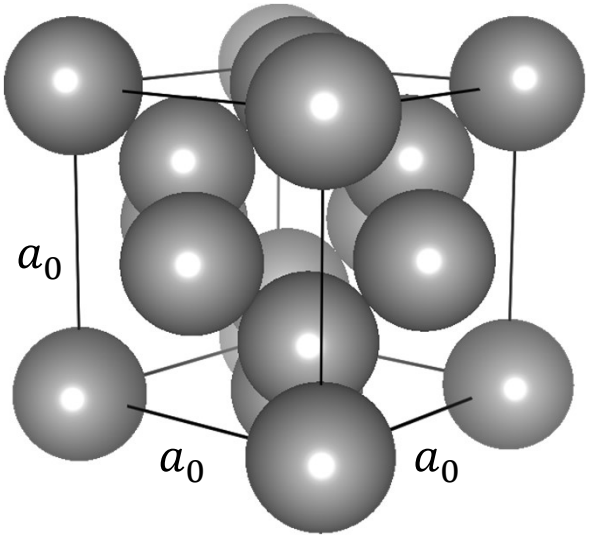


Diffrazione a raggi x e struttura cristallina



Determinazione del numero di Avogadro

silicio (Si) puro



$$a_0 = 0.54\ nm$$

$$m_a = \frac{M}{N_A}$$

M: massa molare

N_A: numero di Avogadro

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{n \cdot m_a}{a_0^3}$$

ρ: densità

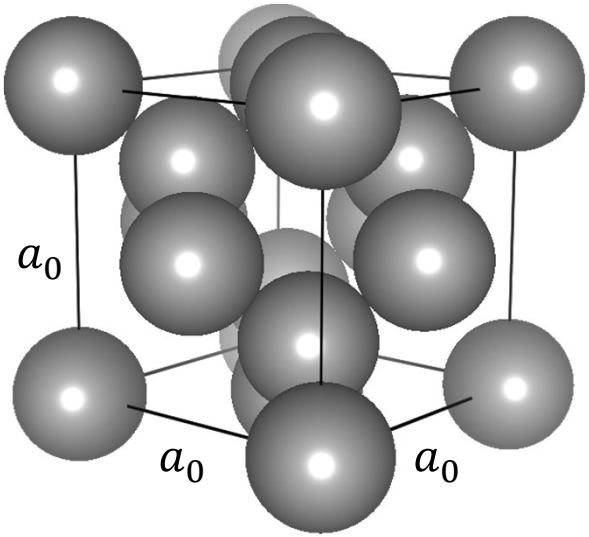
n: N° atomi nella cella cristallina

m_a: massa atomica

a_0^3: volume della cella cristallina

Determinazione del numero di Avogadro

silicio (Si) puro



$a_0 = 0.54\,nm$

N° atomi nella cella cristallina

massa molare

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{n \cdot m_a}{a_0^3} = \frac{n \cdot M}{a_0^3 \cdot N_A}$$

densità

volume cella

numero di Avogadro

Determinazione del numero di Avogadro

N° atomi nella cella cristallina

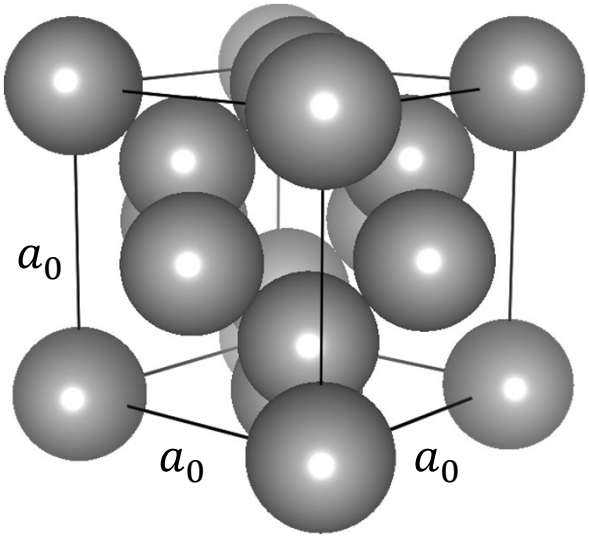
massa molare

densità

$$\rho = \frac{n \cdot M}{a_0^3 \cdot N_A}$$

volume della cella cristallina

numero di Avogadro

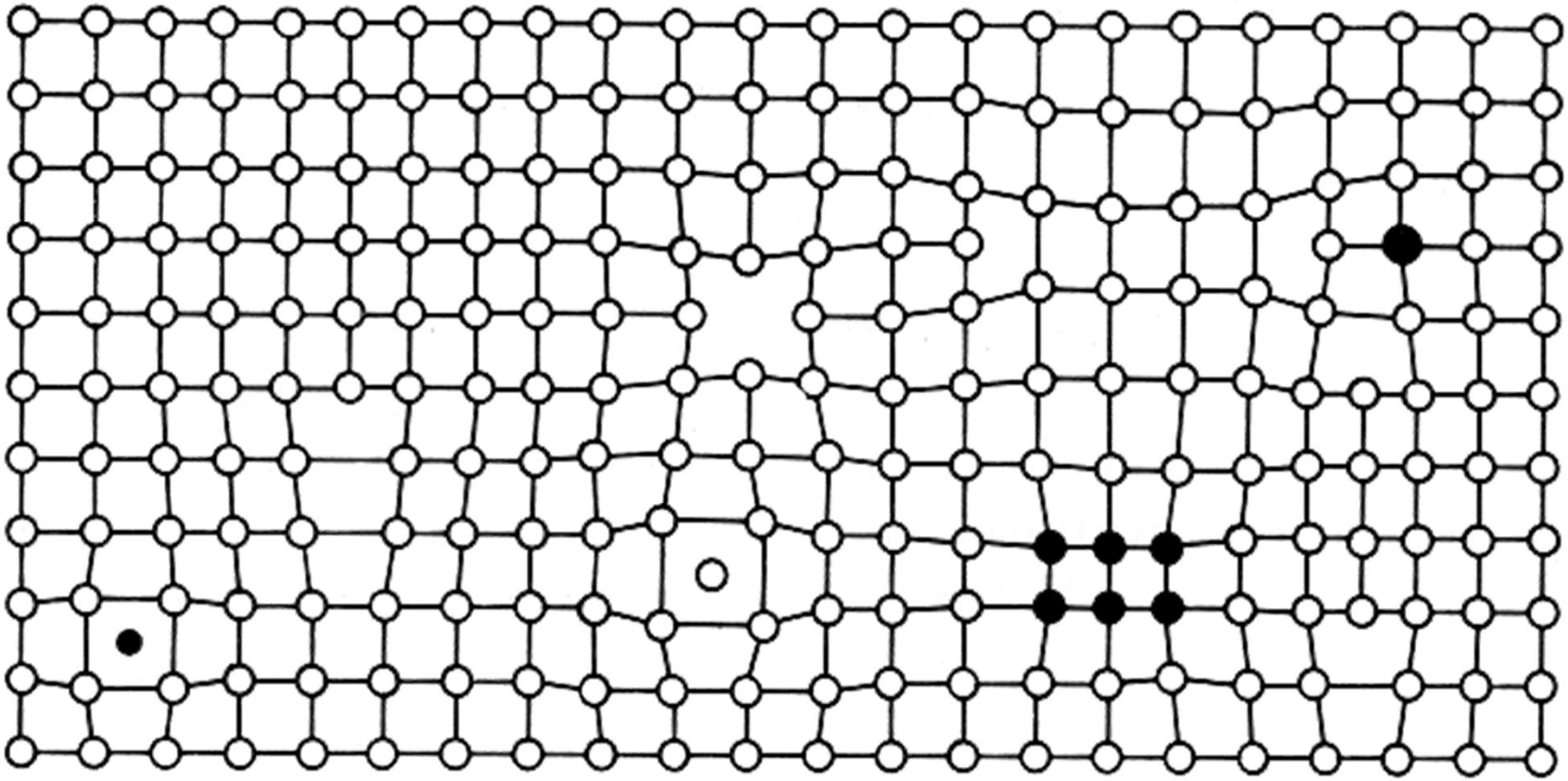


$a_0 = 0.54\ nm$

$$N_A = \frac{n \cdot M}{\rho \cdot a_0^3} = \left(\frac{8\ atomi \cdot 28.0\ g\ mol^{-1}}{2.3\ g\ cm^{-3} \cdot 1.6 \cdot 10^{-22}\ cm^3} \right)$$

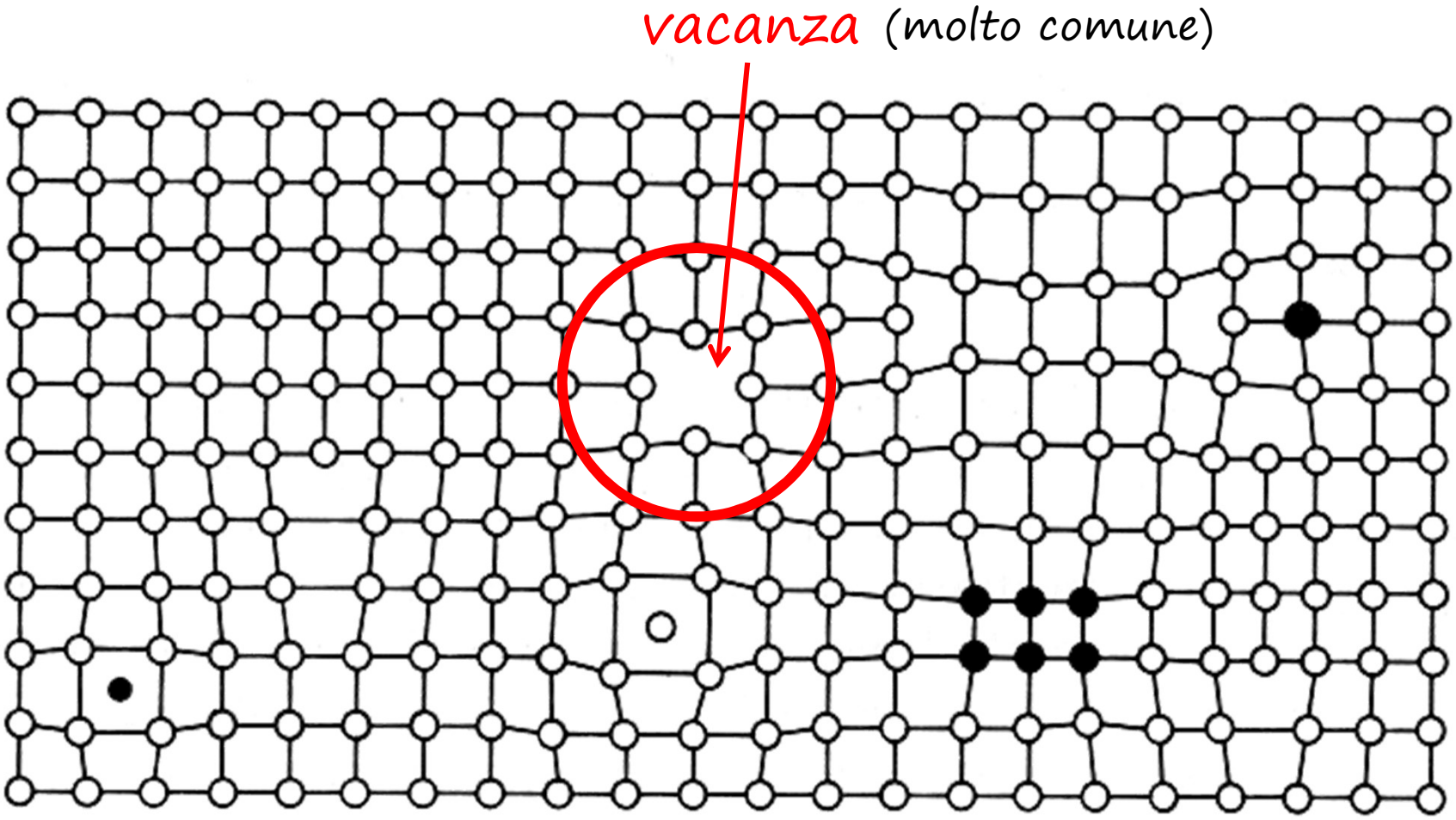
$$= 6.0 \cdot 10^{23}\ atomi/mol$$

difetti nei cristalli

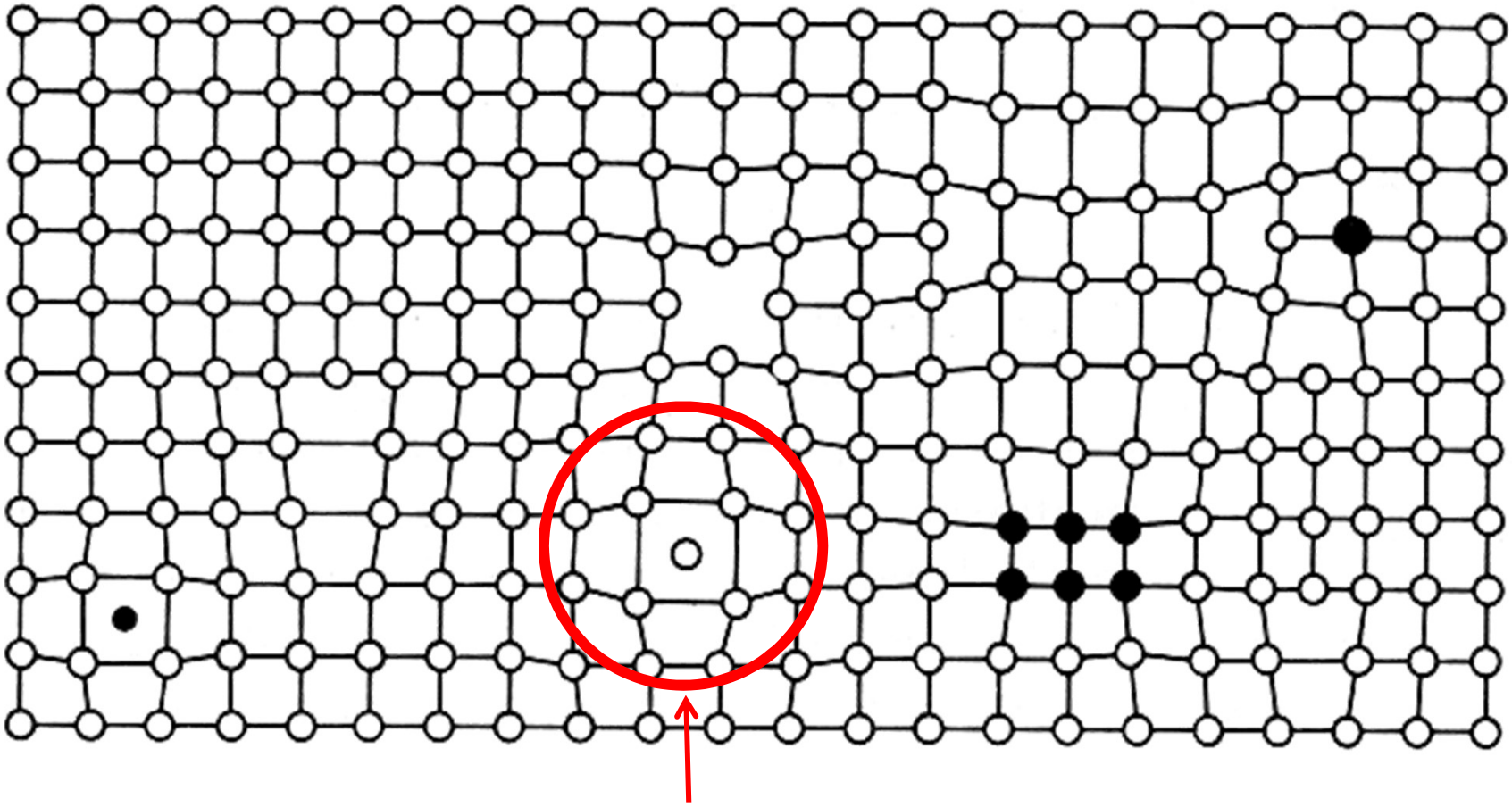


(da https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/def_en/index.html)

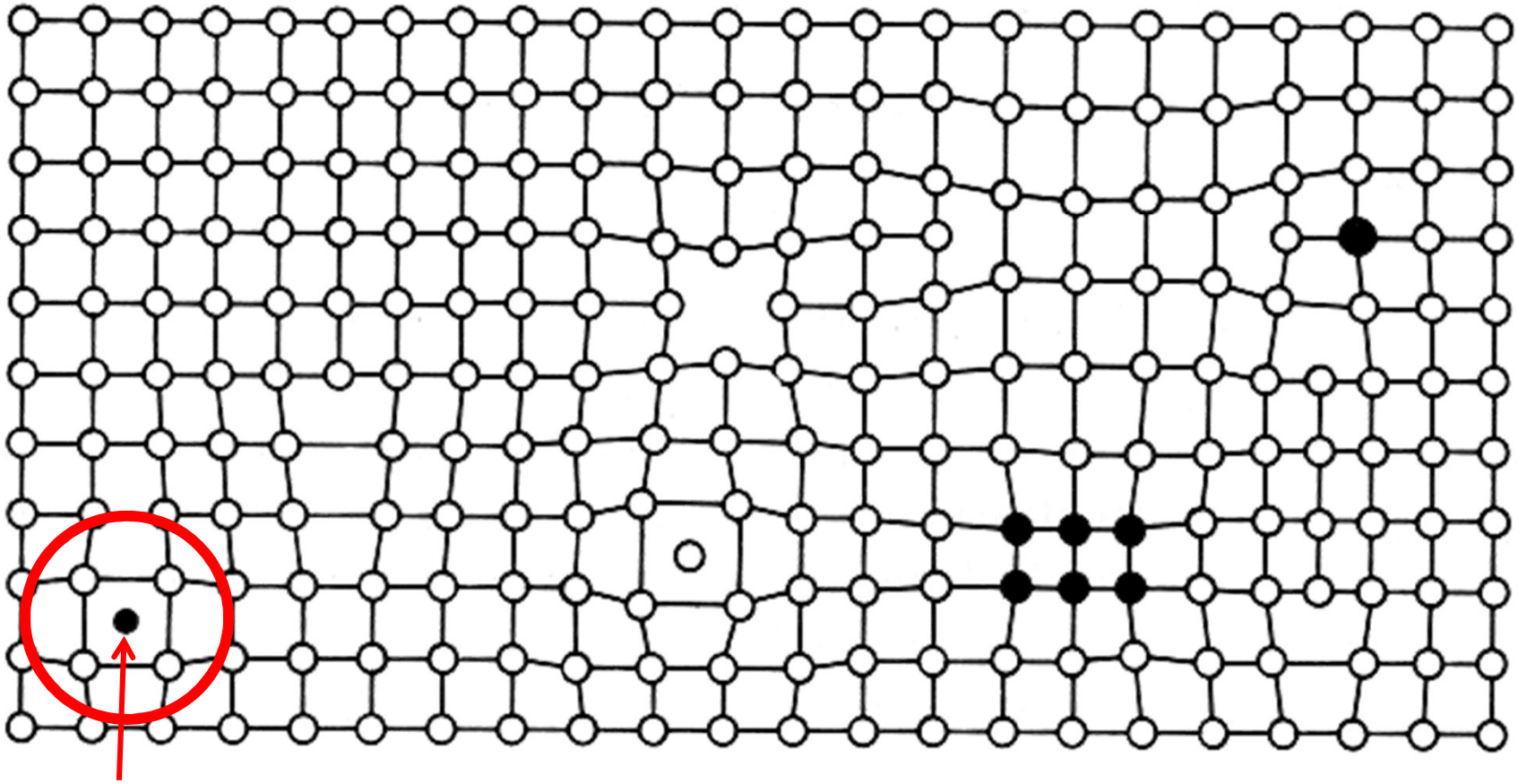
difetti nei cristalli



difetti nei cristalli

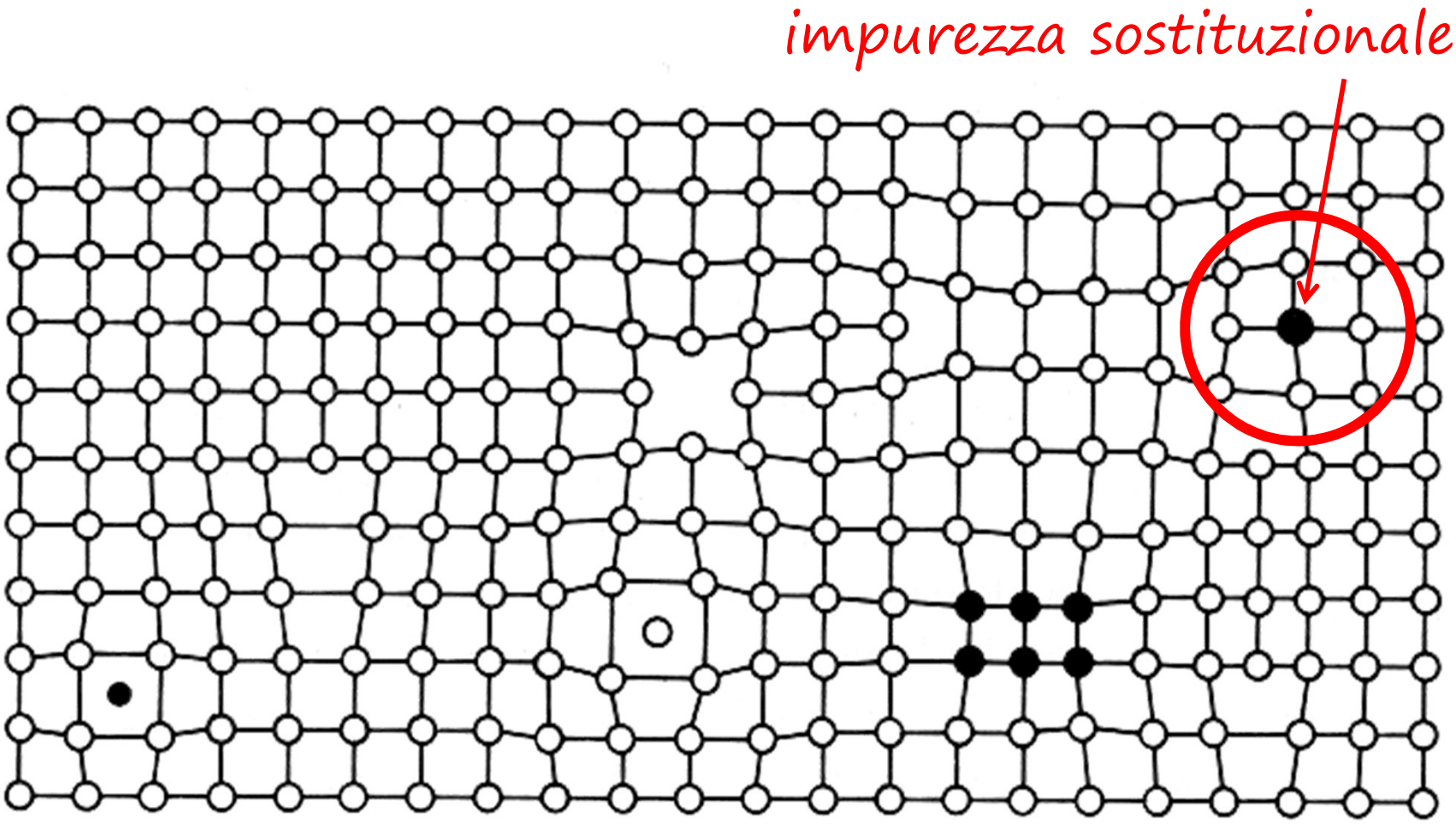


difetti nei cristalli



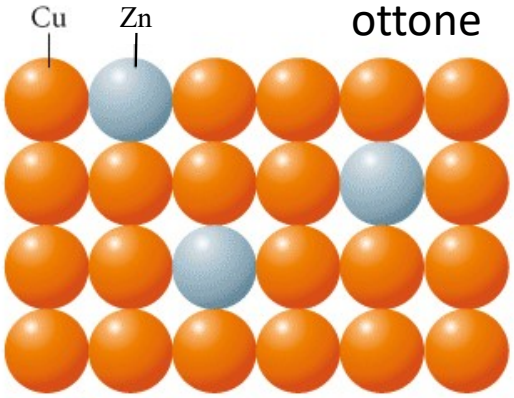
impurezza interstiziale

difetti nei cristalli



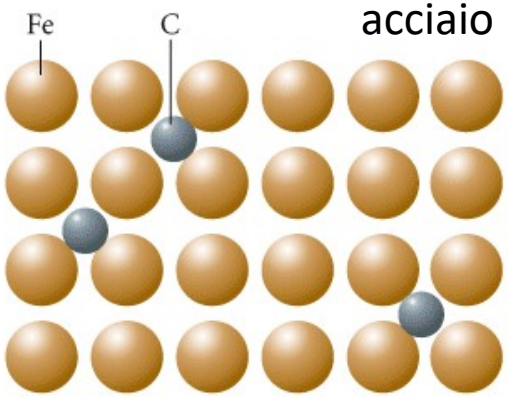
Leghe metalliche

materiali composti da due o più elementi chimici, uno dei quali è presente in percentuale più alta ed è un metallo



ottone

Una lega sostituzionale



acciaio

Una lega intestiziale

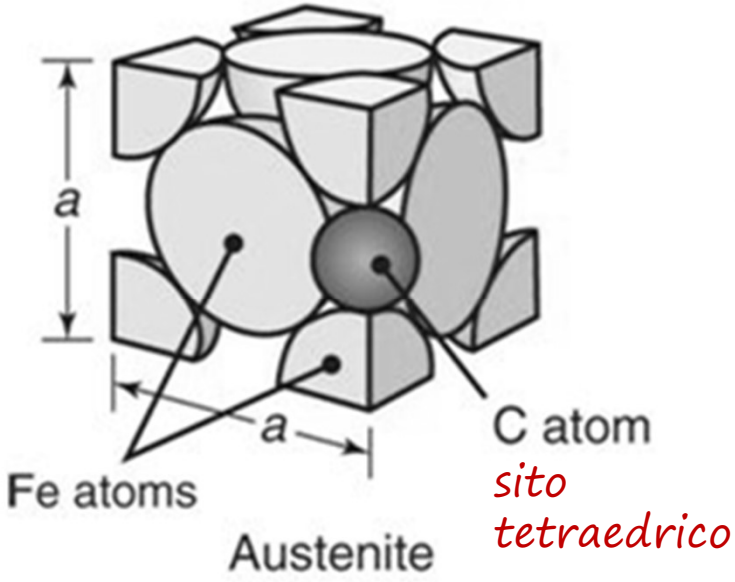
TABELLA 13.4 Leghe e loro usi

Nome	Composizione comune (massa %)	Usi
Sostituzionale		
Ottone	90 Cu : 10 Zn	Decorazioni
Peltro	85 Sn : 7 Cu : 6 Bi: 2 Sb	Piatti, bigiotteria, figurine
Bronzo	92–97 Cu : 1–8 Sn : 0–2 Zn	Medaglie, statue
Oro 14 carati	58 Au : 30 Ag : 12 Cu	Gioielli
Argento sterling	92.5 Ag : 7.5 Cu	Gioielli, utensili da cucina
Argento da conio	90 Ag : 10 Cu	Monete d'argento
Piombo per saldature	67 Pb : 33 Sn	Tubi saldati
Interstiziale		
Acciaio	98–99.9 Fe: 0–2 C	Materiali per costruzione
Acciaio inossidabile	>10.5 Cr: <89.5 Fe	Utensili da cucina, materiali strutturali

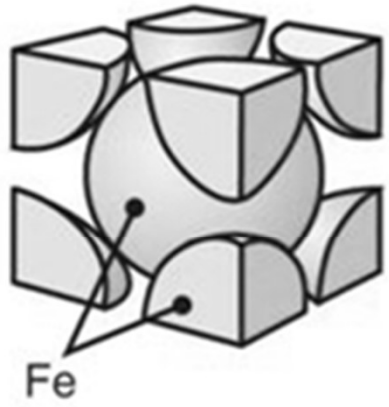
Leghe metalliche

(esempi acciai: leghe ferro - carbonio)

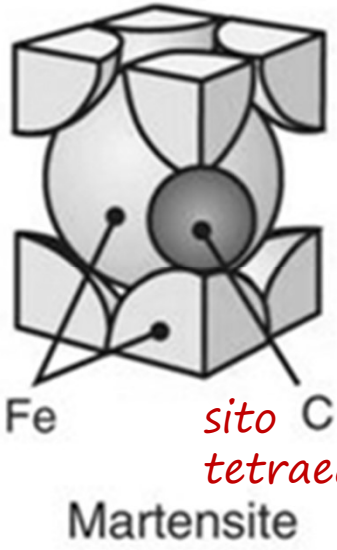
ffc



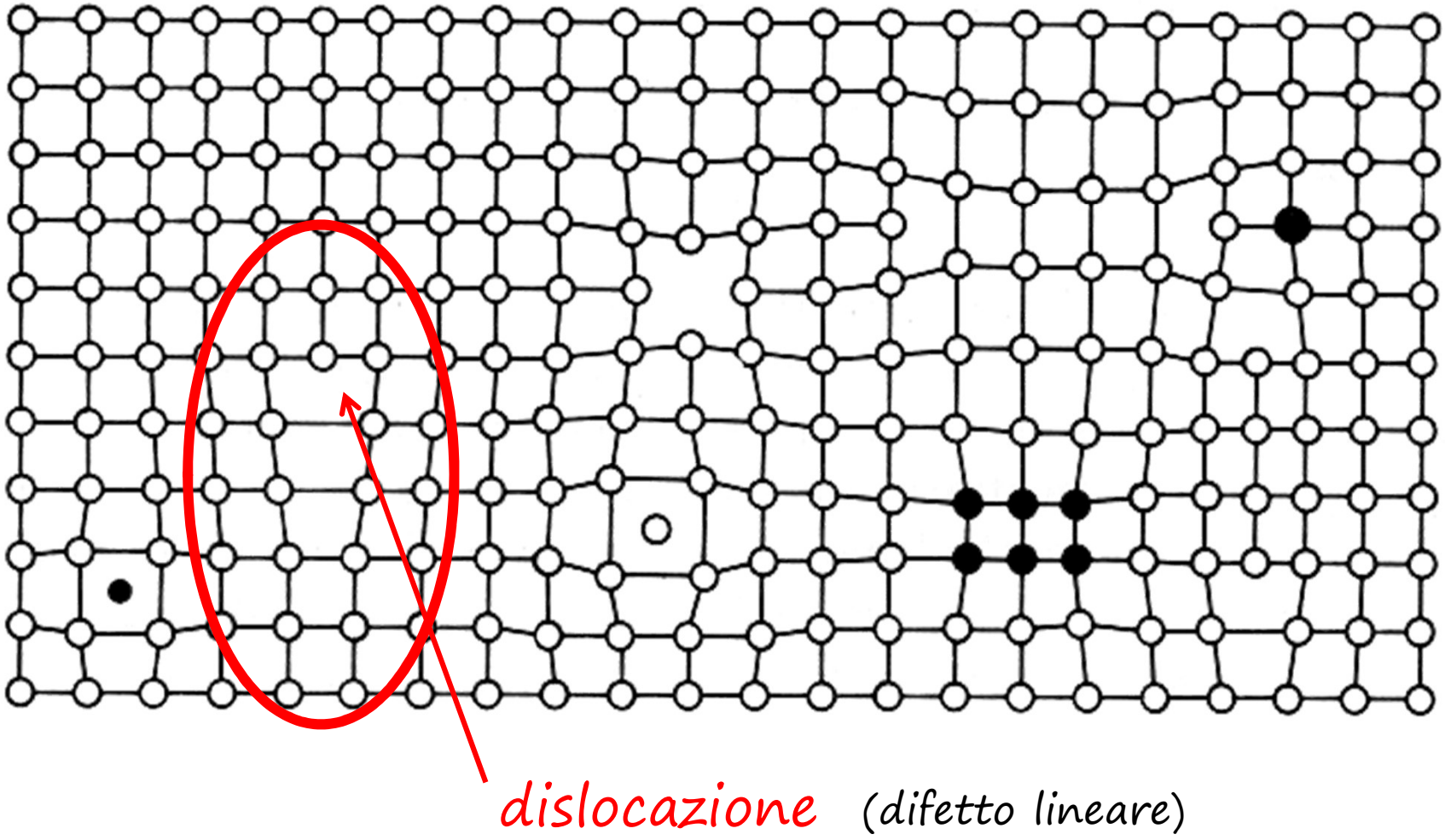
bcc



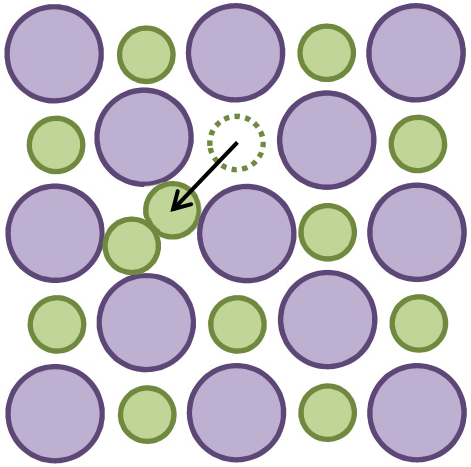
tetragonale



difetti nei cristalli

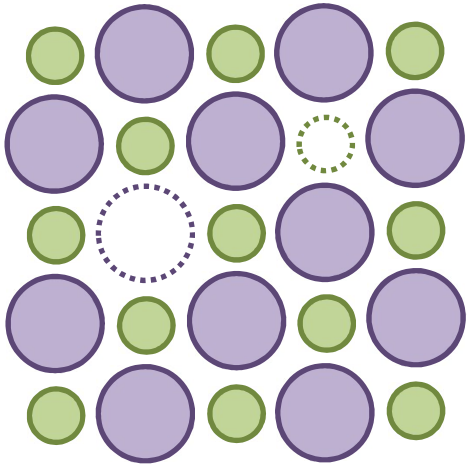


difetti puntuali nei cristalli ionici



difetto di Frenkel

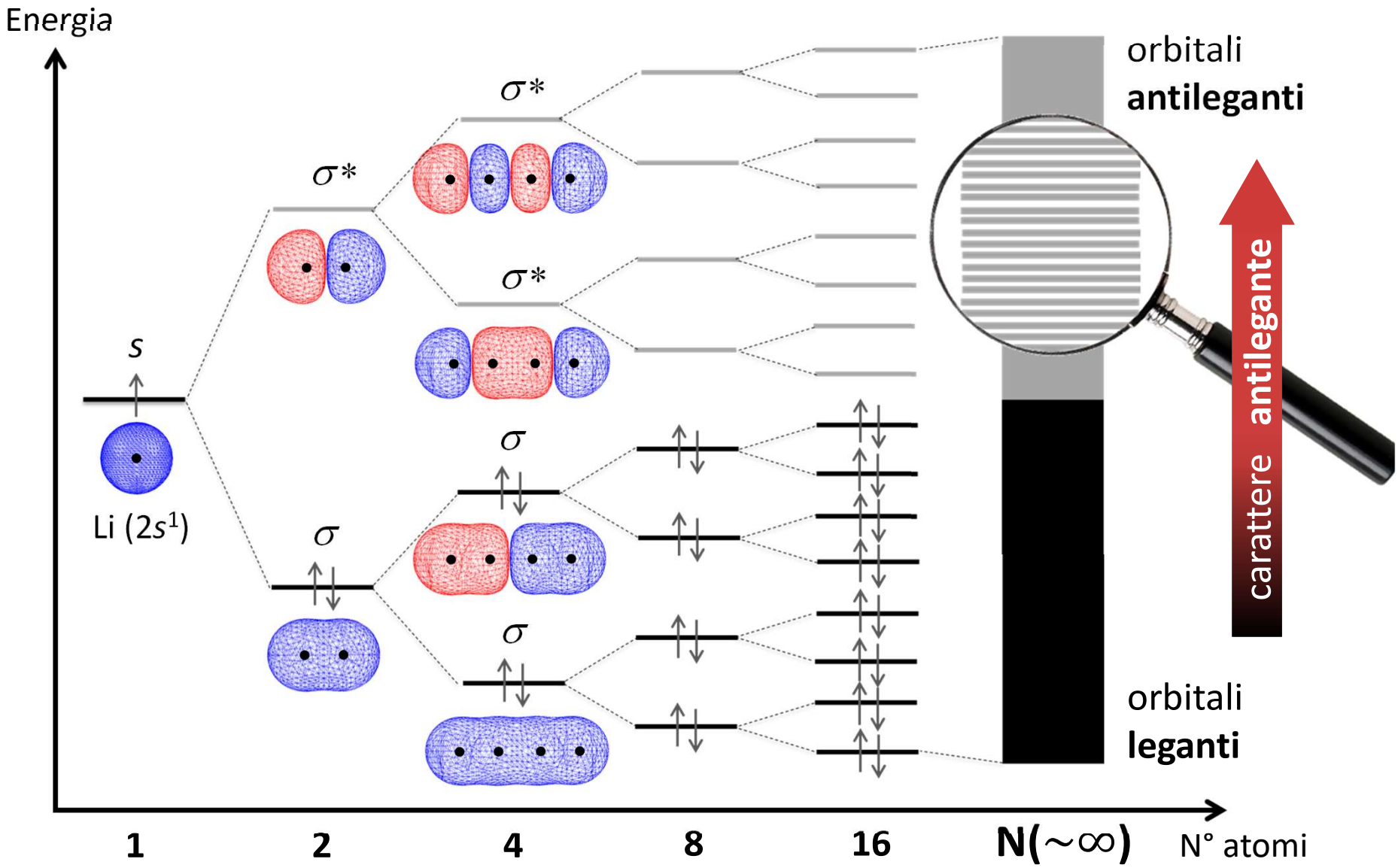
(spostamento di un catione da sito reticolare ad interstizio)



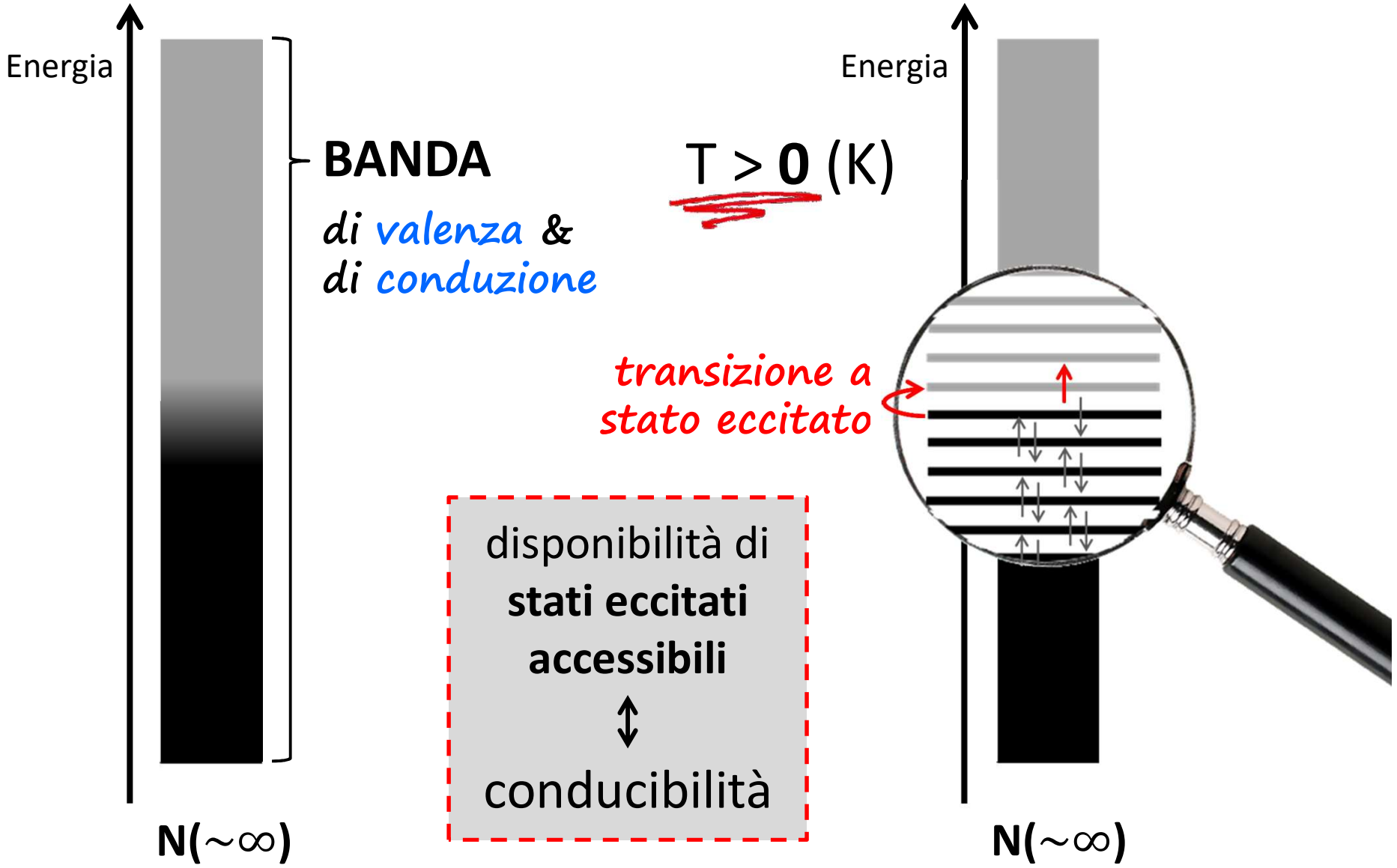
difetto di Schottky

(mancanza conteporanea di anione e catione)

teoria quantistica dei solidi (teoria delle bande)



spiegazione conduzione elettrica



disponibilità di
stati eccitati
accessibili
↕
conducibilità

conduttori, isolanti e… semiconduttori

conduttori

es. metalli

(celle bcc)

numero coordinazione 8

"buona" sovrapposizione tra orbitali

semiconduttori

es. semi-metalli (Si, Ge, …)

situazione intermedia

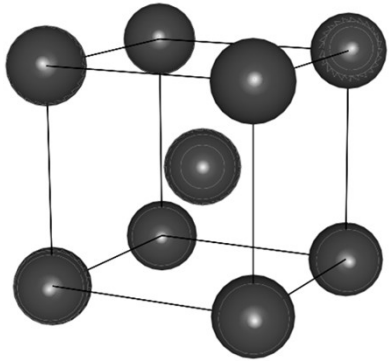
isolanti

es. non-metalli

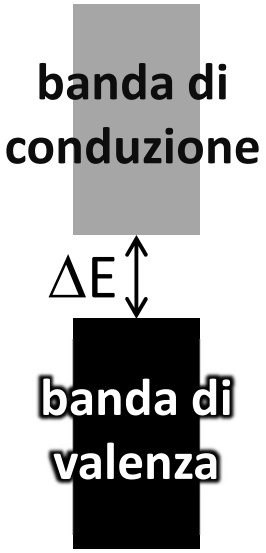
(celle + complesse)

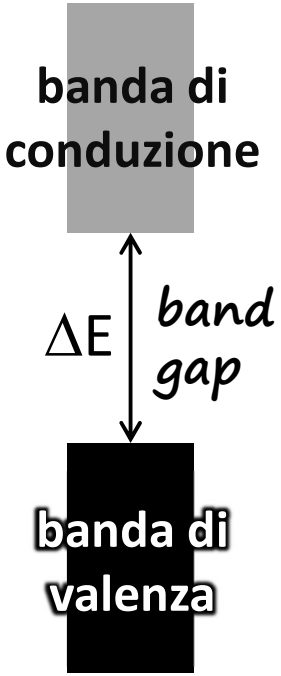
numero coordinazione 4

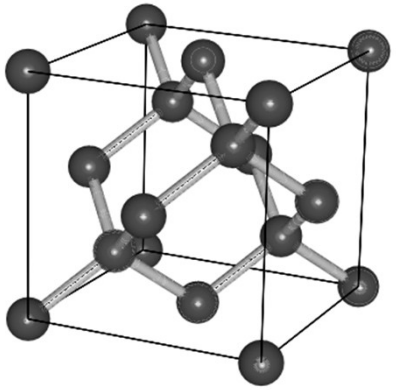
"cattiva" sovrapposizione tra orbitali



Na, Li, …

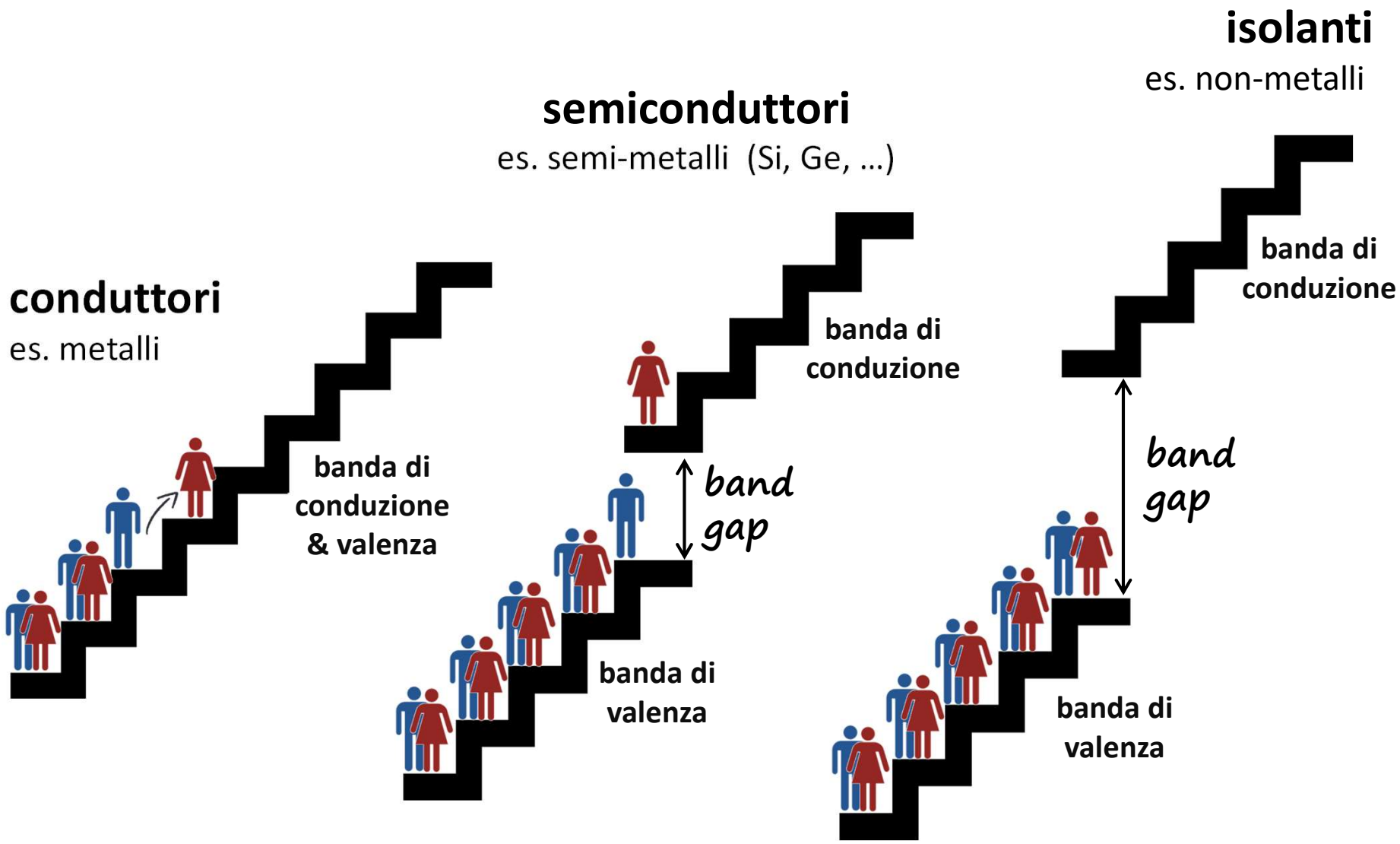




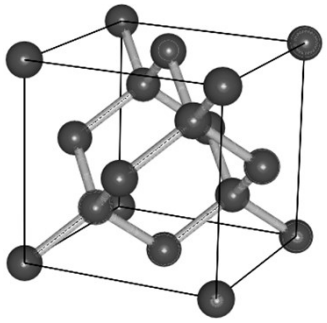


C (diamante)

conduttori, isolanti e… semiconduttori



semiconduttori e tecnologie fotovoltaiche

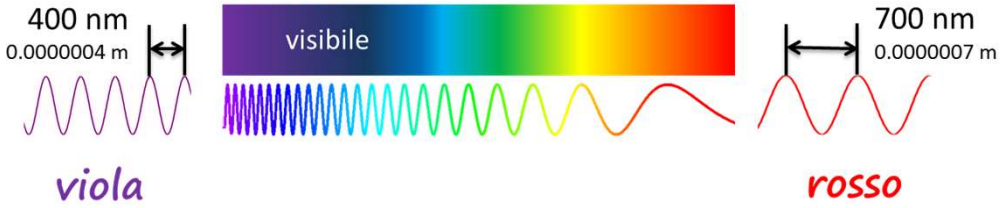


Si
(silicio)

$1{,}94 \times 10^{-19}$ J

$$E = h\nu$$

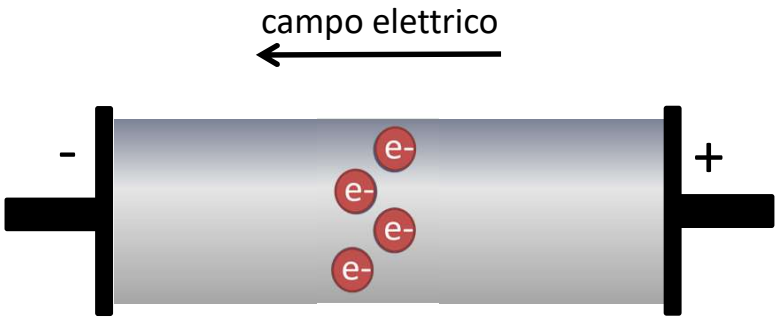
$$E = h\frac{c}{\lambda}$$



$$\lambda = h\frac{c}{E} = \frac{(6{,}622 \times 10^{-34}\ \mathrm{J\,s}) \cdot (2{,}998 \times 10^{8}\ \mathrm{m\,s^{-1}})}{1{,}94 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}}$$

$\lambda = 1{,}02 \times 10^{-6}\ \mathrm{m} = 1020\ \mathrm{nm}$ ← infrarosso

spiegazione conduzione elettrica

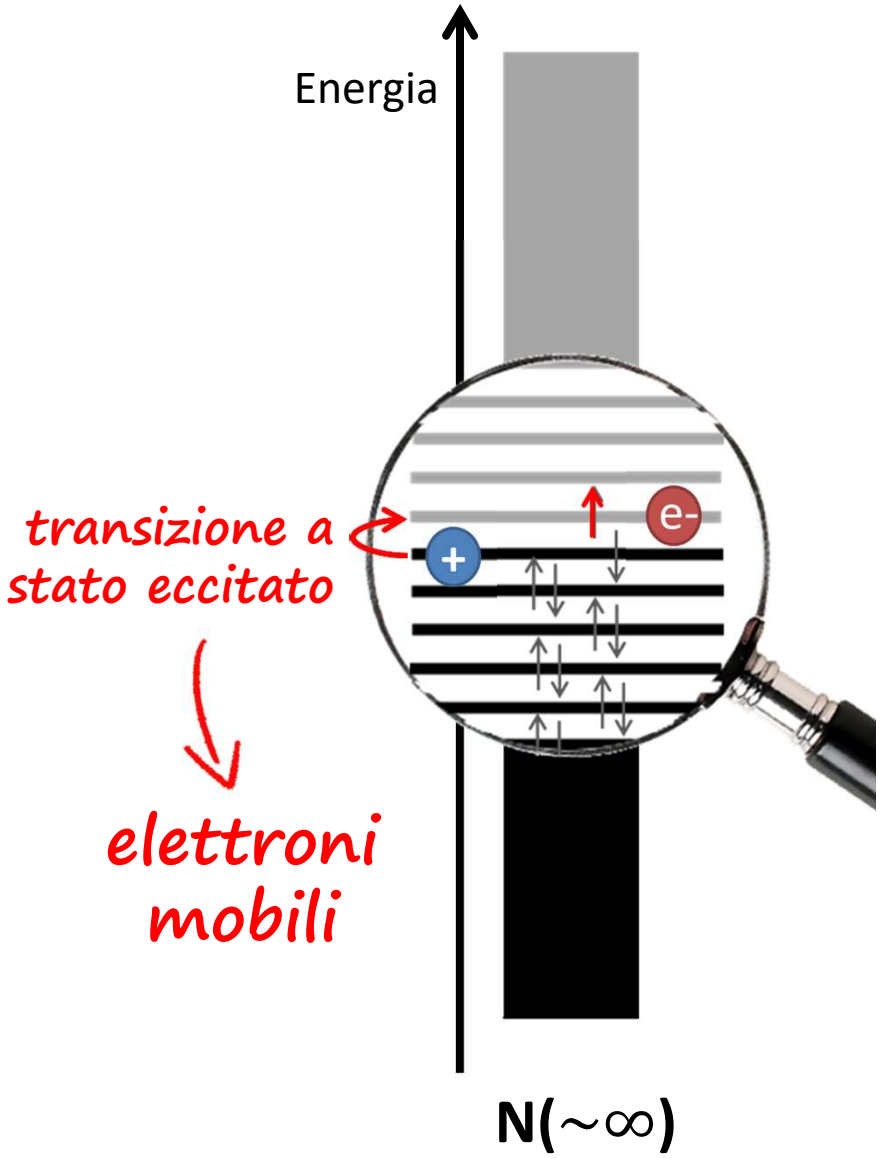


eccitazione e^- mediante
campo elettrico
(aumento E cinetica)

1. generazione elettroni mobili
2. creazione **«lacune» positive**
3. migrazione elettroni e lacune

lacune *sotto livello di Fermi*

elettroni *sopra livello di Fermi*



conduzione elettrica in semiconduttori

(drogaggio)

semiconduttori intrinseci

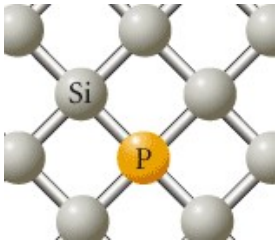
semiconduttori estrinseci

tipo n *eccesso e-*

tipo p *difetto e-*

lacune *in banda di* ***valenza***

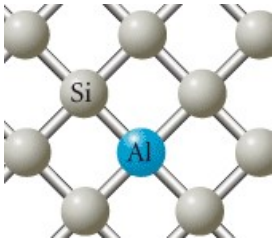
elettroni *in banda di conduzione*



Si $3s^2 3p^2$

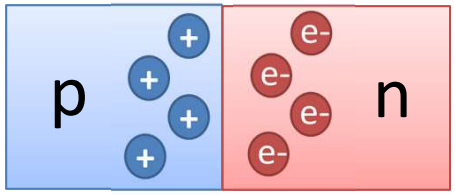
Al $3s^2 3p^1$

P $3s^2 3p^3$

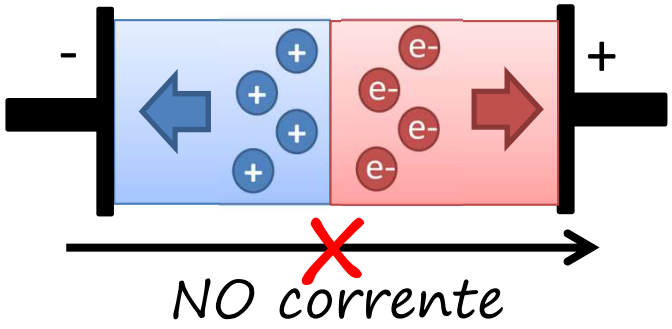


giunzioni p-n

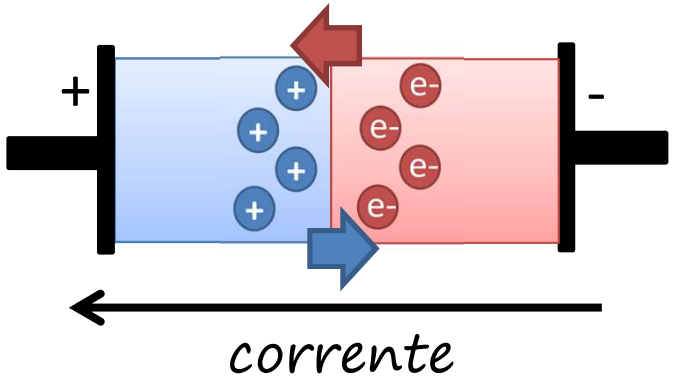
tipo p
difetto e-



tipo n
eccesso e-

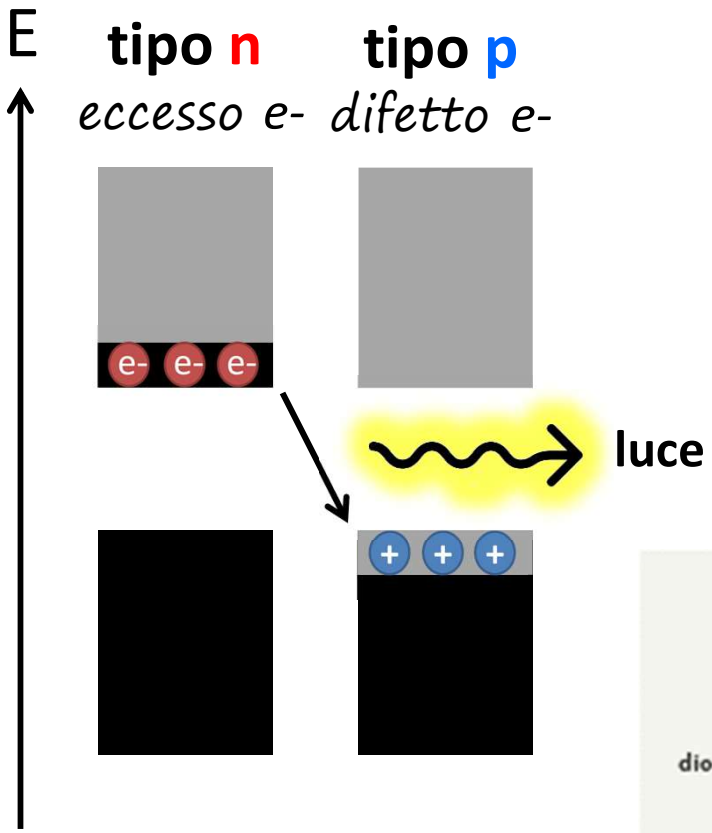


niente passaggio di corrente elettrica

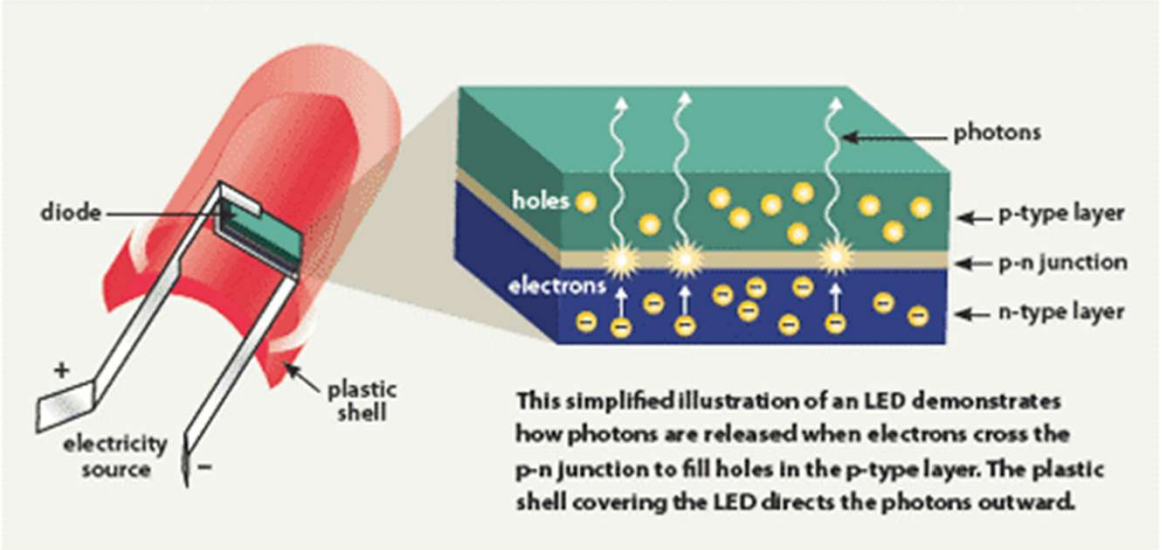


passaggio di corrente elettrica

come funziona un LED (Light Emitting Diode)



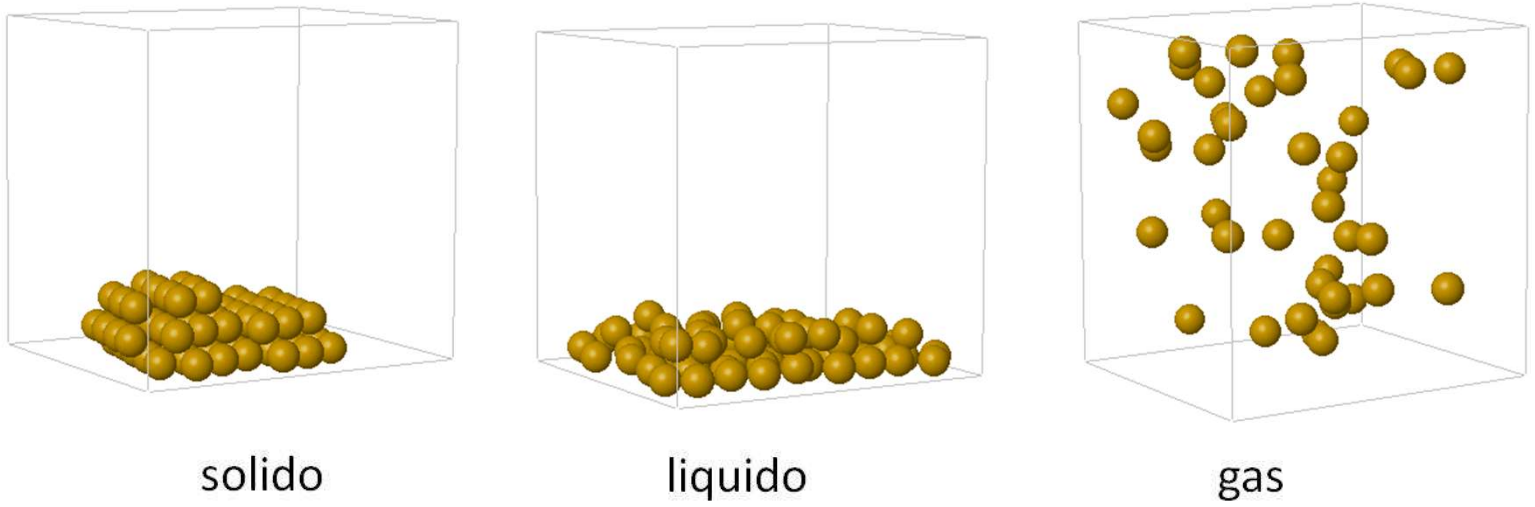
transizione elettronica
da **stato ad E più alta** a
stato ad E più bassa
con **emissione di fotoni**



stato liquido

stato della materia nella quale i corpi hanno volume propri ma forme variabili (a seconda del contenitore)

stato intermedio tra solido e gas



forze di attrazione tra molecole

energia cinetica (temperatura)

stato liquido

classificabili in base alle interazioni tra unità elementari (atomi, ioni o molecole)

- liquidi “atomici” (He liquido)
- liquidi ionici (NaCl fuso)
- liquidi metallici (Hg, Fe fuso)
- liquidi molecolari (H_2O)

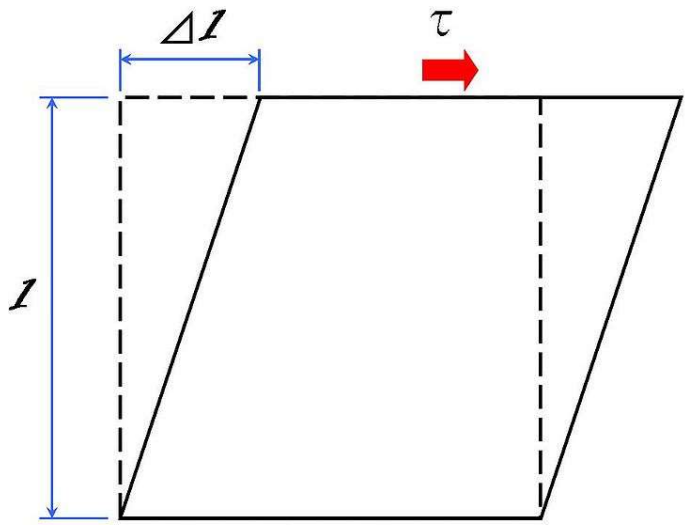
un liquido è un fluido

liquido

stato della materia nella quale i corpi hanno volume propri ma forme variabili (a seconda del contenitore)

fluido

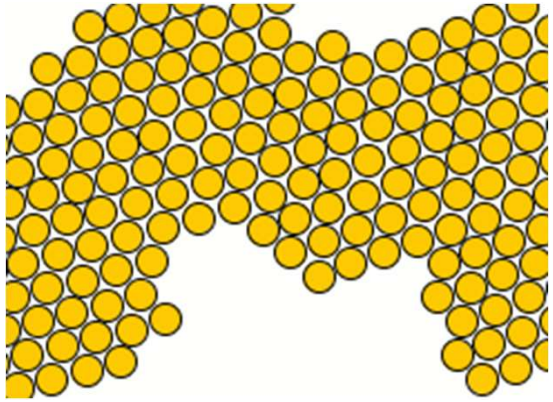
sostanza che si deforma illimitatamente (fluisce) se sottoposta a uno ***sforzo di taglio****; sono fluidi i liquidi, i gas, il plasma*

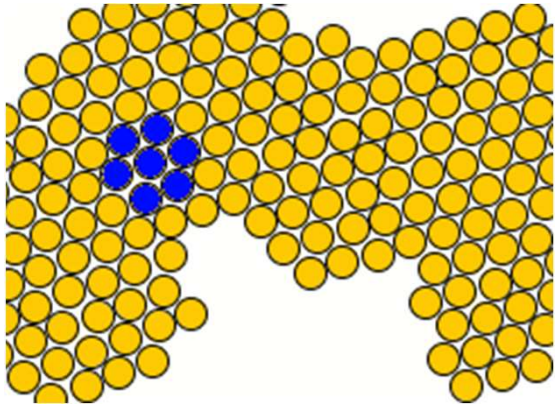


sforzo di taglio

stato liquido ed ordine

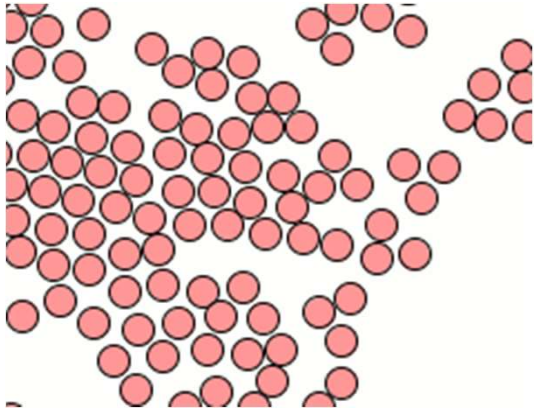
solido

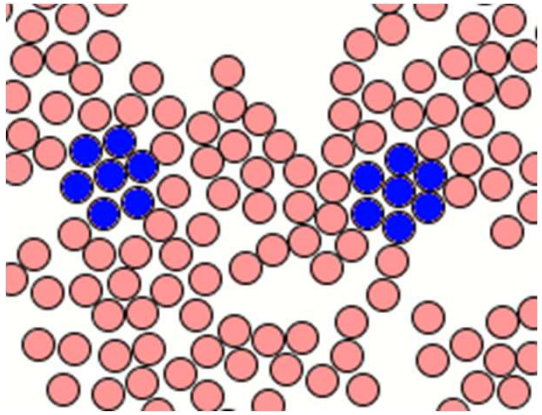




ordine
a lungo raggio

liquido

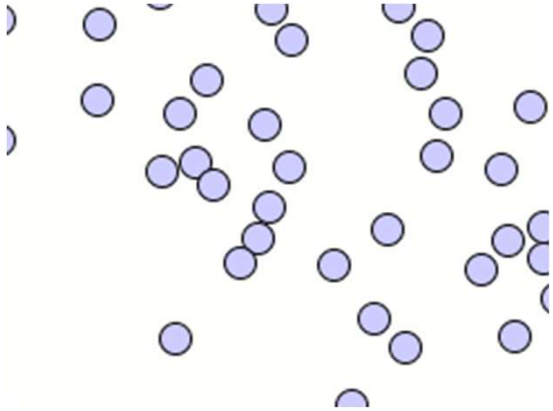


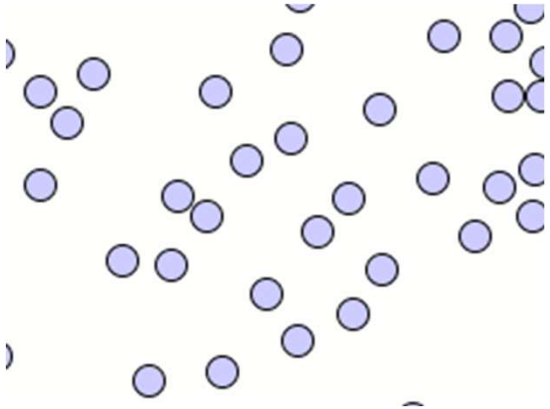


ordine
a corto raggio

ordine a **medio raggio**
(solidi amorfi)

gas





disordine

viscosità

*grandezza fisica (Pa s) che descrive **l'attrito interno** di un fluido (ed in particolare di un liquido), ossia la resistenza allo scorrimento*

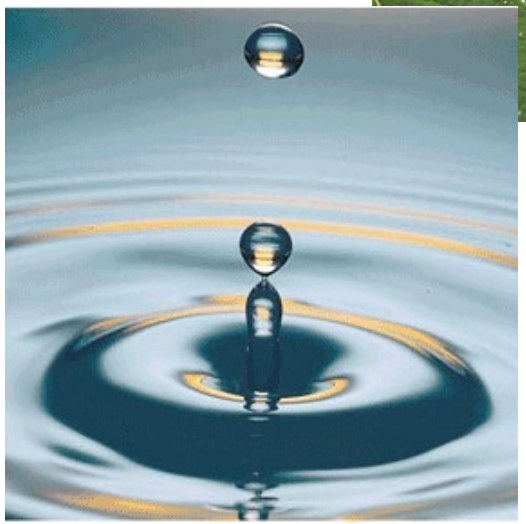
tendenza di uno strato in moto del liquido di trascinare con se gli strati adiacenti

diminuisce con
la temperatura !

tensione superficiale (γ)

proprietà di un liquido per la quale esso tende a minimizzare la superficie esterna

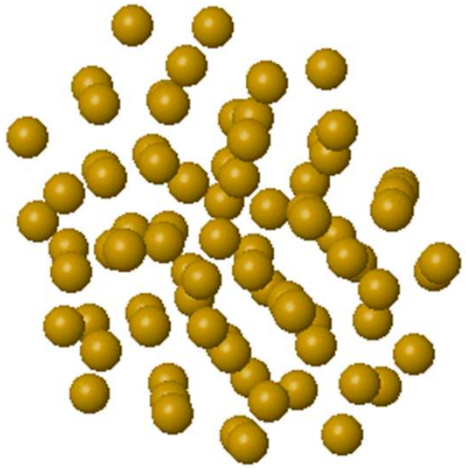
energia richiesta per aumentare di un unità la superficie di un liquido (J/m^2)



tensione superficiale (γ)

proprietà di un liquido per la quale esso tende a minimizzare la superficie esterna

energia richiesta per aumentare di un unità la superficie di un liquido (J/m^2)



e' una conseguenza del fatto che ci sono interazioni (intermolecolari) tra le particelle

tensione superficiale (γ)

originata dalle forze di coesione
(intermolecolari) tra le particelle del liquido

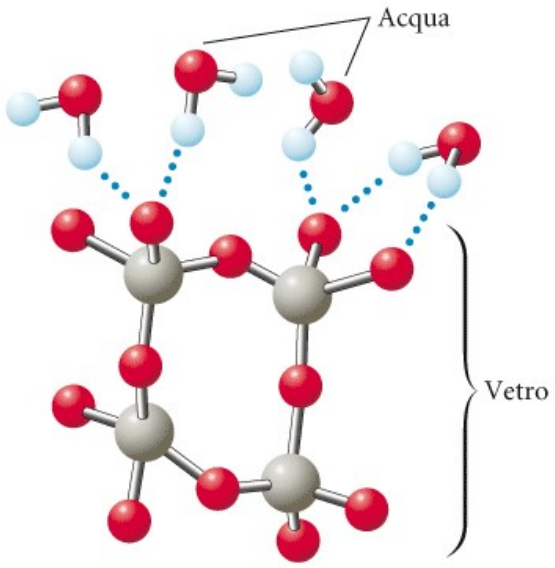
le molecole superficiali non sono conpletamente circondate da altre molecole

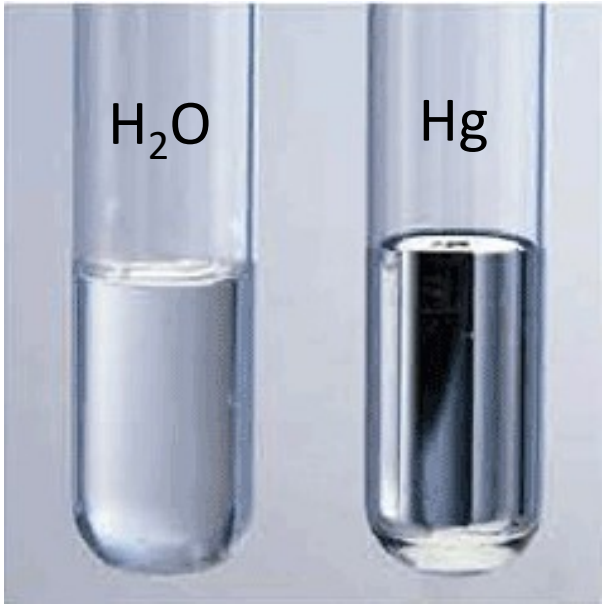
forze di coesione

le molecole sotto la superficie sono conpletamente circondate da altre molecole

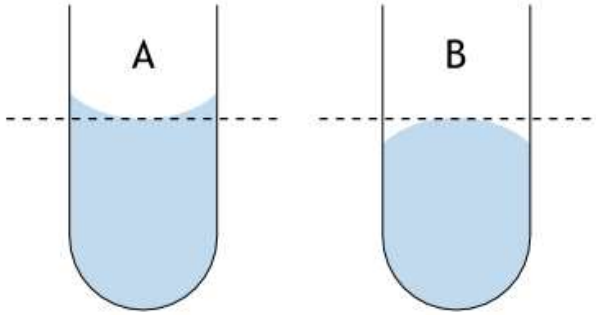
forze di coesione ed adesione

forze di adesione





forze di coesione < *forze di adesione*



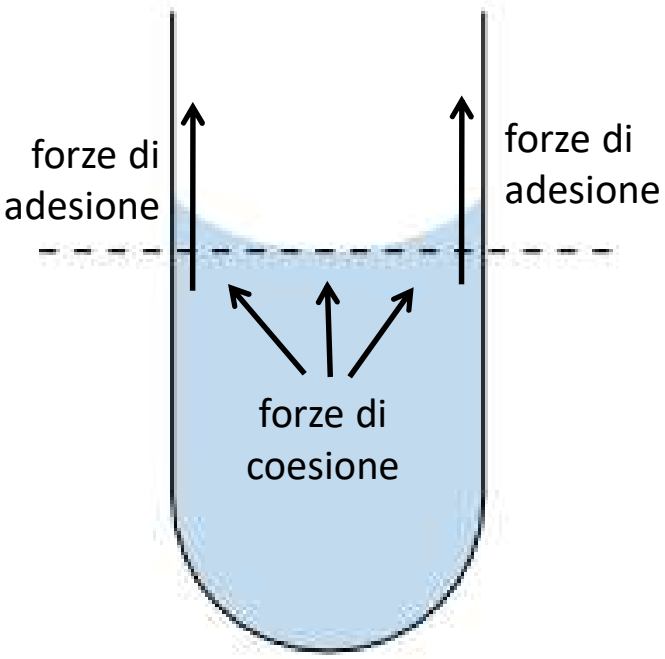
menisco concavo

menisco convesso

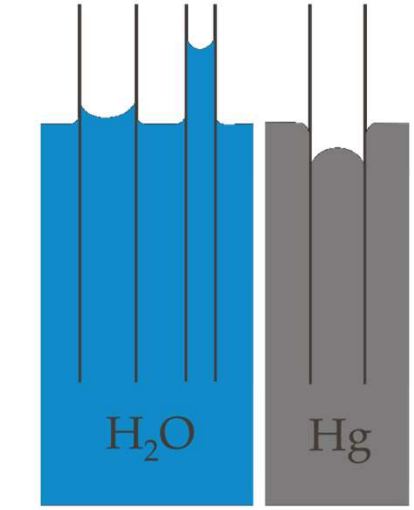
forze di coesione > *forze di adesione*

capillarità

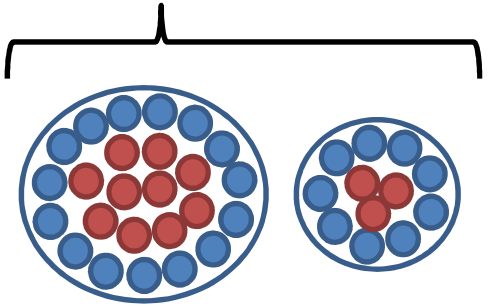
*fenomeno dovuto alla combinazione delle forze di **adesione** e **coesione***



*più evidente in contenitori stretti perché **il rapporto tra molecole superficiali e interne** aumenta*



$$\frac{\text{forze adesione}}{\text{forze coesione}} = \frac{2\pi r}{\pi r^2} = \frac{2}{r}$$



15
10

9
3

15/10 = 1.5

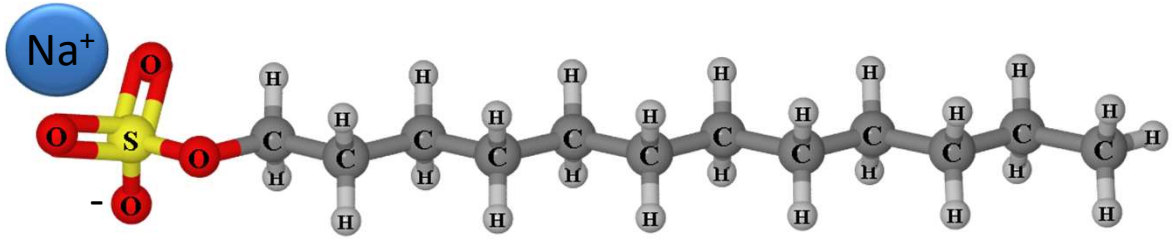
9/3 = 3

molecole che interagiscono con le pareti del contenitore

molecole che interagiscono tra loro

i tensioattivi (o surfattanti)

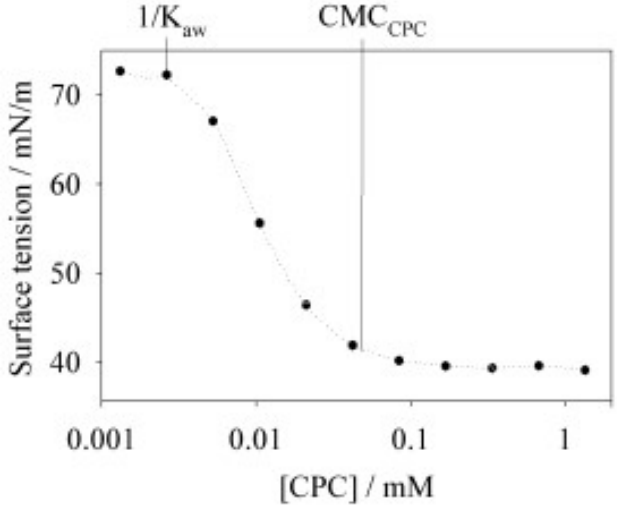
*sostanze che hanno la proprietà di **abbassare la tensione superficiale** di un liquido, agevolando la bagnabilità delle superfici o la miscibilità tra liquidi diversi*

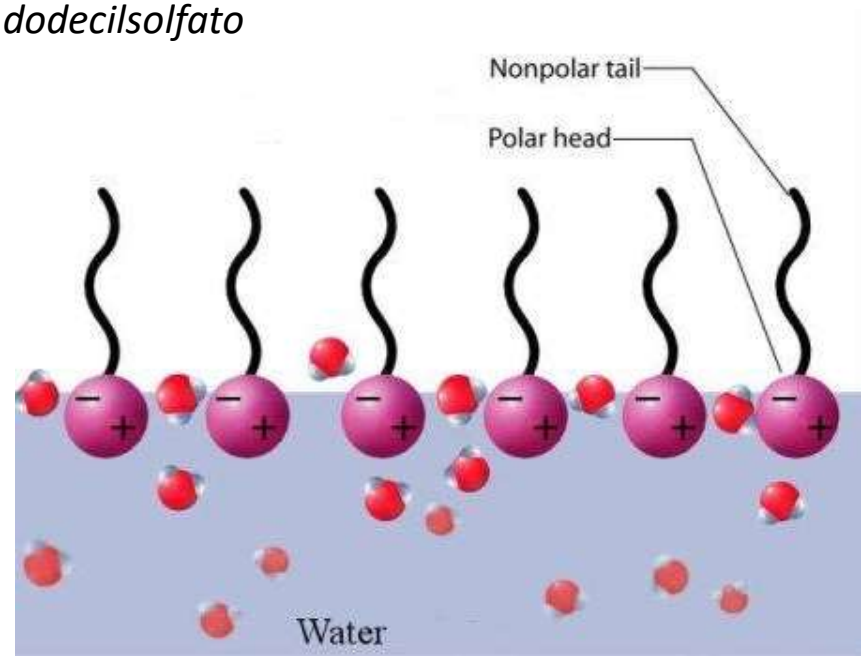


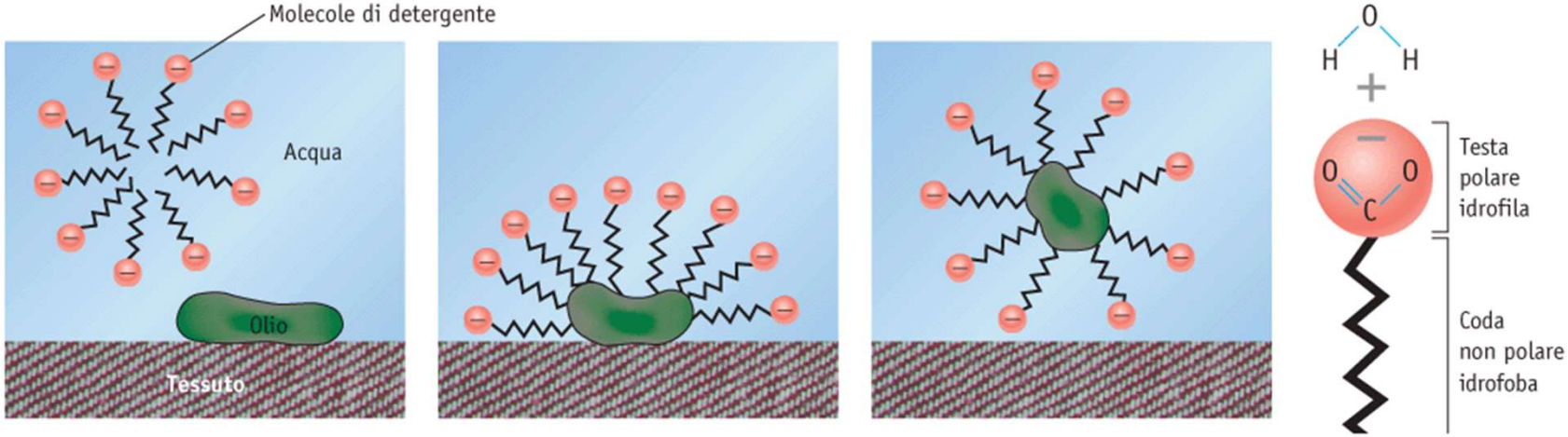
sodio dodecilsolfato

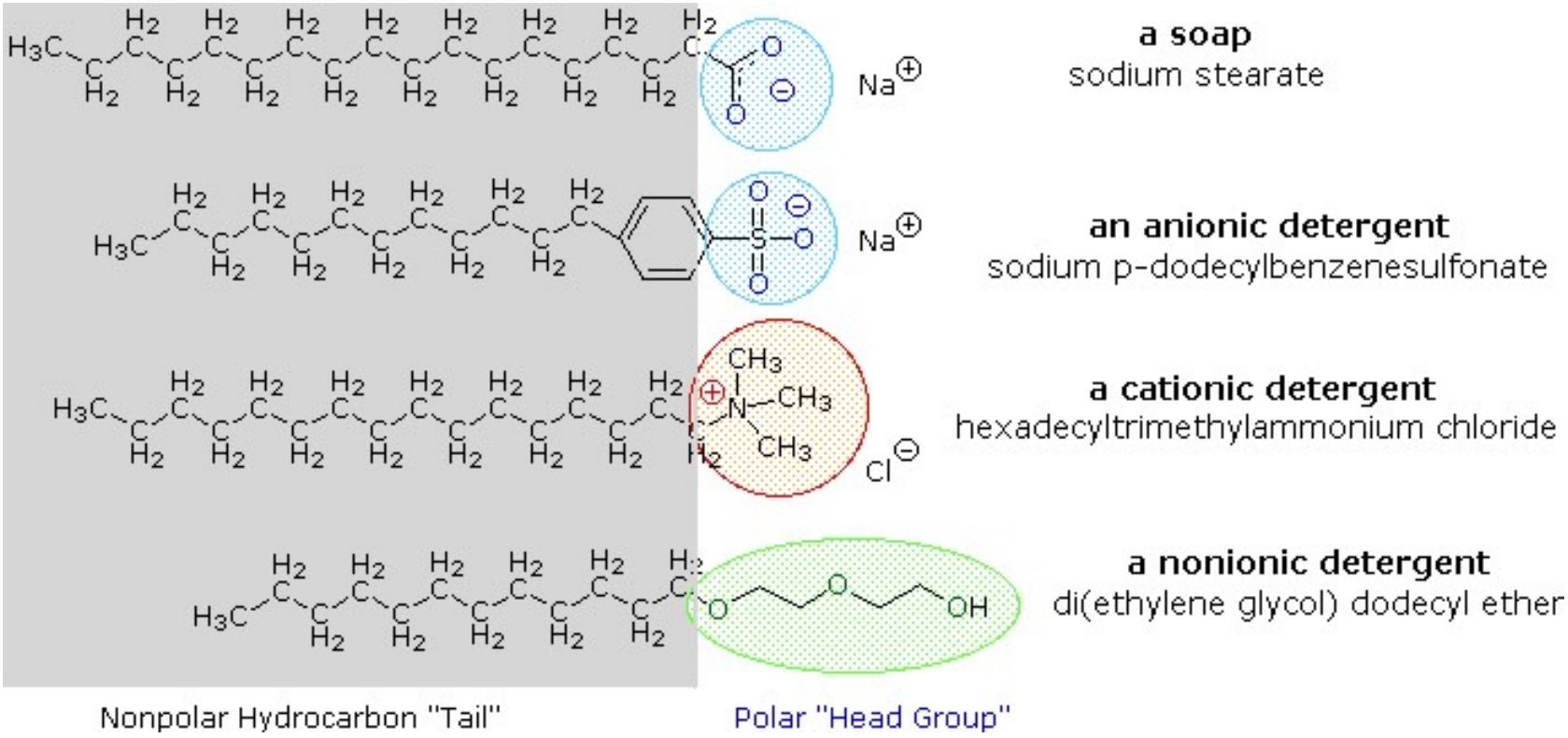
parte (testa) "idrofila"

parte (coda) "lipofila"



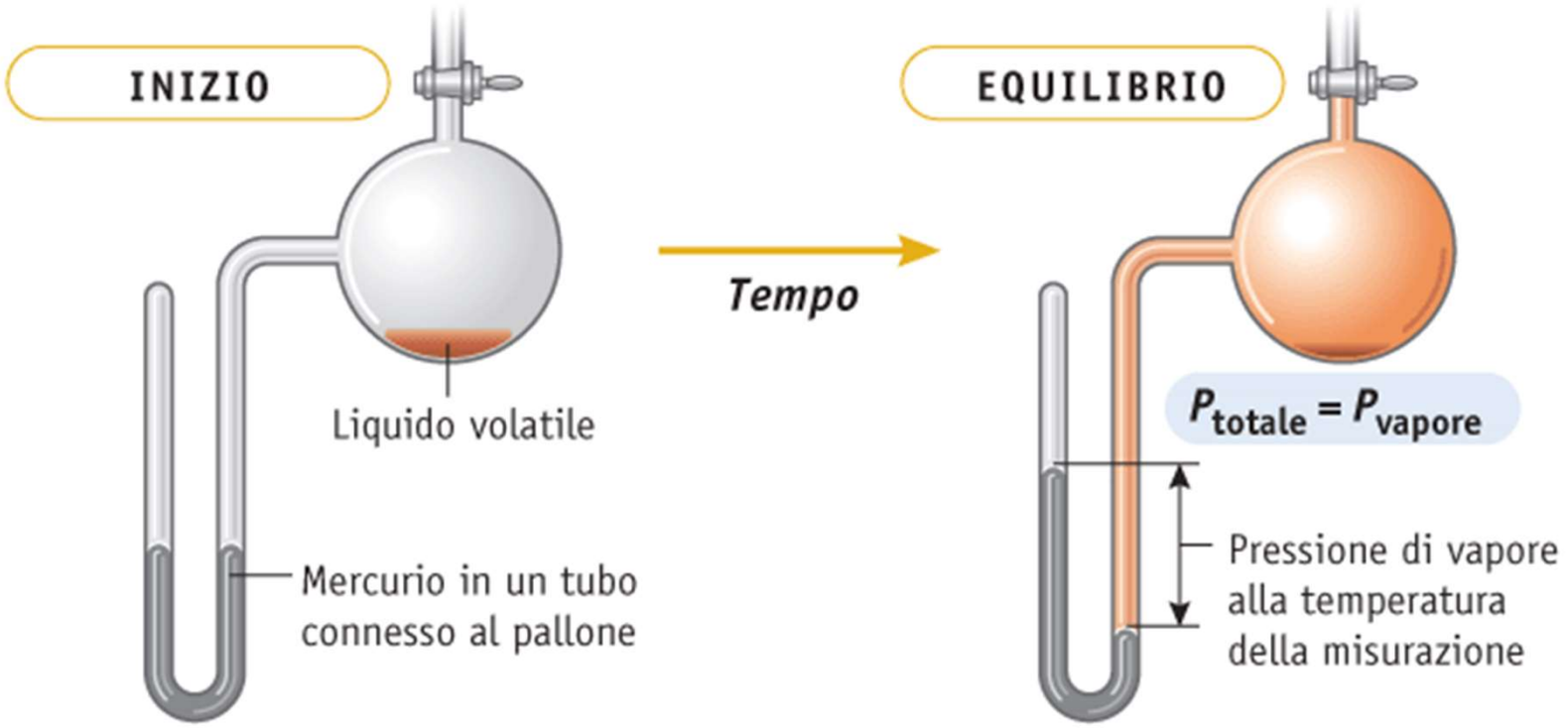



Molecole di detergente
Acqua
Olio
Tessuto
Testa
polare
idrofila
Coda
non polare
idrofoba

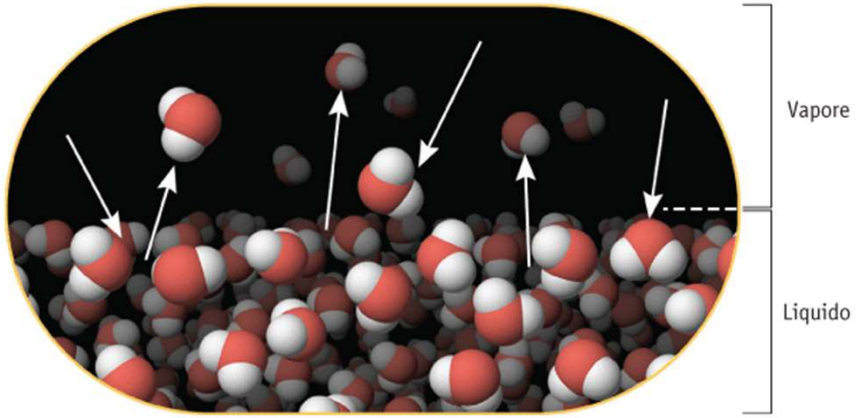

a soap
sodium stearate
an anionic detergent
sodium p-dodecylbenzenesulfonate
a cationic detergent
hexadecyltrimethylammonium chloride
a nonionic detergent
di(ethylene glycol) dodecyl ether
Nonpolar Hydrocarbon "Tail"
Polar "Head Group"

tensione (o pressione) di vapore

dato un liquido in un recipiente chiuso, dopo in certo tempo t una parte del liquido passa alla fase gassosa come vapore

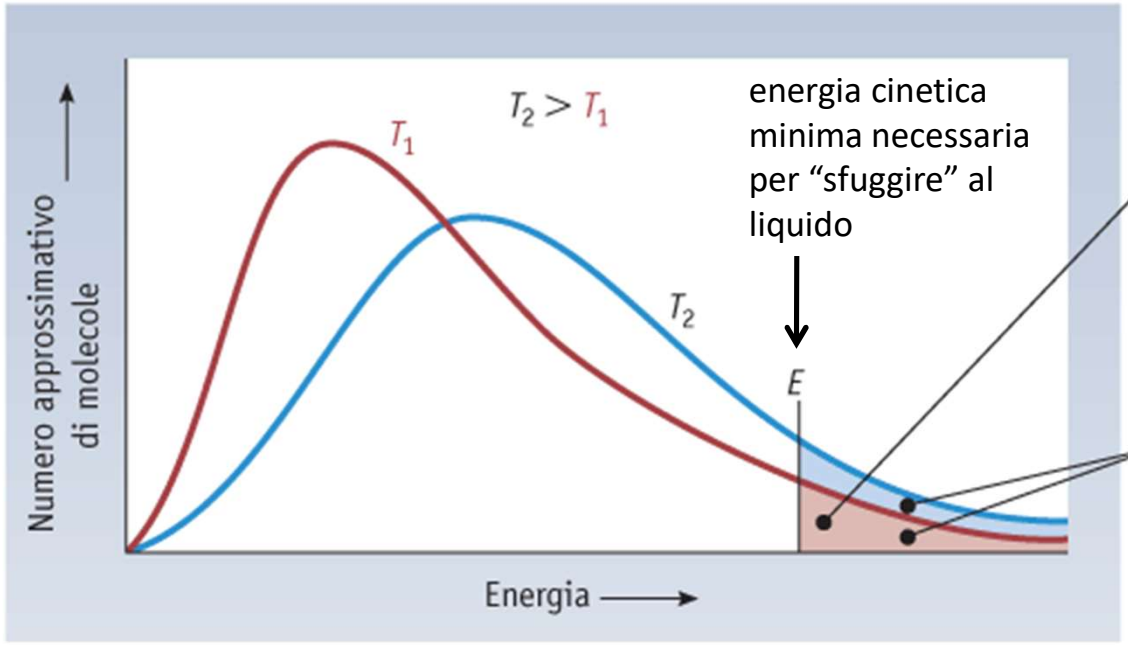


tensione (o pressione) di vapore

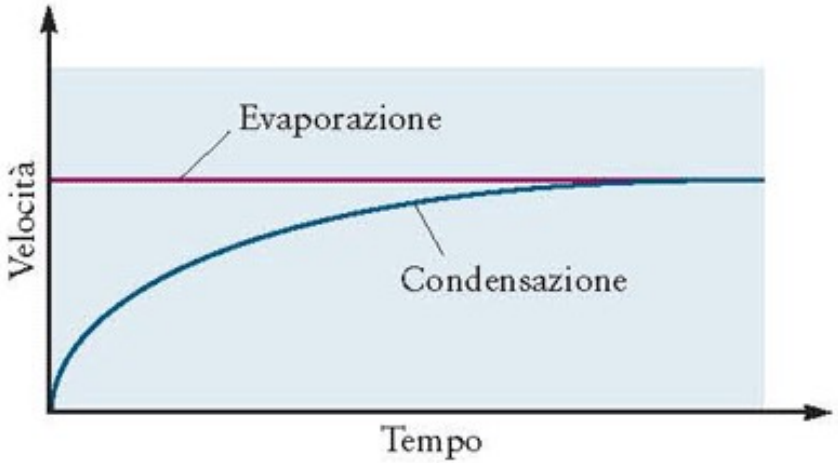


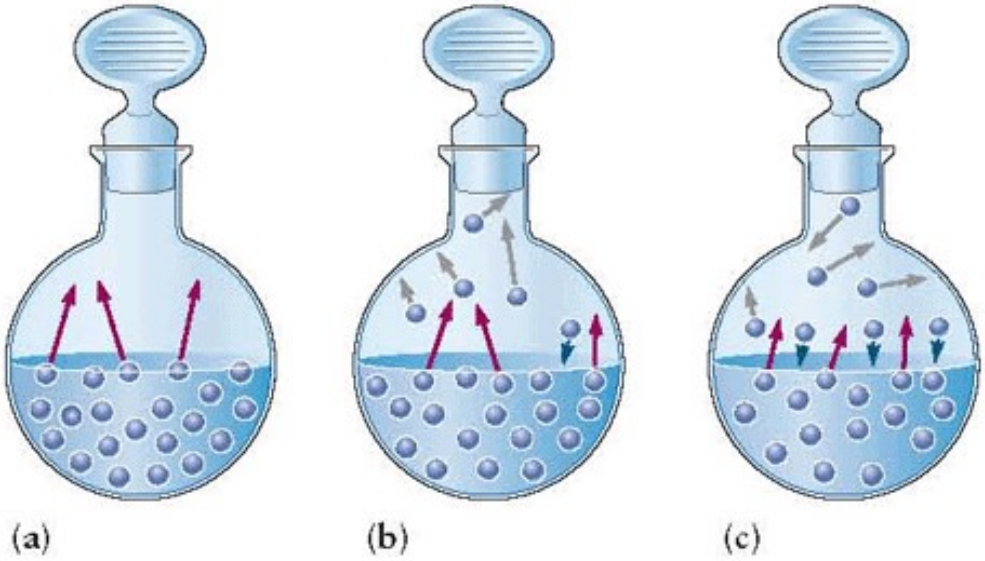
teoria cinetica dei liquidi
→ distribuzione di Maxwell-Boltzmann delle velocità molecolari

concetto di
"velocità di fuga"



tensione (o pressione) di vapore





pressione esercitata dal vapore saturo sul liquido ad una certa temperatura

2 processi
*in **equilibrio dinamico***

"equilibrio di fase"

vapore

evaporazione ⇅ *condensazione*

liquido

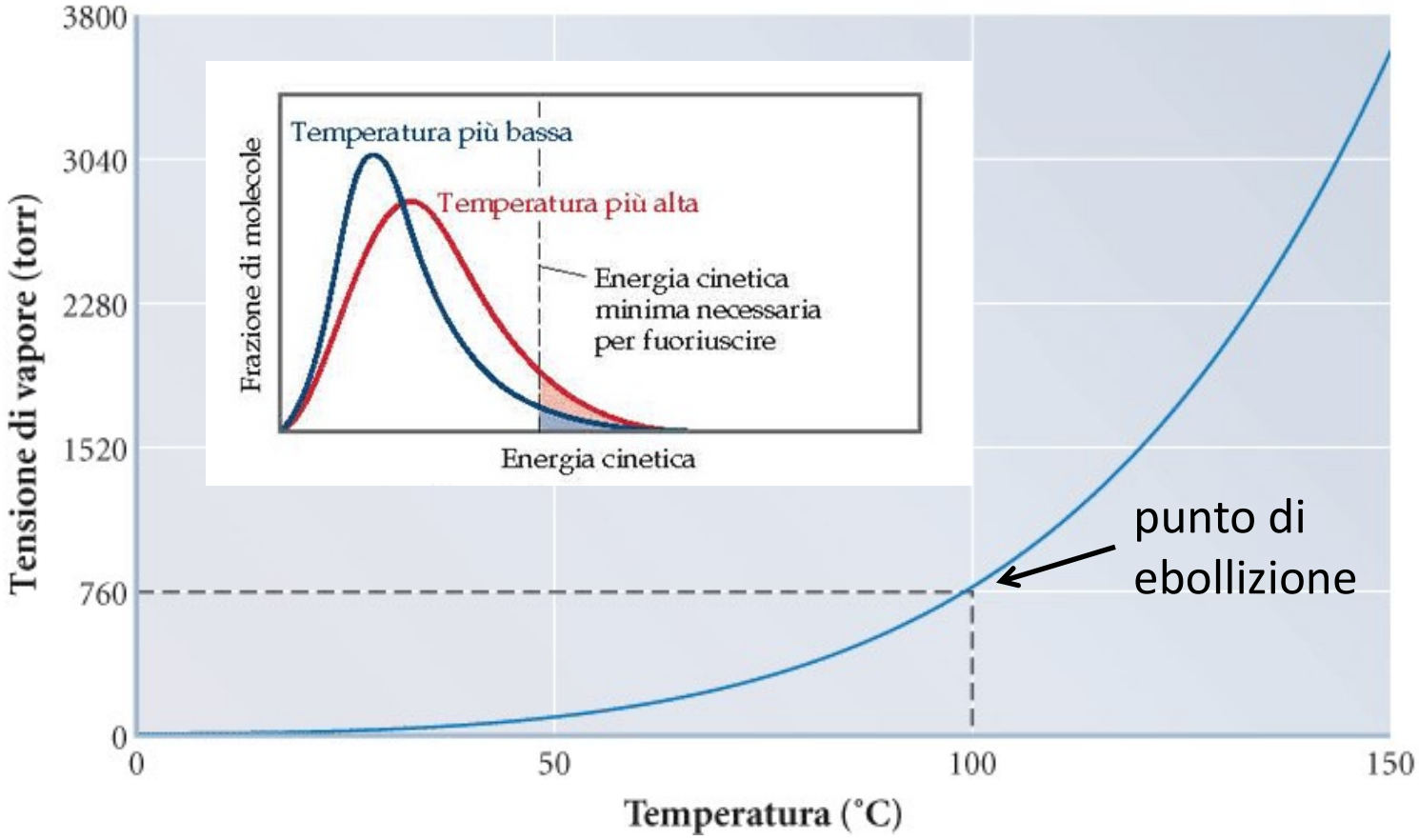
tensione di vapore e T

la pressione di vapore aumenta con la T

$$P = A \cdot e^{-\frac{\Delta H_{ev}}{RT}}$$

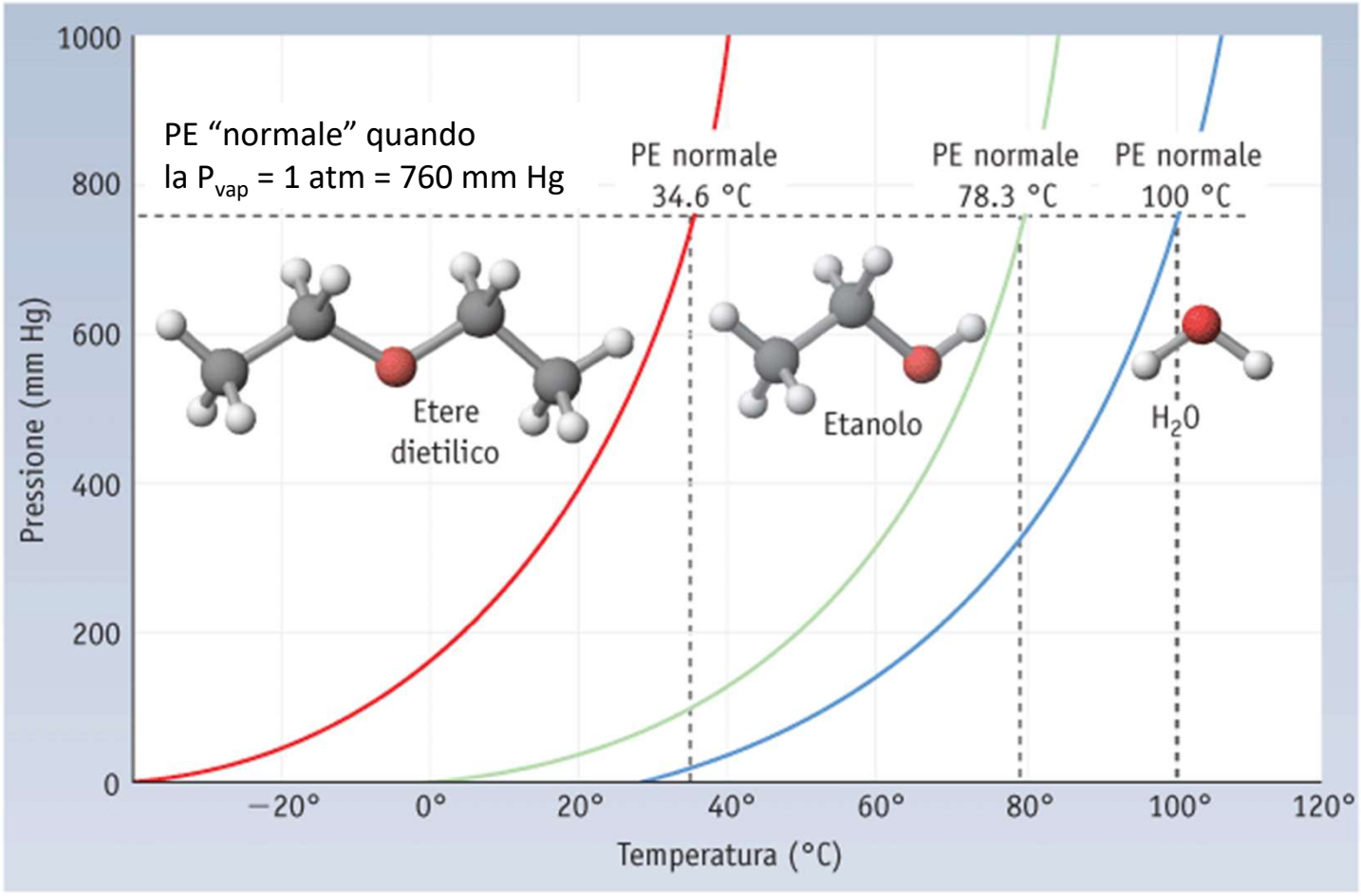
(equazione di Clausius-Clapeyron)

entalpia molare di evaporazione: calore richiesto per vaporizzare 1 mol di liquido ad 1 atm

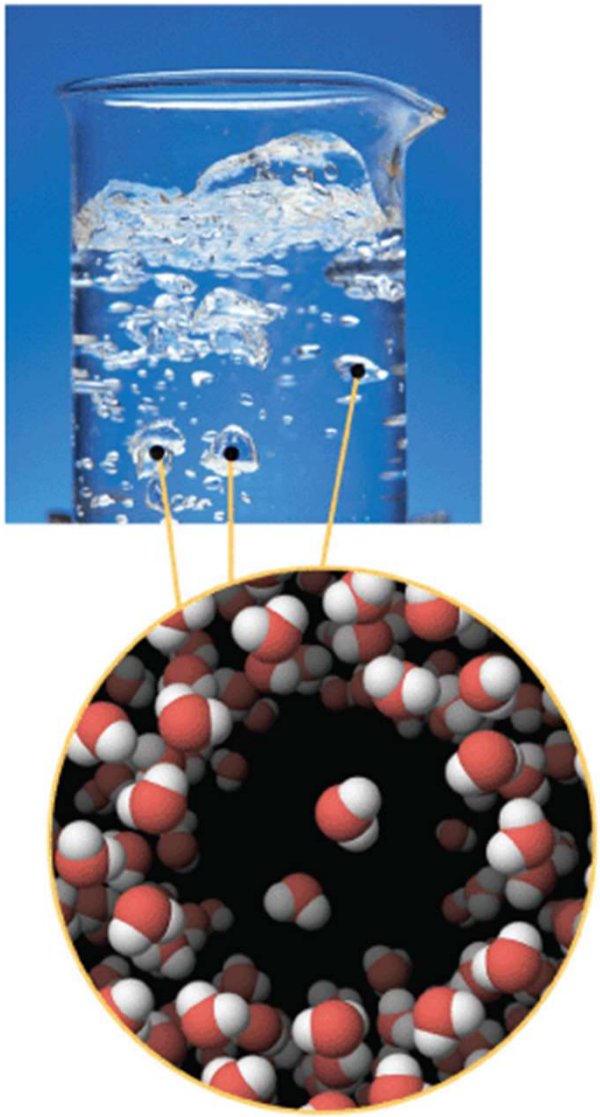


tensione di vapore e punto di ebollizione

temperatura *(o punto)* ***di ebollizione*** *di un liquido: T alla quale la pressione di vapore del liquido è uguale alla pressione applicata sopra di esso*



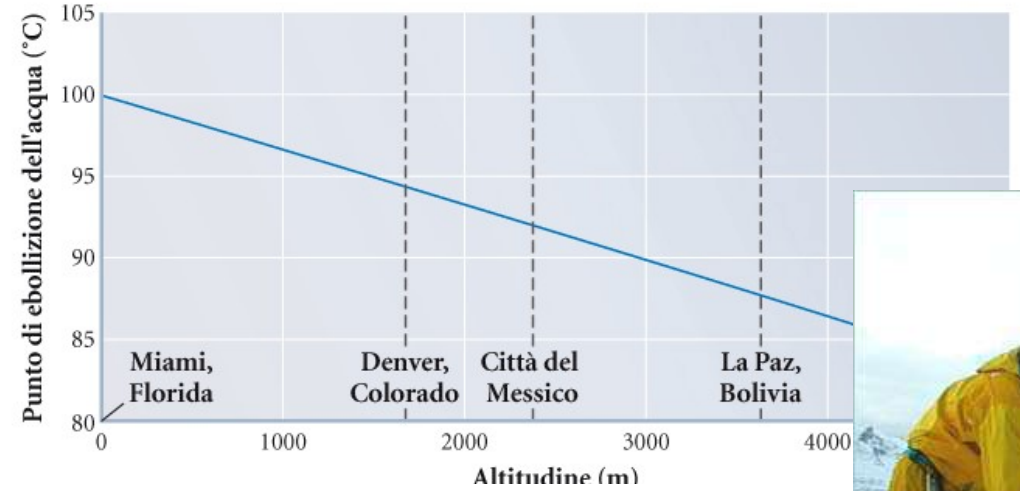
ebollizione

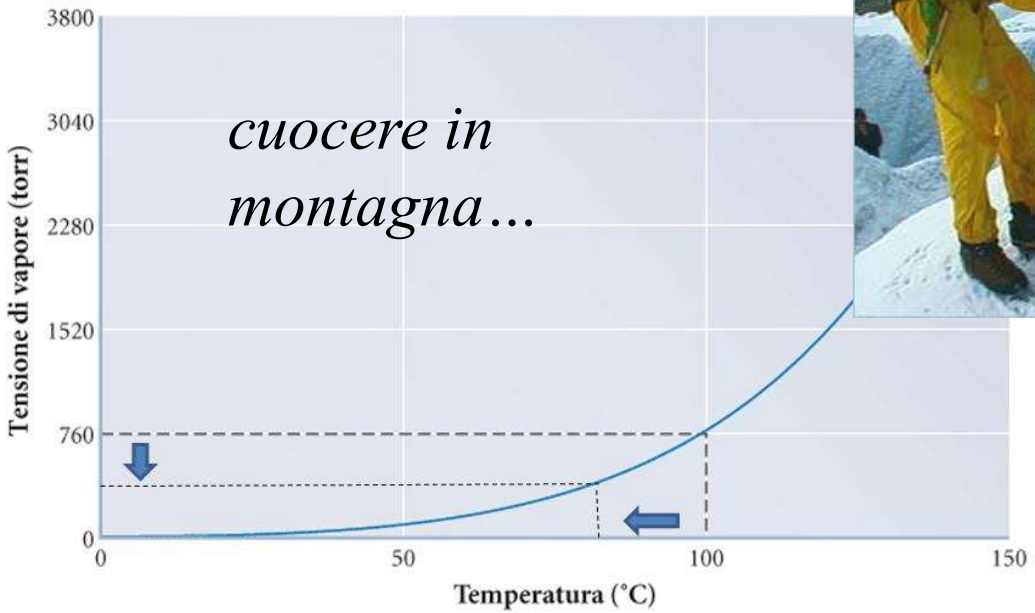


pressione di
vapore
=
pressione
atmosferica

quando la velocità di una frazione considerevole di molecole del liquido, si formano bolle di vapore anche all'interno del liquido

tensione di vapore e punto di ebollizione



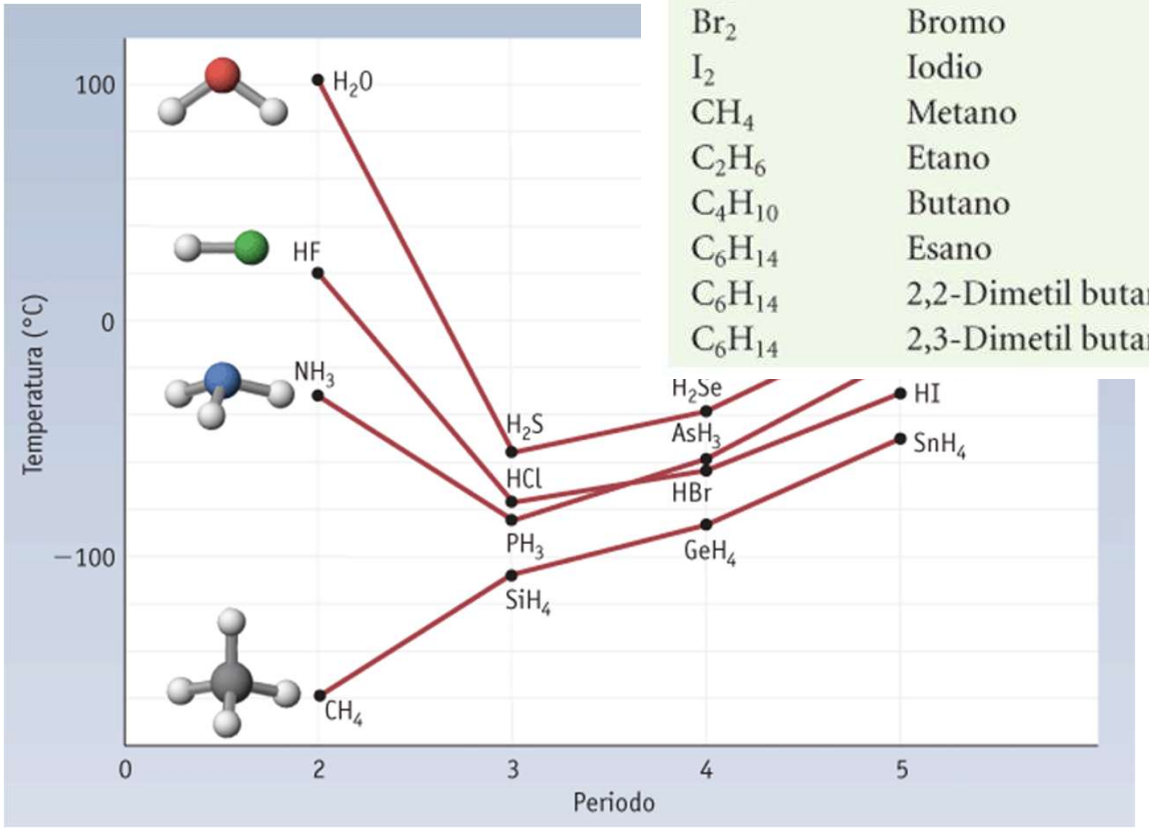


cuocere in montagna…

tensione di vapore e forze intermolecolari

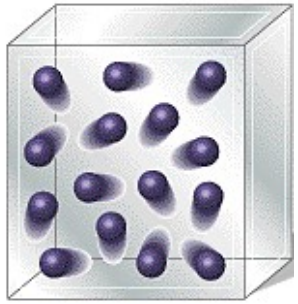
TABELLA 11.1 Punti di ebollizione di composti a 1 atm

Composto	Nome	Massa molare (g/mol)	Punto di ebollizione (°C)
F_2	Fluoro	38	–188.1
Cl_2	Cloro	71	–34.6
Br_2	Bromo	160	58.8
I_2	Iodio	254	184.4
CH_4	Metano	16	–164
C_2H_6	Etano	30	–88.6
C_4H_{10}	Butano	58	–0.5
C_6H_{14}	Esano	86	69
C_6H_{14}	2,2-Dimetil butano	86	50
C_6H_{14}	2,3-Dimetil butano	86	58



transizioni di fase *(o cambiamenti di stato)*

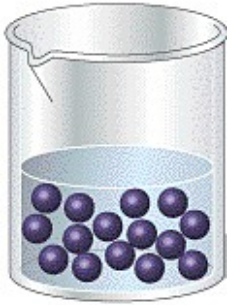
fase - *porzione del sistema avente identiche proprietà fisiche in tutti i sui punti*



gas

(liquefazione)
condensazione

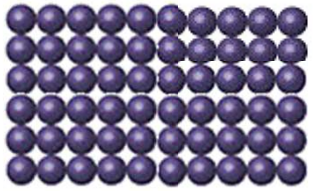
evaporazione
(vaporizzazione)



liquido

(deposizione)
brinamento

sublimazione



solido

fusione

congelamento
(solidificazione)

sistema assorbe E

rosso

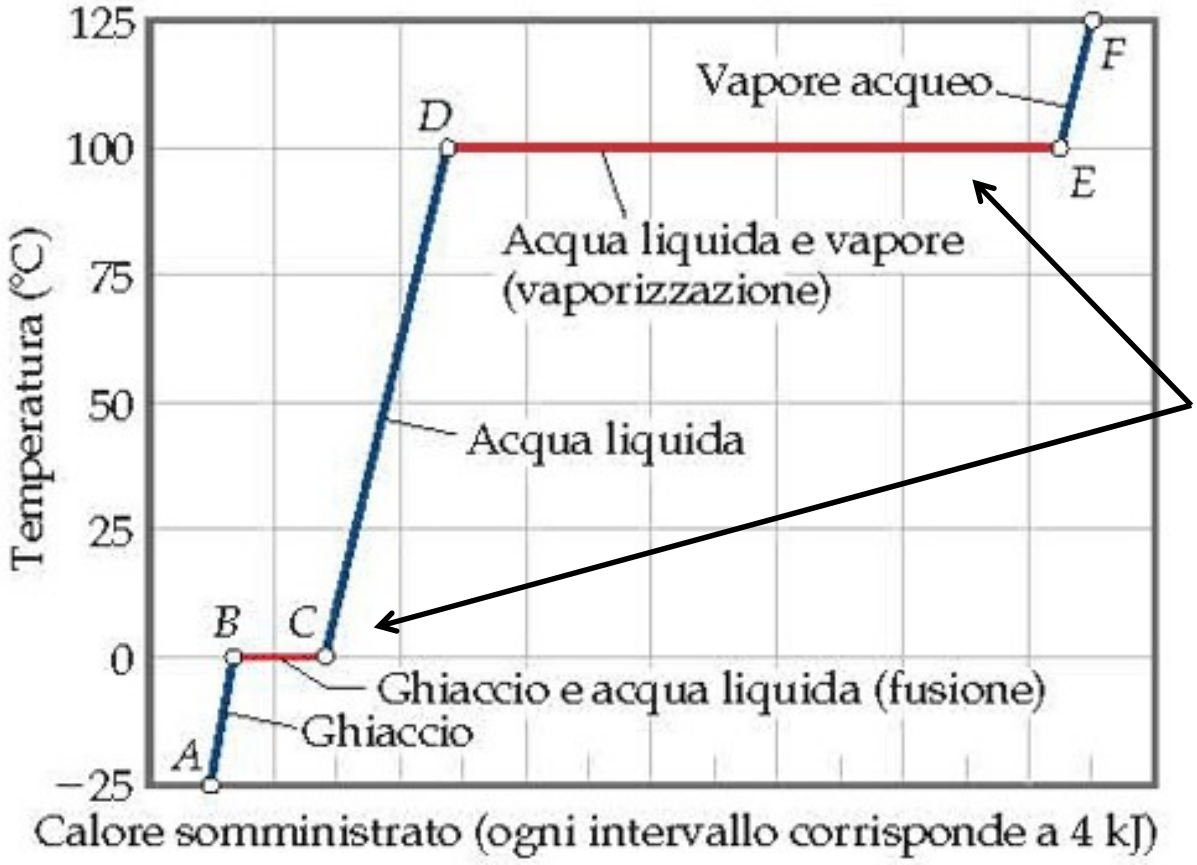
blu

sistema cede E

curve di riscaldamento / raffreddamento

calore – *(J; cal) energia termica trasferita (movimento di atomi/ioni/molecole)*

calore specifico – *calore necessaria per variare di 1°C la temperatura di 1g di sostanza*



calore latente – *calore trasferito in processi (B-C, D-E) in cui la T rimane costante*

liquefazione o condensazione

entro un certo intervallo di T,
un gas può essere liquefatto
aumentando la pressione

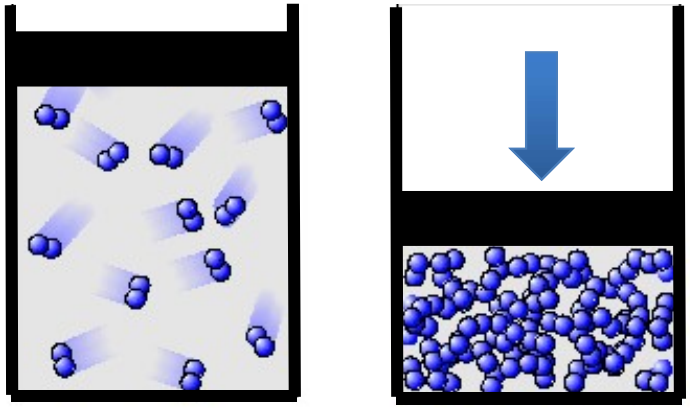


diagramma di Andrews

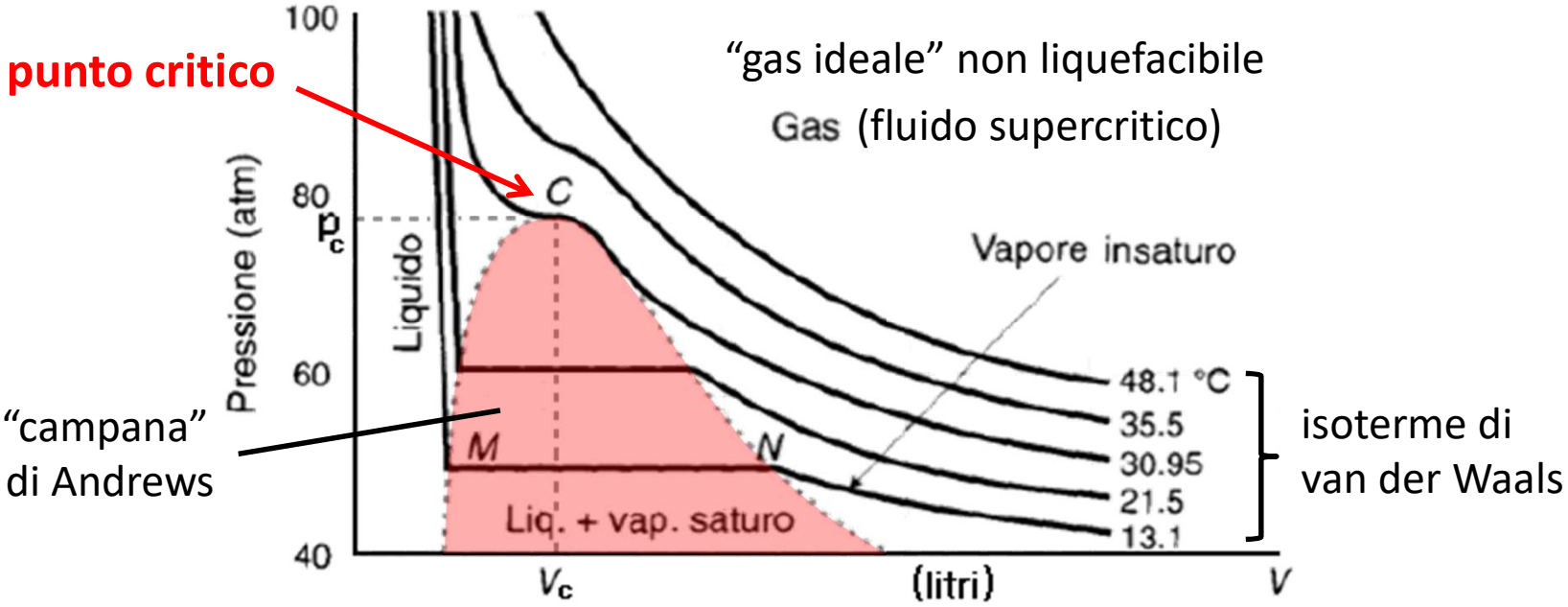
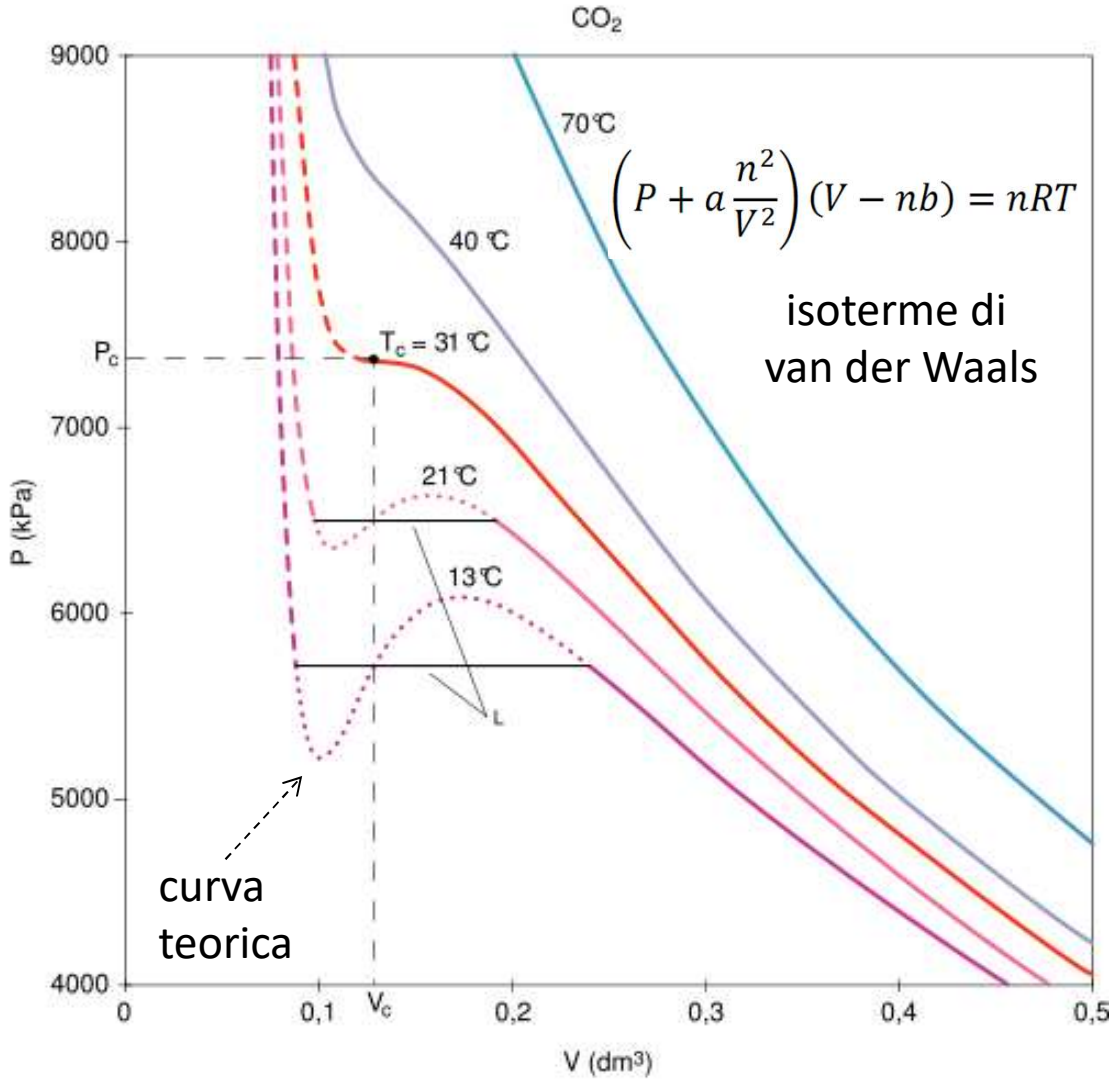


diagramma di Andrews per la CO_2



punto critico: T e P critiche

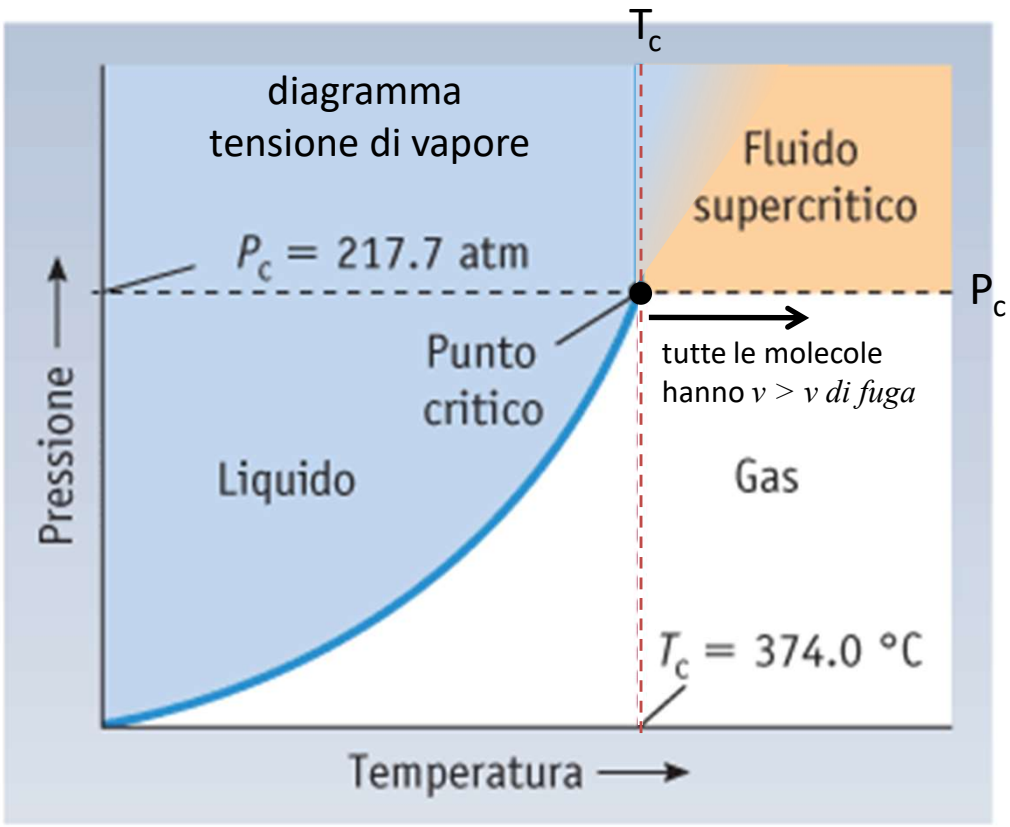
T critica (T_c) è la T oltre la quale un vapore non può essere liquefatto per compressione

P critica (P_c) è la pressione minima richiesta per liquefare un gas alla T_c

TABELLA 12.7 **Temperatura e pressioni critiche per composti comuni***

Composto	T_c (°C)	P_c (atm)
CH_4 (metano)	−82.6	45.4
C_2H_6 (etano)	32.3	49.1
C_3H_8 (propano)	96.7	41.9
C_4H_{10} (butano)	152.0	37.3
CCl_2F_2 (CFC-12)	111.8	40.9
NH_3	132.4	112.0
H_2O	374.0	217.7
CO_2	30.99	72.8
SO_2	157.7	77.8

*Dati estratti da D. R. Lide: *Basic Laboratory and Industrial Chemicals*, Boca Raton, FL, CRC Press, 1993.

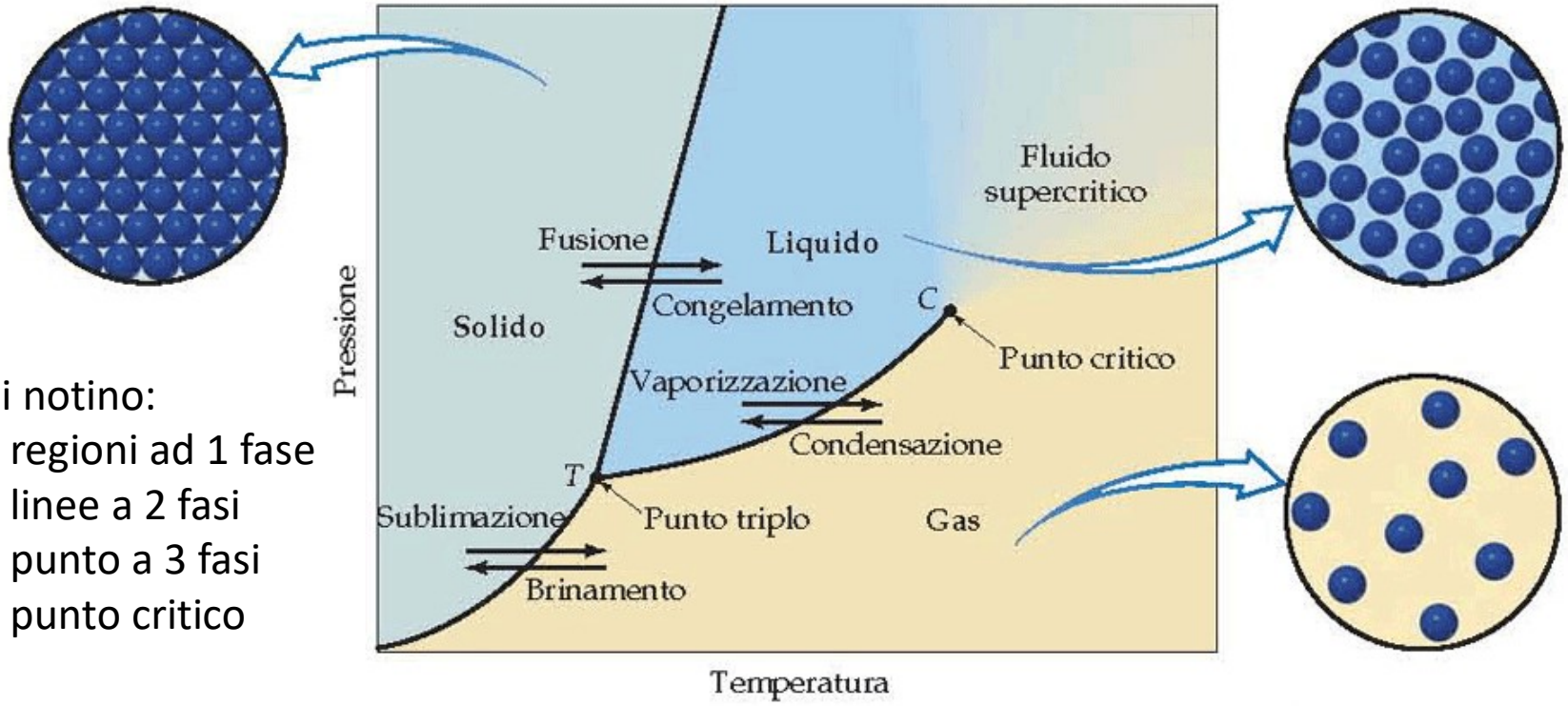


diagrammi di fase (o di stato)

per una sostanza pura

diagramma che rappresenta la fase (o stato) di un sistema al variare di temperatura e pressione

esempio di diagramma di stato (generico)

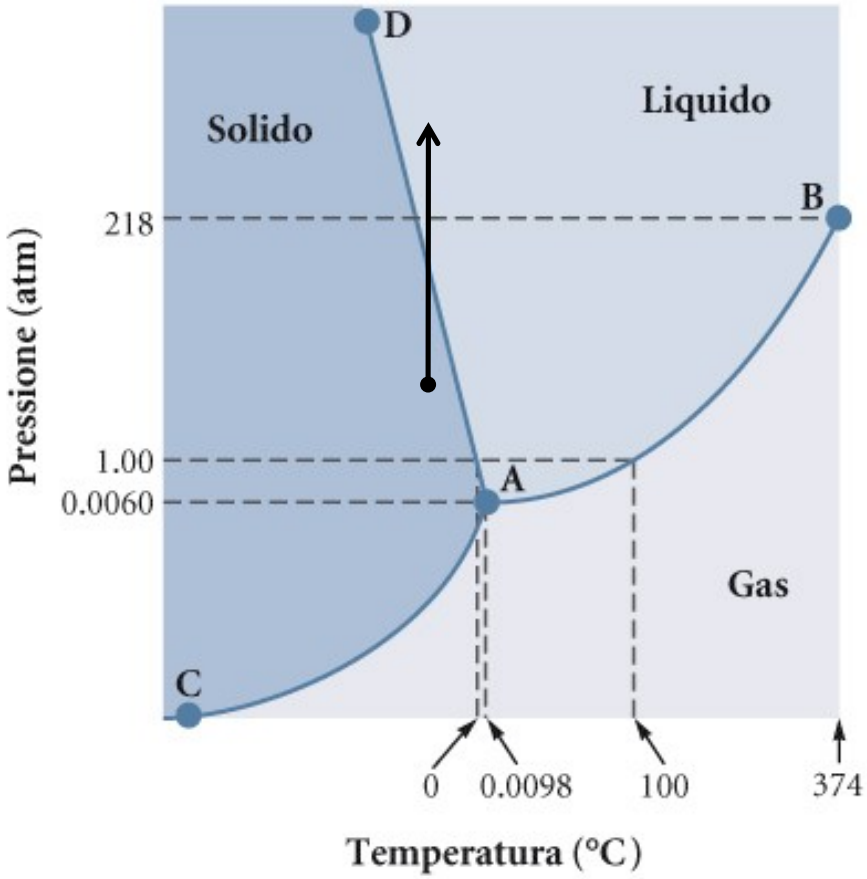


si notino:

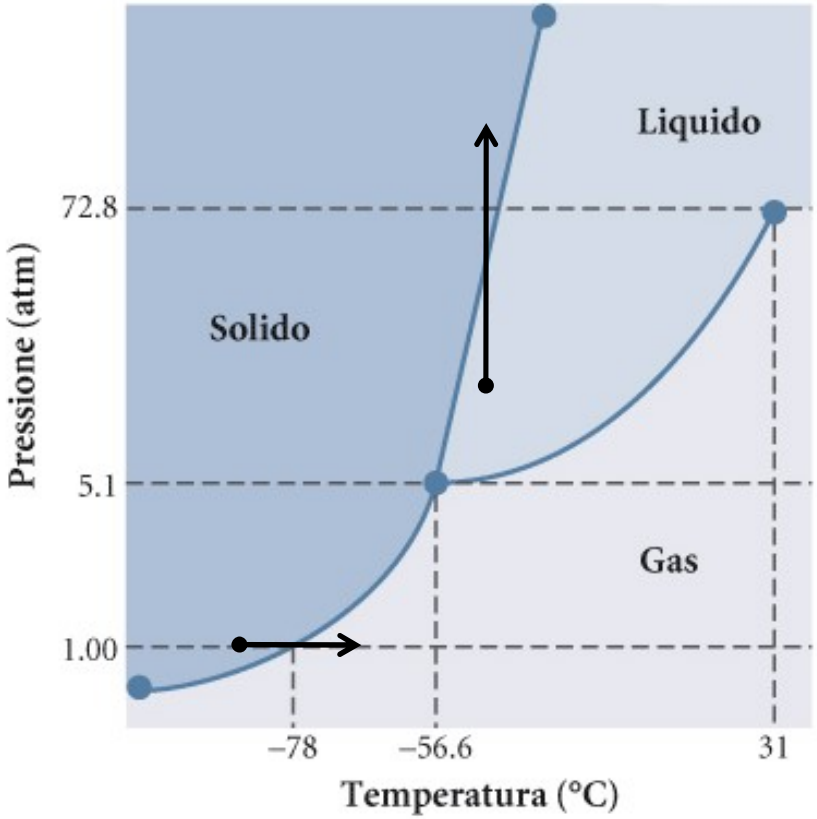
- regioni ad 1 fase
- linee a 2 fasi
- punto a 3 fasi
- punto critico

diagrammi di stato per H_2O e CO_2

H_2O

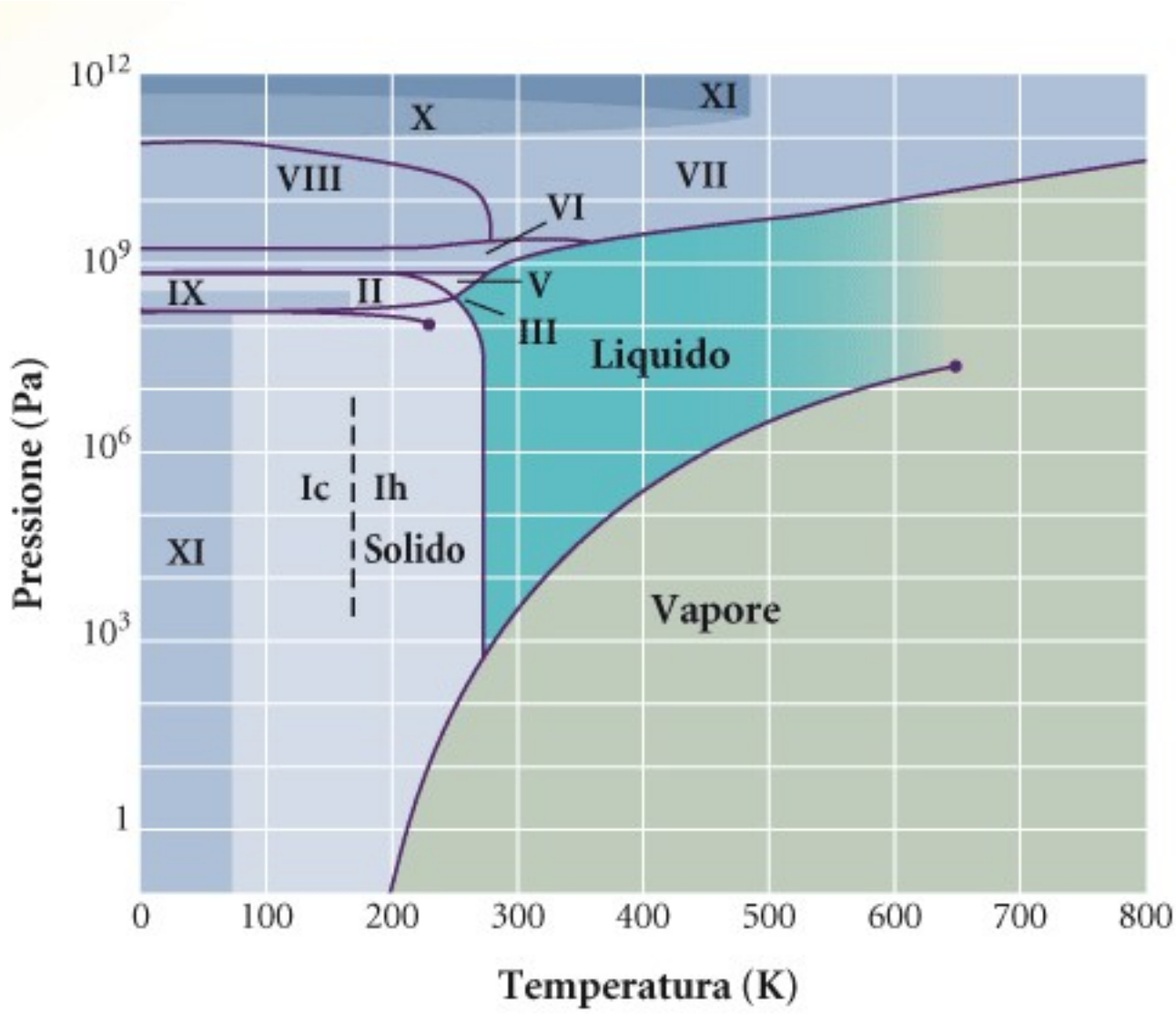


CO_2



- pendenza linea solido/liquido
- posizione punto triplo (CO_2 sublima a 1atm)

diagramma di stato esteso per H_2O



sistemi fuori dall' equilibrio

molti sistemi "reali" fuori dall'equilibrio

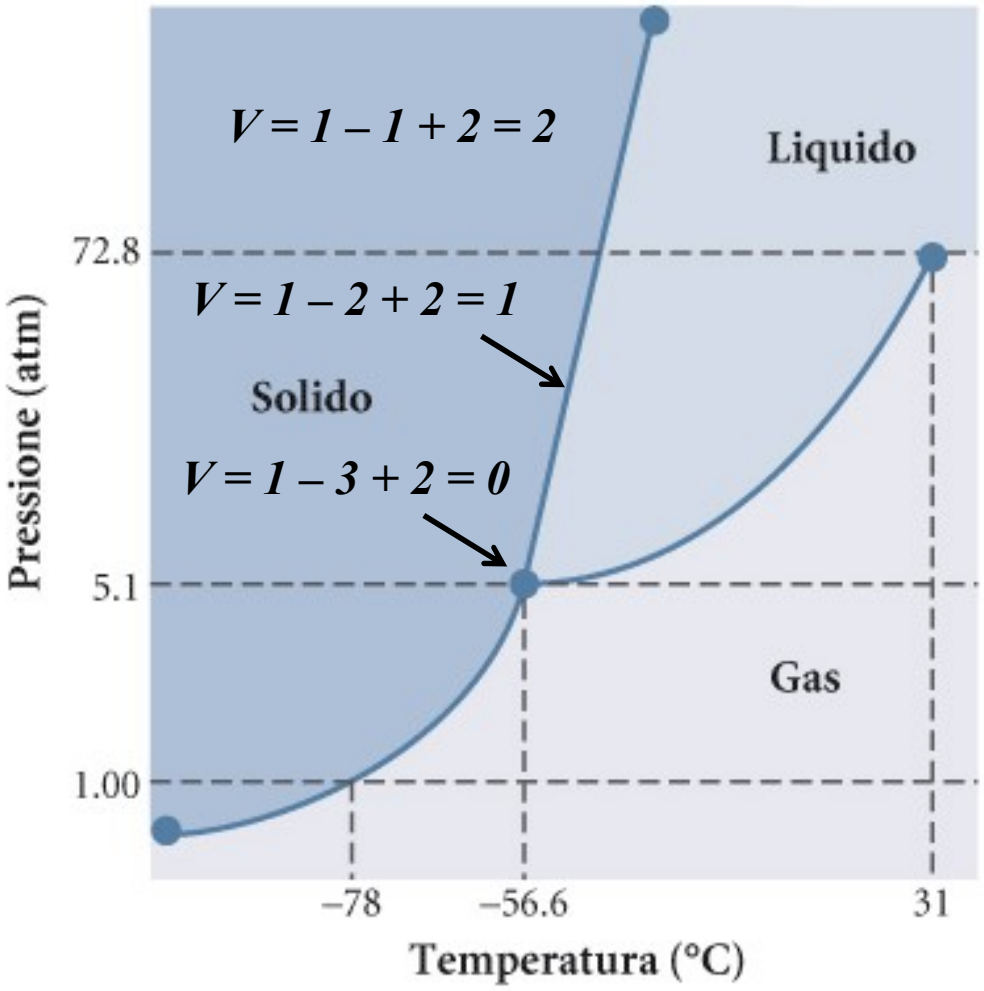
(ad esempio, evaporazione bicchiere d'acqua)

sistemi fuori dall'equilibrio

molti sistemi "reali" fuori dall'equilibrio

(ad esempio, acqua sottoraffreddata)

regola delle fasi (o della varianza)



numero dei componenti

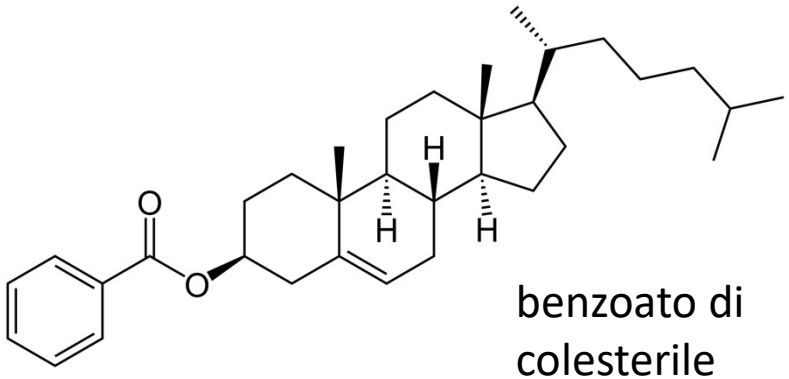
numero delle fasi

$$V = c - f + 2$$

varianza *o numero dei gradi di libertà*

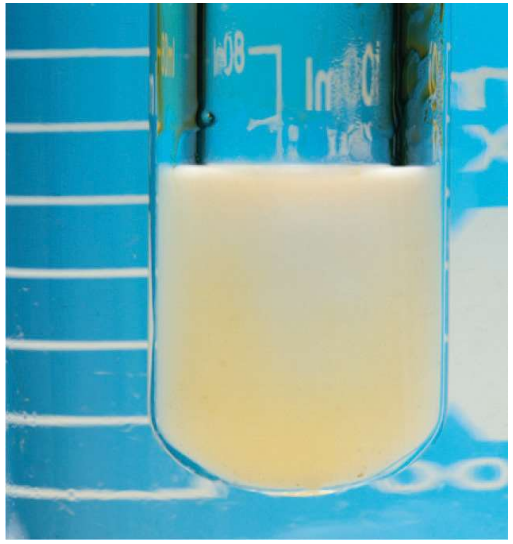
n° variabili che posso cambiare in modo indipendente senza cambiare il numero di fasi del sistema

cristalli liquidi

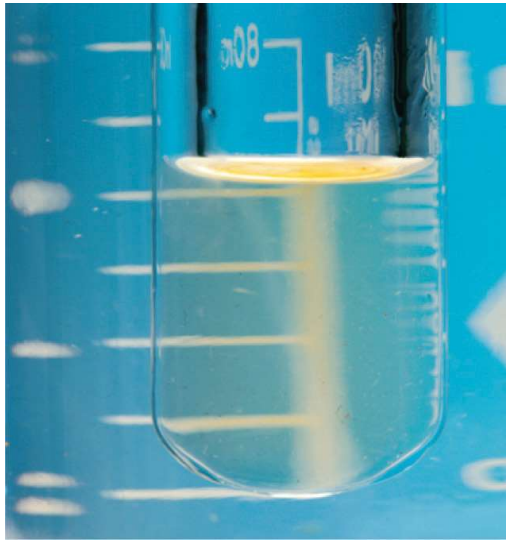


benzoato di
colesterile

due punti di fusione distinti (!)

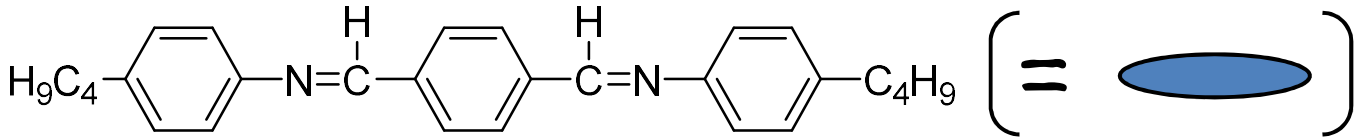


145°C

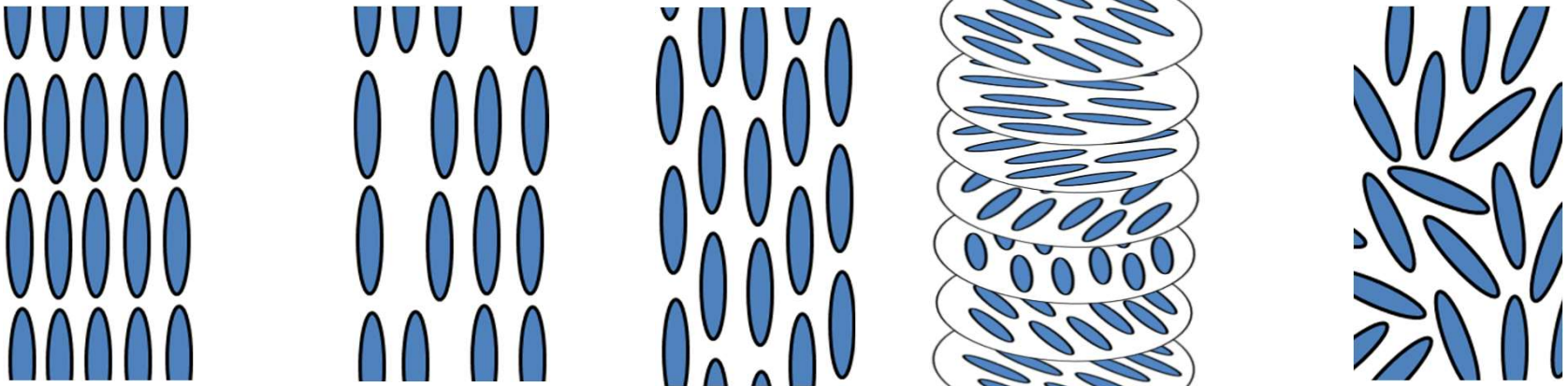


179°C

cristalli liquidi



(esempio)

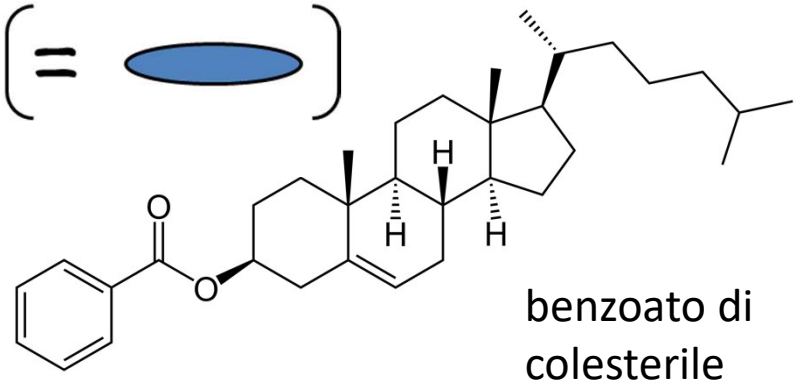


solido cristallino (ordinato)

cristalli liquidi (parzialmente ordinati)

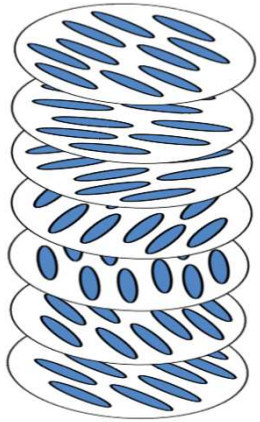
liquido (disordinato)

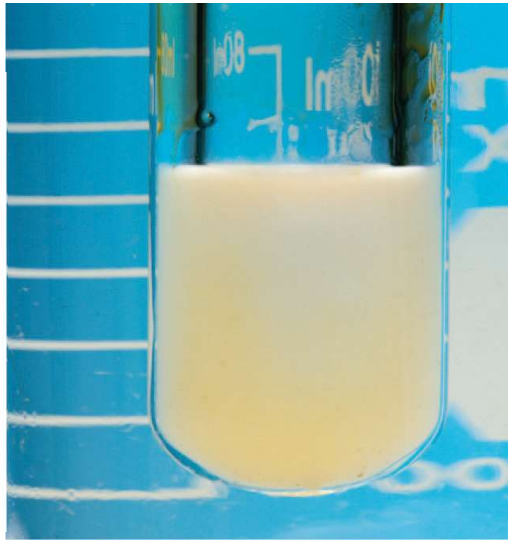
cristalli liquidi



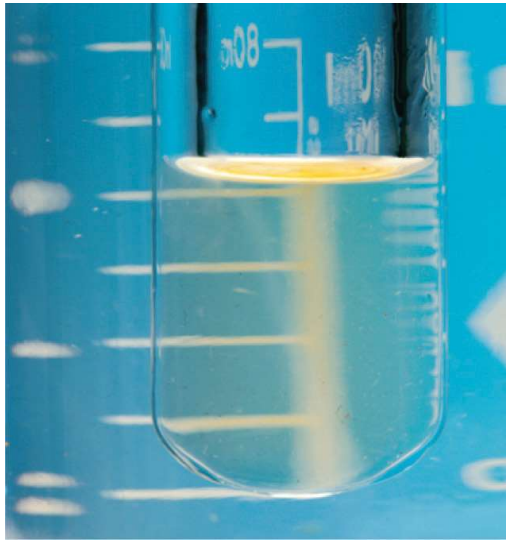
benzoato di
colesterile

due punti di fusione distinti (!)

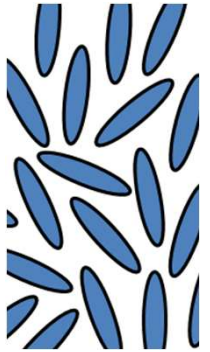




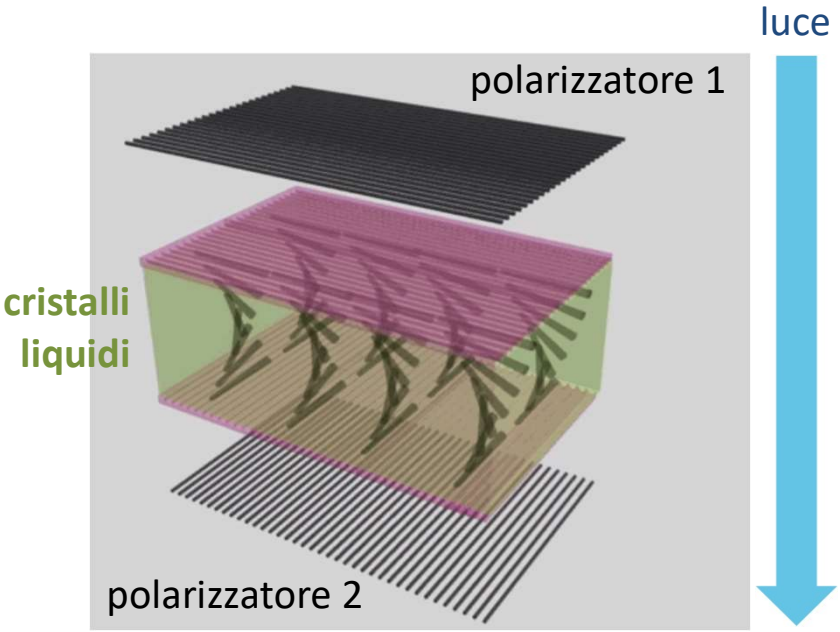
145°C
(fase colesterica)



179°C
(liquido)

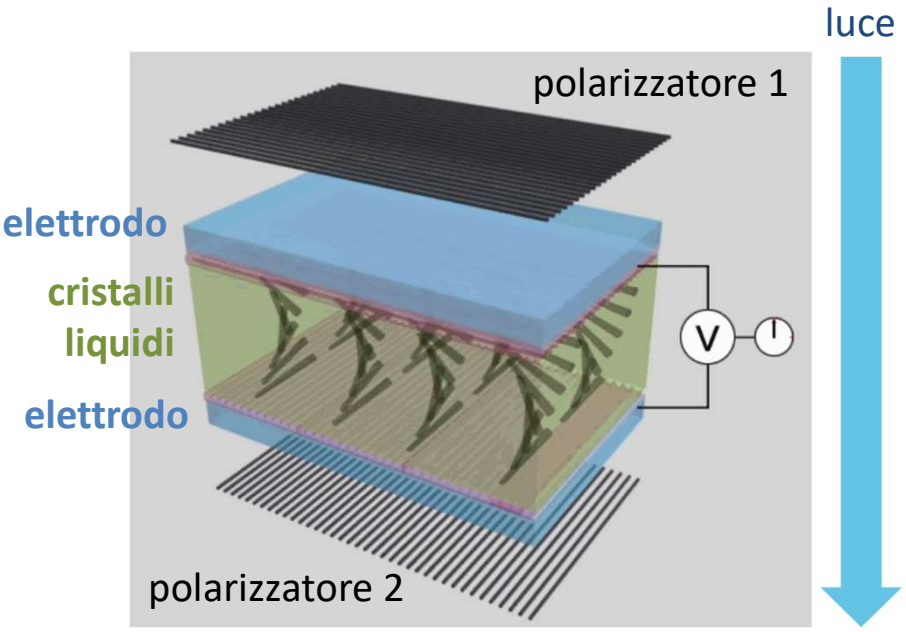


cristalli liquidi



piano di polarizzazione della luce ruotato da cristalli liquidi

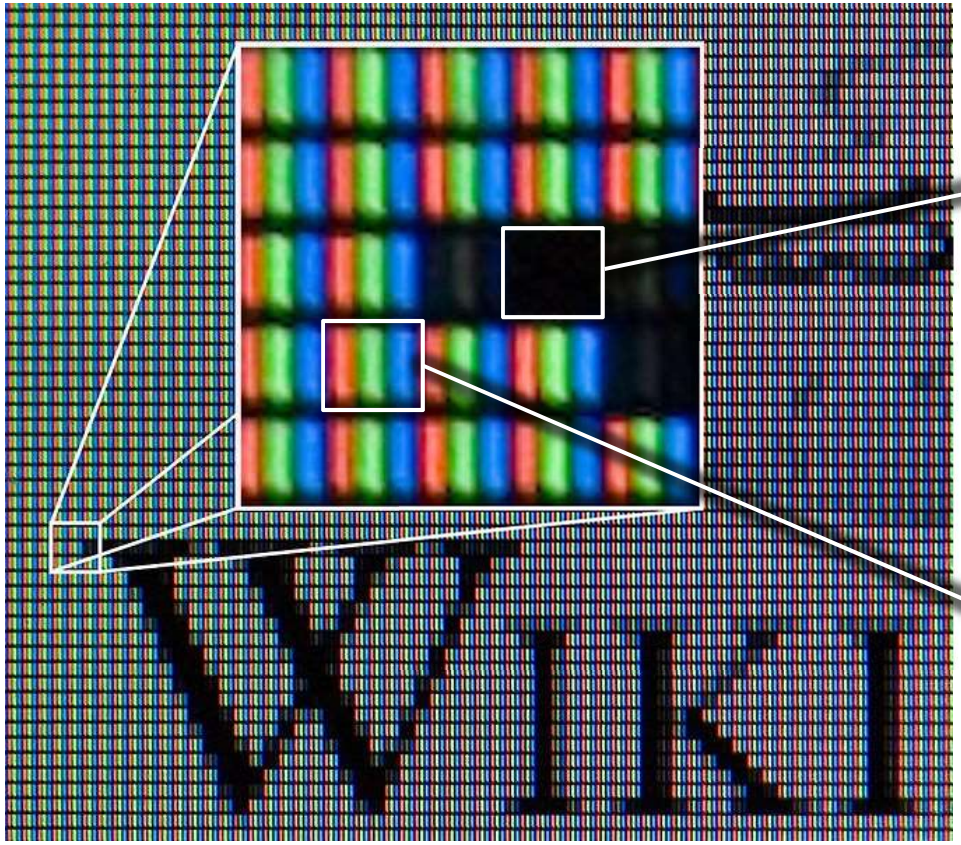
– LA LUCE PASSA –

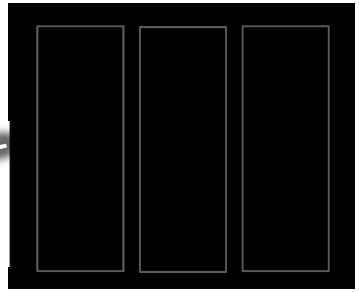


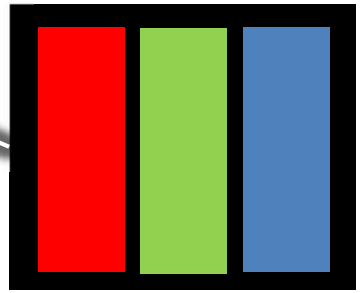
campo elettrico allinea le molecole, cambiando la fase; piano di polarizzazione non cambia

– LA LUCE **NON** PASSA –

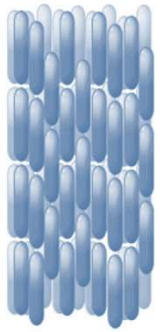
(display a) cristalli liquidi



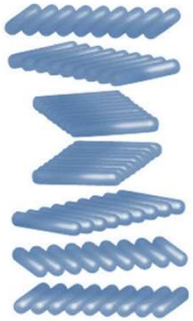




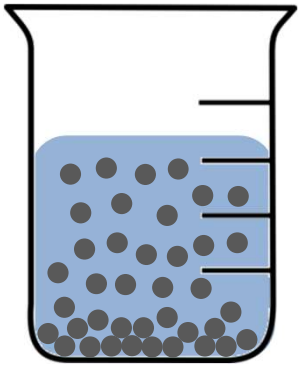
nematica



colesterica

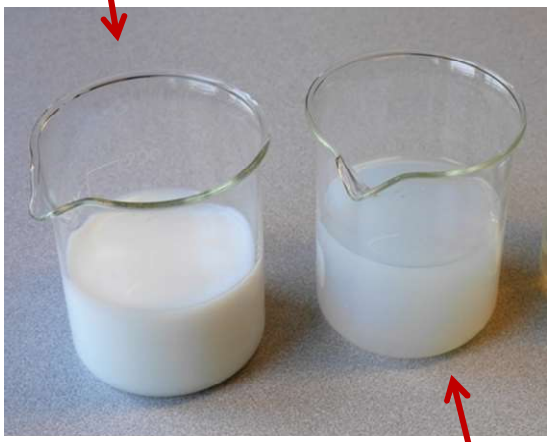


i colloidi



sospensione

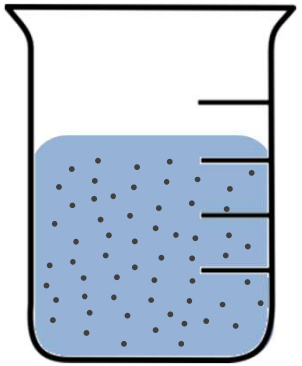
particelle di solido
sospese in un liquido
(es. sabbia in acqua)



co-esistenza
tra più stati
di aggregazione

miscela nella quale una
sostanza si trova in particelle
molto piccole

dispersione
colloidale

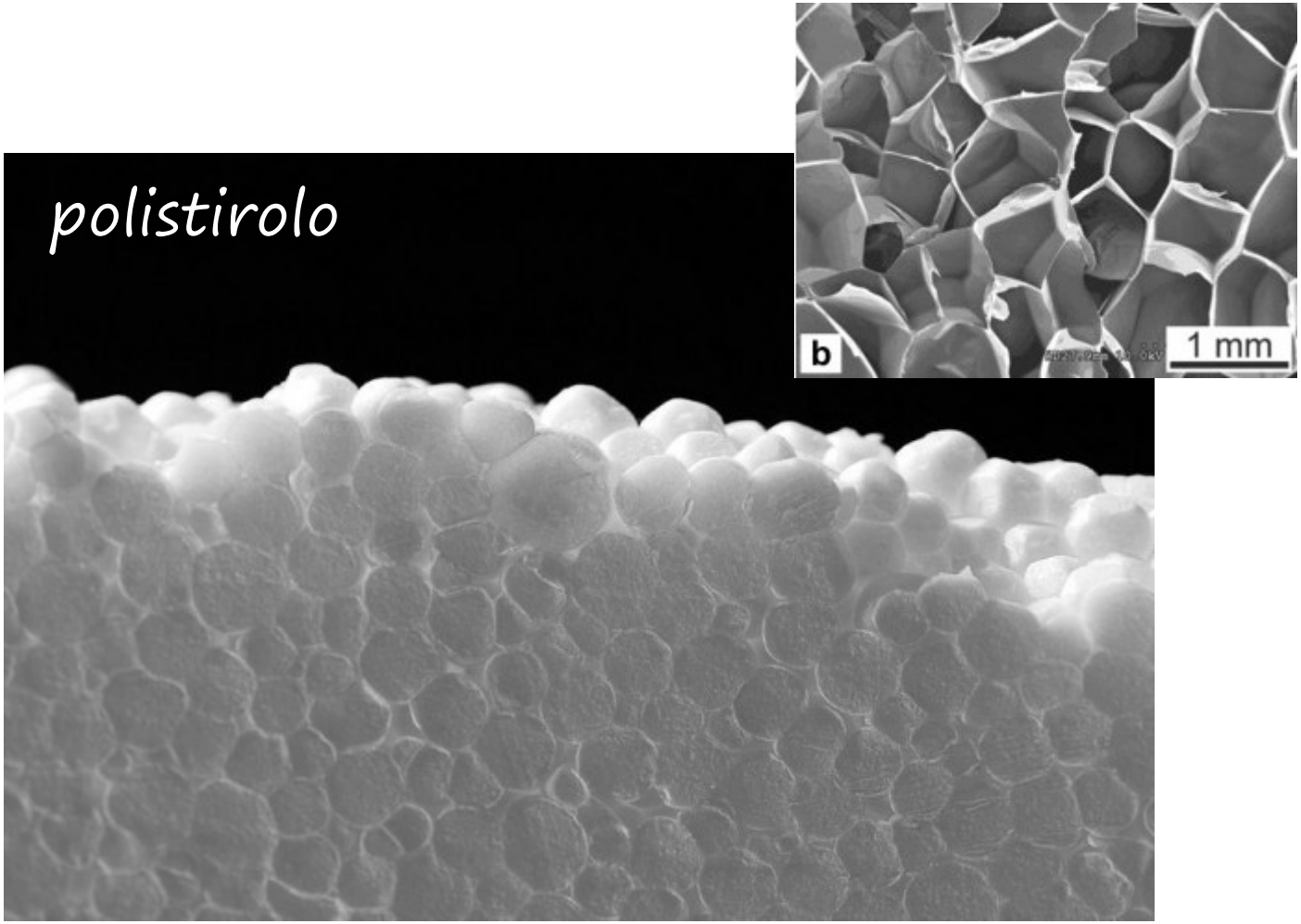


aereosol
(dispersioni colloidali di solido (o liquido) in un gas)

fumo

nebbia, nubi

schiume
(dispersioni colloidali di gas in solido (o liquido))

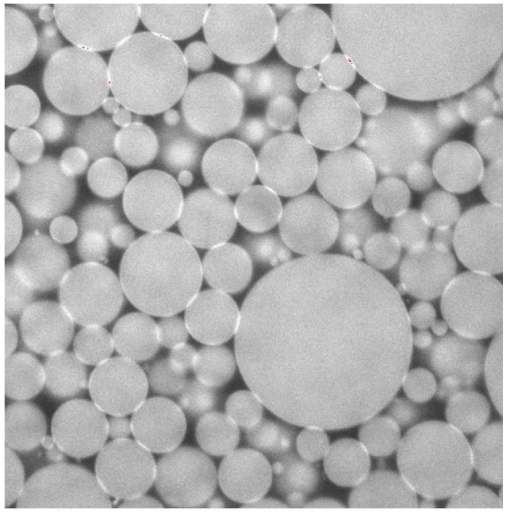


schiume
(dispersioni colloidali di gas in solido (o liquido))

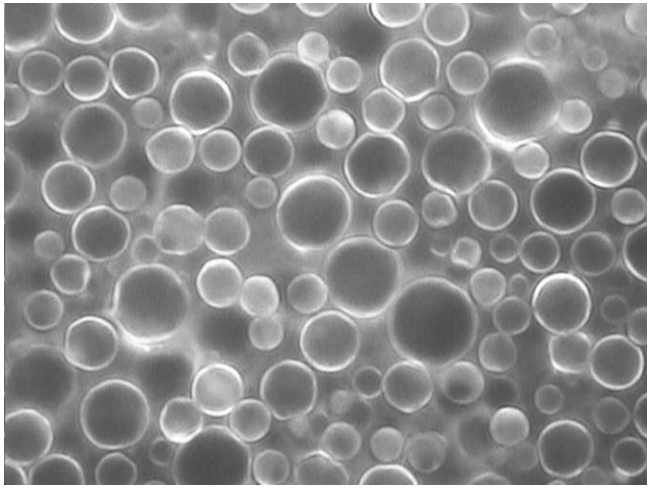
aerogel

emulsioni
(dispersioni colloidali di liquido in liquido)

particelle di grassi disperse in fase acquosa



maionese



latte

i colloidi

classificazione

nome	mezzo disperdente	fase dispersa	esempi
aerosol	gas	liquido	*nebbia, nuvole*
aerosol	gas	solido	*fumo*
schiuma	liquido	gas	*schiuma da barba, panna*
schiuma	solido	gas	*polistirolo*
emulsione	liquido	liquido	*maionese, latte*
gel	solido	liquido	*gelatina, formaggio, burro*
sol	liquido	solido	*fango, gel di silice*

i colloidi

effetto Tyndall