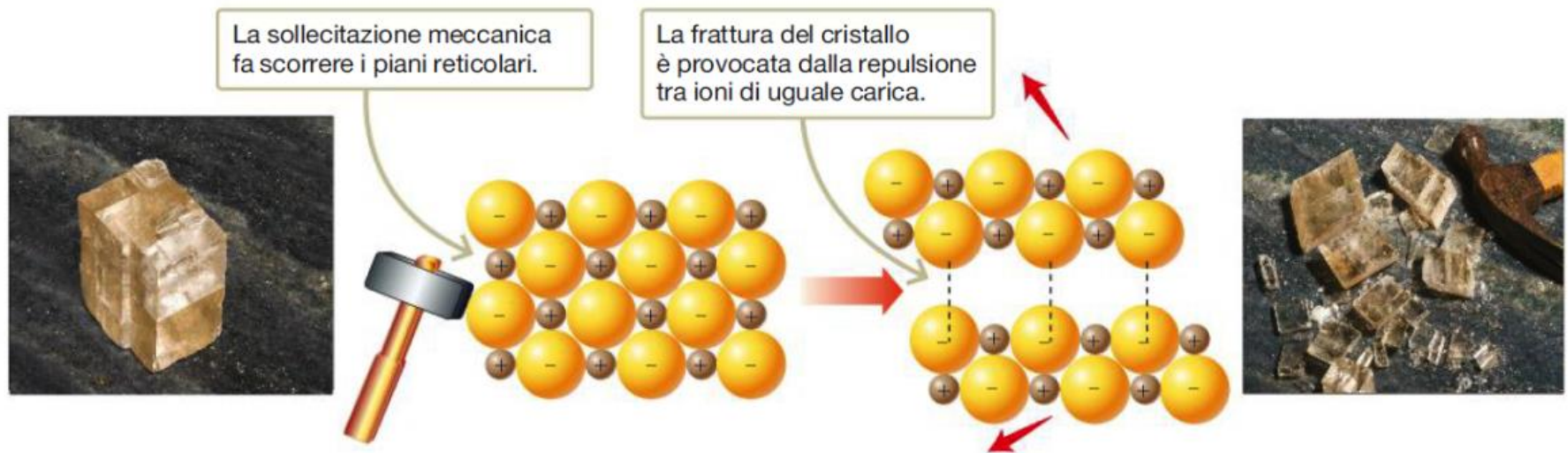
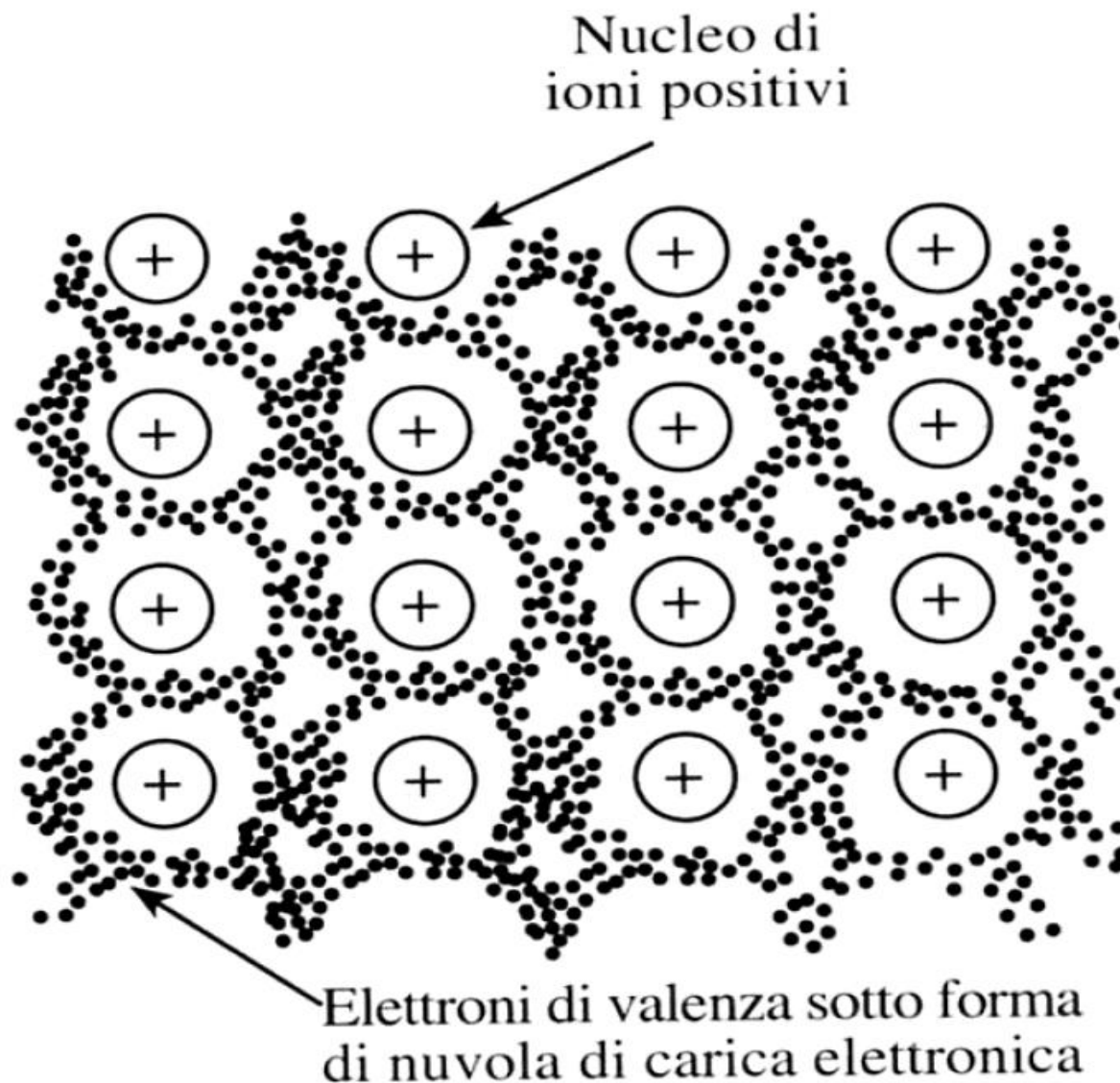
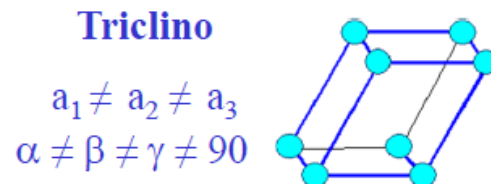
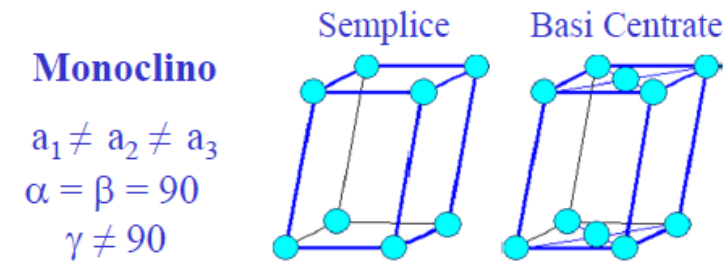
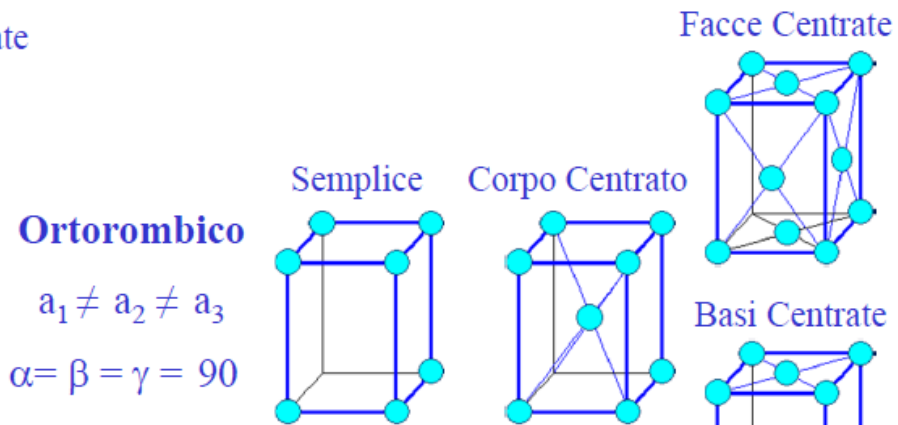
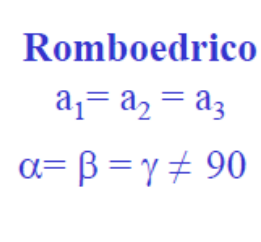
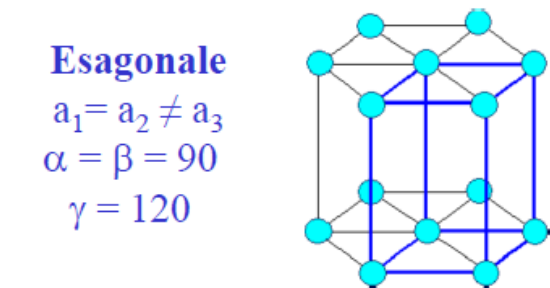
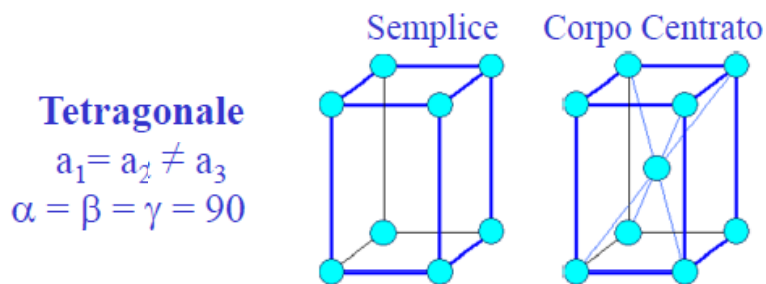
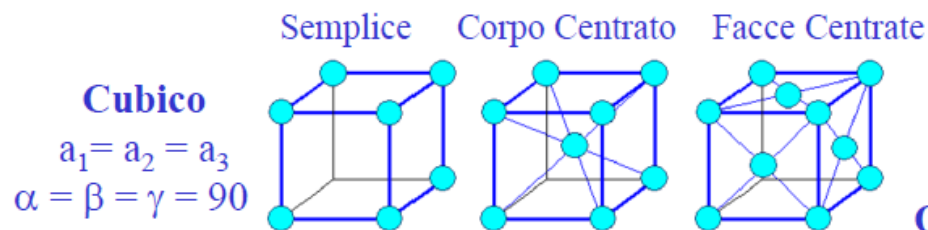


I cristalli ionici sono **duri ma fragili** e non è possibile deformarli plasticamente. Basta una lieve sollecitazione per provocarne la frattura, a causa delle forze repulsive tra ioni con la stessa carica.

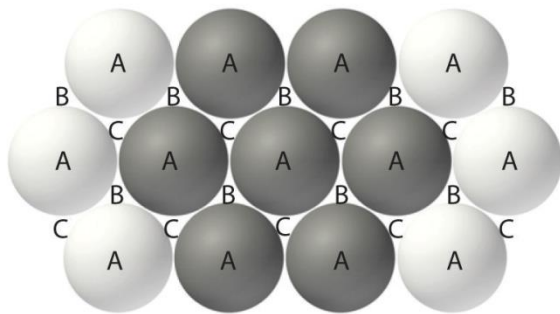




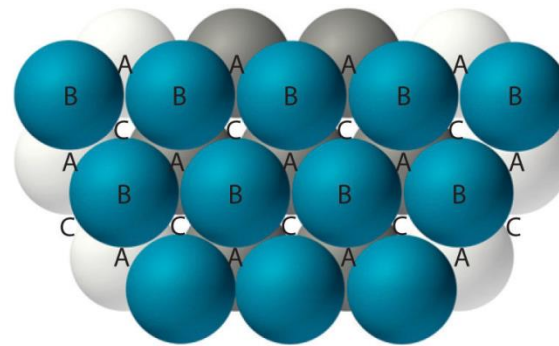
TIPI DI RETICOLI CRISTALLINI



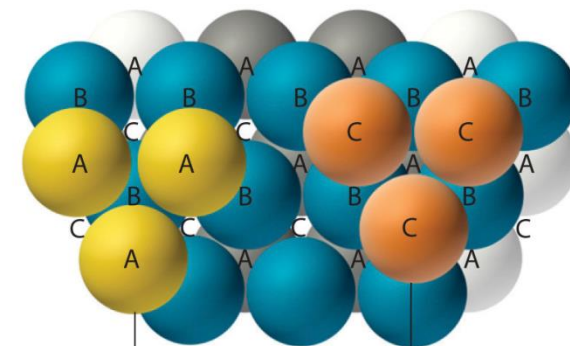
Reticoli a più alto **impacchettamento** (= *addensamento, compattazione, impilaggio, impaccamento,...*) atomico: **CFC e EC**



(a) Single layer



(b) Two layers



hcp

ccp

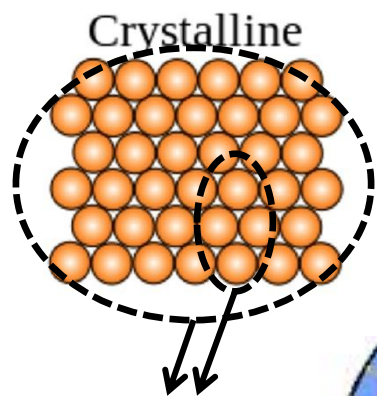
(c) Three layers

hcp = hexagonal close-packed (=> EC)

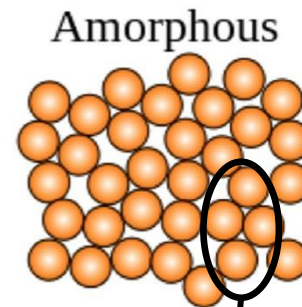
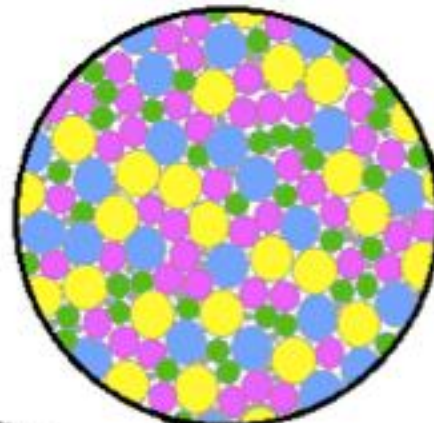
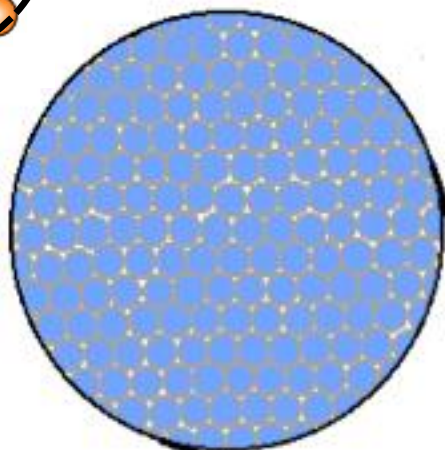
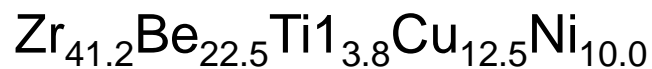
ccp = cubic close-packed (=> CFC)

METALLI AMORFI (= VETRI METALLICI)

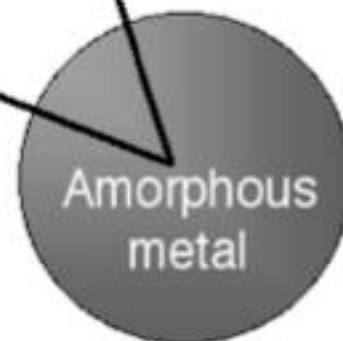
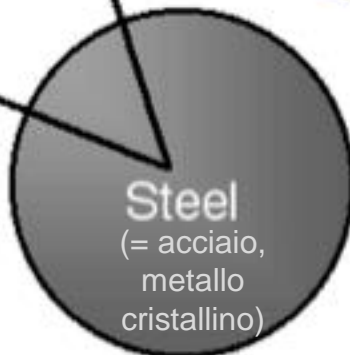
materiali metallici (= leghe metalliche) senza struttura reticolare regolare*



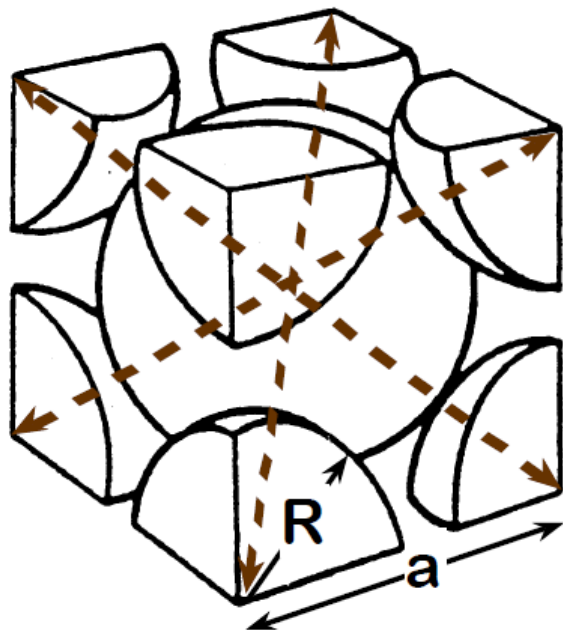
Regolarità a **corto raggio** e a **lungo raggio**



*Regolarità solo a **corto raggio**



FATTORE di IMPACCHETTAMENTO ATOMICO (F.I. o APF) per un CCC



Le direzioni di contatto sono le diagonali del cubo di lunghezza:

$$4R = a\sqrt{3}$$

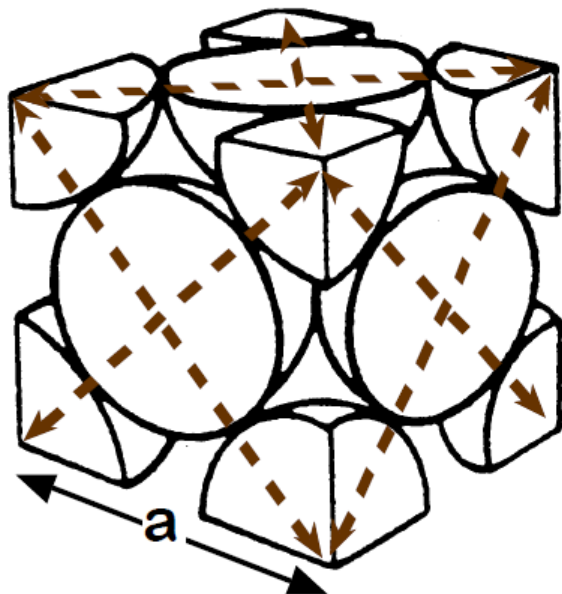
La cella unitaria contiene $1 + (8 \times 1/8) = 2$ atomi per cella

Volume dell'atomo

Atomi per cella

Volume della cella

$$\frac{2 \times \frac{4}{3} \pi \left(a \frac{\sqrt{3}}{4} \right)^3}{a^3} = 0.68$$



Le direzioni di contatto sono le diagonali del cubo di lunghezza:

$$4R = a\sqrt{2}$$

La cella unitaria contiene
 $(6 \times \frac{1}{2}) + (8 \times \frac{1}{8}) = 4$ atomi per cella

Volume dell'atomo

$$\frac{\text{Atomi per cella} \times \frac{4}{3} \pi \left(a \frac{\sqrt{2}}{4} \right)^3}{\text{Volume della cella}} = 0.74$$

4
 a^3

DENSITA' di un ELEMENTO CHIMICO METALLICO

- Densità di volume del metallo = $\rho_v = \frac{\text{Massa cella unitaria}}{\text{Volume cella unitaria}}$
- **Esempio** : il rame (CFC) ha massa atomica 63.54 g/mol e raggio atomico pari a 0.1278 nm.

Parametro reticolare = $a = \frac{4R}{\sqrt{2}} = \frac{4 \times 0.1278 \text{ nm}}{\sqrt{2}} = 0.361 \text{ nm}$

Volume di cella unitaria = $V = a^3 = (0.361 \text{ nm})^3 = 4.7 \times 10^{-29} \text{ m}^3$

La cella unitaria CFC ha 4 atomi

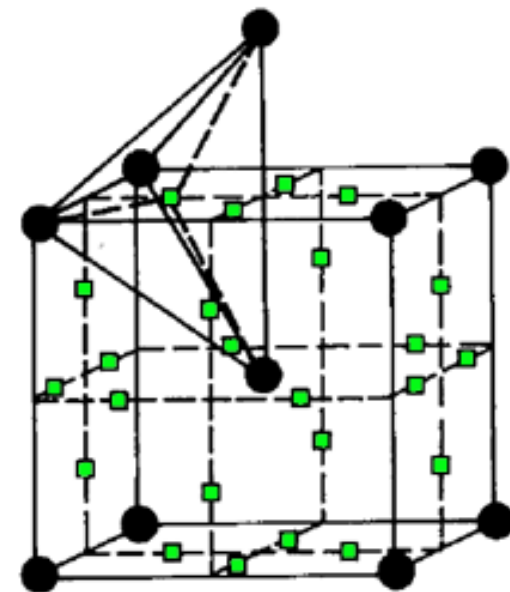
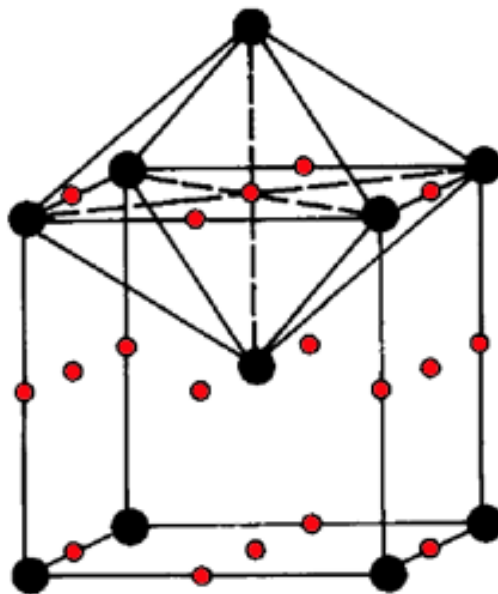
Massa cella unitaria = $m = \frac{(4 \text{ atoms})(63.54 \text{ g/mol})}{6.023 \times 10^{23} \text{ atoms/mol}} \left(\frac{10^{-6} \text{ Mg}}{\text{g}} \right) = 4.22 \times 10^{-28} \text{ Mg}$

$\rho_v = \frac{m}{V} = \frac{4.22 \times 10^{-28} \text{ Mg}}{4.7 \times 10^{-29} \text{ m}^3} = 8.98 \frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} = 8.98 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

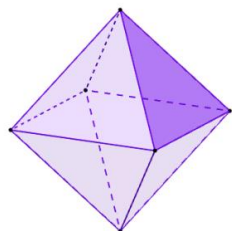
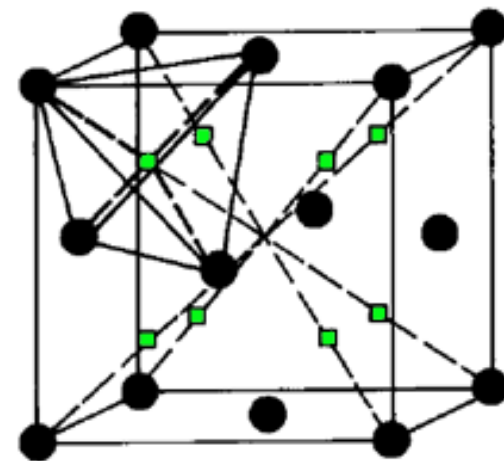
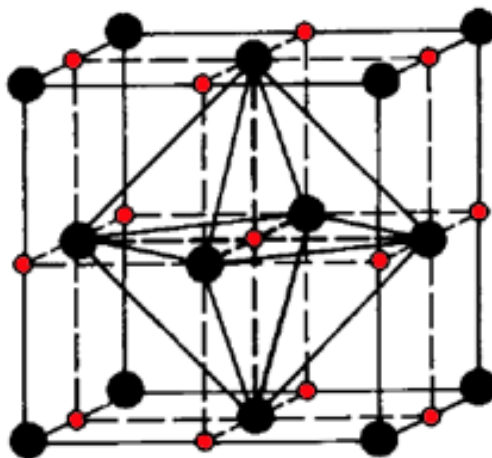
→ Numero di Avogadro (num. di atomi in 1 mole)

SITI INTERSTIZIALI NEI RETICOLI CUBICI

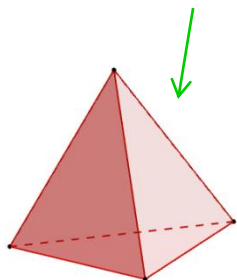
CCC



CFC

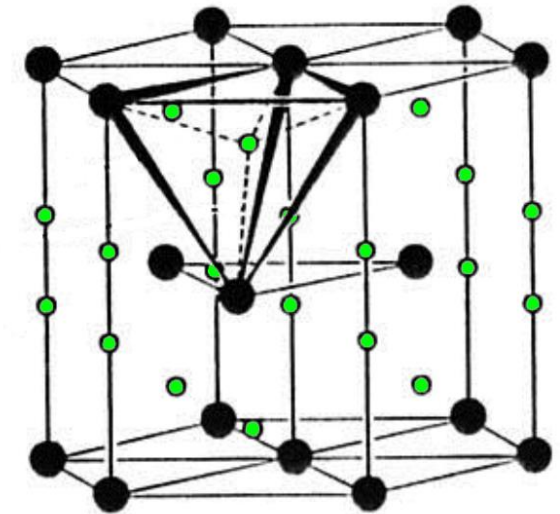
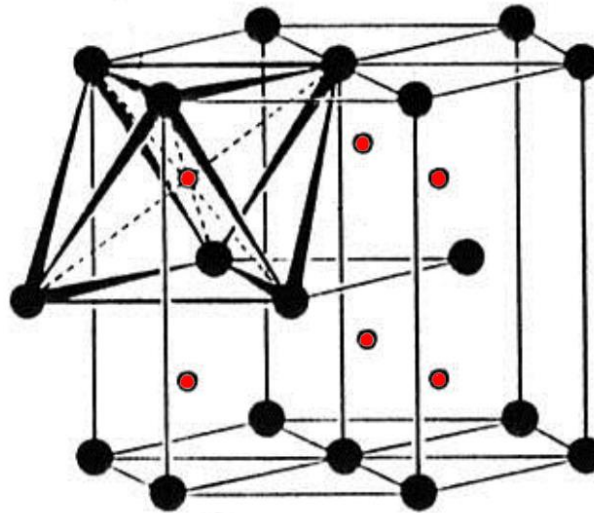


- Siti **ottaedrici**
- Siti **tetraedrici**



EC (HCP, Hexagonal Close-Packed)

- Siti **ottaedrici**
- Siti **tetraedrici**



Parametri caratteristici dei reticoli cristallini del ferro			
	Ferro α (20°C - ?)	Ferro γ (?)	Ferro δ (? - 1538°C)
Raggio atomico R [nm]	0,124 - 0,126	0,126 - 0,127	0,127
Tipo di reticolo	?	?	?
Costante reticolare teorica a [nm] in funzione di R	$(4\sqrt{3})R \cong 0,286 - 0,290$	$(4\sqrt{2})R \cong 0,356 - 0,359$	$(4\sqrt{3})R \cong 0,293$
Costante reticolare sperimentale a [nm]	$\sim 0,287$ a 20°C $\sim 0,291$ a 912°C	$\sim 0,357$ a 912°C $\sim 0,358$ a 1394°C	$\sim 0,293$ a 1394°C $\sim 0,294$ a 1538°C
Numero di atomi propri (N_A) per cella	$1 + 8 \cdot \frac{1}{8} = 2$	$6 + 8 \cdot \frac{1}{8} = 4$	$1 + 8 \cdot \frac{1}{8} = 2$
Raggio della lacuna ottaedrica [nm] in funzione R	$0,155R \cong 0,0194$	$0,414R \cong 0,0524$	$0,155R \cong 0,0197$
Raggio della lacuna tetraedrica [nm] in funzione R	$0,291R \cong 0,0364$	$0,225R \cong 0,0285$	$0,291R \cong 0,0370$

["Metallurgia degli acciai – Parte prima", di M. Boniardi e A. Casaroli, ed. Gruppo Lucefin]

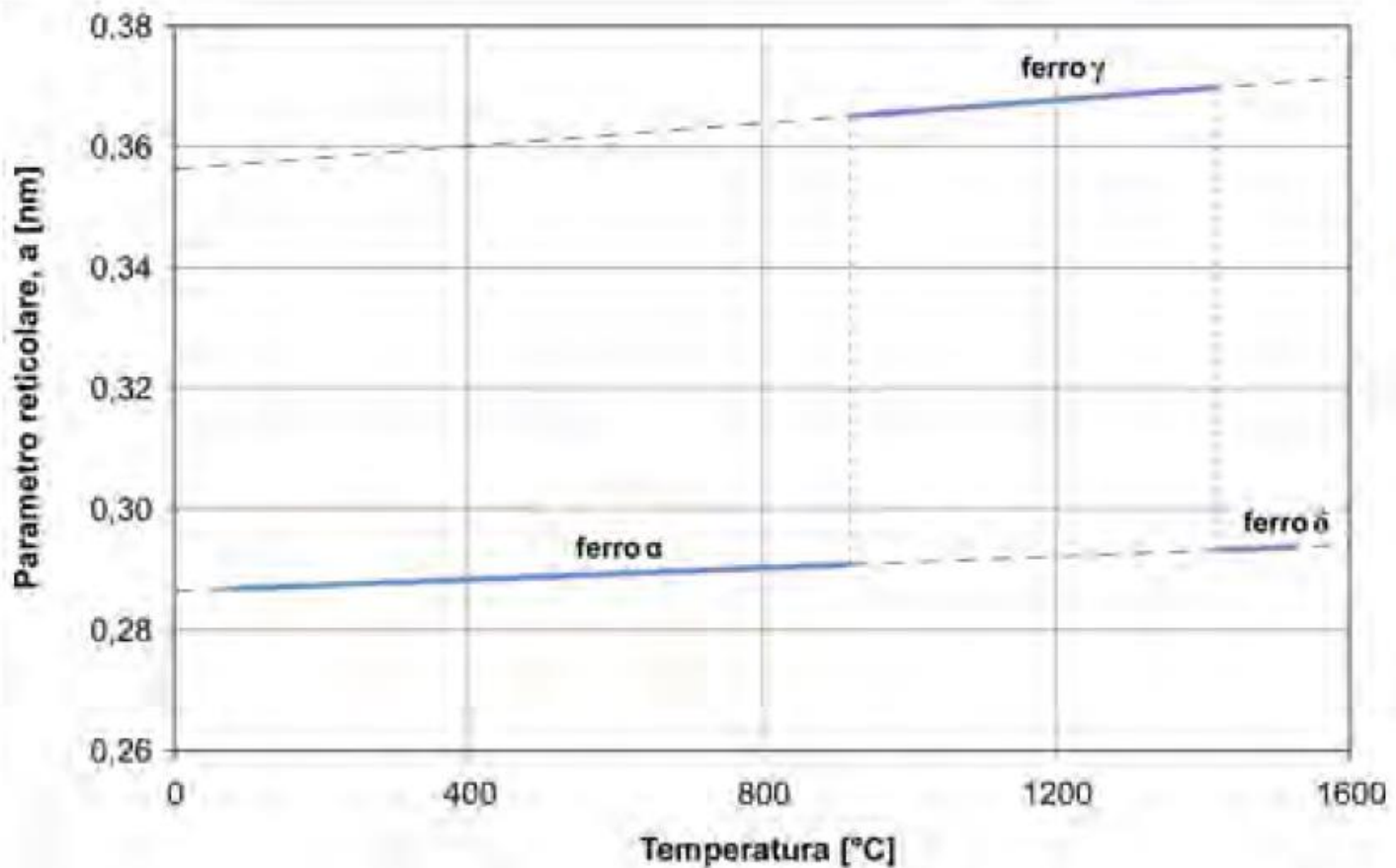
Parametri caratteristici dei reticoli cristallini del ferro

	Ferro α (20°C - 912°C)	Ferro γ (912°C - 1394°C)	Ferro δ (1394°C - 1538°C)
Raggio atomico R [nm]	0,124 - 0,126	0,126 - 0,127	0,127
Tipo di reticolo	C.C.C.	C.F.C.	C.C.C.
Costante reticolare teorica a [nm] in funzione di R	$(4\sqrt{3})R \cong 0,286 - 0,290$	$(4\sqrt{2})R \cong 0,356 - 0,359$	$(4\sqrt{3})R \cong 0,293$
Costante reticolare sperimentale a [nm]	$\sim 0,287$ a 20°C $\sim 0,291$ a 912°C	$\sim 0,357$ a 912°C $\sim 0,358$ a 1394°C	$\sim 0,293$ a 1394°C $\sim 0,294$ a 1538°C
Numero di atomi propri (N_A) per cella	$1 + 8 \cdot \frac{1}{8} = 2$	$6 + 8 \cdot \frac{1}{8} = 4$	$1 + 8 \cdot \frac{1}{8} = 2$
Raggio della lacuna ottaedrica [nm] in funzione R	$0,155R \cong 0,0194$	$0,414R \cong 0,0524$	$0,155R \cong 0,0197$
Raggio della lacuna tetraedrica [nm] in funzione R	$0,291R \cong 0,0364$	$0,225R \cong 0,0285$	$0,291R \cong 0,0370$

["Metallurgia degli acciai – Parte prima", di M. Boniardi e A. Casaroli, ed. Gruppo Lucefin]

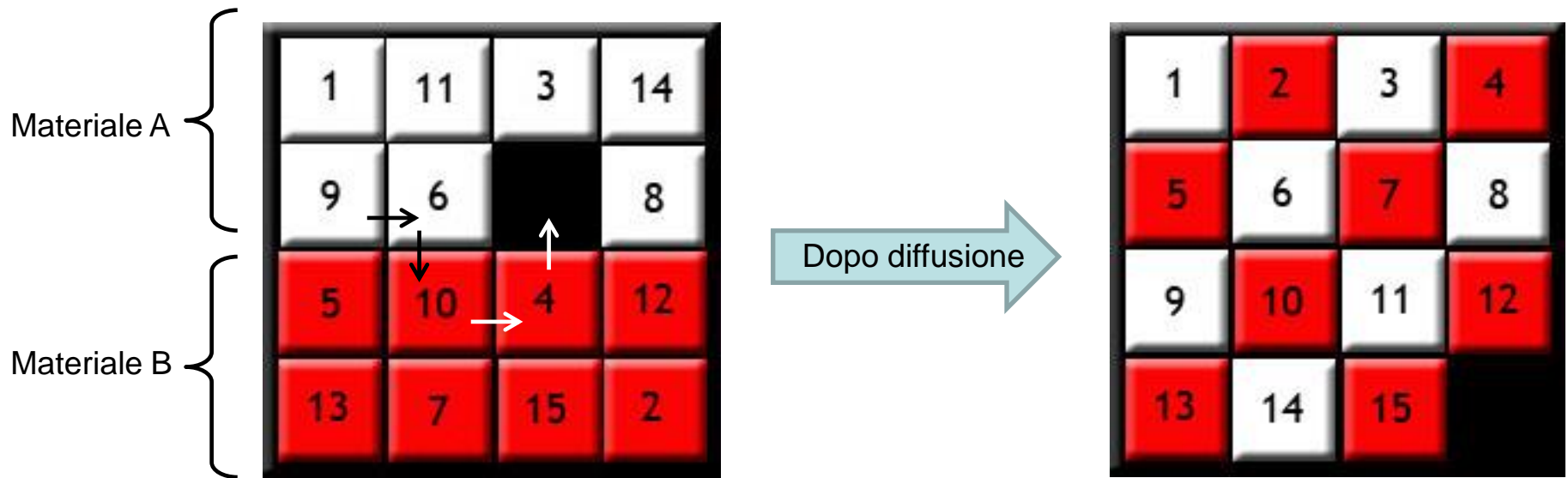
Parametri caratteristici dei reticoli cristallini del ferro

	Ferro α (20°C - 912°C)	Ferro γ (912°C - 1394°C)	Ferro δ (1394°C - 1538°C)
Raggio atomico R [nm]	0,124 - 0,126	0,126 - 0,127	0,127

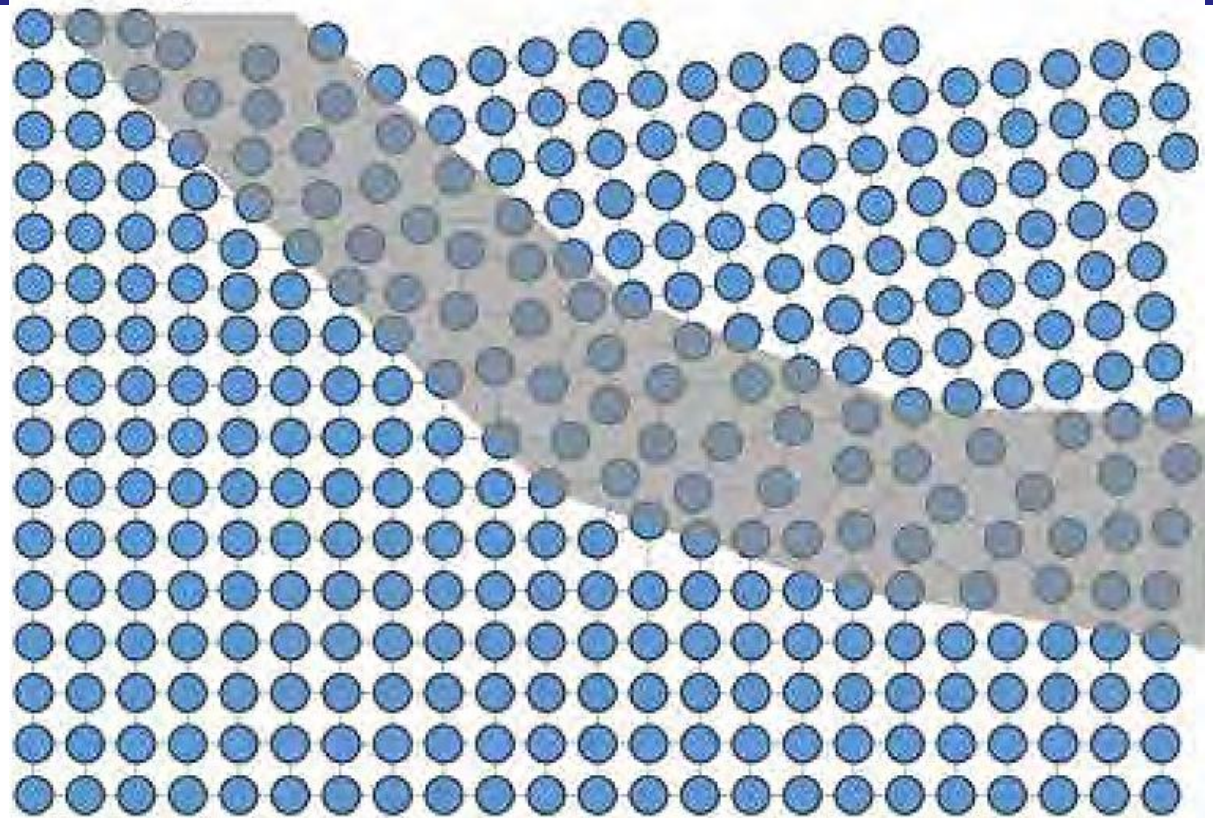
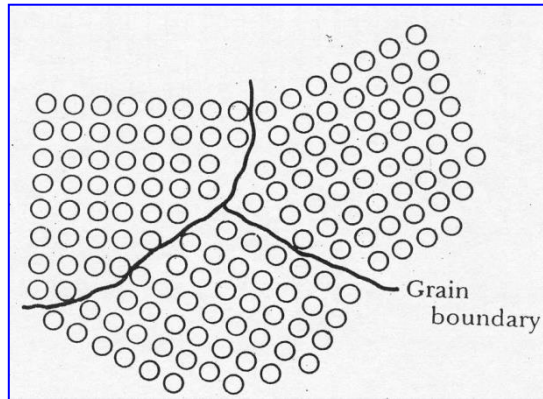


[Gruppo Lucefin]

Vacanze (= lacune): difetti alla base del processo di diffusione*!



*Fenomeno di trasporto di massa = spostamento degli atomi all'interno della materia; si verifica anche allo stato solido.



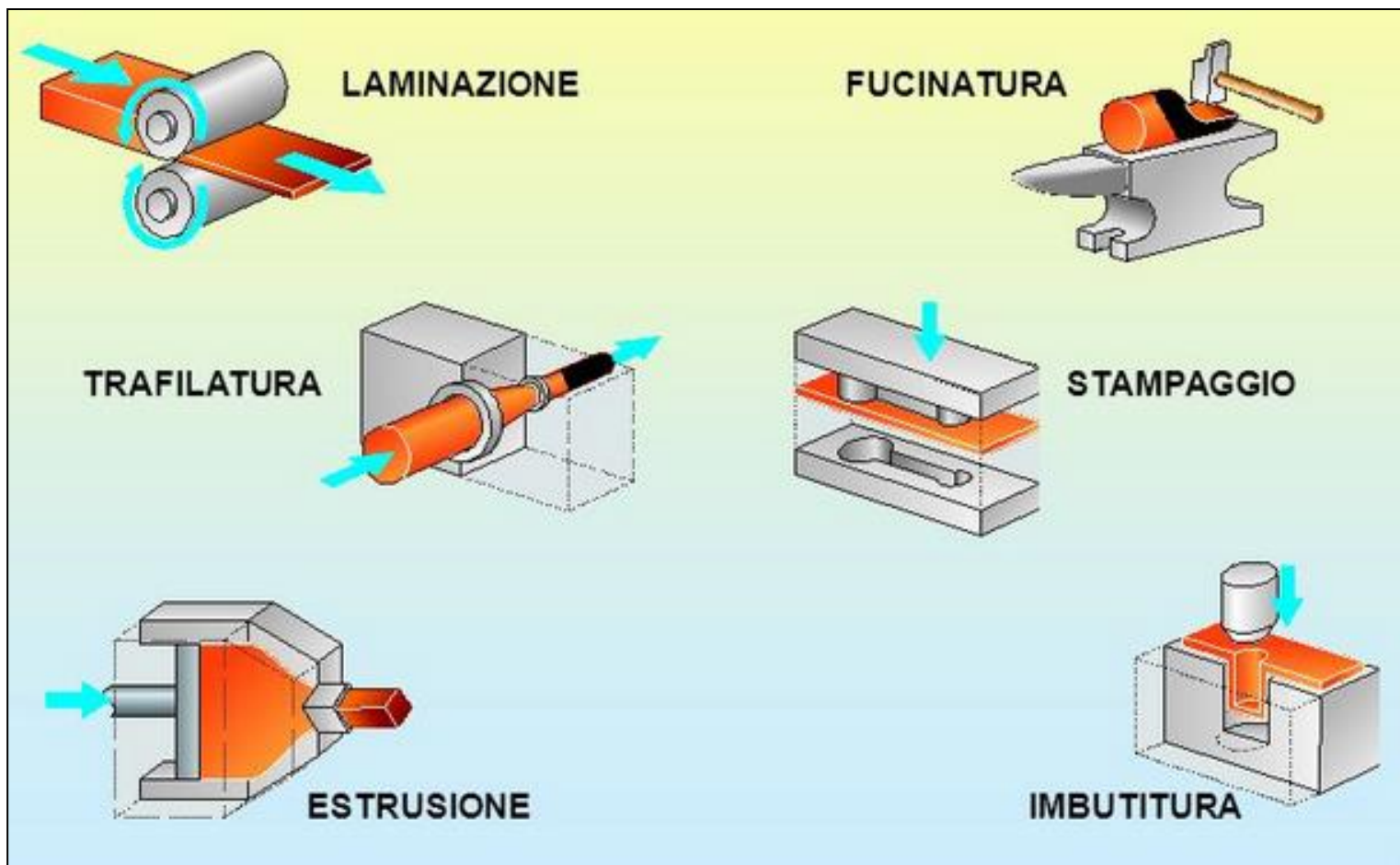
Bordi grano:

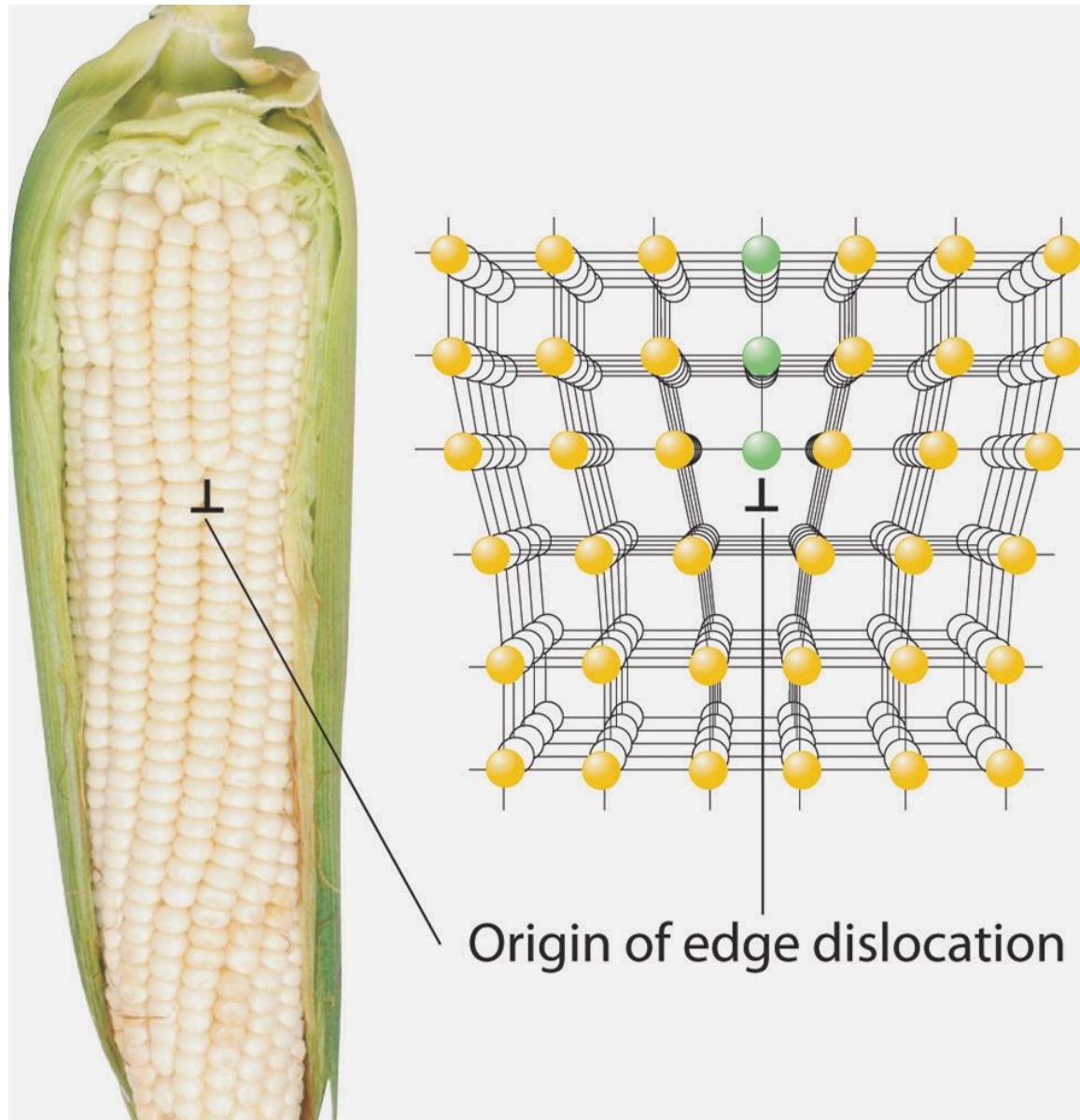
- estensione di circa 2-4 diametri atomici
- discontinuità di tipo bi-dimensionale = difetti superficiali
- difetti non in equilibrio termodinamico
- minore densità atomica => atomi in prossimità dei bordi hanno energie libere maggiori

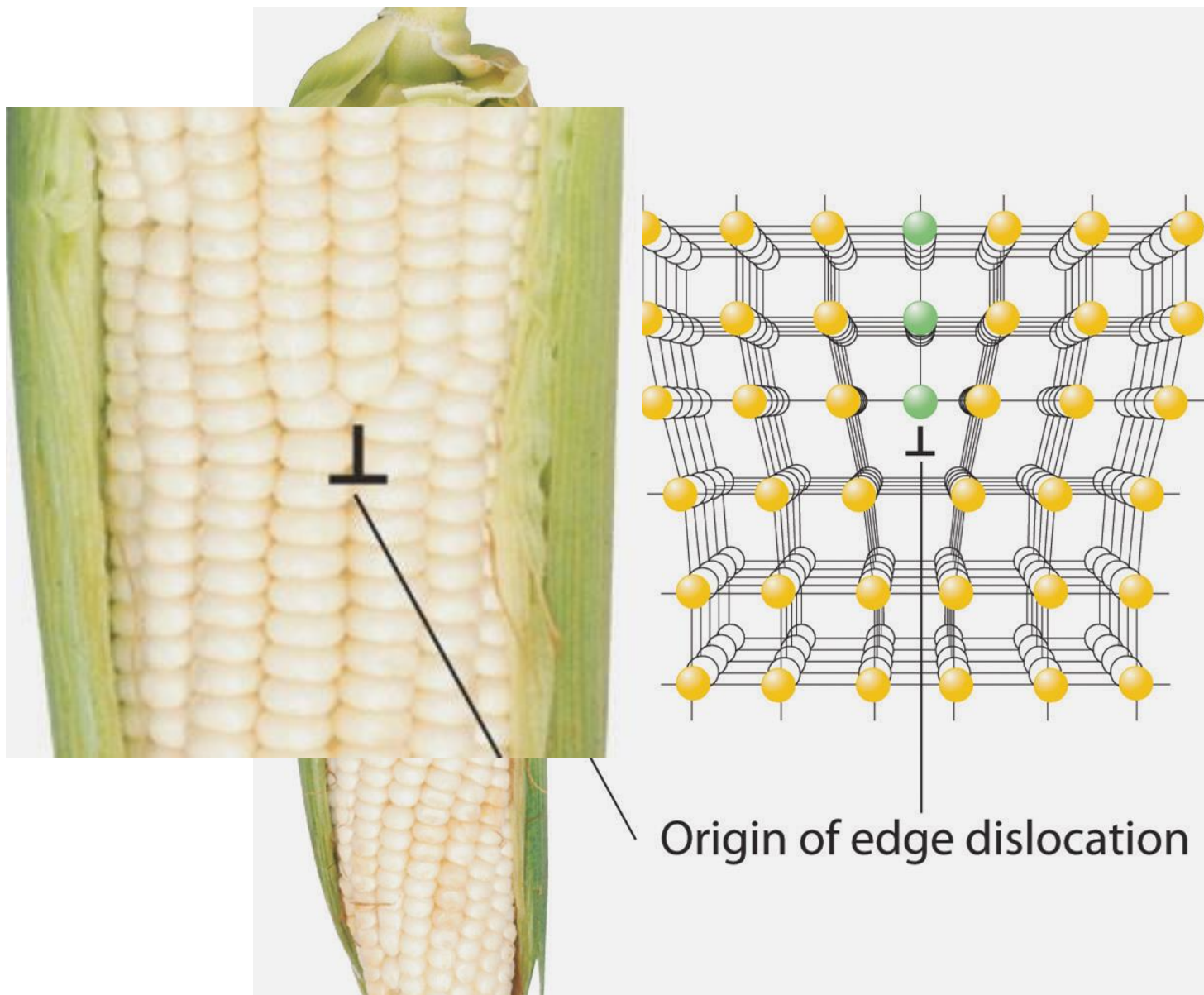
Le dislocazioni sono alla base della deformazione plastica !!

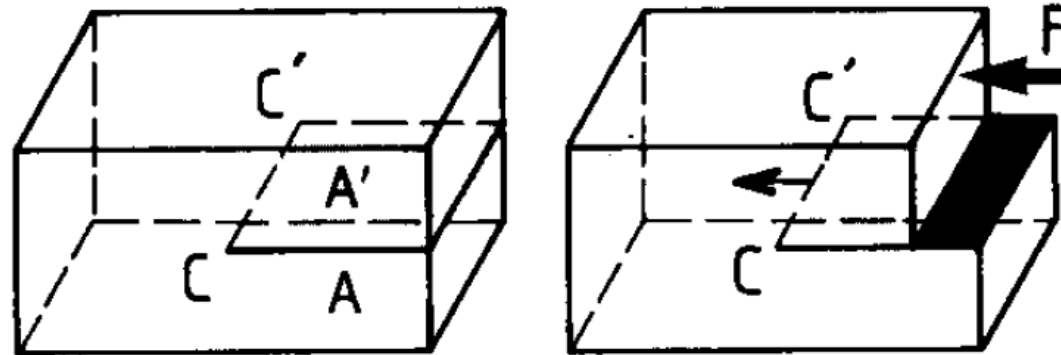
La deformazione plastica è dovuta al moto delle dislocazioni!

LAVORAZIONI per DEFORMAZIONI PLASTICHE

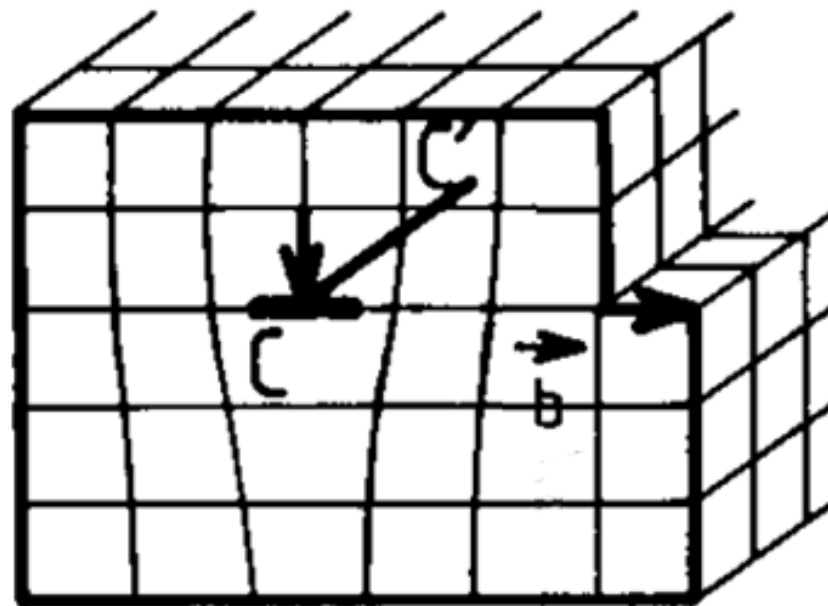


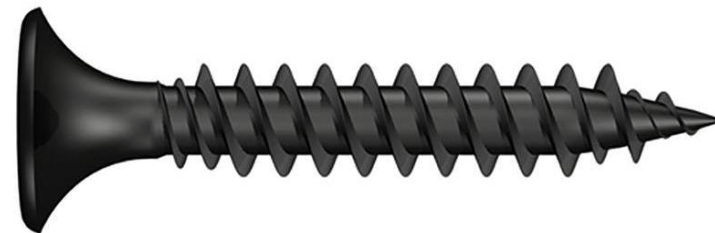
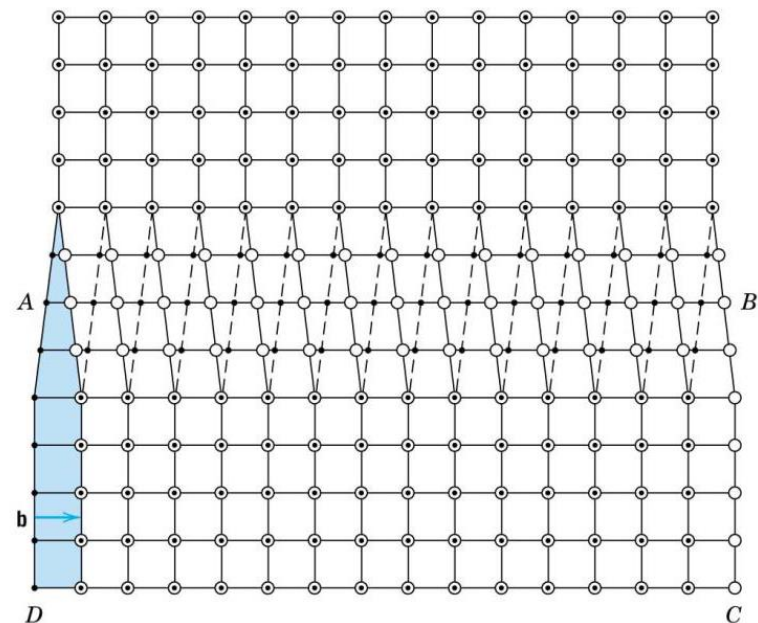
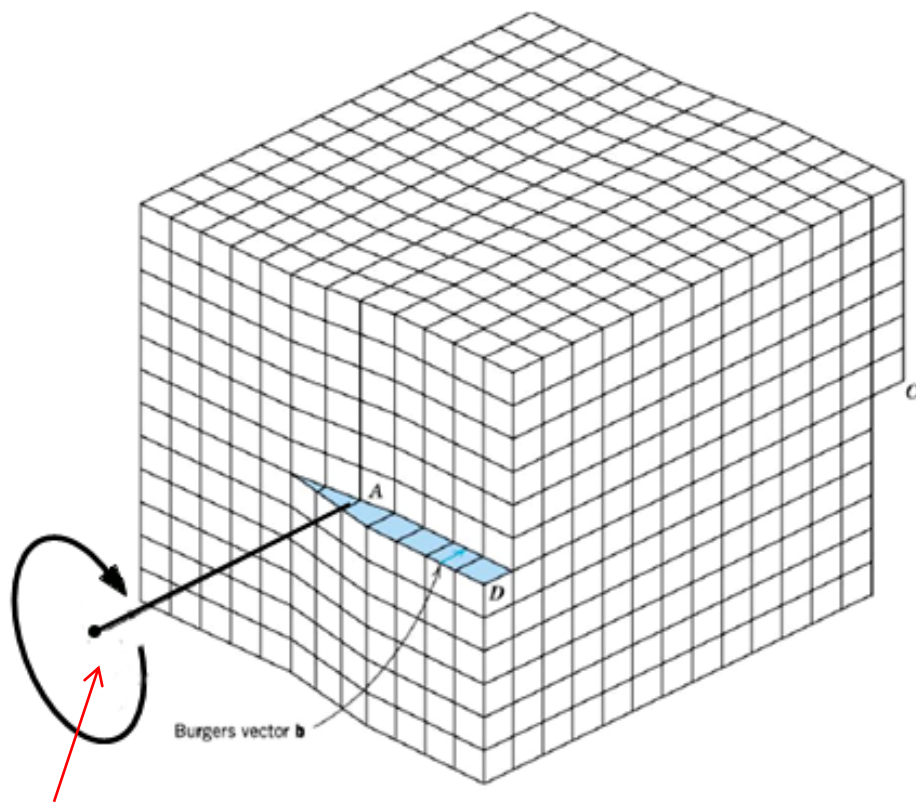






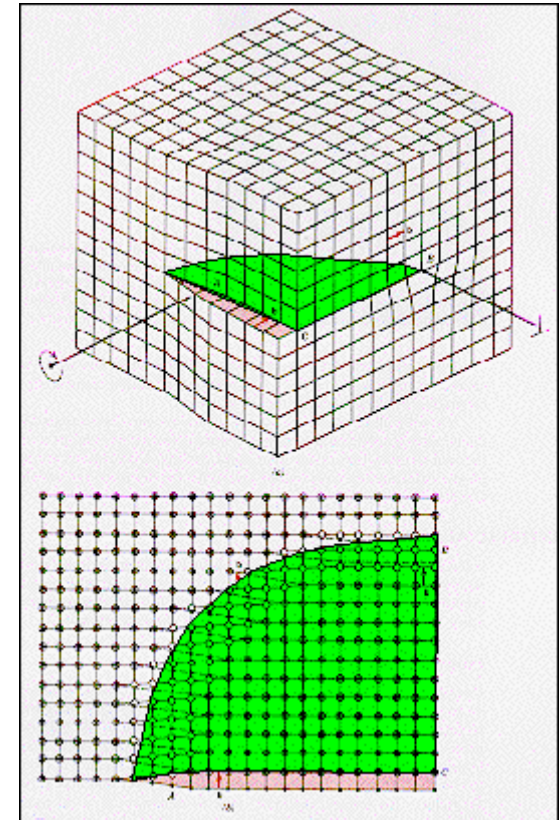
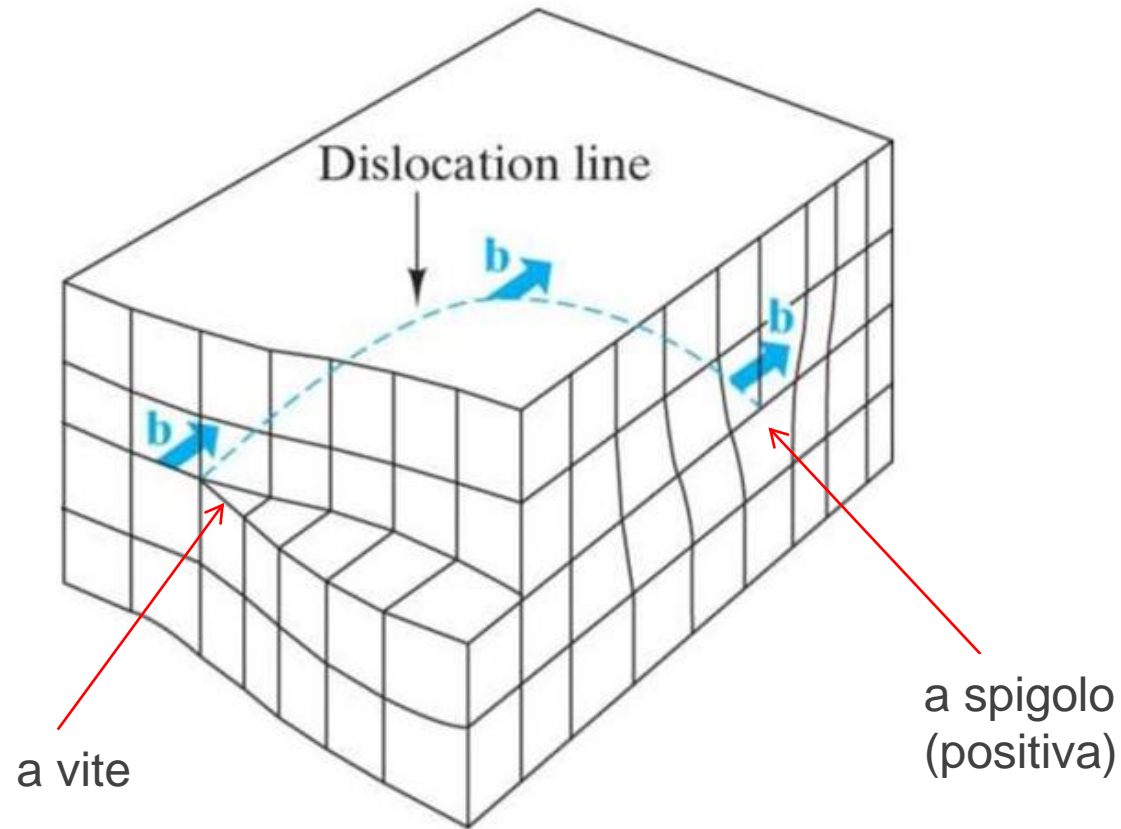

Dislocazione positiva



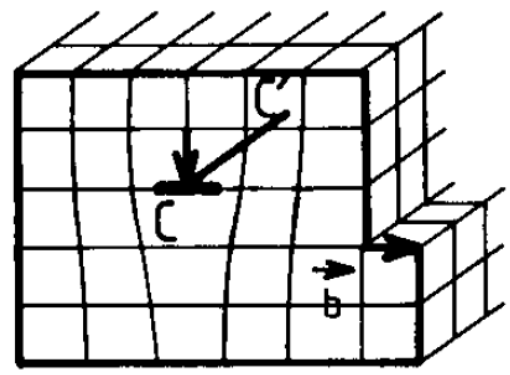
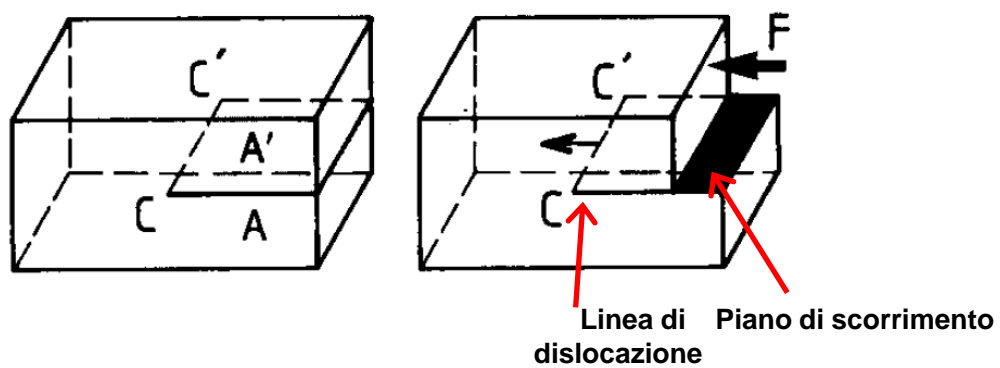


“A vite” = percorso a spirale che si deve fare, girando intorno alla linea di dislocazione, sui piani atomici

Tipologia di dislocazione più diffusa in un materiale cristallino

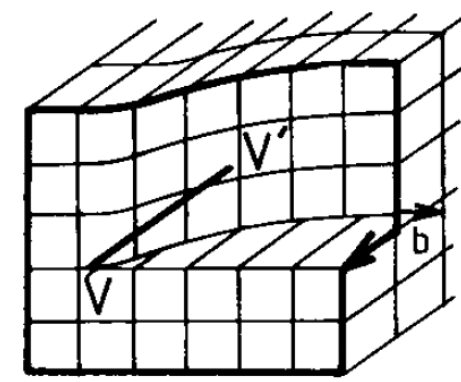
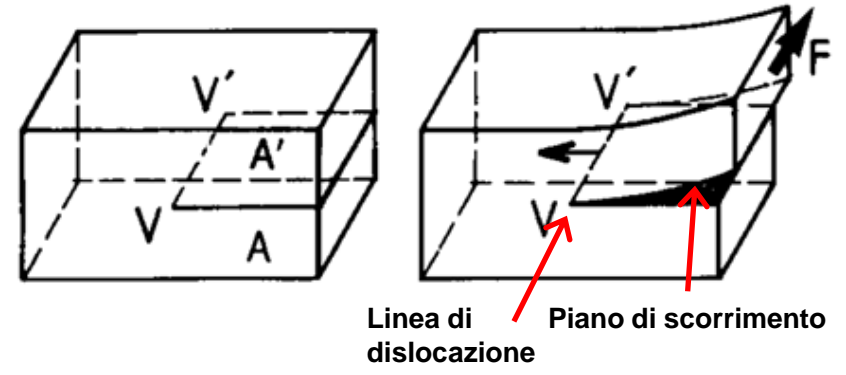


Dislocazione a spigolo



\vec{b} è: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Nel piano di scorrimento} \\ \perp \text{ linea di dislocazione } CC' \\ |\vec{b}| = \text{distanza interatomica} \end{array} \right.$

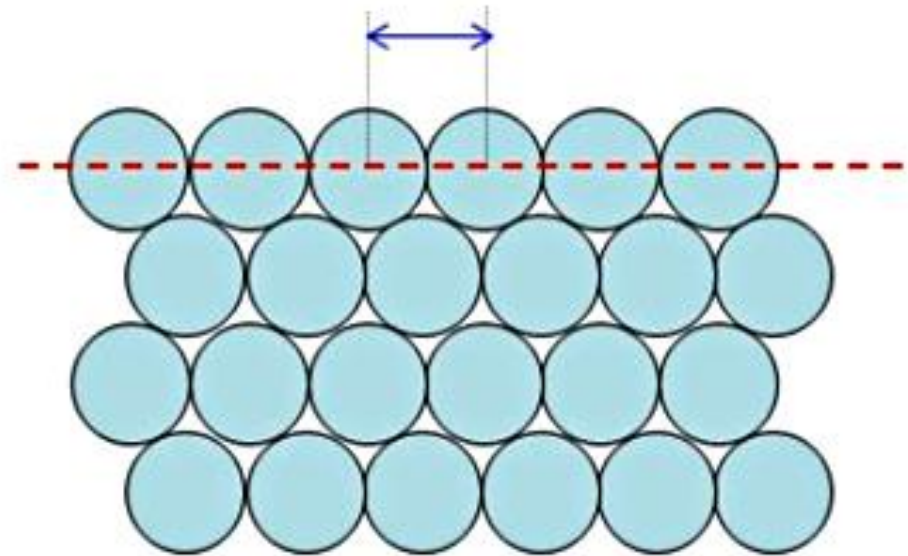
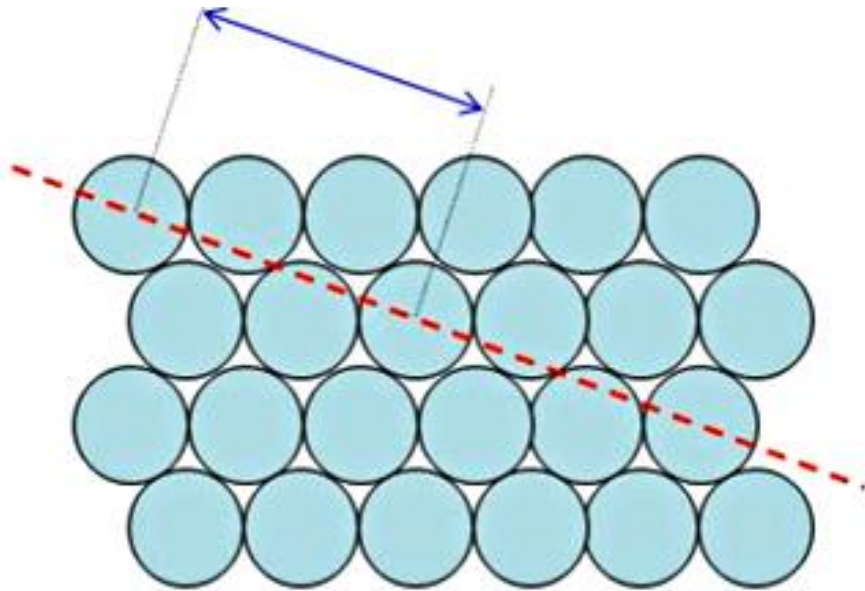
Dislocazione a vite



\vec{b} è: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Nel piano di scorrimento} \\ // \text{ linea di dislocazione } VV' \\ |\vec{b}| = \text{distanza interatomica} \end{array} \right.$

Le dislocazioni non si muovono con la stessa facilità in tutti i piani cristallografici ed in tutte le direzioni. Esistono delle direzioni preferenziali di scorrimento.

Il meccanismo *step by step* avviene con maggiore difficoltà all'aumentare della distanza tra atomi del reticolo che hanno posizioni tra loro intercambiabili. Per lo scorrimento avviene di preferenza lungo le direzioni (**direzioni di scorrimento**) e nei piani (**piani di scorrimento**) aventi la massima densità atomica. La combinazione di piani e direzioni di scorrimento si definisce **sistema di scorrimento**



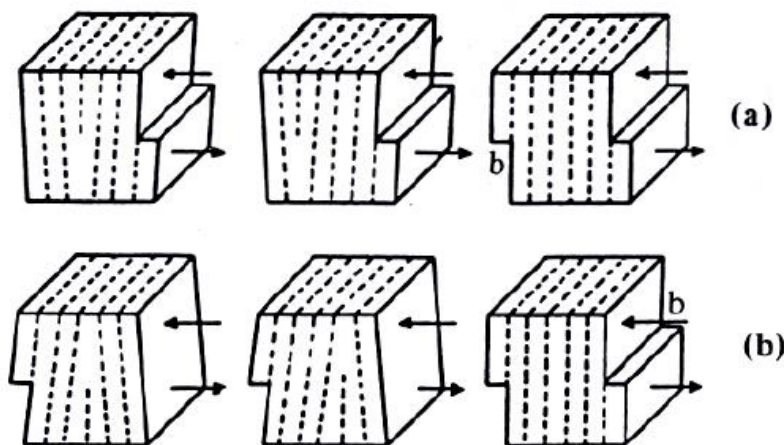
--- Piano di scorrimento
(*slip* plane)

↔ Distanza di scorrimento

Moti di scorrimento (GLIDE)

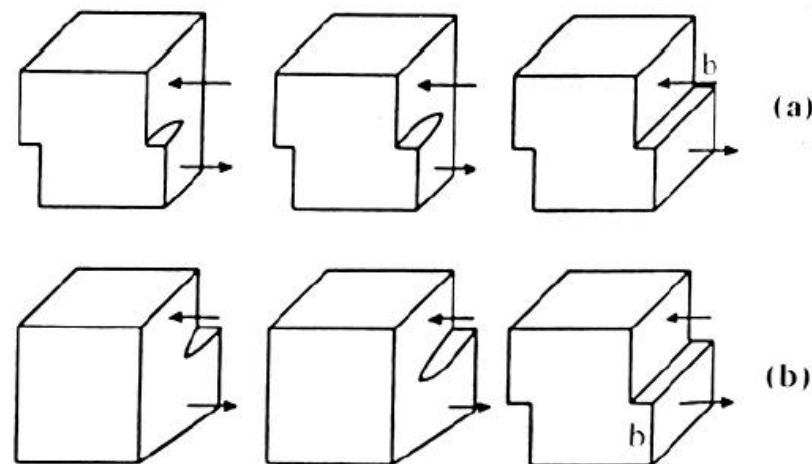
Interessano tutte le tipologie di dislocazioni

Dislocazioni a spigolo



(a) Dislocazione a spigolo positiva;
(b) Dislocazione a spigolo negativa.

Dislocazioni a vite

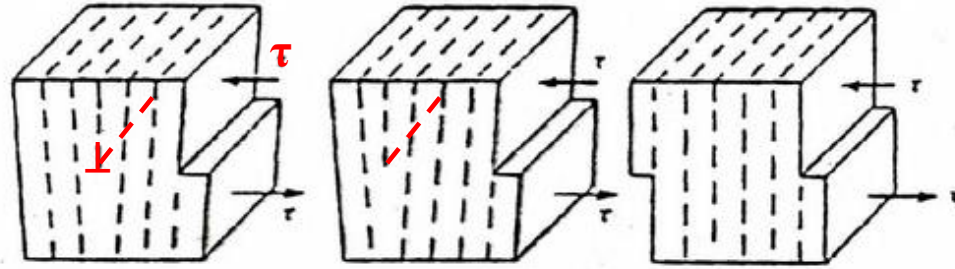


(a) Dislocazione a vite sinistrorsa;
(b) Dislocazione a vite destrorsa.

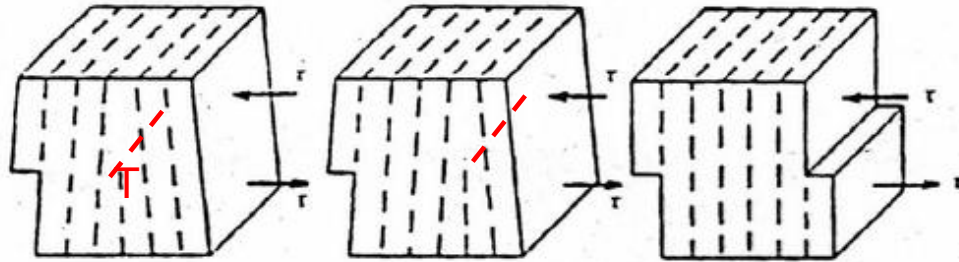
Dislocazione a spigolo: Vettore di Burgers (V.B.) perpendicolare alla linea di dislocazione; moto parallelo a V.B.

Dislocazione a vite: V.B. Parallelo alla linea di dislocazione; moto perpendicolare a V.B.

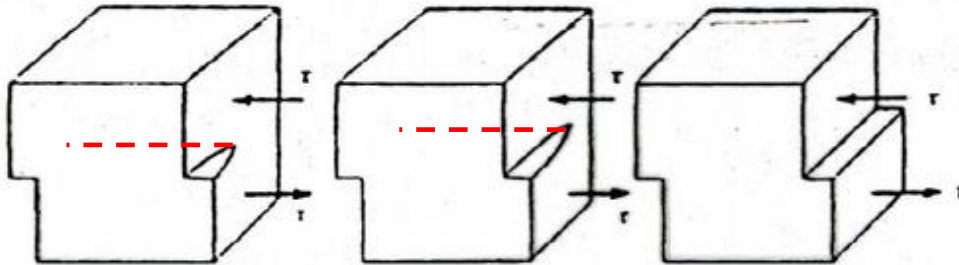
Dislocazione mista: nelle zone a carattere a spigolo il moto è parallelo a V.B., in quelle a carattere a vite è ortogonale



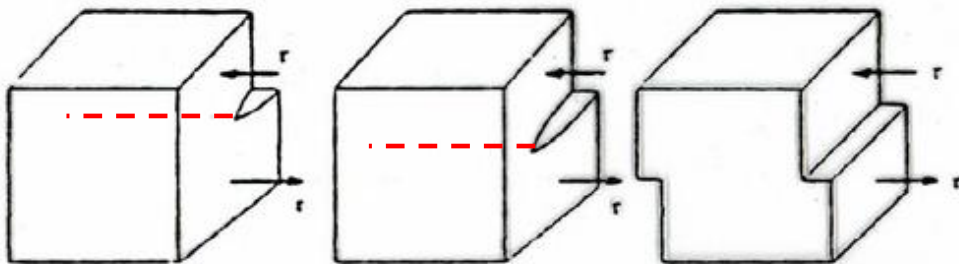
Dislocazione a spigolo positiva



Dislocazione a spigolo negativa



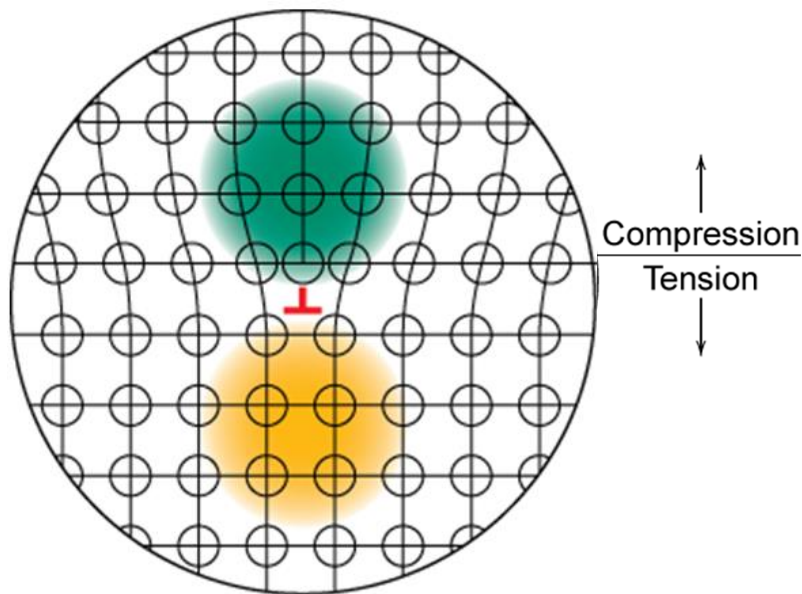
Dislocazione a vite sinistrorsa



Dislocazione a vite destrorsa

Sotto l'effetto dello stesso sforzo di taglio τ , le 4 dislocazioni si muovono producendo lo stesso evento di scorrimento (= lo stesso gradino)

La presenza di difetti implica una certa distorsione del reticolo cristallino, con zone di compressione o di trazione o di sforzi di taglio. Una dislocazione a spigolo è caratterizzata soprattutto da sforzi di trazione (+) e di compressione (-), quella a vite esclusivamente da sforzi di taglio.



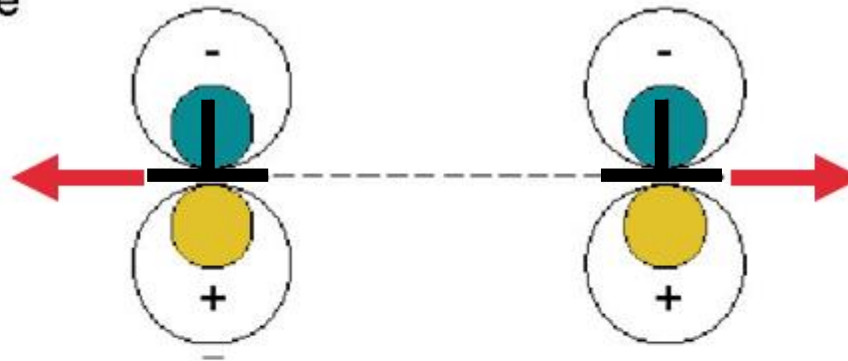
Ad ogni dislocazione è associato un campo di deformazioni dovute alla deviazione dei singoli atomi dalla loro posizione d'equilibrio.

Tali campi di deformazione possono interagire con quelli generati da altri difetti reticolari.

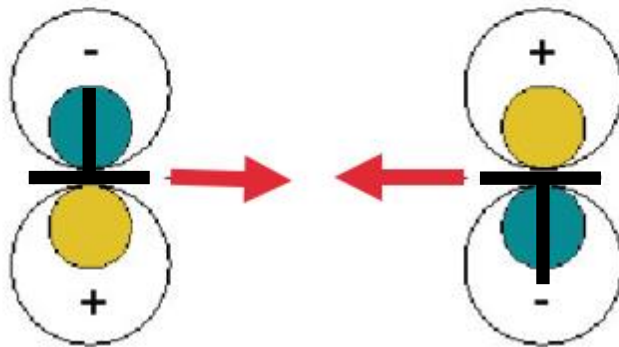
Ad esempio la presenza di atomi interstiziali posizionati nel cuore di una dislocazione a spigolo è in grado di diminuire l'energia del sistema.

INTERAZIONI TRA DISLOCAZIONI PARALLELE (es.: dislocazione a spigolo)

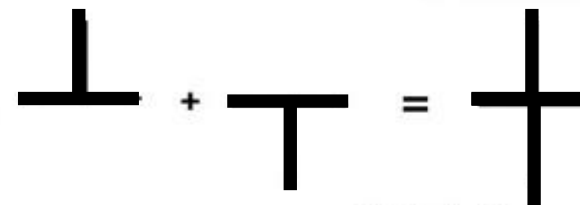
Repulsione



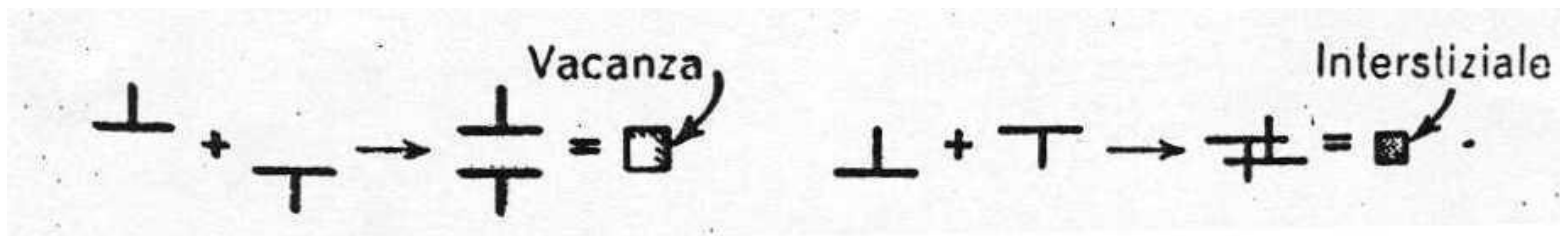
Attrazione



Annichilazione
di
Dislocazioni

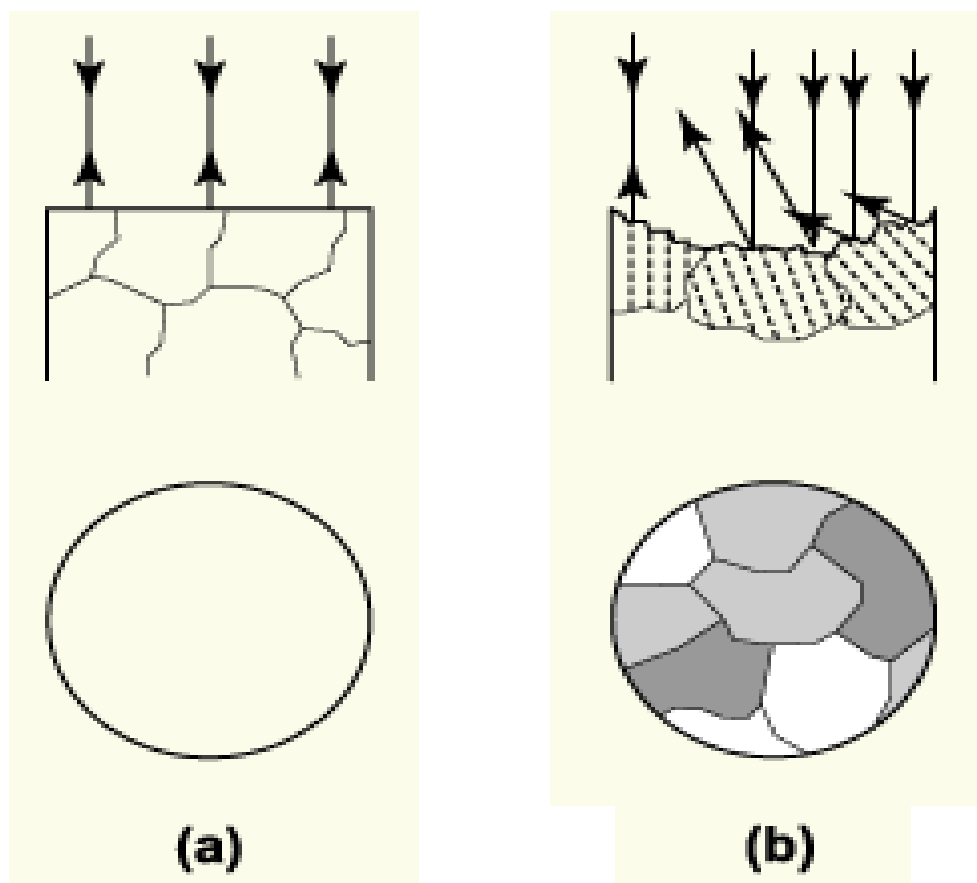


Cristallo perfetto



OSSERVAZIONI METALLOGRAFICHE:

Indagini, con il microscopio ottico, della superficie di un campione metallico, opportunamente preparata.



- (a) **Campione metallico lucidato: la luce riflette perfettamente: non si distingue nessuna caratteristica microstrutturale.**
- (b) **Campione lucidato e poi sottoposto ad un attacco chimico: si distinguono i bordi grano ed ogni grano può riflettere la luce in modo diverso.**