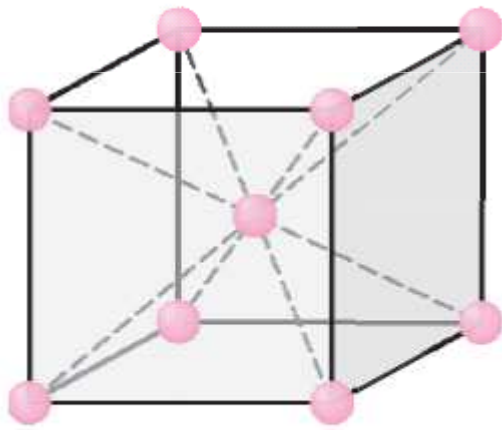
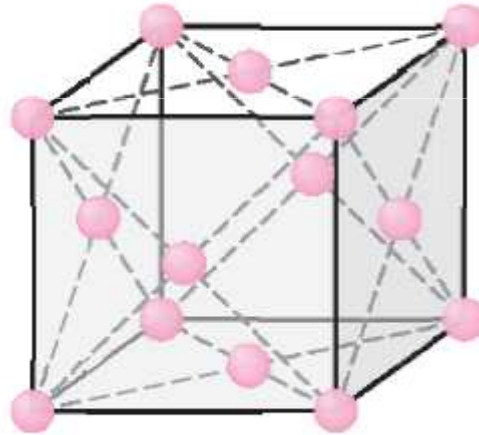


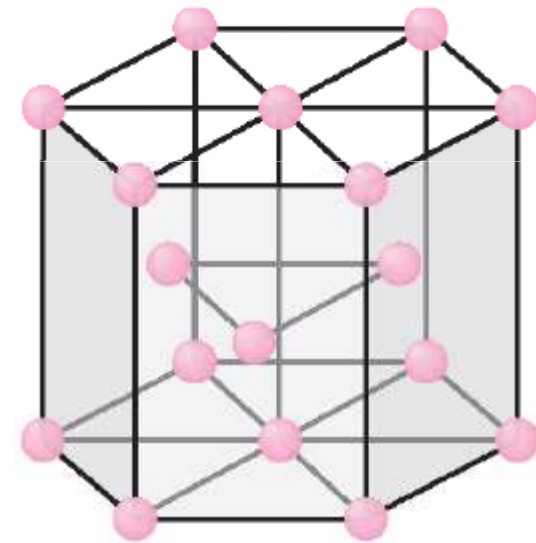
I materiali metallici sono *perfetti*?



(a)



(b)



(c)

# Difetti nei solidi cristallini

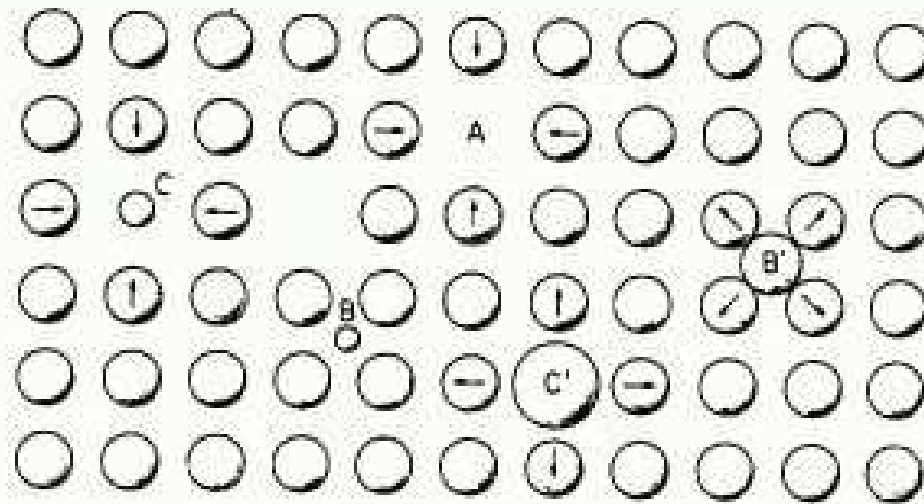
(a) difetti di punto

(b) difetti di linea o 1-D

(c) difetti di superficie o 2-D

## (a) Difetti di punto

- (1) **vacanze** (posizioni reticolari vuote)
- (2) **atomi interstiziali** (atomi estranei di piccole dimensioni che occupano gli spazi esistenti tra le posizioni reticolari); **atomi autointerstiziali** (nel caso di atomi uguali a quelli del reticolo)
- (3) **atomi sostituzionali** (atomi in posizioni reticolari diversi da quelli costituenti il reticolo)



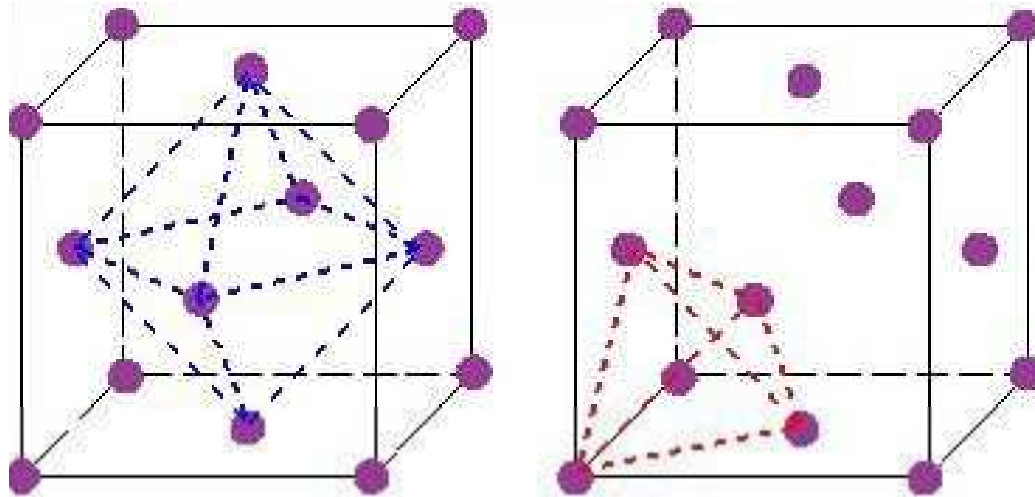
**Fig. 7.1** Tipi di difetti puntiformi in un cristallo: (A) vacanza, (B) atomo estraneo interstiziale (B') atomo autointerstiziale, (C) atomo estraneo sostituzionale

Ad ogni temperatura esiste una concentrazione di equilibrio di vacanze che aumenta all'aumentare della temperatura. La frazione molare di vacanze  $x$  in equilibrio è data da:

$$x = n/N = \exp(-\Delta G_f / RT)$$

# Posizioni interstiziali

Le posizioni interstiziali possono essere **ottaedriche** o **tetraedriche** a seconda della loro geometria.



Nel reticolo **CFC** i vuoti **ottaedrici** stanno al **centro** della cella elementare (possono ospitare 1 atomo) e degli spigoli del cubo (al centro di 12 spigoli, ogni spigolo è condiviso da 4 celle, quindi possono ospitare 3 atomi). Ci sono quindi **quattro posizioni interstiziali ottaedriche** per ogni cella CFC.

Ricordando che in ogni cella CFC contiene 4 atomi per cella, c'è una posizione interstiziale ottaedrica per ogni atomo nella cella CFC.

La cella CFC contiene inoltre **otto posizioni tetraedriche**, cioè **due** siti interstiziali tetraedrici per atomo.

# Difetti nei solidi cristallini

(a) difetti di punto

(b) difetti di linea o 1-D

(c) difetti di superficie o 2-D

# Difetti di linea (o dislocazioni)

Perturbazione nella disposizione degli atomi nell'intorno di una linea, detta **linea di dislocazione**, generata dallo scorrimento su un piano di una parte del reticolo cristallino.

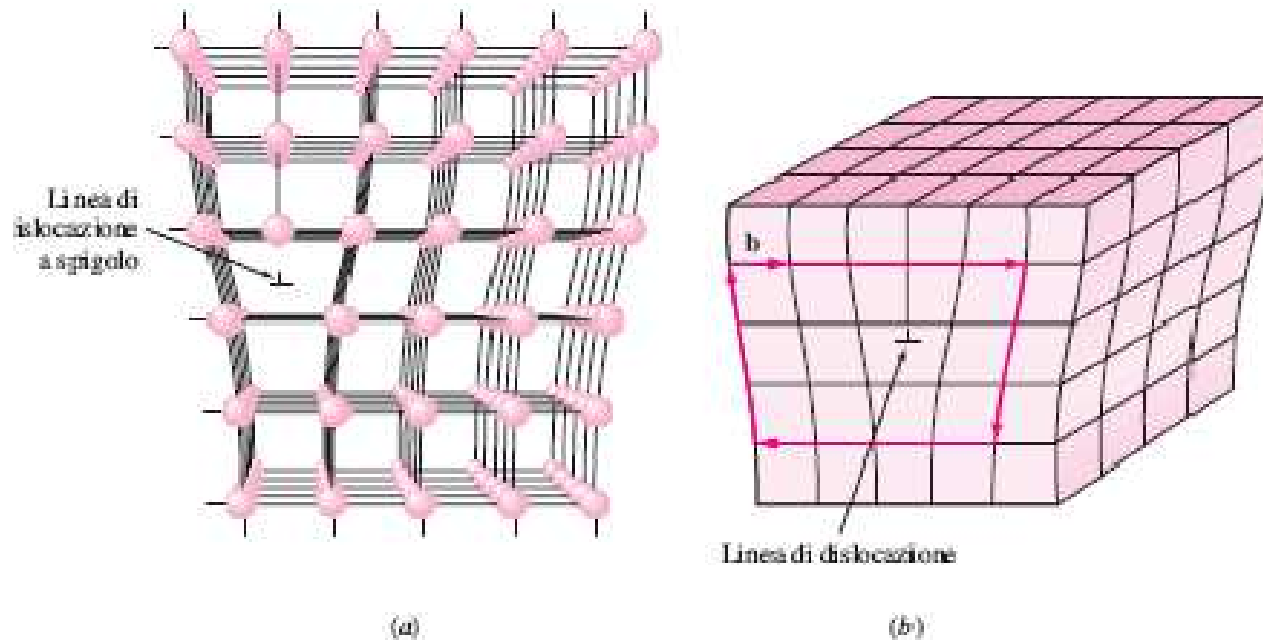
Le dislocazioni possono essere:

*(a)* dislocazione a spigolo

*(b)* dislocazione a vite

*(c)* dislocazioni miste

# Dislocazione a spigolo

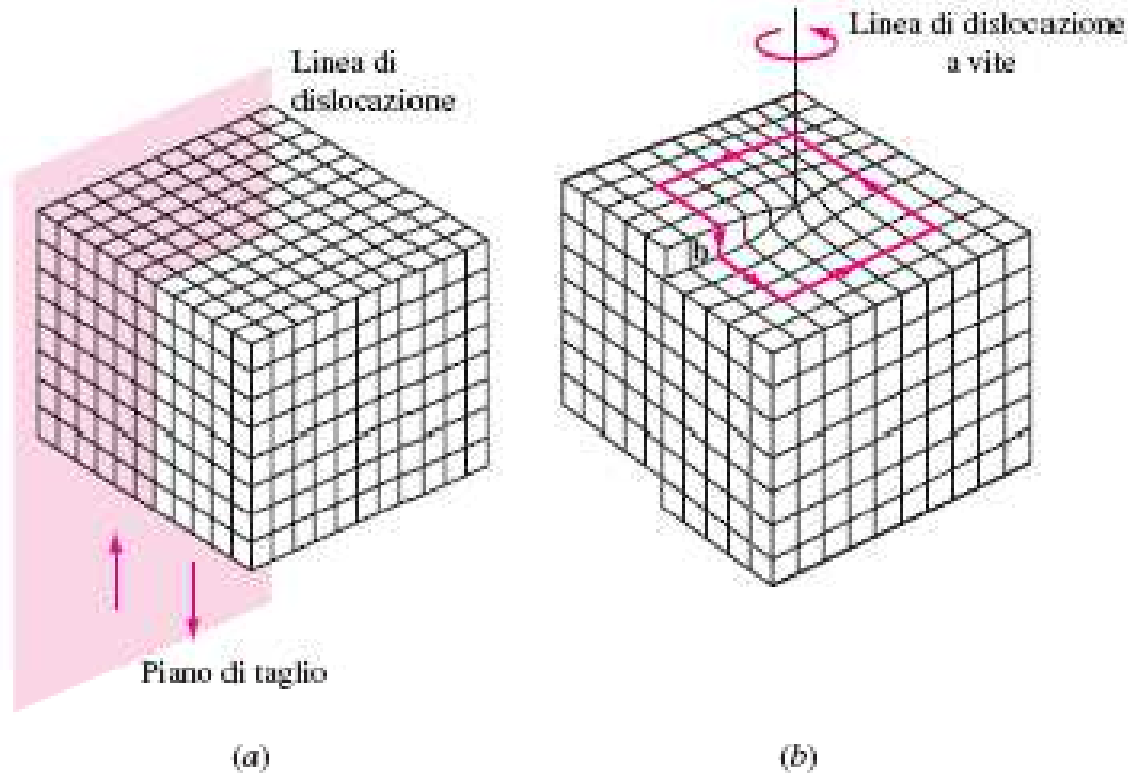


Consiste nella presenza di un piano reticolare non completo che termina in una linea (detta linea di dislocazione), generato dallo **scorrimento** su un piano di una parte di reticolo cristallino rispetto a quella inferiore, **in direzione perpendicolare alla linea di dislocazione**.

Questa dislocazione viene detta positiva( $\perp$ ) quando il semipiano in più è al di sopra del piano di scorrimento, negativa( $\top$ ) quando il semipiano in più è al di sotto del piano di scorrimento.



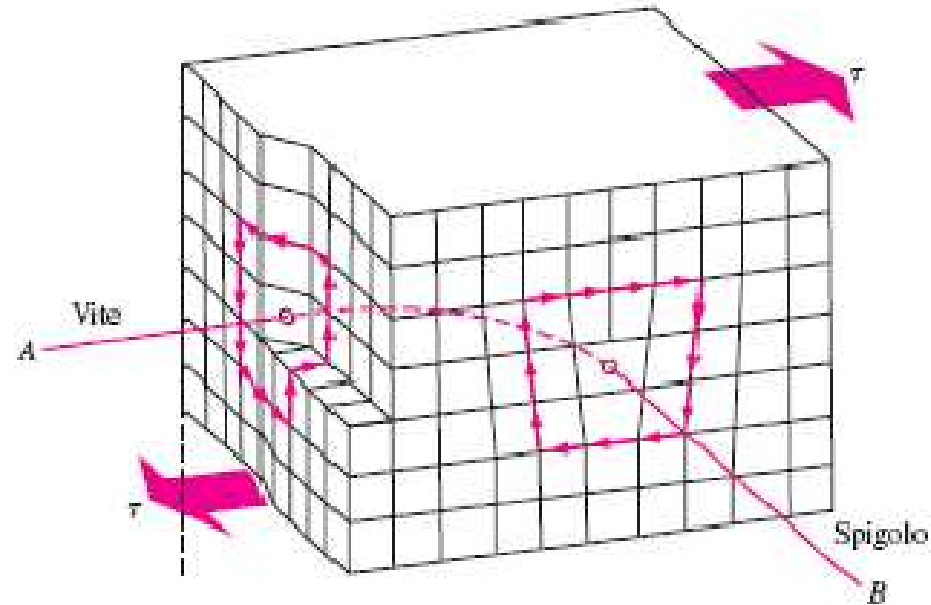
# Dislocazione a vite



Disposizione elicoidale (a vite) degli atomi intorno ad una linea (linea di dislocazione), generata dallo scorrimento su un piano della parte superiore del reticolo rispetto a quella inferiore, in direzione parallela alla linea di dislocazione.



# Dislocazione mista



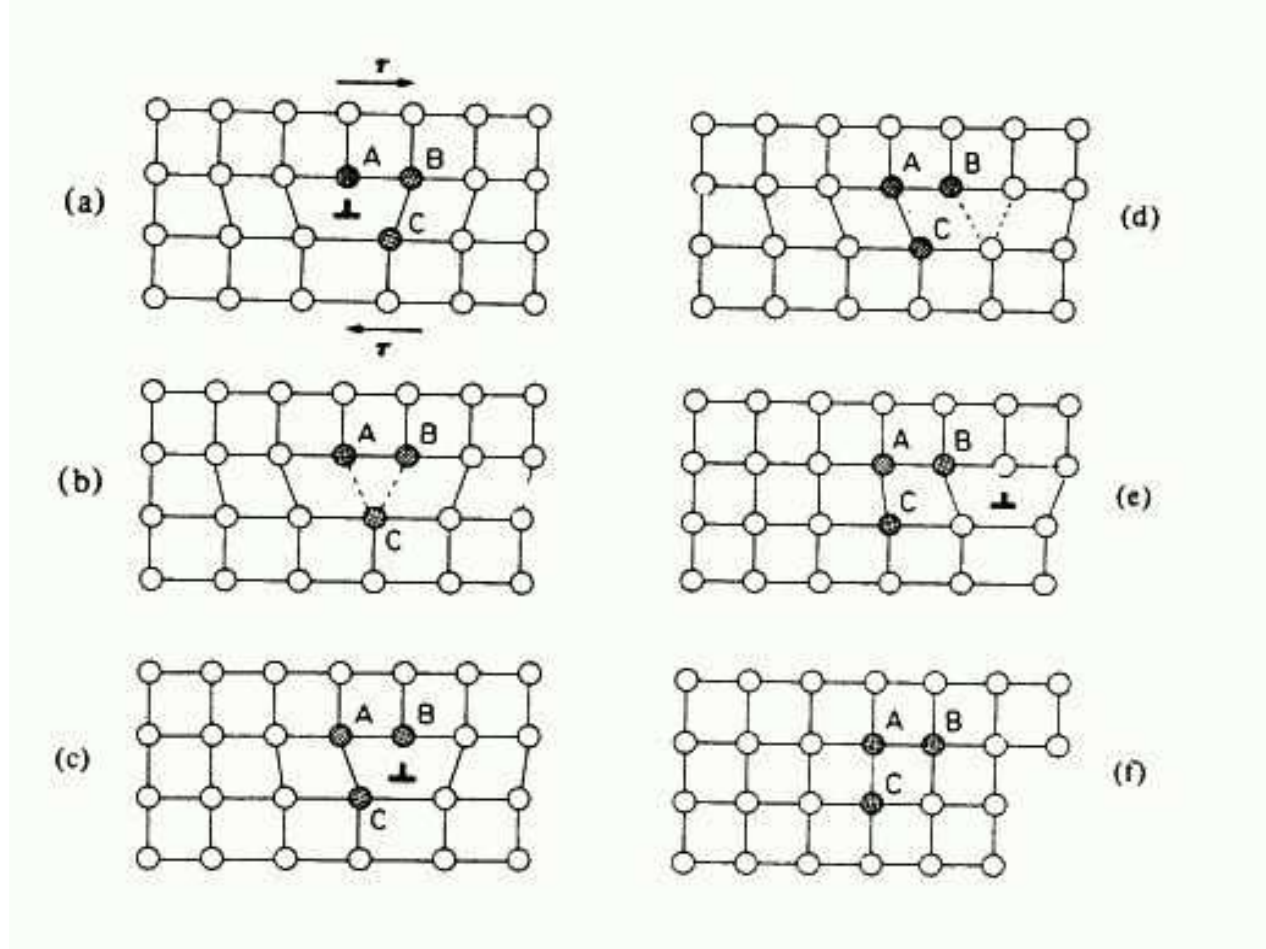
**Figura 4.21**

Dislocazione mista in un cristallo. La linea di dislocazione  $AB$  è di tipo solo a vite a sinistra dove entra nel cristallo e di solo tipo a spigolo a destra dove lascia il cristallo.  
(Da J. Wulff et al., "The Structure and Properties of Materials", vol. 3: "Mechanical Behavior", Wiley, 1965, p. 65.)

Può sempre essere scomposta in una componente a spigolo ed una a vite

# MOVIMENTO DELLE DISLOCAZIONI

- È alla base del meccanismo di **deformazione plastica** dei materiali metallici a "bassa temperatura".
- Coinvolge la rottura contemporanea di **un numero limitato di legami**.
- Avviene sempre in direzione perpendicolare alla linea di dislocazione.



# Difetti nei solidi cristallini

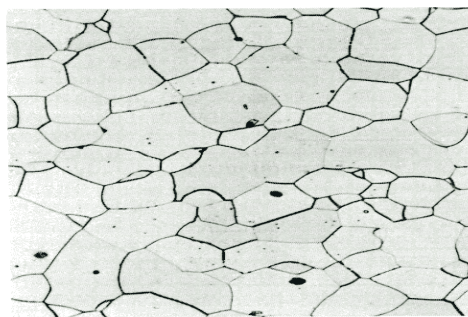
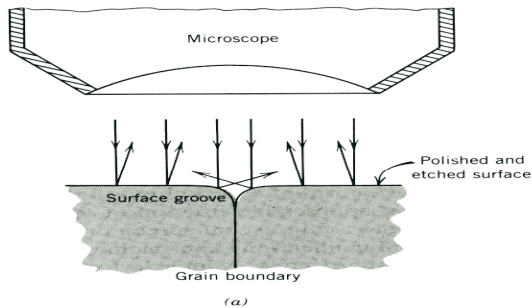
(a) difetti di punto

(b) difetti di linea o 1-D

(c) Difetti di superficie o 2-D

# Difetti di superficie (bordi di grano)

Difetti 2-D presenti in materiali policristallini; sono regioni che separano grani (cristalli) di diversa orientazione.

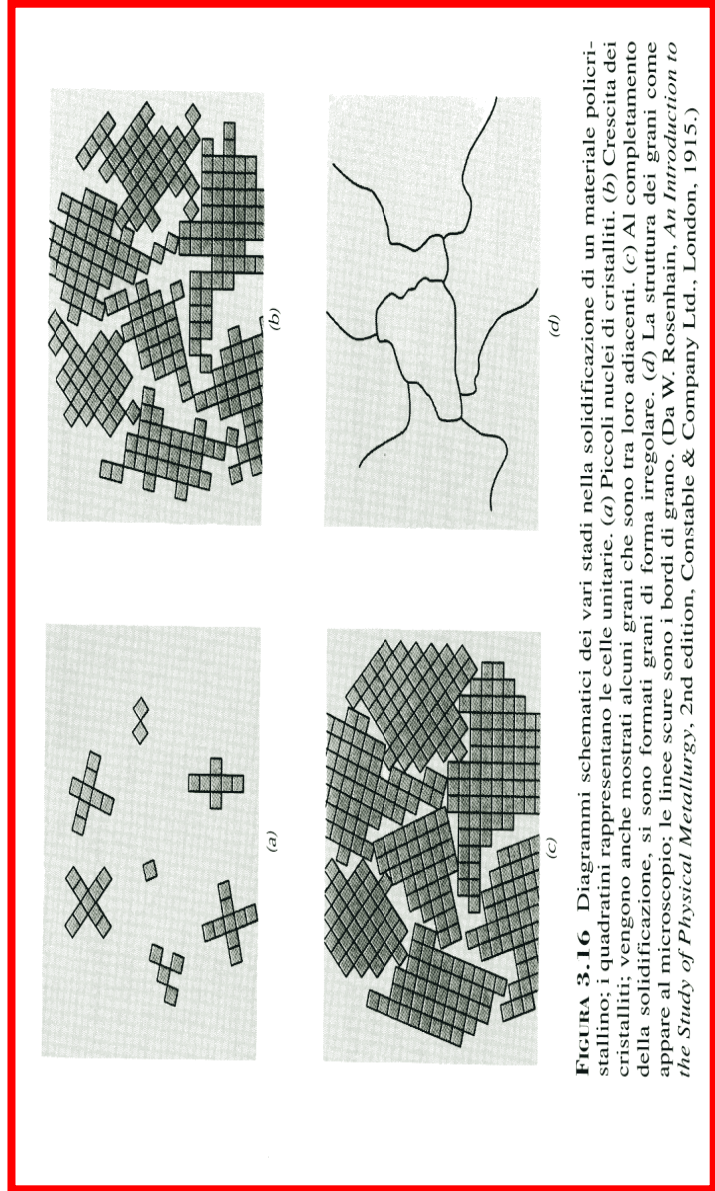
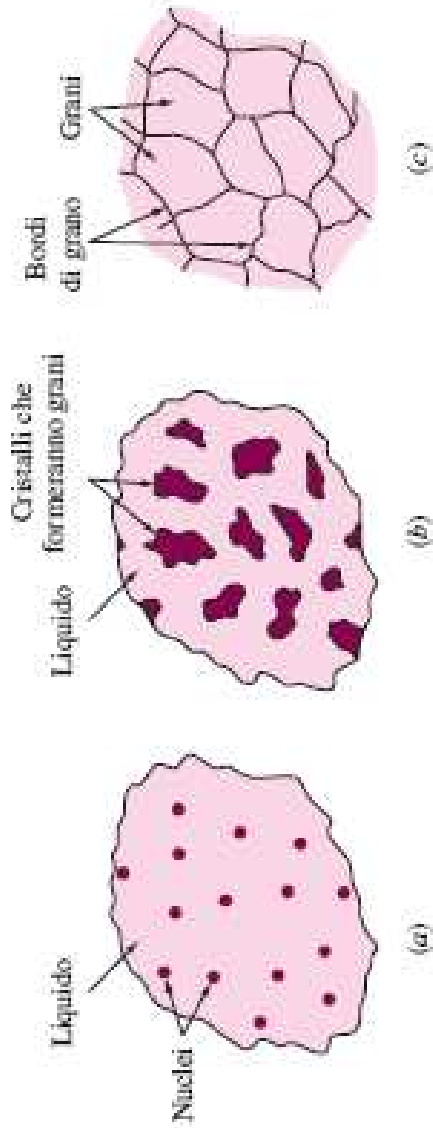


**Figure 4.12** (a) Section of a grain boundary and its surface groove produced by etching; the light reflection characteristics in the vicinity of the groove are also shown. (b) Photomicrograph of the surface of a polished and etched polycrystalline specimen of an iron-chromium alloy in which the grain boundaries appear dark. 100 $\times$ . (Photomicrograph courtesy of L. C. Smith and C. Brady, the National Bureau of Standards, Washington, DC.)

Le regioni in cui i grani si toccano, vengono chiamati **bordi di grano** e costituiscono delle zone di transizione caratterizzate da una struttura più o meno perturbata che permette l'adattamento geometrico e cristallografico dei differenti cristalli

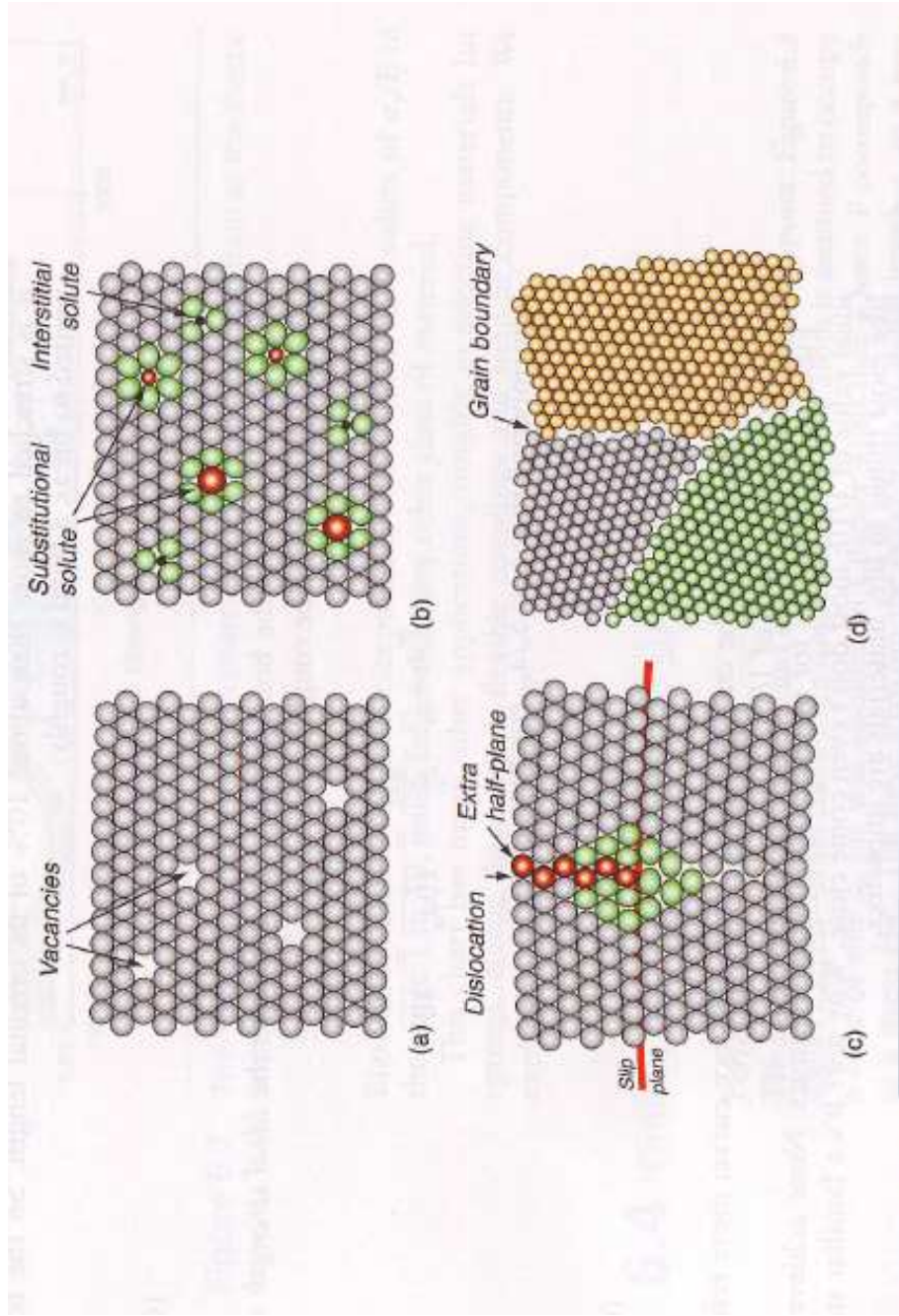
**Figura 4.2**

Schematizzazione dei vari stadi nella solidificazione dei metalli: (a) formazione di nuclei, (b) crescita di nuclei nei cristalli e (c) unione dei cristalli per formare i grani, connessi tra loro mediante i bordi di grano. Si noti che i grani sono orientati in modo casuale.



**FIGURA 3.16** Diagrammi schematici dei vari stadi nella solidificazione di un materiale policristallino; i quadratini rappresentano le celle unitarie. (a) Piccoli nuclei di cristalliti. (b) Crescita dei cristalliti; vengono anche mostrati alcuni grani che sono tra loro adiacenti. (c) Al completamento della solidificazione, si sono formati grani di forma irregolare. (d) La struttura dei grani come appare al microscopio; le linee scure sono i bordi di grano. (Da W. Rosenhain, *An Introduction to the Study of Physical Metallurgy*, 2nd edition, Constable & Company Ltd., London, 1915.)





**Figure 6.10** Defects in crystals. (a) Vacancies—missing atoms. (b) Foreign (solute) atom on interstitial and substitutional sites. (c) A dislocation—an extra half-plane of atoms. (d) Grain boundaries.



# Leghe metalliche

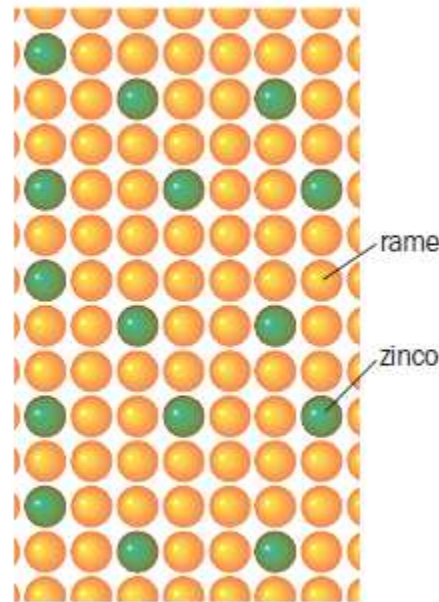
Si definisce **lega metallica** una miscela solida mono o polifasica composta da **2 o più elementi** di cui almeno uno, **l'elemento principale**, è un **metallo**.

**Esempi:** Acciai (leghe Fe-C con tra 0.06% e 2.06 %C), Ghise (leghe Fe-C con tra 2.06% e 6.67 %C), Bronzo (leghe Cu-Sn), Ottone (leghe Cu-Zn)

**Fase:** ogni porzione omogenea di materia che abbia uguale composizione chimica, delimitata da superfici fisiche ben definite.

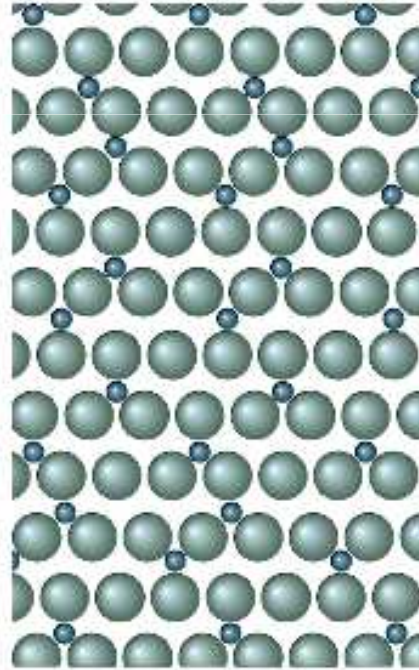
# Struttura di leghe metalliche

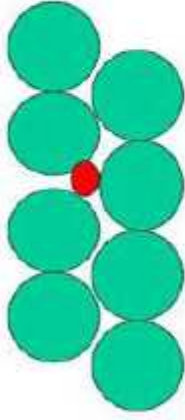
Fondendo insieme metalli diversi si possono ottenere leghe che, a seconda della loro struttura vengono distinte in **leghe di sostituzione** e **leghe interstiziali**. Nelle leghe di sostituzione, gli atomi di un altro metallo sostituiscono altrettanti atomi nel reticolo cristallino del metallo principale; perché ciò accada, gli atomi dei due metalli devono avere dimensioni simili. è il caso dell'ottone, una lega rame-zinco.



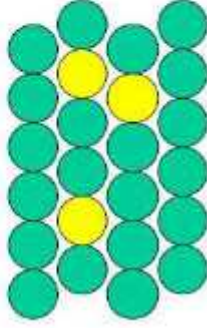
# Struttura di leghe metalliche

Nelle leghe interstiziali, atomi di piccole dimensioni si collocano nelle cavità del reticolo del metallo principale. Un tipico esempio è rappresentato dall'acciaio, una lega in cui tra gli atomi di ferro sono presenti atomi di carbonio.





**S.S interstiziali:** gli atomi del soluto sono talmente piccoli (C, N, B, H) da occupare i vuoti tra gli atomi di solvente nel reticolo cristallino.



**S.S sostituzionali:** il soluto prende il posto del solvente nel reticolo cristallino (possono essere ordinate o disordinate). Si formano quando atomi di soluto e del solvente hanno dimensioni non troppo dissimili. Anche se la struttura cristallina rimane inalterata, le dimensioni del reticolo variano progressivamente con l'aggiunta di soluto, ma queste variazioni non possono superare un certo valore. Ad es. Cu e Ni oppure Au e Ag, essendo fra loro molto simili, possono dare completa solubilità sostituzionale senza che si cambi il tipo di reticolo cristallino.

Quando, invece, la solubilità del soluto è limitata, si formano i **composti intermetallici**: caratterizzati da reticoli cristallini differenti da quelli degli elementi puri e da rapporti particolari e ben definiti fra gli elementi che li compongono (es:  $\text{Fe}_3\text{C}$ : carburo di Fe, caratterizzato da 1 atomo di C ogni 3 di Fe).