

# TRASFORMAZIONI DI FASE

## Introduzione

Le trasformazioni di fase possono essere divise in tre famiglie:

1. Dipendenti da fenomeni diffusivi senza variazioni del numero e della composizione delle fasi, ma solo dalla struttura
2. Dipendenti da fenomeni diffusivi con variazioni del numero e della composizione delle fasi
3. Senza fenomeni diffusivi con la formazione di fasi metastabili

Le trasformazioni dipendenti da fenomeni diffusivi hanno una dipendenza temporale mentre le trasformazioni di fasi non dipendenti da fenomeni diffusivi avvengono in modo quasi istantaneo.

## Punti critici (ripresa)

Le trasformazioni di fase al variare della composizione sono individuate dal luogo dei punti critici. Questi punti critici dunque indicano in maniera semplice l'esatto punto in cui avviene la transizione di fase:

- $A_3$  = dall'austenite alla ferrite
- $A_1$  = dall'austenite alla perlite (eutettoide)
- $A_{cm}$  = dall'austenite alla cementite
- $[A_4$  = dall'austenite alla ferrite  $\delta$ ]

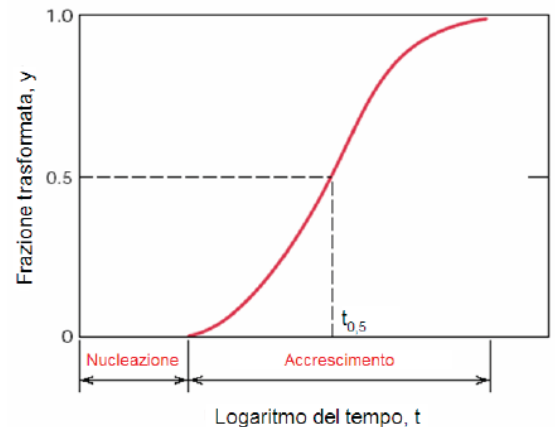
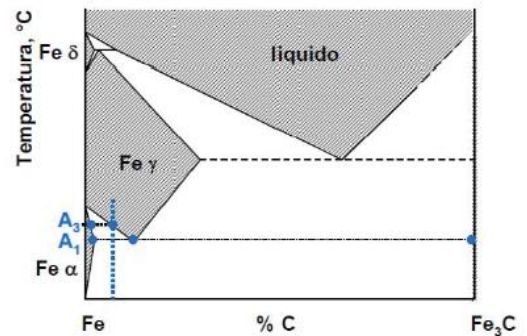
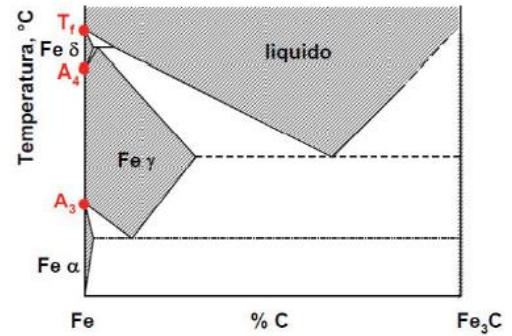
## Cenni cinetica delle reazioni in fase solida

Le trasformazioni di fase allo stato solido, dipendenti da fenomeni diffusivi, avvengono secondo i meccanismi di nucleazione ed accrescimento. Se tali reazioni avvengono a temperatura costante, l'accrescimento segue la legge di Avrami:  $y = 1 - e^{-kt^n}$ . La temperatura ha una significativa influenza sulla velocità delle reazioni di trasformazione:  $r = Ae^{-\frac{Q}{RT}}$  dove R ed A sono delle costanti, T è la temperatura assoluta espressa in Kelvin e Q è l'energia di attivazione per la particolare reazione.

## Trasformazione dell'austenite: perlite

Consideriamo le leghe ferro-carbonio e in particolare la trasformazione eutettoidica (T è costante). Se siamo dunque nel caso di una lega che ha un alto tenore di carbonio in base alla temperatura è possibile avere due strutture diverse nonostante la composizione sia la medesima. Ad alte temperatura si otterrà la perlite grossolana mentre a basse temperatura si avrà la perlite fine. Come sappiamo la perlite ha una struttura costituita da lamelle di  $\alpha$  e lamelle di  $Fe_3C$ : la distanza inter-lamellare diminuisce col diminuire della temperatura. La perlite fine avrà ovviamente proprietà differenti rispetto alla perlite grossolana: più vicine sono le lamelle più il materiale potrà sopportare un carico di snervamento alto, aumenterà dunque l' $R_{p0,2}$ , l' $R_m$  e la durezza. La perlite può dunque cambiare la sua morfologia a seconda che si formi a temperature prossime a quella dell'equilibrio (727°) oppure lontano dall'equilibrio. Il grano della perlite nuclea e accresce bifasico a partire dal bordo di grano di  $\gamma$ .

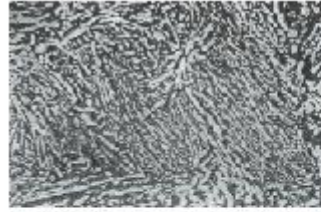
Capiamo dunque che la temperatura a cui viene la trasformazione eutettoidica influenzerà fortemente anche la microstruttura.



### Trasformazione dell'austenite: bainite

Per temperature inferiori a  $540^{\circ}$  si forma un nuovo costituente strutturale noto come bainite. Il carbonio non riuscendo più a formare delle placchette a bordo grano forma un nuovo costituente strutturale di non equilibrio: è un costituente bifasico costituito da fase  $\alpha$  e fase  $Fe_3C$ . Anche in questo caso esistono due diverse tipologie di bainite: quella superiore ( $300-540^{\circ}$ ), costituita da placchette di ferrite separati da particelle allungate di  $Fe_3C$ , e quella inferiore ( $200-300^{\circ}$ ), costituita da placchette sottili di ferrite contenenti particelle di  $Fe_3C$ .

È difficile riconoscere che tipo di costituente strutturale si ha semplicemente sfruttando il microscopio: lo si può invece comprendere a partire dalle proprietà meccaniche e in modo particolare tramite la prova di durezza. In questo prova è infatti possibile selezionare un singolo grano e caratterizzare solo quello; ciò non può essere effettuato invece con una prova di trazione.



bainite supérieure



bainite inférieure

### Trasformazione dell'austenite: martensite

Se si va ancora più lontano rispetto alla temperatura di equilibrio si nota che il carbonio non è più in grado di muoversi quindi si viene a formare un nuovo costituente strutturale monofasico detto martensite. Tale costituente ha un reticolo tetragonale a corpo centrato distorto in cui sono intrappolati gli atomi di carbonio. La martensite è l'unico costituente che si forma non per nucleazione ed accrescimento, è infatti il risultato di un semplice congelamento, non dipende dal tempo, ma solo dalla temperatura. La martensite si forma come grano direttamente dall'austenite. La dimensione del grano della martensite è la dimensione del grano dell'austenite da cui proviene. Lo slittamento dei piani implica anche un aumento del volume che dipende dalla percentuale di carbonio: tanto più carbonio è presente tanto più è distorta la struttura, tanto più avrà un elevato volume. La martensite è molto fragile ma è il costituente strutturale più duro.



### Schema costituenti (trasformazione austenite)

Se riduco il tempo e quindi la possibilità del carbonio di diffusione ho diversi costituenti:

1. Raffreddamento lento: perlite costituita da una fase  $\alpha$  +  $Fe_3C$  + fase proeutettoide
  - Perlite fine
  - Perlite grossolana
2. Raffreddamento moderato: bainite costituita da una fase  $\alpha$  +  $Fe_3C$ 
  - Bainite superiore
  - Bainite inferiore
3. Tempra rapida: martensite, fase TCC