



Dip. di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale  
Università Federico II di Napoli

---

# **Corso di Laurea in Ingegneria Edile (A.A. 2019-20)**

**Corso di «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 reticolati dei **solidi reali** presentano dei **difetti**, da intendersi come «mancanza dell'ordine previsto».

Come nasce  
un difetto?

[ In fase di produzione del materiale stesso  
In seguito ad una deformazione plastica ]



N.B. In tale contesto la parola «difetto» non deve essere intesa con la comune accezione negativa del termine: si vedrà infatti che la loro presenza comporta spesso un miglioramento di alcune caratteristiche del materiale.



# 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

**Vacanze:** sono posizioni reticolari non occupate da alcun atomo.

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

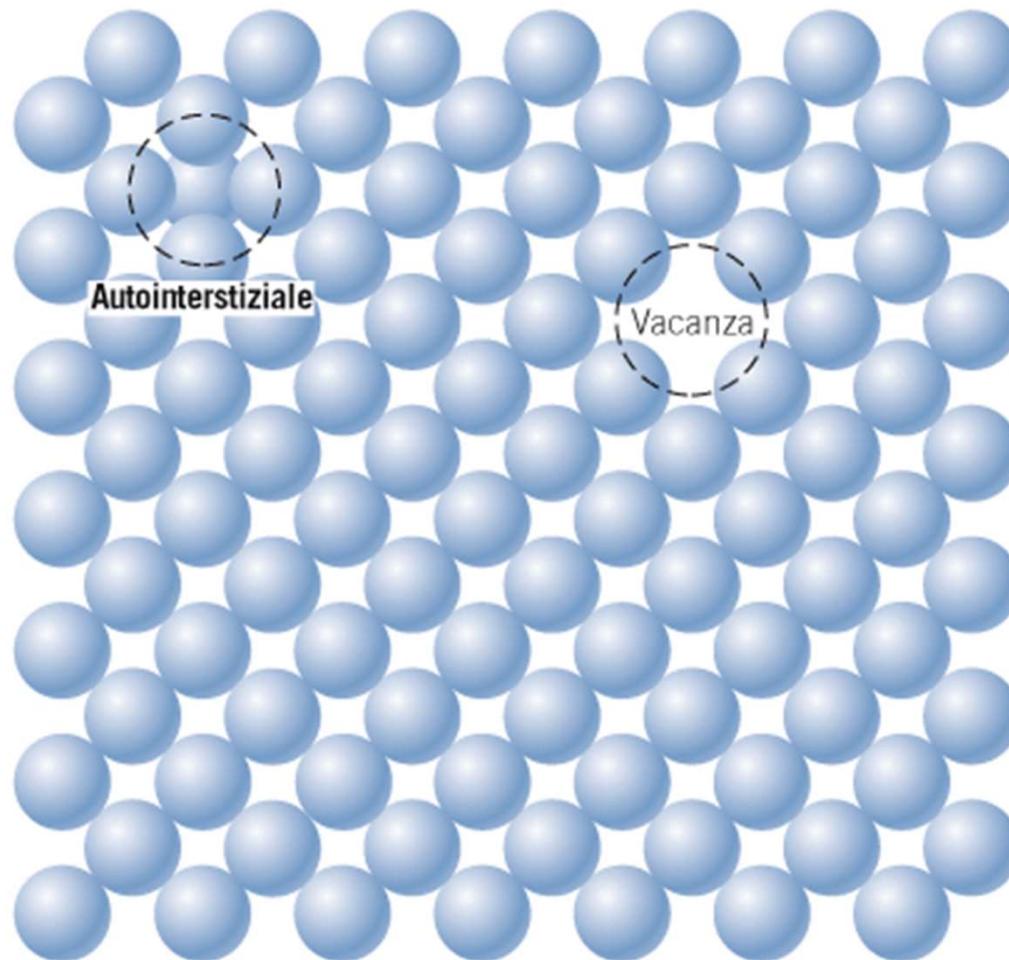
## Difetti di natura chimica

**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.

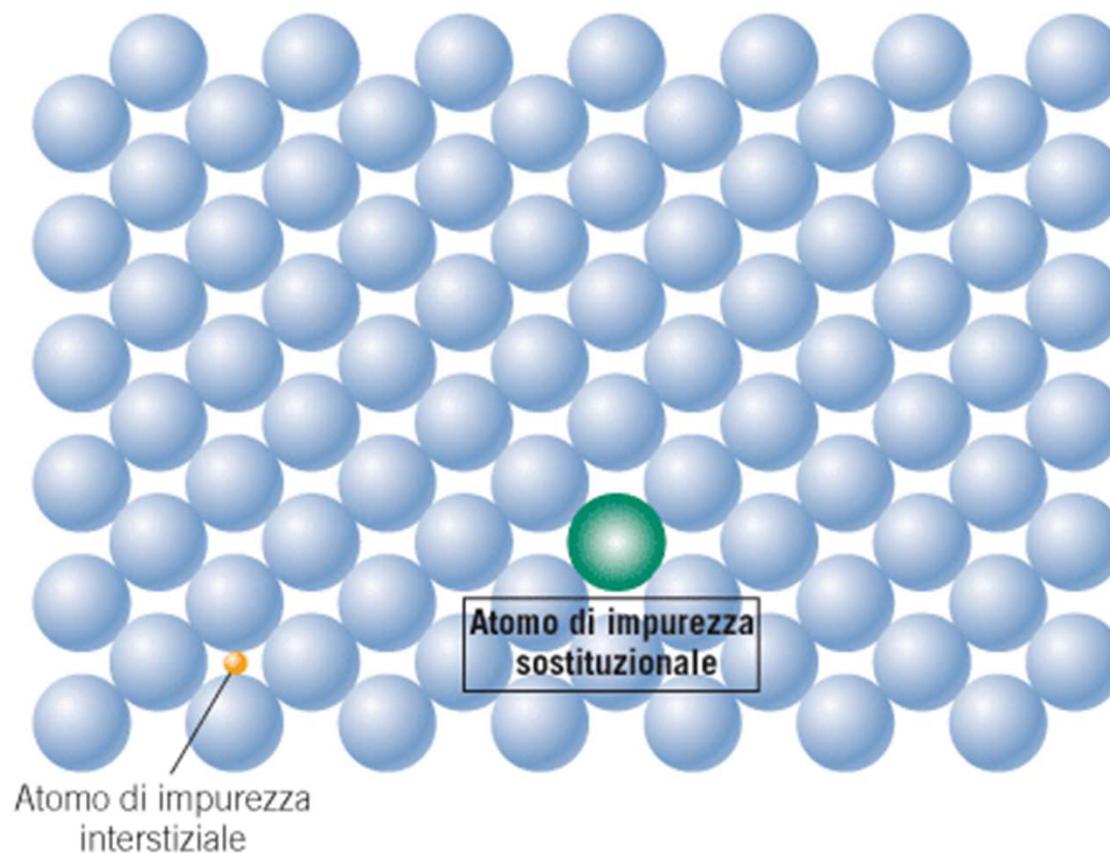


# Difetti di punto di natura fisica





# Difetti di punto di natura chimica





# 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.



# Il gioco del 15

Un passatempo per la... vacanza!



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

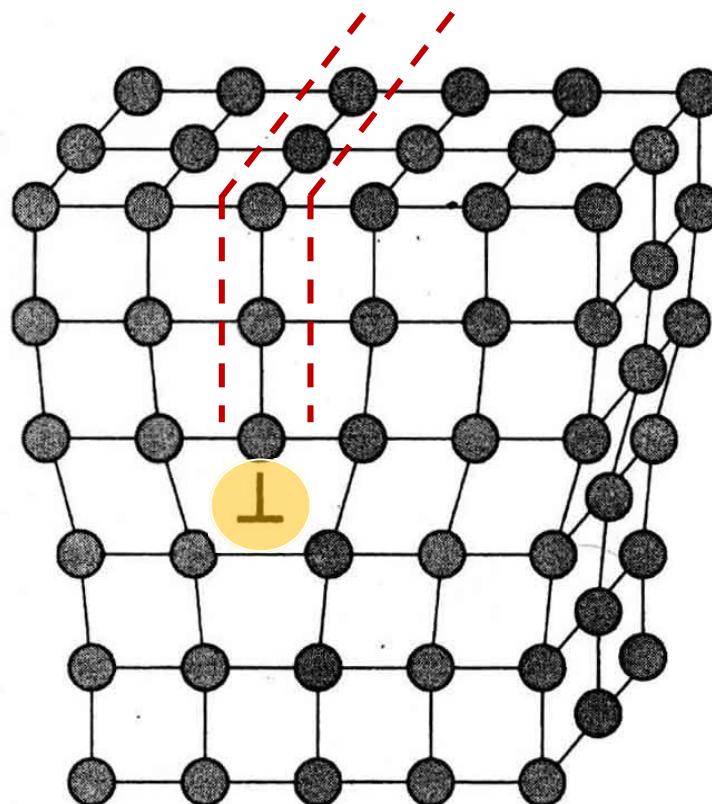


# Difetti di linea

## - Dislocazioni -

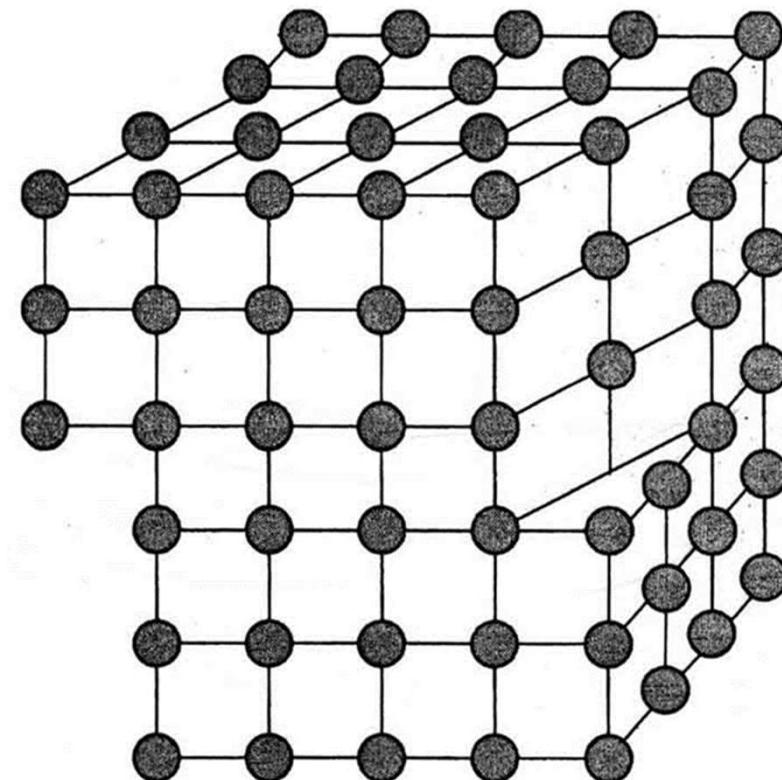
### Dislocazione a spigolo

È localizzata al termine di un semipiano aggiuntivo di atomi



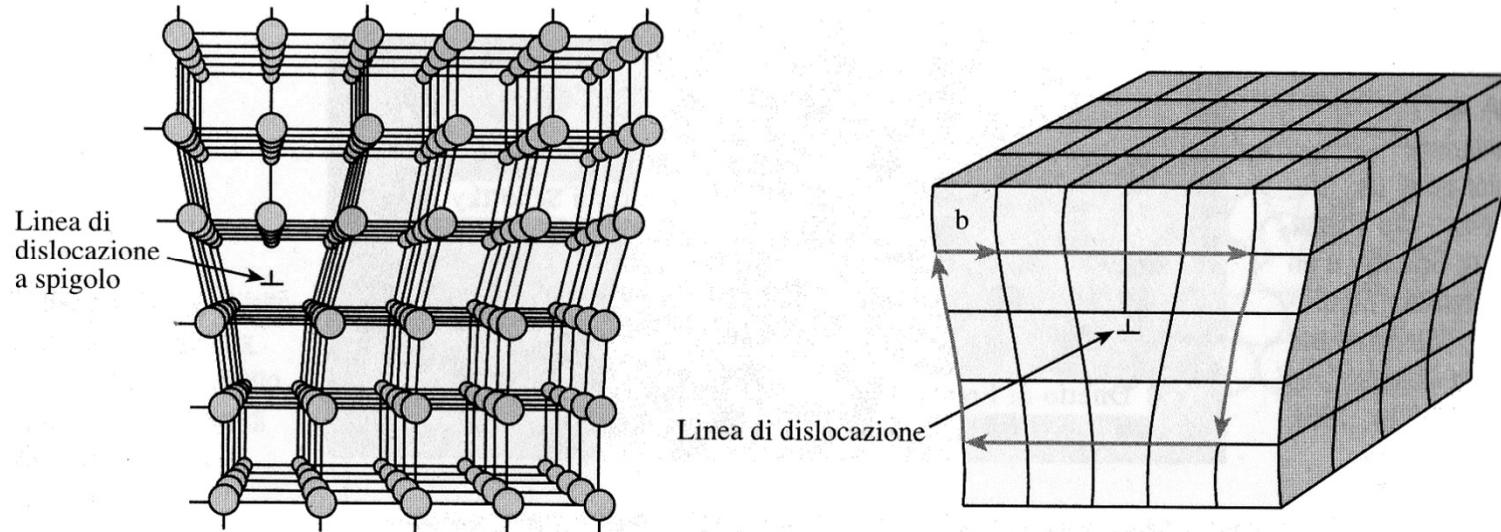
### Dislocazione a vite

È associata alla rotazione di una parte del reticolo rispetto al resto





# Dislocazioni a spigolo



In prossimità di tale difetto il reticolo risulta distorto, e dunque si crea un «campo di sforzi» nel suo intorno.

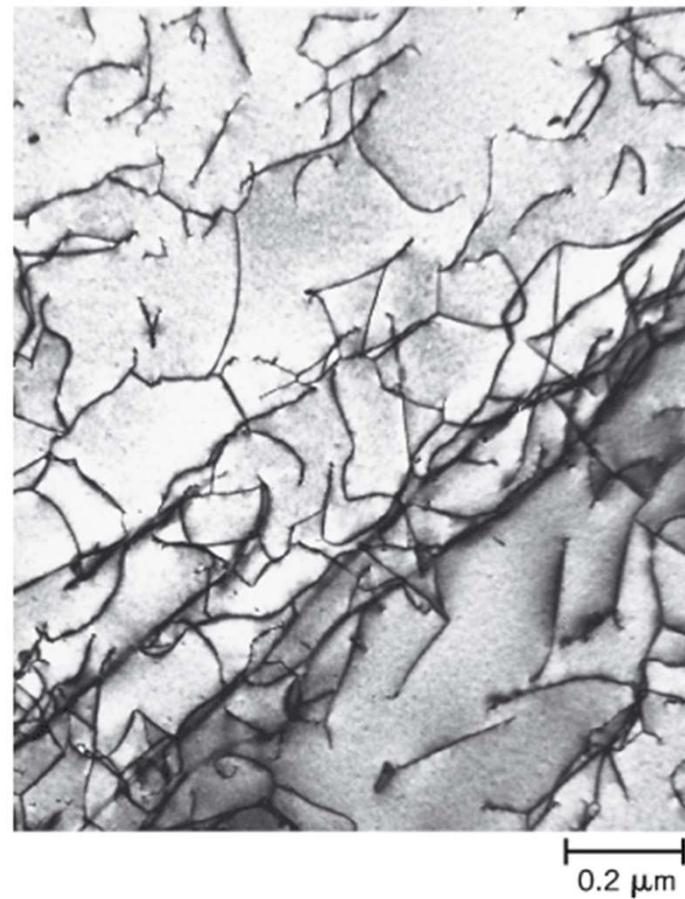
In particolare, gli atomi posti dal lato del semipiano aggiuntivo risultano sottoposti a **sforzi di compressione**, mentre gli atomi dal lato opposto sono sottoposti a **sforzi di trazione**.

**N.B.** Vedremo che tali difetti hanno un ruolo fondamentale in relazione alla **duttilità** dei materiali metallici!



# Dislocazioni

Micrografia al microscopio elettronico a trasmissione di una lega di titanio, nella quale le linee scure rappresentano le dislocazioni (51450 x)





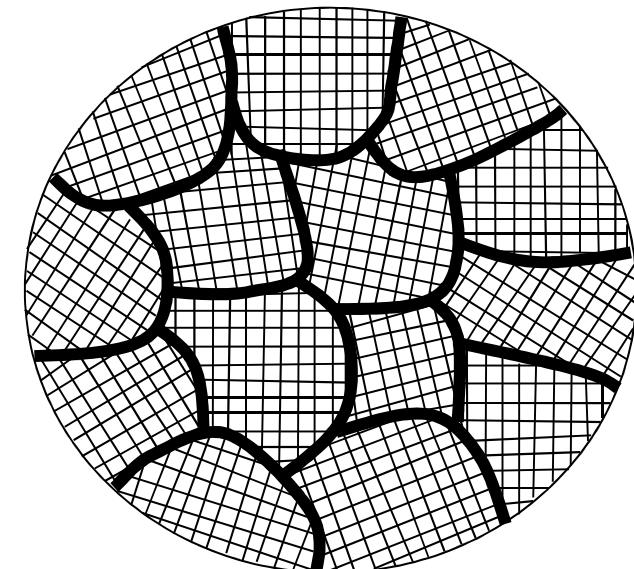
# Difetti di superficie

## - 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)

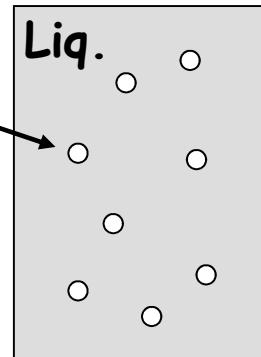




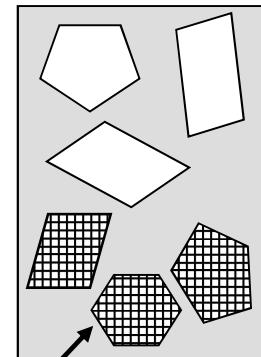
# Solidificazione di un metallo

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

centri di  
nucleazione

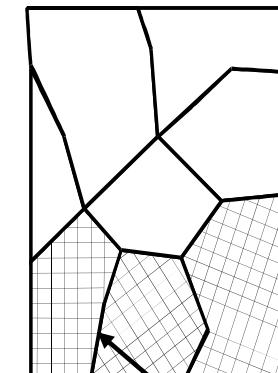


Raff.



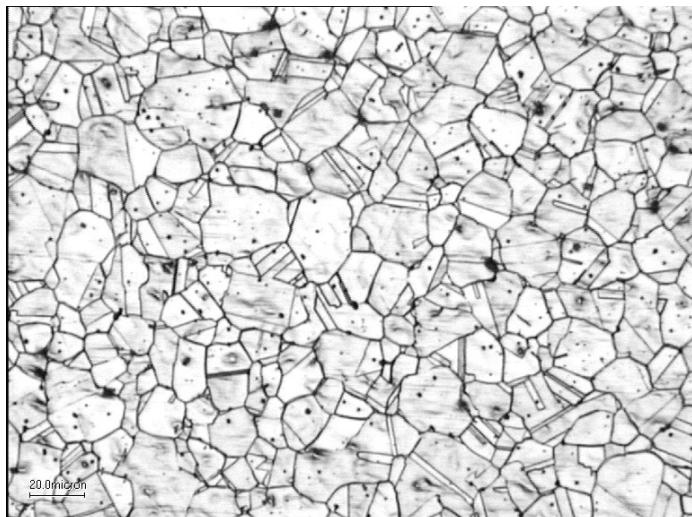
## 2. Accrescimento

Raff.



grani in crescimento

bordi di grano



← **microstruttura policristallina**

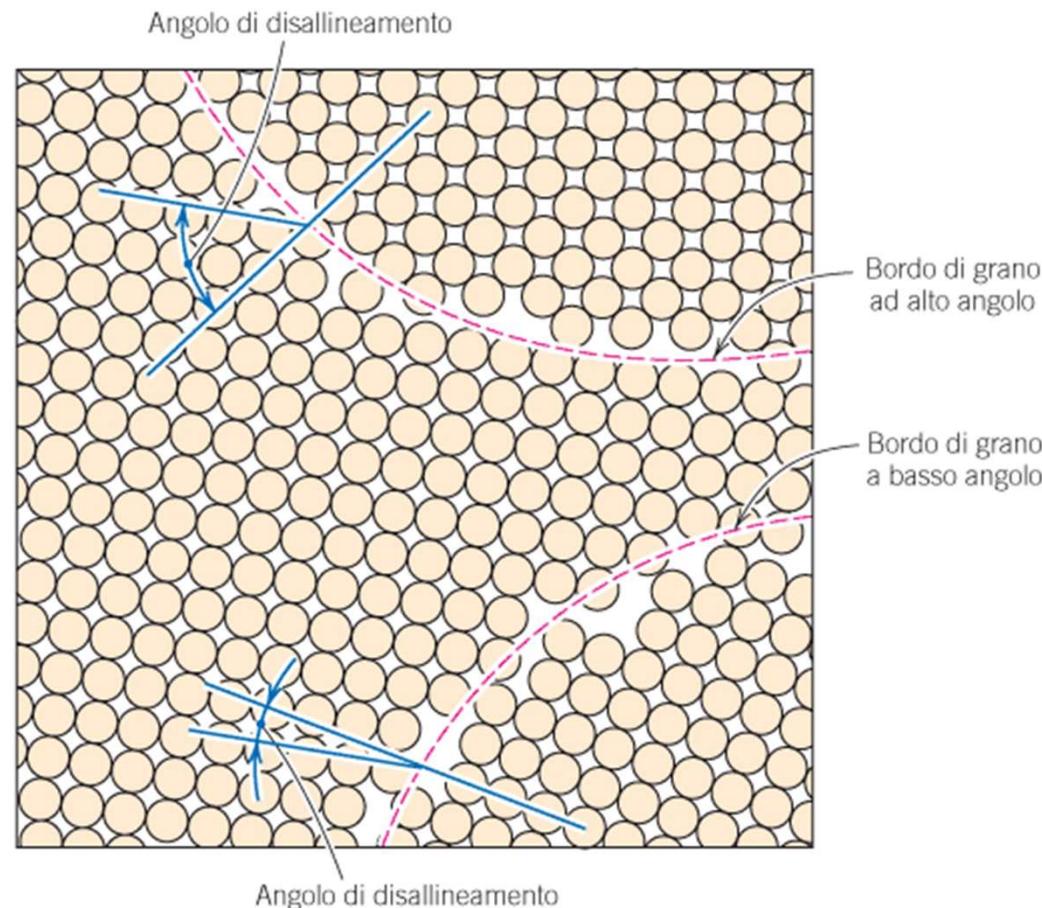
(ingrandimento al SEM)

Acciaio inossidabile austenitico



# Difetti di superficie

## - bordo di grano -





## Difetti di superficie

### - bordo di grano -

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

Le dimensioni dei bordi di grano dipendono dalla **velocità** con cui si raffredda la fase fusa ( $V_R$ ).

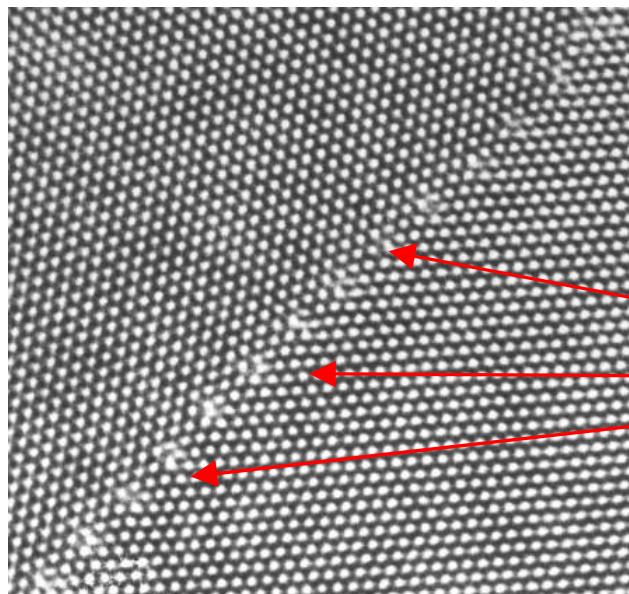
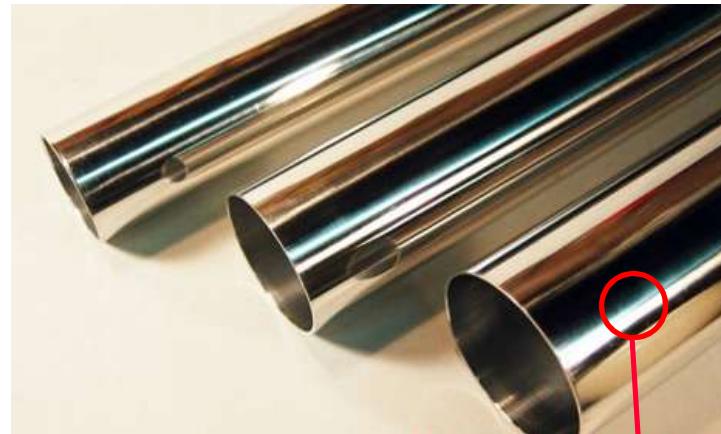
$V_R$  elevata → nucleazione veloce → **grana fine** (d≈ frazioni di  $\mu\text{m}$ )

$V_R$  bassa → nucleazione lenta → **grana grossolana** (d≈ decine di  $\mu\text{m}$ )



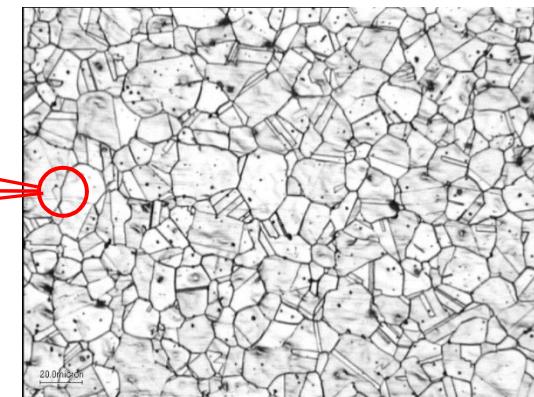
# Macrostruttura, microstruttura e struttura atomica

Tubi in acciaio



Bordo di grano

Risoluzione a livello atomico  
(scala:  $10^{-10}$  m)



Microstruttura a grani  
(scala:  $10^{-6}$  m)