

## **NOTA TECNICA :**

# **Metallurgia di base degli acciai speciali da costruzione**

### **Indice :**

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>p. 1</b>
<b>2.</b>	<b>FASI e COSTITUENTI STRUTTURALI</b>	<b>p. 3</b>
<b>3.</b>	<b>PUNTI CRITICI</b>	<b>p. 4</b>
<b>4.</b>	<b>TRATTAMENTI TERMICI MASSIVI</b>	<b>p. 5</b>

## 1. INTRODUZIONE

Si definisce **lega metallica** un insieme di atomi di due o più elementi chimici che abbia caratteristiche metalliche. Allo stato solido le leghe possono essere **soluzioni solide** o miscugli, nel primo caso sono costituite da un'unica fase solida, mentre nel secondo caso da due o più fasi solide. Le soluzioni solide possono essere soluzioni solide sostituzionali o soluzioni solide interstiziali

- **Soluzioni solide sostituzionali** : quando gli atomi di soluto possiedono diametro medio simile a quello degli atomi di solvente e sostituiscono un certo numero di atomi nel reticolo cristallino ospite
- **Soluzioni solide interstiziali** : quando gli atomi di soluto possiedono diametro medio nettamente inferiore rispetto a quello degli atomi di solvente e si inseriscono negli spazi vuoti nel reticolo cristallino ospite

La presenza del soluto nel reticolo cristallino provoca sempre una distorsione locale rendendo la lega meno deformabile, **per questo motivo le leghe sono naturalmente più dure del metallo base solvente.**

L'acciaio è una lega Fe-C con tenori di C < 2% ed è rappresentato dal diagramma di stato Fe - C. Il diagramma di stato ha in ascissa la percentuale di soluto nel solvente ( in questo caso Fe solvente e C soluto ) ed in ordinata la temperatura della lega ( cfr Fig. 1.1 ).

Le trasformazioni rappresentabili nel diagramma di stato avvengono in condizioni di quasi equilibrio ovvero con velocità di raffreddamento infinitesime.

**E' fondamentale osservare che nella pratica dei trattamenti termici le velocità di raffreddamento sono invece sempre diverse da zero.**

Il Fe puro ( cfr Fig. 1.1 con %C = 0 ) è **polimorfo**, cioè può esistere in diverse strutture cristalline in funzione della temperatura :

- **Fe  $\alpha$**  : con reticolo cubico a corpo centrato ( ccc ; Fig 1.2 ) stabile fino a circa 911 ° C, magnetico fino a 769 ° C ( punto di Curie )
- **Fe  $\gamma$**  : con reticolo cubico a facce centrate ( cfc ; Fig 1.3 ) , stabile nell'intervallo 911 ÷ 1392 ° C
- **Fe  $\delta$**  : con reticolo cubico a corpo centrato, stabile tra 1392 ° C ed il punto di fusione del Fe ( 1536 ° C )

**Il polimorfismo del Fe insieme alla diversa solubilità del C nei due reticoli cristallini  $\alpha$  e  $\gamma$  permettono all'acciaio di ottenere le desiderate caratteristiche meccaniche, tecnologiche e fisiche dopo trattamento termico.**

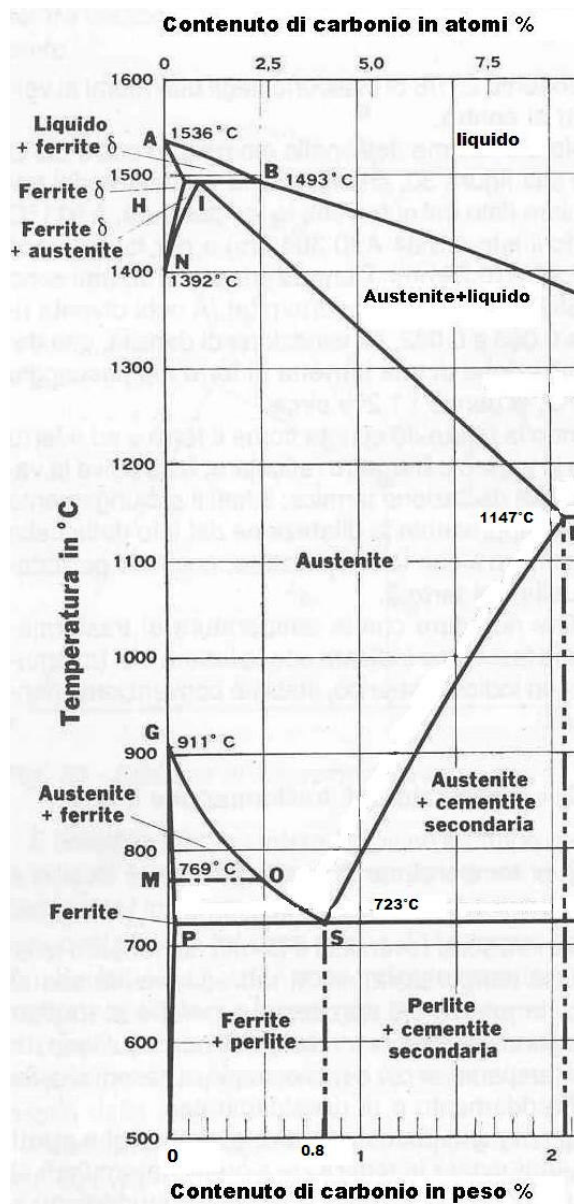
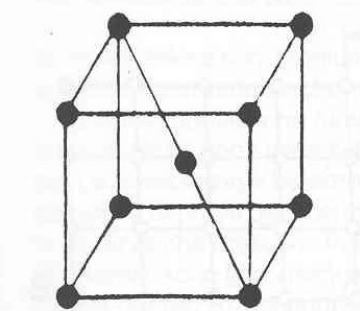
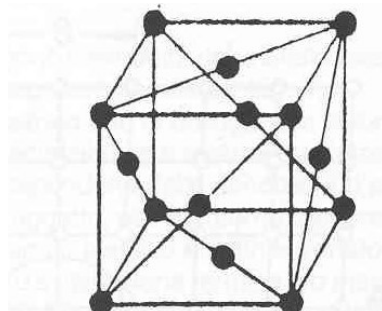


Fig. 1.1 Diagramma di stato Fe - C , campo di esistenza degli acciai (% C < 2 )



reticolo cubico a corpo centrato ( ccc )

Fig. 1.2 Reticolo ccc



reticolo cubico a facce centrate ( cfc )

Fig. 1.3 Reticolo cfc

## 2. FASI e COSTITUENTI STRUTTURALI

In riferimento alla solidificazione ed al raffreddamento delle leghe Fe - C, è comune parlare di :

- **fasi** : in relazione alla termodinamica
- **costituenti strutturali** : in relazione alla microstruttura

Le **fasi** sono :

1. **fase liquida ( o liquido )**
2. **fase  $\delta$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$  o cristalli di Fe  $\delta$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$**
3. **fase Fe<sub>3</sub>C**

I **costituenti strutturali ( fondamentali )** sono :

### **Ferrite ( o Ferrite $\alpha$ )**

Soluzione solida del carbonio nel Fe  $\alpha$

### **Austenite**

Soluzione solida del carbonio nel Fe  $\gamma$

### **Cementite o ( cementite secondaria )**

Carburo di ferro interstiziale di formula chimica Fe<sub>3</sub>C, si forma per smiscelamento dall'austenite

### **Perlite**

Formata da laminette alternate di ferrite ( tenera e duttile ) e cementite ( dura e fragile ). Si forma raffreddando con opportuna velocità l'acciaio oltre la temperatura eutettoidica ( 723 °C ) attraverso la seguente reazione :

austenite  $\leftrightarrow$  cementite + ferrite

### 3. PUNTI CRITICI

Si definisce **eutettoide** la lega che prevede la trasformazione  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  alla minor temperatura in assoluto ( cfr Fig. 1.1 lega con % C  $\cong$  0.8 )

In relazione al tenore nominale di C gli acciai si dividono in :

- **Acciaio eutettoide** : possiede % C  $\cong$  0.8
- **Acciaio ipoeutettoide** : possiede % C < 0.8 ( es. 18NiCrMo5 acciaio da cementazione )
- **Acciaio ipereutettoide** : possiede % C > 0.8 ( es. 100Cr6 acciaio per cuscinetti da tempra a cuore )

Si definiscono **punti critici** le temperature alle quali avvengono le trasformazioni polimorfiche per una data lega. I punti di critici di importanza fondamentale per la comprensione delle dinamiche che intervengono nel corso dei trattamenti termici degli acciai sono di seguito descritti :

**A<sub>1</sub>** temperatura di equilibrio austenite  $\leftrightarrow$  perlite

- **A<sub>c1</sub>** temperatura alla quale l'austenite eutettoide comincia a formarsi nelle condizioni di riscaldamento
- **A<sub>r1</sub>** temperatura alla quale la trasformazione austenite eutettoide  $\rightarrow$  ( ferrite + cementite ) inizia nel corso del raffreddamento

**A<sub>3</sub>** ( per acciai ipoeutettoidi ), temperatura di equilibrio austenite  $\leftrightarrow$  ferrite, al di sopra della quale solo l'austenite è stabile e al di sotto della quale si forma la ferrite

- **A<sub>c3</sub>** temperatura alla quale la trasformazione ferrite  $\rightarrow$  austenite è completa nelle condizioni di riscaldamento
- **A<sub>r3</sub>** temperatura alla quale la trasformazione austenite  $\rightarrow$  ferrite inizia nel corso del raffreddamento

**A<sub>cm</sub>** ( per acciai ipereutettoidi ), temperatura dell'equilibrio austenite  $\leftrightarrow$  cementite, al di sopra del quale solo l'austenite è stabile e al di sotto del quale si forma la cementite

- **A<sub>c cm</sub>** temperatura alla quale la dissoluzione della cementite nell'austenite è completa nelle condizioni di riscaldamento
- **A<sub>r cm</sub>** temperatura alla quale inizia lo smiscelamento della cementite dall'austenite satura nelle condizioni di raffreddamento

Ogni acciaio possiede, oltre al C, tenori variabili di elementi di lega divisibili in due famiglie fondamentali :

1. elementi **austenitizzanti** o **gammageni** ( Mn, Ni, Co, Cu ) : allargano il campo austenitico e abbassano la temperatura a cui avviene la trasformazione  $\alpha \leftrightarrow \gamma$
2. elementi **ferritizzanti** o **alfageni** ( Cr, Mo, V, W, Si, Al ) : restringono il campo austenitico e innalzano la temperatura a cui avviene la trasformazione  $\alpha \leftrightarrow \gamma$

## 4. TRATTAMENTI TERMICI MASSIVI

Variando la velocità di raffreddamento di un acciaio, allontanandosi quindi dalle condizioni di raffreddamento infinitesimo dei diagrammi di stato, è possibile ottenere a temperatura ambiente costituenti strutturali fuori equilibrio come la bainite e la martensite.

### Martensite

La martensite è una soluzione solida metastabile sovrasatura di carbonio nel Fe  $\alpha$ , possiede elevata durezza e fragilità, di conseguenza deve sempre essere sottoposta ad un trattamento di rinvenimento ( di distensione o di addolcimento ) a temperature inferiori ad  $A_{c1}$  per aumentarne la tenacità, a scapito di una perdita di durezza. La martensite rinvenuta sopra i 550 ° C è detta **sorbite**, mentre quella rinvenuta sotto i 550 ° C è detta **martensite rinvenuta**.

### Bainite

La bainite è formata essenzialmente da ferrite e cementite. Può possedere un morfologia aciculare ( **bainite superiore** ed **inferiore** ), che la rende in generale resistente come la perlite ma più tenace, o granulare. La bainite può ottenersi sia nelle trasformazioni isotermitiche che in trasformazioni a raffreddamento continuo.

### Velocità di raffreddamento

Un acciaio ipoeutettoide portato ad austenitizzazione ( riscaldato sopra  $A_3$  ) al crescere della velocità di raffreddamento vede abbassare le proprie temperature critiche  $A_{r3}$  ed  $A_{r1}$  fino al congiungimento delle stesse ( cfr Fig.1.4 ).

Aumentando ulteriormente la velocità di raffreddamento in corrispondenza di un valore  $V_i$  definito **velocità critica inferiore di raffreddamento**, il punto  $A_{r1}$  si sdoppia, ovvero la trasformazione dell'austenite avviene in parte alla temperatura  $A_{r'}$  con formazione di bainite ed in parte alla temperatura  $A_{r''}$  con formazione di martensite. Incrementando la velocità di raffreddamento, in corrispondenza della velocità  $V_s$  definita **velocità critica superiore di raffreddamento**, scompare il punto  $A_{r'}$  e la trasformazione avviene in corrispondenza di  $A_{r''}$  con formazione di sola martensite.

Questa osservazione è il **principio che sta alla base del trattamento termico della tempra**.

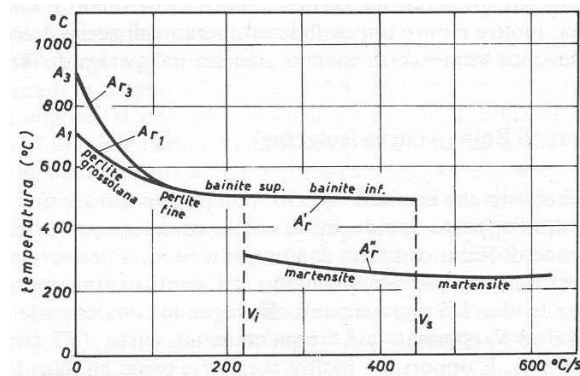


Fig.1.4 Velocità critiche di raffreddamento

## Curve TTT ( o curve isoterme o curve di Bain o curve ad S )

Le curve di TTT ( rappresentate in un diagramma T - log t ) descrivono la **trasformazione isoterma dell'austenite** , in Fig. 1.5 viene riportato un esempio di curva TTT per un acciaio ipoeutettoide. Un campione di piccole dimensioni viene austenitizzato ed in seguito raffreddato ad una temperatura inferiore ai punti critici ( A<sub>3</sub> ed A<sub>1</sub> ), durante il mantenimento a tale temperatura si osserva sperimentalmente il punto di inizio e fine della trasformazione isoterma dell'austenite. In tal modo, ripetendo lo stesso procedimento per diverse temperature, è possibile tracciare le curve TTT per l'acciaio in esame.

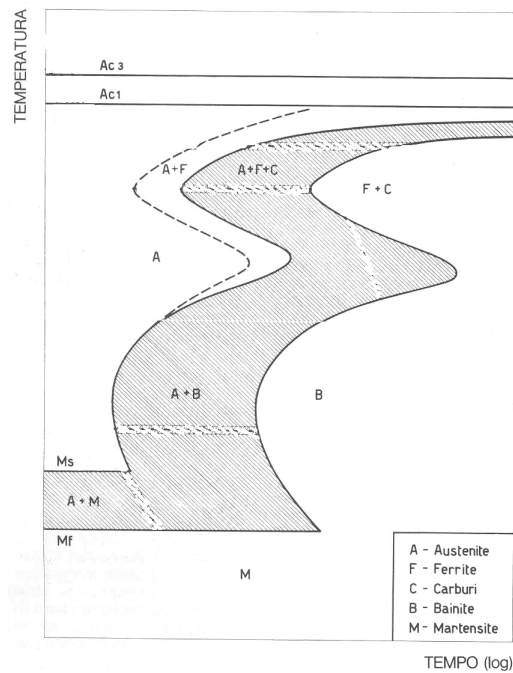


Fig.1.5 Curva TTT per un acciaio ipoeutettoide

## Curve CCT ( curve di trasformazione anisoterma dell'austenite o curve continue )

Molti dei trattamenti termici di uso comune non prevedono mantenimenti isoteromici ma raffreddamenti continui. Le curve CCT ( rappresentate in un diagramma T - log t ) sono ottenute segnando su un fascio di traiettorie di raffreddamento i punti di inizio e fine trasformazione dell'austenite ( Fig. 1.6 ) e risultano spostate in basso e a destra rispetto alle rispettive curve TTT per uno stesso acciaio.

Nelle curve CCT sono indicate le temperature  $M_s$  e  $M_f$  di seguito definite :

- **$M_s$**  : Martensite Start, temperatura alla quale inizia la formazione di martensite nel corso del raffreddamento
- **$M_f$**  : Martensite Finish, temperatura alla quale ha termine la formazione di martensite nel corso del raffreddamento

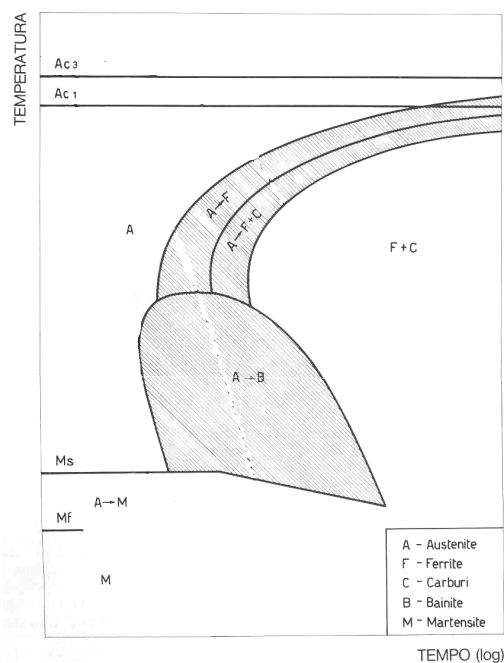


Fig. 1.6 Curva CCT per un acciaio ipoeutettoide

## Classificazione dei trattamenti termici massivi

Una possibile classificazione dei trattamenti termici massivi ( Tab. 1.1 ) è eseguibile in base :

1. Alla modalità di raffreddamento :
  - Convenzionale : velocità di raffreddamento continua
  - Isotermica : velocità di raffreddamento discontinua con condizioni isoterme
2. Alle finalità del trattamento termico :
  - Preliminare : serve a predisporre l'acciaio a lavorazioni meccaniche o a trattamenti termici successivi
  - Finale : serve a conferire all'acciaio le caratteristiche definitive necessarie allo specifico impiego

	PRELIMINARI		FINALI	
TRATTAMENTI CONVENZIONALI	Ricotture	Ricottura completa		Tempra
		Ricottura di addolcimento		Tempra scalare martensitica
		Ricottura globulare	subcritica	Rinvenimento di distensione
			pendolare	Rinvenimento di addolcimento
	Ricottura di distensione		Trattamento sottozero	
	Normalizzazione		Bonifica	
Bonifica di lavorabilità				
TRATTAMENTI ISOTERMICI	Ricottura isotermica		Tempra isotermica	
	Ricottura isotermica globulare			

Tab. 1.1 Classificazione dei trattamenti termici massivi