

Corso di Laurea in Ingegneria Edile (A.A. 2024-25)

«Tecnologia dei Materiali e Chimica Applicata»

(Prof. Fabio Iucolano)

Difetti reticolari



Introduzione ai difetti

Nell'ambito della trattazione dei **solidi cristallini ideali** abbiamo ipotizzato una struttura caratterizzata da perfetto ordine, con gli atomi presenti in tutte e sole le posizioni reticolari.



Nella realtà non è così, poiché i **solidi reali** presentano dei **difetti**, da intendersi come «mancanza dell'ordine previsto», «interruzione della periodicità del cristallo».

La concentrazione e la tipologia dei difetti dipendono dalle:

Condizioni in cui si è formato il cristallo

Condizioni esterne a cui è sottoposto (T, P, altri elementi..)



In tale contesto la parola «difetto» non deve essere intesa con la comune accezione negativa del termine: si vedrà infatti che la loro presenza incide (spesso migliorandole) su alcune importanti **proprietà tecnologiche dei materiali** come la deformabilità a freddo delle leghe, la conduttività elettronica dei semiconduttori, la velocità di diffusione degli atomi e la corrosione dei metalli.



Classificazione dei difetti

Puntiformi

Sono localizzati in una zona molto circoscritta del reticolo e coinvolgono un numero ridotto di atomi.

Lineari

Si estendono lungo una direzione del reticolo.

Superficiali

Interessano tutta una superficie all'interno del reticolo.

N.B. Vedremo che tali difetti reticolari hanno un'influenza determinante su varie proprietà dei materiali!



I difetti puntiformi

Difetti di natura fisica (intrinseci)

Vacanze: sono posizioni reticolari non occupate da alcun atomo.

Autointerstiziali: sono atomi del materiale stesso che non occupano una normale posizione reticolare.

Difetti di natura chimica (estrinseci)

Sostituzionali: atomi di elementi diversi (soluti) che occupano normali posizioni nel reticolo del materiale ospitante (solvente).

Interstiziali: atomi di soluto che non occupano normali posizioni reticolari.



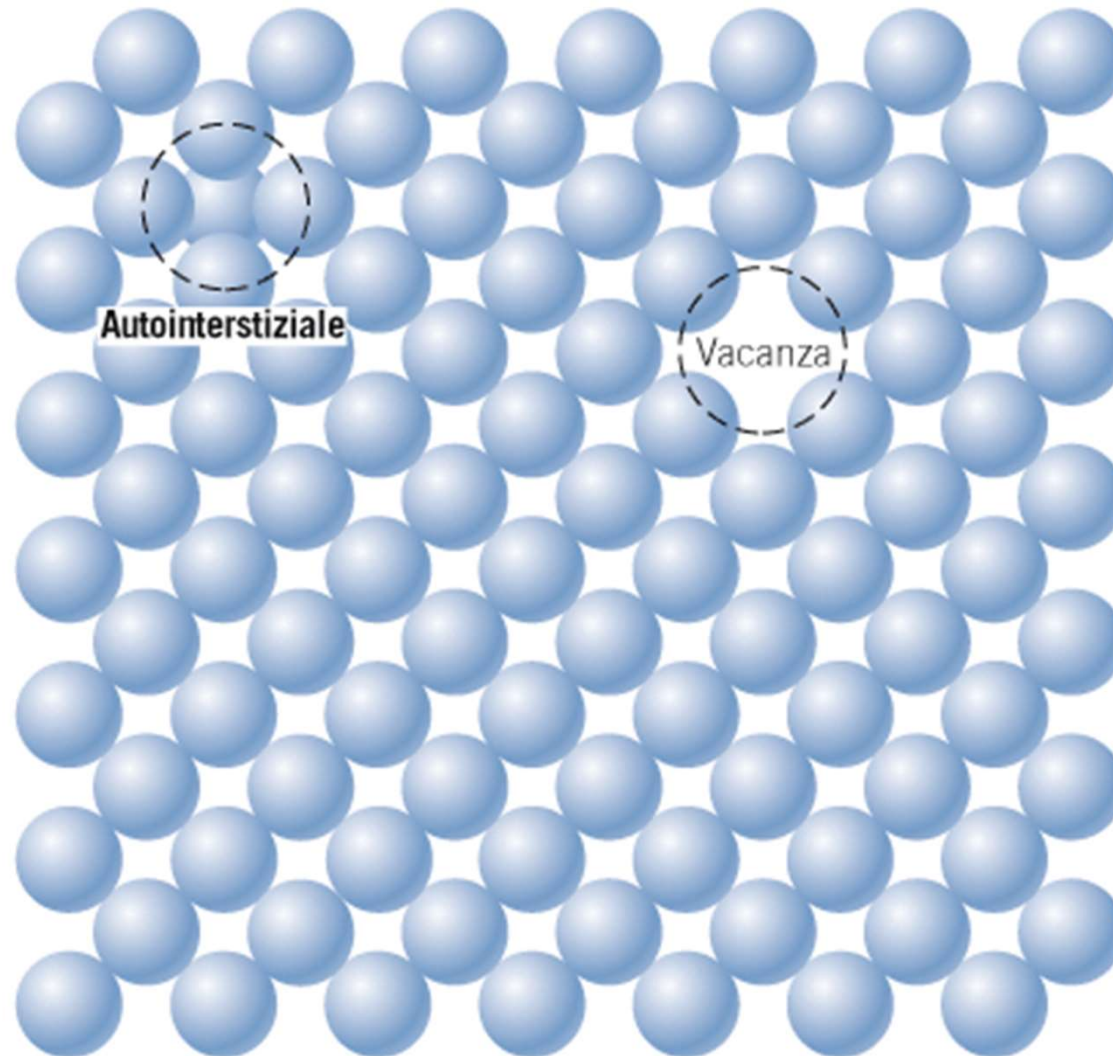
Pur essendo limitati a piccole zone, i difetti puntuali possono interagire con altri difetti del materiale e possono migrare facilmente nel cristallo, tramite un **meccanismo di diffusione allo stato solido**, che avviene con probabilità crescente al crescere della temperatura.



DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

Difetti di punto di natura fisica (**intrinseci**)

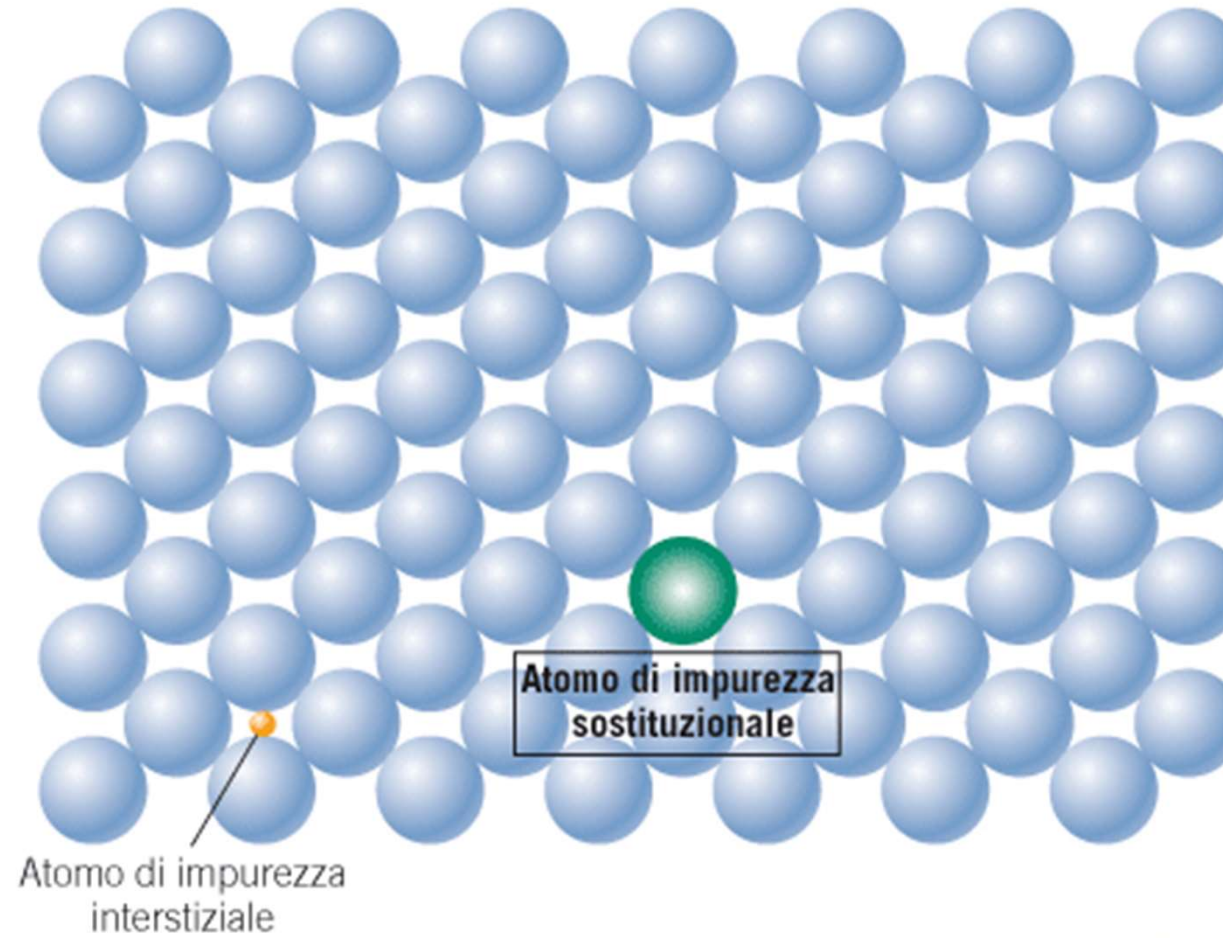




DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

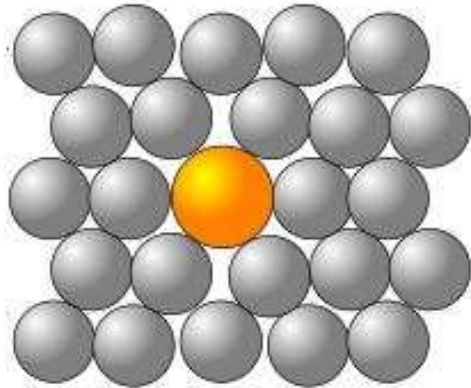
Difetti di punto di natura chimica (estrinseci)



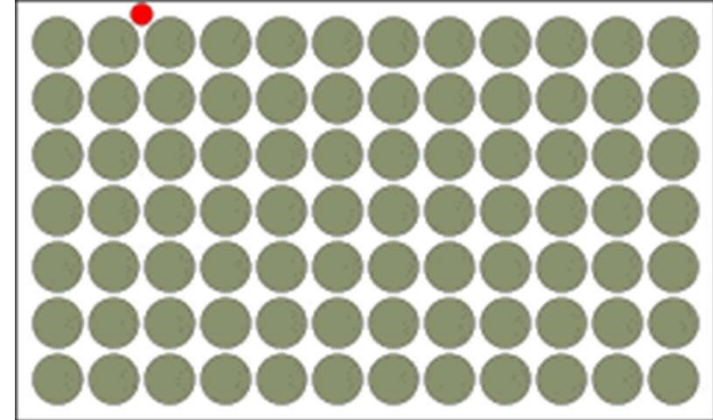
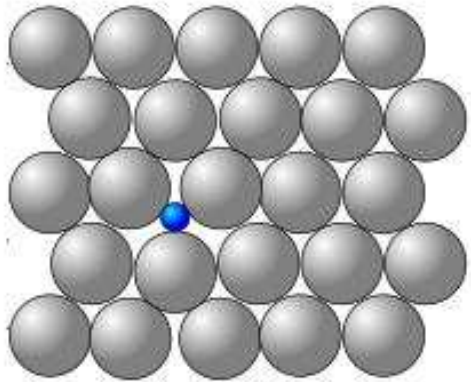


Difetti di punto

- interstiziali -



L'atomo interstiziale induce una **distorsione** locale più o meno accentuata a seconda delle sue dimensioni, introducendo un certo **disordine nel reticolo**, con conseguente **aumento dell'entropia**.



La particella estranea non rimane confinata in una posizione fissa ma, se l'**energia lo consente**, migra mediante un meccanismo di **diffusione interstiziale**.



Difetti di punto

- Alcuni esempi -

- La **diffusione** degli atomi allo stato solido (oscillazione degli atomi in un cristallo attorno alla posizione di equilibrio) è un meccanismo possibile grazie alla presenza di difetti di punto di natura fisica (vacanze).

- Le **leghe metalliche** possono essere viste come degli esempi di **difetti di punto di natura chimica**, in quanto vi sono degli atomi di una certa natura (soluti) all'interno di un reticolo metallico di differente natura (solvente).

- Il “**drogaggio**” del silicio consiste nell'introdurre all'interno del suo reticolo, dei difetti di natura chimica (**sostituzionali**) costituiti, in genere, da atomi di fosforo, arsenico, boro.

 In tal modo si modificano le sue proprietà di conducibilità elettrica, ottenendo così un materiale perfetto per **applicazioni in campo elettronico**.

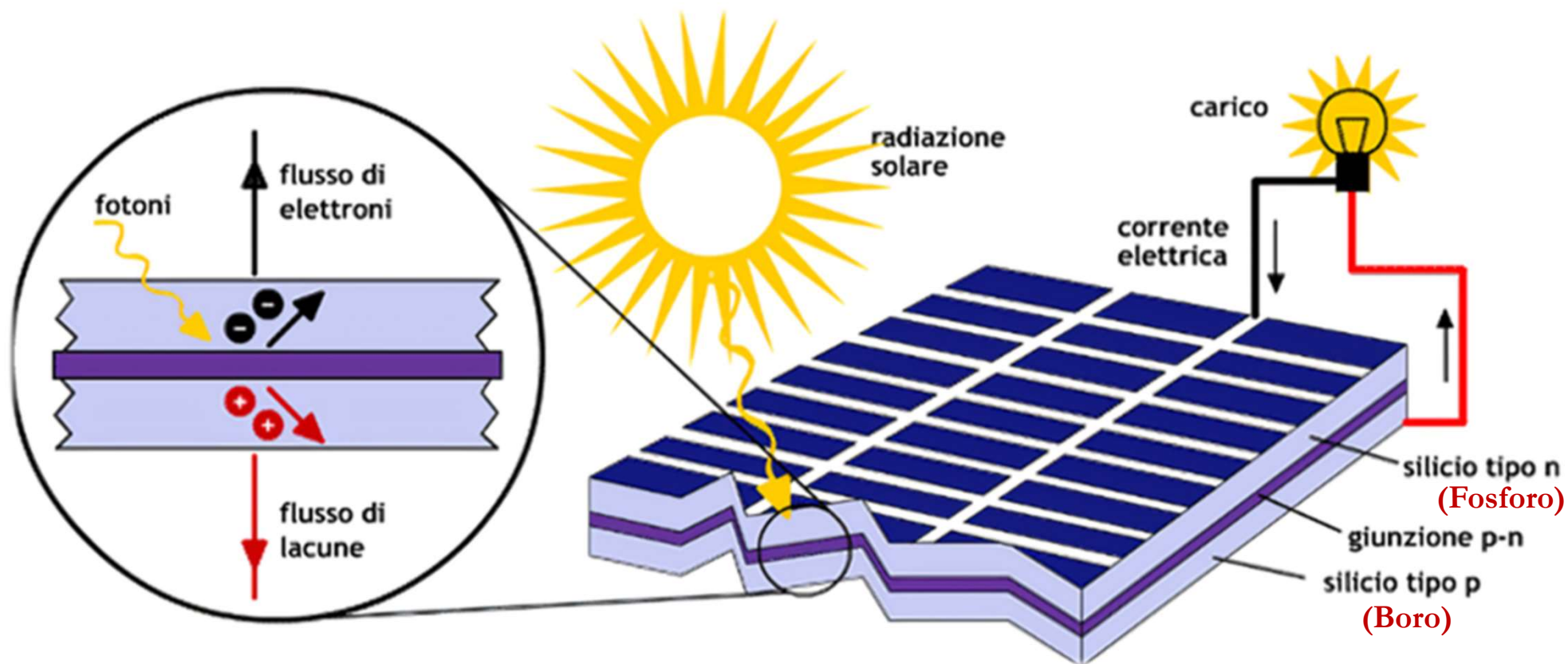


DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

Difetti di punto

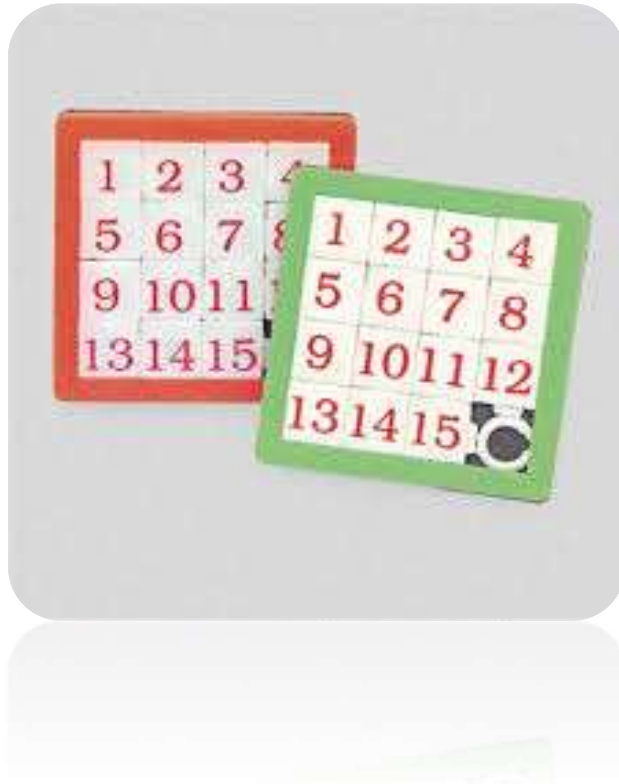
- Alcuni esempi -





Il gioco del 15

Un passatempo per la... vacanza!



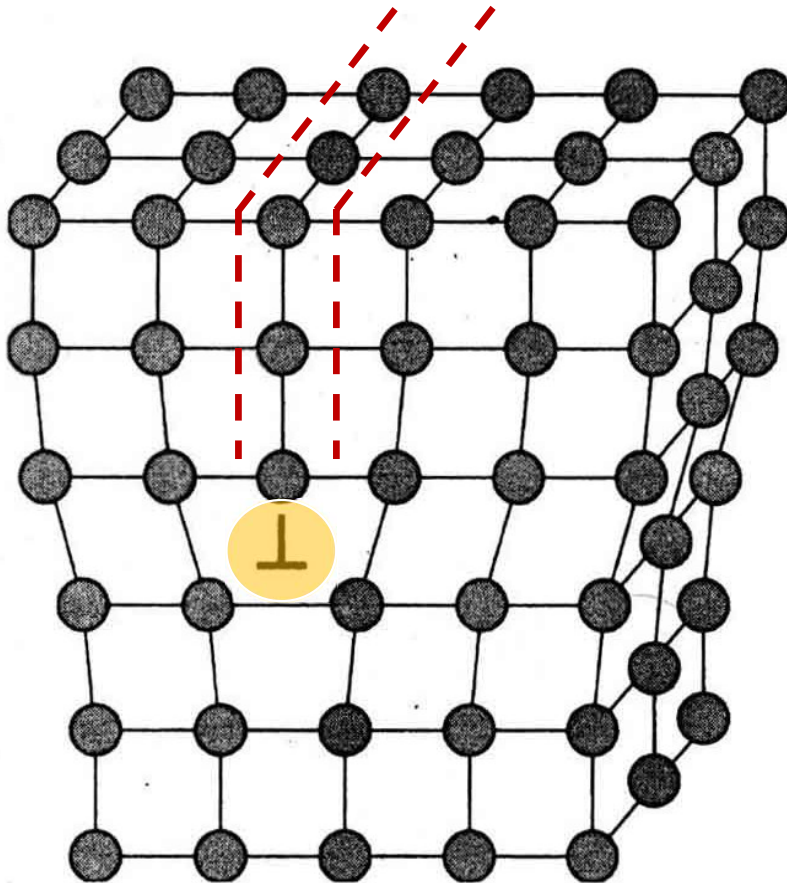
Il movimento (**diffusione**) dei tasselli presenti nel reticolo è reso possibile grazie all'assenza (**vacanza**) di uno dei tasselli stessi.

Difetti di linea

- *Dislocazioni* -

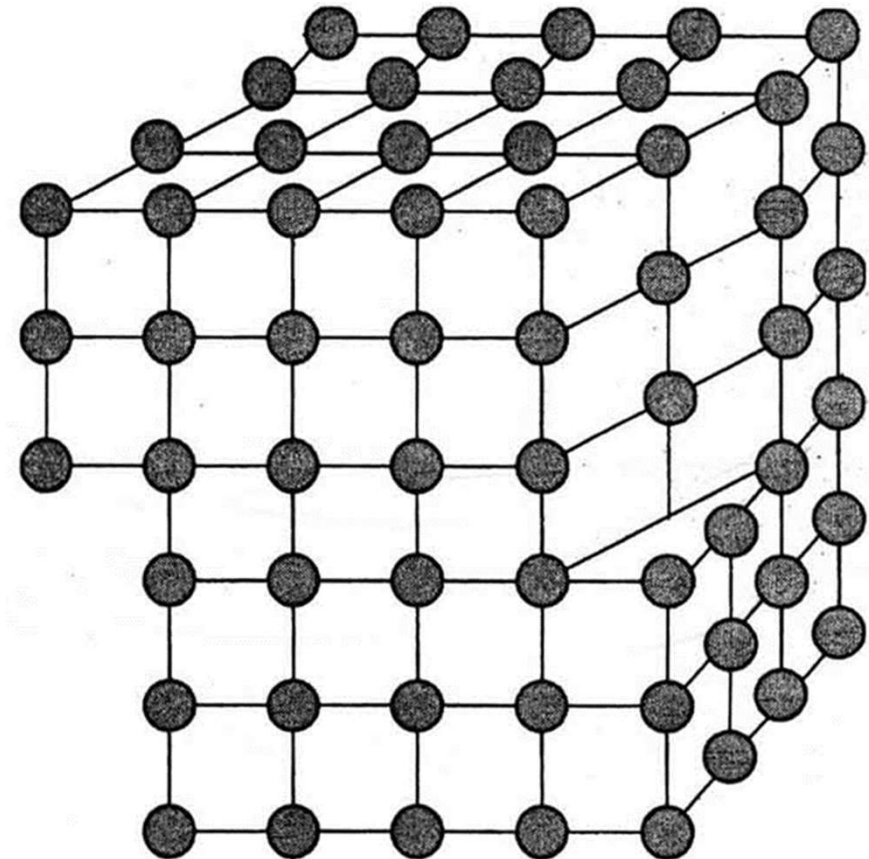
Dislocazione a spigolo

È associata alla presenza di un semipiano aggiuntivo di atomi



Dislocazione a vite

È associata ad uno sforzo di taglio che crea una torsione all'interno del reticolo



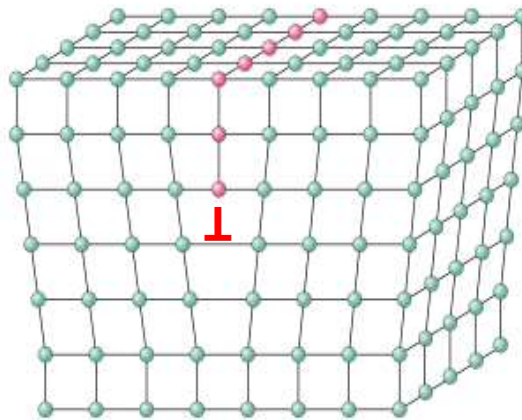
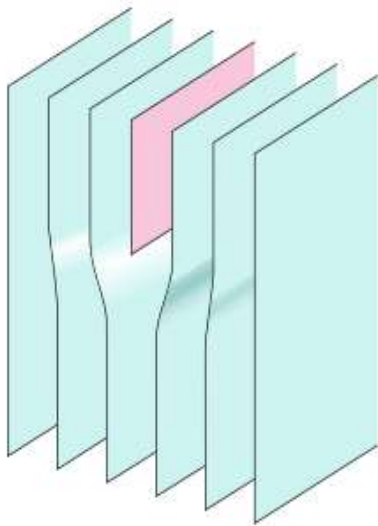


Difetti di linea

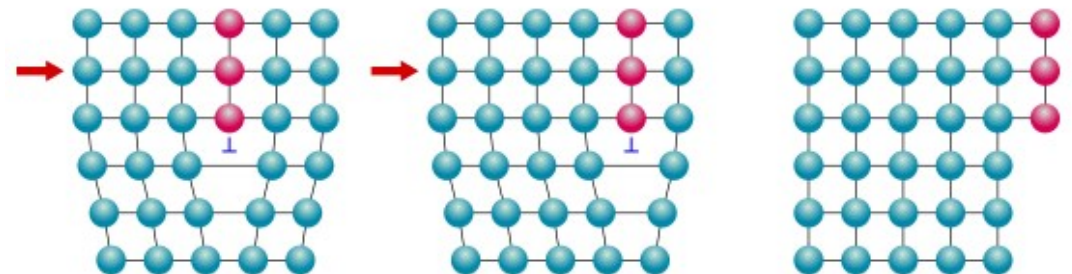
- *Dislocazioni a spigolo* -

Le **dislocazioni a spigolo** si presentano quando uno strato supplementare di particelle (semipiano) si inserisce tra due strati adiacenti del reticolo (colorato diversamente nella figura, ma le particelle sono le stesse). Questo provoca una **compressione** dove è inserito il semipiano e una **trazione** nella parte sottostante.

N.B. Lo spostamento degli atomi dalla loro posizione di equilibrio nella regione del cristallo circostante la linea di dislocazione **augmenta l'energia interna del sistema**.



La presenza delle dislocazioni gioca un ruolo fondamentale in relazione alla **duttilità** dei materiali metallici!





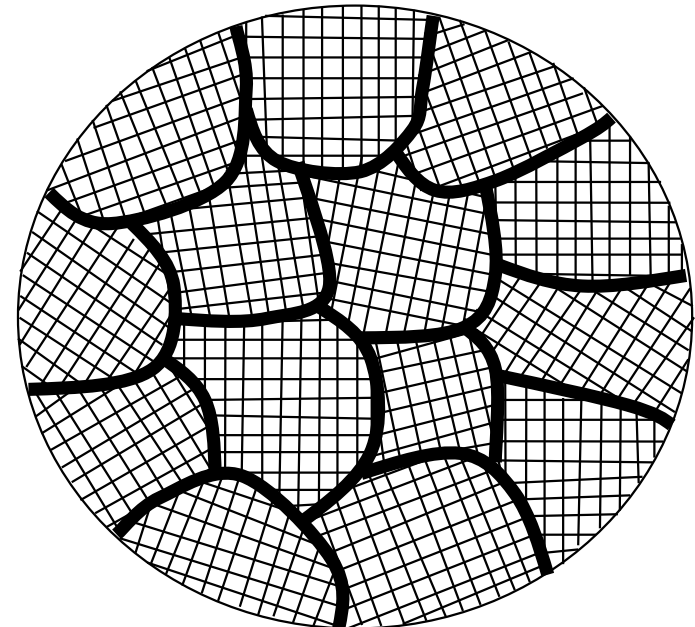
Difetti di superficie

- *Bordo di grano* -

La maggior parte dei materiali per uso ingegneristico sono **policristallini**, formati cioè da più grani cristallini.

Il **bordo di grano** è dunque la regione di separazione tra un grano cristallino e l'altro, e si considera un difetto perché in tale zona di confine si perde quell'ordine presente all'interno del singolo grano.

Per comprendere meglio il concetto di bordo di grano è utile considerare il meccanismo di produzione dei metalli (e delle leghe in genere) che avviene mediante **solidificazione di un fase liquida** (metallo fuso)

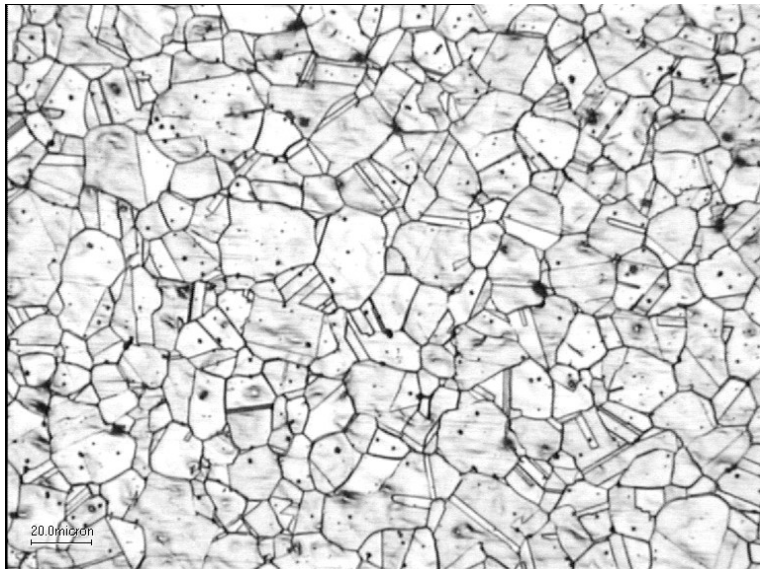
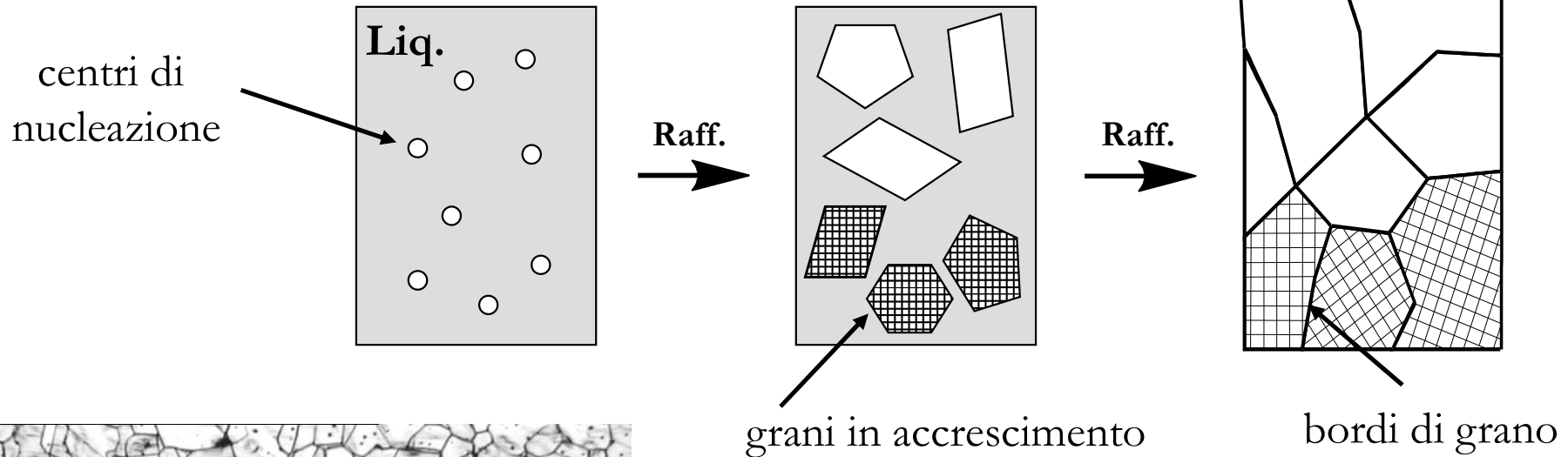




Solidificazione di un metallo

1. Nucleazione (a $T \approx T_F$)

2. Accrescimento



microstruttura policristallina

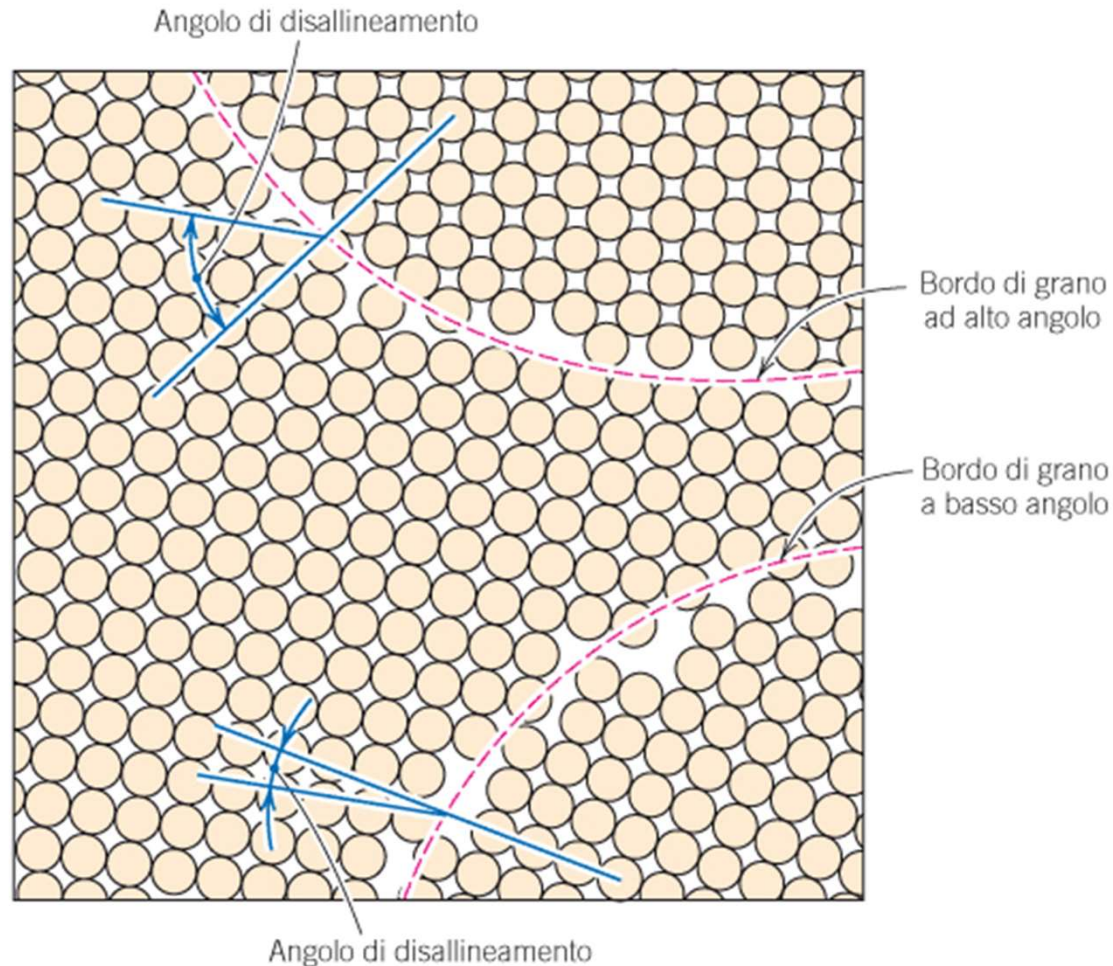
(ingrandimento al SEM)

Acciaio inossidabile austenitico



Difetti di superficie

- *Bordo di grano* -



N.B. Anche i **bordi di grano** (in particolare le loro dimensioni) influenzano alcune proprietà meccaniche.



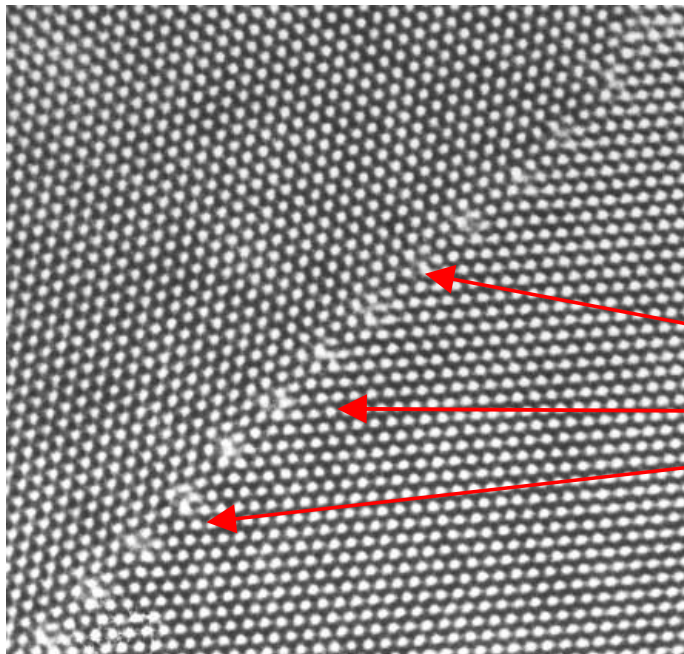
DI
C
Ma
PI

Dipartimento
di Ingegneria Chimica,
dei Materiali e della
Produzione Industriale
Università degli Studi
di Napoli Federico II

Difetti di superficie

- Bordo di grano -

Tubi in acciaio



Risoluzione a livello atomico

(scala: 10^{-10} m)

Bordo di
grano



Microstruttura a grani

(scala: 10^{-6} m)