

Se lo raffreddamento non è sufficientemente lento le curve di <sup>solidus</sup> ~~solidus~~ si spostano verso sx perché il solido cristallizza verso destra di quanto dovrebbe...

Si ha un altro problema: la curva di solidus mostra la presenza di solidus a temperatura minore. Di conseguenza si ha di si fase del liquido a temperatura minore.

Questo è il fenomeno di KÖNIG

A livello più l'ultima zona di solidificazione avrà una regione q.t. di B. Quindi il solido ha composizione chimica diversa.

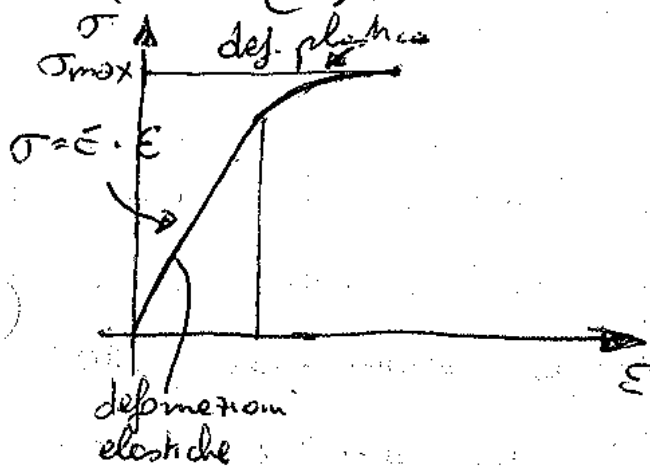
## MATERIALI METALLICI

Caratteristiche:

- duttilità: deformati senza fratturarsi. Comporta il fatto che si può microdeformare e nebuch. in deformat. plastica.
- tenacità e frattura: subire urti senza fratturarsi (se urto troppo forte si frattura)
- temperatura di fusione abbastanza elevate (da  $600^{\circ}\text{C}$  a sopra i  $1000^{\circ}\text{C}$ ). la fusione di un materiale metallico è quasi sempre possibile.
- durezza: un modo per definirne era la resistenza al graffio. Molto correlato con

resistenza del metallo.

- Rigidità: la deformazione questo si applica come forza per unità di superficie. A uno sforzo ( $\sigma = \frac{F}{S}$ ) corrisponde un allungamento ( $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$ ).



E: modulo di Young.

Se il modulo di Young è ~~inf~~ grande la deform. è piccola e penta' di sforzo.

Dopo la deformazione elastica si ha deformazione plastica. Lo sforzo causato def. plastica nasconde il materiale è rende maggiore lo sforzo di deformazione plastica. Ad un certo punto lo sforzo mi genera difetti che sono cause di ~~fessure~~ frattura.

La rigidità è legata al modulo di Young. Inoltre i materiali metallici hanno limite elastico piuttosto elevato.

- buoni conduttori di calore ed elettricità.
- densità abbastanza alta. Solo le leghe di magnesio hanno densità confrontabili con la

più pesante delle materie plastiche. La densità  
 pure del  $\sim 2 \text{ g/cm}^3$  lega nichel e  $8 \text{ g/cm}^3$  lega di Fe  
 ci sono lega anche più pesanti di quelle del Fe.

Tecniche di lavorazione:

- fusione
- deformazione plastica
- metallurgia delle polveri. Attraverso la tecnica di  
 sintesi. Si produce delle polveri, le si  
 compattano in uno stampo e poi devono essere cotte.
- lavorazioni dell'utensile (es. per esportazione di  
 trucioli).

Classi di lega metallica

- alluminio
- nichel
- ferro (Fe-C)
- titanio
- superleghe (Ni)
- bronzo (Cu-Sn)
- ottone (Cu-Zn)

## ACCIAI

Leghe Fe-C. Si possono trovare elementi leganti  
 (es. cromo, Titanio, Alluminio). Più ce ne  
 sono, moltissimi. Ogni regione ha le sue leghe

e le proprie industrie produttrici. Gli acciai <sup>contengono</sup> ~~sono~~ continenti di leghe diverse.

Caratteristiche:

- Resistenza ( $30 \div 200 \frac{kg}{mm^2}$ )
  - Buona duttilità ( $\Delta l = 10 \div 60 \%$ )
  - Tenacità e frattura  $> 20 MPa \sqrt{m}$
  - Buone conduttività termica ed elettrica.
  - Temperature di fusione  $> 1000^\circ C$ . Poiché è formato da più componenti si possono formare degli eutettici.
  - Rigidezza elevata ( $200 GPa \approx 2000 \frac{N}{mm^2}$ )
- $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$  [MPa] - In un acciaio  $E = 200000 MPa$   
 $= 200 GPa$

## PRODUZIONE dell'ACCIAIO

- 2 fasi:
- 1) altoforno (produce ghisa 4% C)  
 la ghisa può anche essere usata come tale
  - 2) affinazione della ghisa per trasformarla in acciaio, ~~che~~ si diminuisce la quantità di carbonio.

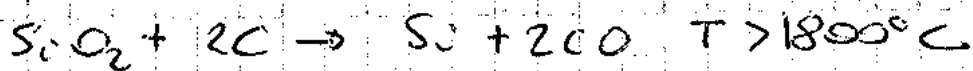
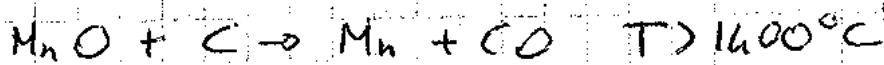
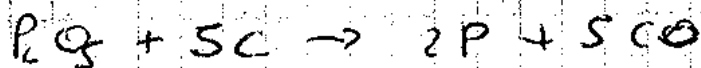
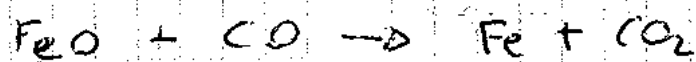
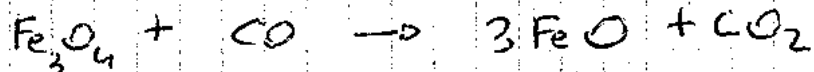
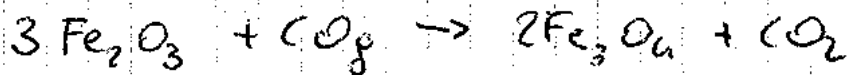
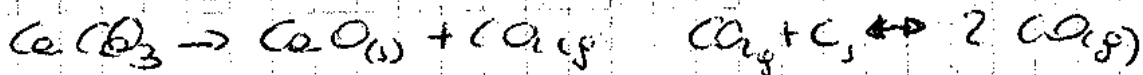
Produzione della ghisa. Nell'altoforno.  
 Telle da mattoni refrattari. Viene alimentato con materiale solido dall'alto.  
 Dalla bocca dell'altoforno si conia:

- minerali di ferro
- carbone coke (carbone fossile sottoposto e trattato termico per far evaporare gli idrocarburi).
- carbonato di calcio (mischia il proprio reattivo e fono una scoria dove si raccolgono le impurità).

Nella parte basso abbiamo dei tubi di acciaio in cui passa aria. Si ottengono diversi minerali.

Emetite	$Fe_2O_3$		Fosforite
Magnetite	$Fe_3O_4$		$CaCO_3$
Limonite	$Fe_2O_3$ (e $H_2O$ )		
Siderite	$FeCO_3$ (48% Fe)		
Pirrite	(47% Fe) $FeS_2$		

si ottengono le reazioni



A  $1400^\circ C$  si fonde un eutettico tra carbone e ferro (la ghisa). Questo eutettico si solidifica e scende più del fono.

Impurezze

$P_2O_5$	ossido di fosforo	}	vaporizza ed è sciolto nella ghisa.
$MnO$	ossido di manganese		
$SiO_2$	ossido di silicio		

La riduzione di fosforo e manganese è piuttosto semplice mentre quella della silice è difficile (serve una temperatura  $> 1800^{\circ}\text{C}$ ).

Gli ossidi che non vengono ridotti vanno a formare le scorie (che sono composte principalmente da carbonato di calcio). Tra le scorie c'è il silicato di calcio.

A  $\frac{3}{4}$  dell'altoforno inizia la riduzione del ferro. Quando si giunge a  $T = 1167^{\circ}\text{C}$  si ha ferro fuso e inizia l'eutettico tra Fe e carbonio.

La scoria viene raccolta e usata in altre lavorazioni (ad esempio nei cementifici).

La scoria è un liquido più leggero delle ghise e si deposita sopra.

comp. delle  
La ghisa corrisponde all'eutettico tra ferro e carbonio. (circa il 4.7%)

Si vuole avere una comp. di carbonio  $\leq 2\%$ . Per far diminuire la percentuale si ossida il carbonio.

La ghisa viene trasportata dal convertitore. Viene caricata - il convertitore è in posizione orizzontale - Viene buttata dell'aria sotto pressione nel convertitore. Quest'aria

Le ossidare questi minerali: fosforo, silice, manganese  
 e carbonio → pos. ossidi ↓ liquidi e  
 gli ossidi di carbonio si allontanano.

Gli ossidi di silice, fosforo e manganese non  
 sono desiderati. Si inserisce cola viva nel  
 convertitore per far formare della scoria. Questo  
 bisogna ossidare il convertitore pure si esporta la  
 scoria e poi l'acciaio. Mano a mano  
 che il C viene esportato è necessario  
 che la temperatura rimanga costante (o al  
 limite superiore). In parte q il calore fornito  
 è dato dalla ossidazione del carbonio - Un  
 altra reazione molto esotermica è data dall'  
 ossidazione di silicio e fosforo - la sola ossidat.  
 del carbonio non basta a mantenere la temperatura  
 costante.

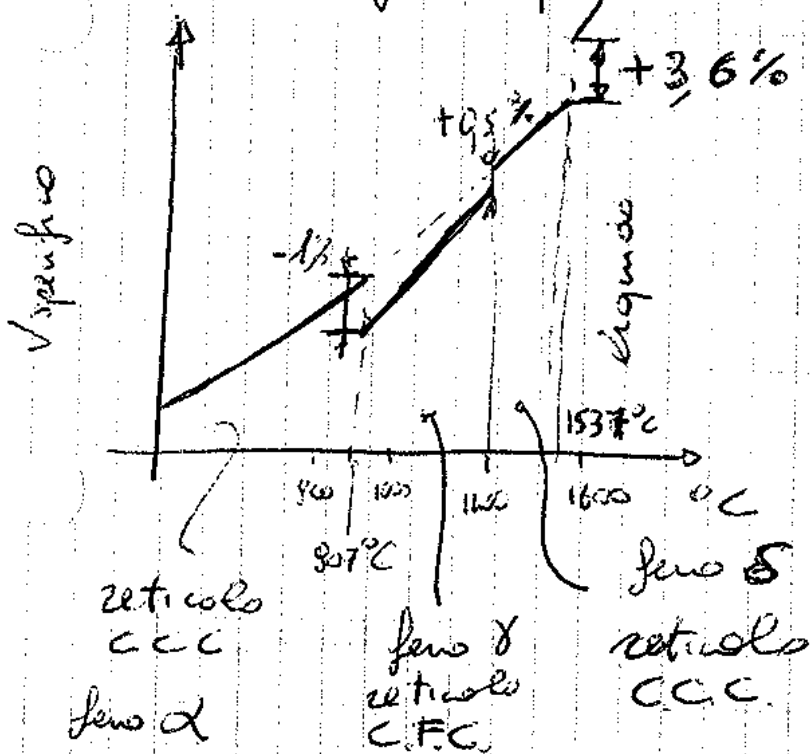
Silicio e manganese e fosforo si ossidano  
 velocemente, mentre il carbonio impiega più  
 tempo. (Si, Mn, P circa 4-5 minuti, C circa 20 min).  
 Il problema è evitare il processo di ossidazione.  
 Quando si vuol evitare il processo bisogna  
 arricchire il convertitore, esportare la scoria, e  
 colare l'acciaio in un'altra officina. Nelle pratiche  
 si fa un'ossidazione completa. Si ottiene quasi  
 ferro puro. Si ha rischio che rimanga dell'ossigeno

disolto nel ferro. Si fanno poco delle aggiunte per eliminare l'ossigeno e ripulire le g. di carbonio desiderate. Si aggiungono (leghe Si, Mn, e) e ghise speculari. Questo consente di avere ingotti di acciaio che contengano la percentuale voluta di C. (più impurezze Si, Mn e ossigeno). Queste è una lega Fe-C. Si fanno leghe anche con metalli di transizione.

Il processo al convertitore soffiato ha diverse varianti. Una è mandare ossigeno puro. Un'alternativa è l'utilizzo di forni elettrici. (Se si hanno rottami d'acciaio contenenti ossigeno, si possono mettere i rottami insieme alla ghisa e si può arrivare alle % di carbonio volute).

### MICROSTRUTTURA ACCIAI

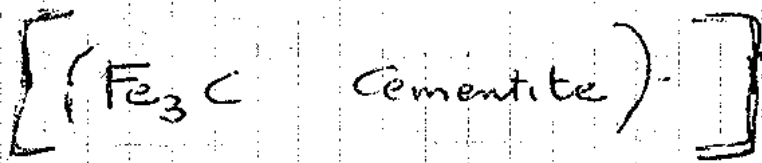
Il ferro puro <sup>ha</sup> ~~parte~~ trasformazione polimerifiche.





Solubilità C in Fe:

Ferite  $\alpha$ : 0,02% a 723 °C



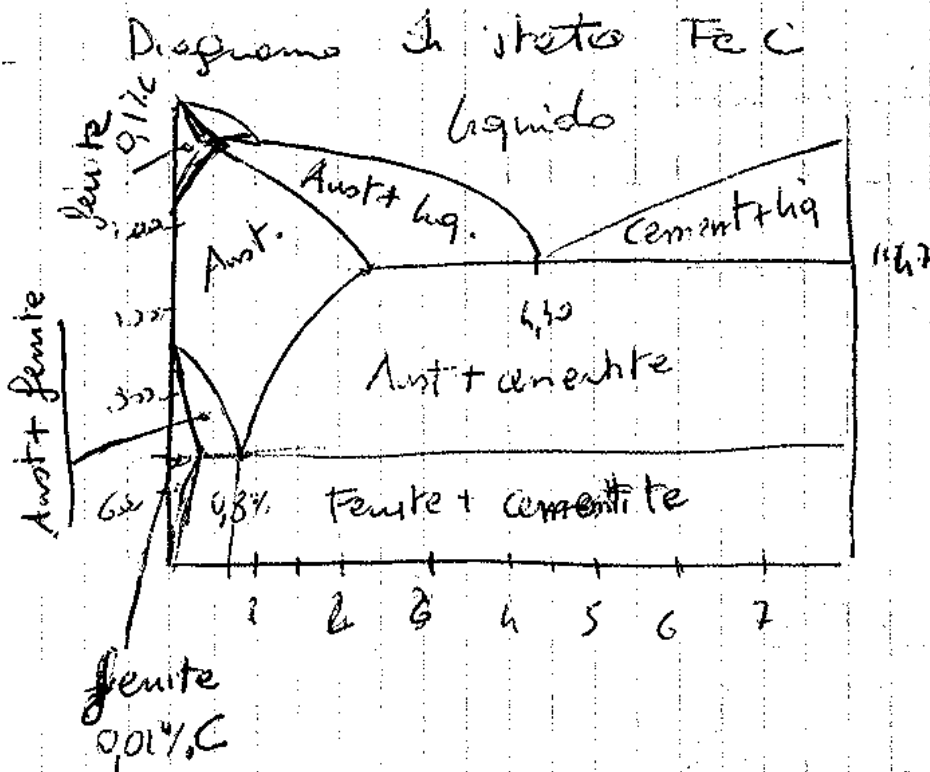
(C Fase  $\gamma$ )  
 Austenite  $\gamma$  2,06% a 1147 °C  
 Ferite  $\delta$  0,1% a 1493 °C

temperatura eutettica.

Motivazione > solubilità:

- strutture più grandi anche se volume è distribuito piccolo
- temperatura maggiore rispetto al ferro  $\alpha$ .

Si formano soluzioni solide nel ferro  $\alpha$ ,  $\gamma$  e  $\delta$ .



Alte temperature trasformazioni peritettiche - A 1147 °C eutettica - A 723 °C l'austenite si trasforma

in fonte  $\alpha$  e cementite ..

La ghisa non segue la trasformazione del diagramma di stato. Infatti la ghisa pura non hanno cementite, ma hanno lamelle di grafite. Il diagramma di stato va bene solo per leghe con  $C < 4\%$ . Per questo il diagramma va tralleggiato e detto del 4-5%.

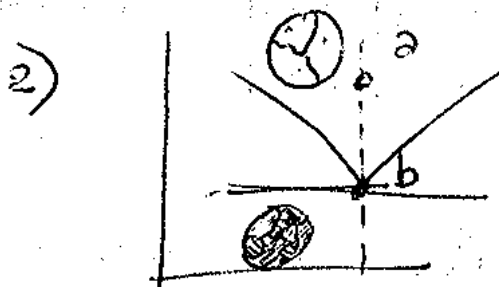
Gli acciai hanno composizione del 0,2% al 1,5%

di carbonio. Quando è composta l'ultima parte di liquido l'acciaio liquido contiene solo Austenite a Temp. alte.

Abbiamo 3 possibilità:

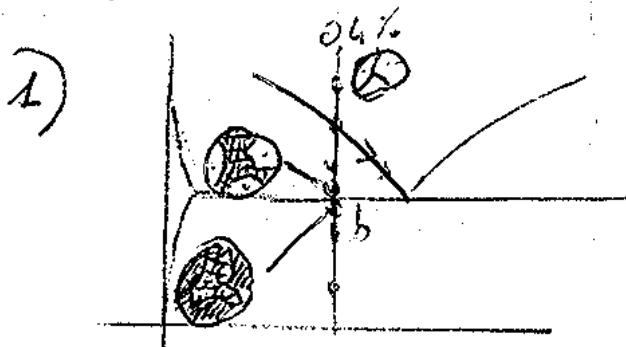
- 1)  $C < 0,8\%$  acciai ipoeutettoidici
- 2)  $C = 0,8\%$  acciaio eutettoidico
- 3)  $C > 0,8\%$  acciai ipereutettoidici

Come evolve l'austenite nei tre casi:



- a) coesistenza dell'Austenite
- b) punto di rappresentazione eutettoide. Si separano 2 fasi solide cioè l'Austenite e la 2 fasi sono

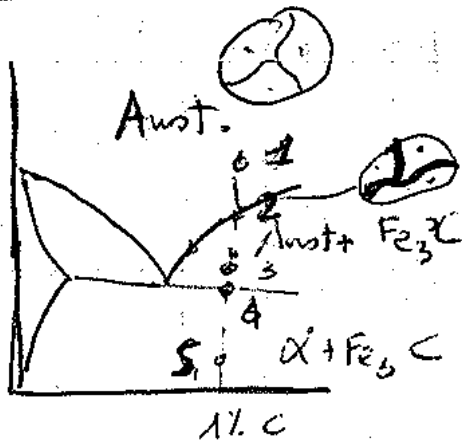
fonte  $\alpha$  e cementite




- b) austenite ha comp. 0,8% C. Subisce trasformazione eutettoidica.

Struttura finale: cristalli  $\alpha$  grossi e struttura eutettoidica

### 3) Acciaio IPER EUTETTOIDICO




- 1) solo austenite
- 2) inizia a formarsi una nuova fase: la cementite.

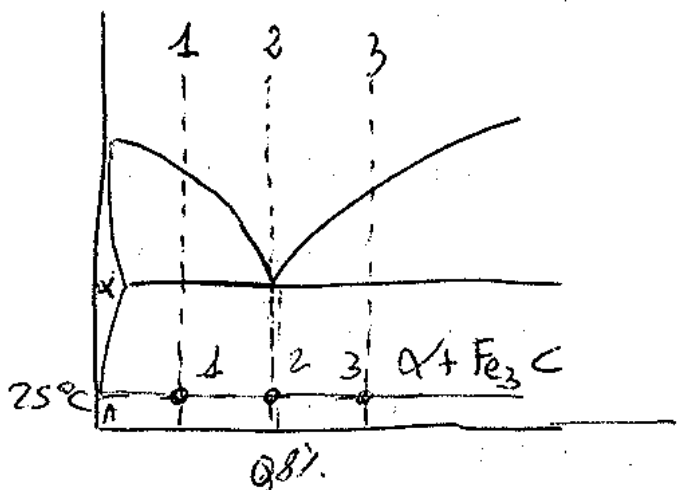
3)  Si separano cristalli di cementite che continuano ad aumentare.

4) Iniziano a formarsi le lamine di fase  $\alpha$  e cementite che non si è ancora trasformata. Arrivare la trasform. eutettoidica. Si formano le lamine di fase  $\alpha$  e cementite.

5) La trasform. è terminata. Si ha cementite + fase  $\alpha$ .

 è detta anche perlite (lamelle di cementite e di fase  $\alpha$ )

Distinzioni acciaio duro, dolce, semi-duro.



che differenza c'è a  $25^{\circ}\text{C}$  tra acciaio 1, 2 e 3  
 la fase  $\alpha$  è la stessa per tutti e 3 gli  
 acciai. Ciascun acciaio ha la cementite.

$$\%C_1 = \frac{A_1}{AC} \cdot 100 \approx 7\% \quad \%C_2 = \frac{A_2}{AC} \cdot 100 \approx 10\%$$

$$\%C_3 = \frac{A_3}{AC} \cdot 100 \approx 30\%$$

Tutti e 3 hanno stesso diametro, ma  
 $A_1 < A_2 < A_3$ .

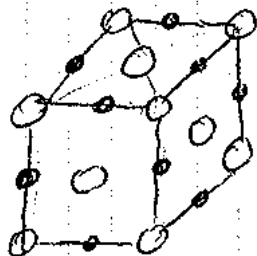
In generale un metallo può non perdere caratteristiche meccaniche.

Mechanismi di rafforzamento:

- soluzione solida (interstiziale o sostituzionale).  
 in questo caso la  $\%C$  è molto piccola  $\approx 0,02\%$ .  
 Quindi l'aumento di resistenza è minimo.
- precipitazione: il precipitato che consente di avere  
 resistenza meccanica elevata è la cementite. Più precipitati  
 c'è più la resistenza aumenta. Un acciaio iperentetto  
 = duro sarà più resistente di un ipocentelloidico.
- graini grano cristallino: più piccoli i graini più  
 si ha resistenza. Questa dipende dal modo  
 in cui si è trasformata l'austenite. Se nucleazione  
 favorita rispetto a crescita  $\uparrow$  pochi di grano.  
 Questo dipende da quanto ci si allontana dalla  
 $T_c$  di equilibrio. Se trasformazione di austenite  
 avviene prevalentemente a temperature basse prende  
 nucleazione.

Al venae delle velocità di raffreddamento si può anche allontanare da ciò che il diagramma prevede. Addittura la temperatura di trasf. dell'austenite entattoica può diventare  $< 723^{\circ}\text{C}$ .

### Influenza della velocità di raffredd. su austenite



Gli atomi di carbonio sono contenuti in interstizi di tipo tetraedrico.

Se tutti i siti tetraedrici fossero

occupati da C avremmo un rapporto  $\frac{\text{atomi Fe}}{\text{atomi C}} = 1$

La max solub. è  $2,06\%$

In quella struttura dovremo avere 0,17 atomi di C

ogni 1,75 atomi di Fe, cioè  $9,78\%$  di C

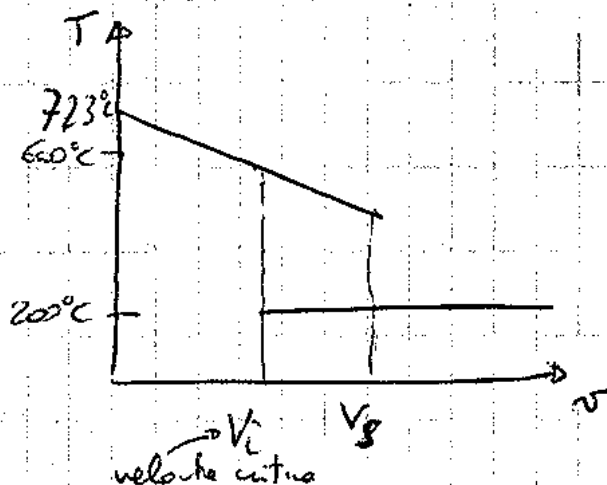
Quindi abbiamo una posizione interstiziale occupata

ogni 10.

Esmpo: acciaio con  $0,8\%$  C

Se trasf. ante Temperatura trasf.  $723^{\circ}\text{C}$

A velocità maggiori la temperatura scende



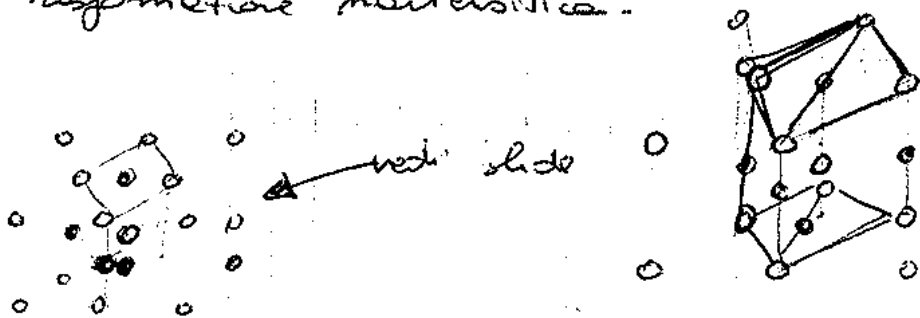
A parità di  $V_1$  l'austenite non si trasforma tutta in ferrite.

Quelle che non si trasformano diventa MARTENSITE che a fine utao è  $200^{\circ}\text{C}$

Se aumentare la velocità oltre  $V_1$  aumenta la pct di martensite, oltre la velocità  $V_2$  tutta

L'austenite si trasforma in martensite.

Raffreddando velocemente non avviene la formazione dei proconi di nucleazione e crescita. L'austenite però non può rimanere tale a basse temperature. Si ha trasformazione martensitica.



L'austenite può diventare con struttura cubica a corpo centrato spostando leggermente gli atomi. <sup>Questo</sup> così è un processo non diffusivo ed è quello che forma la cementite.

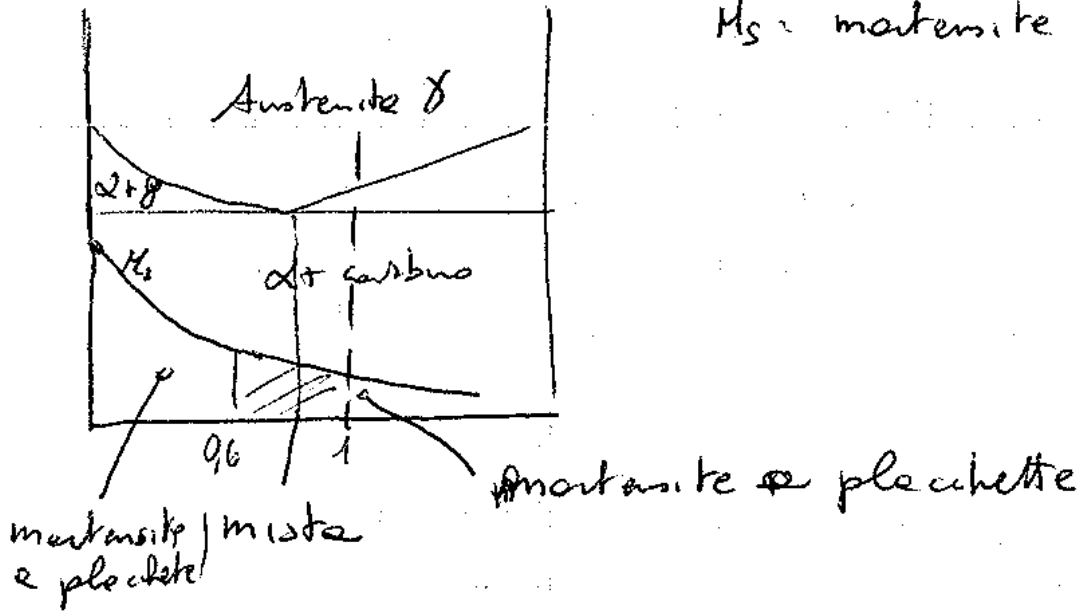
Il risultato delle temprate è che il martensite ha resistenza molto elevata, ma è molto fragile.

Per questo dopo la temprate martensitica si fanno trattamenti secondari per ridurre la fragilità.

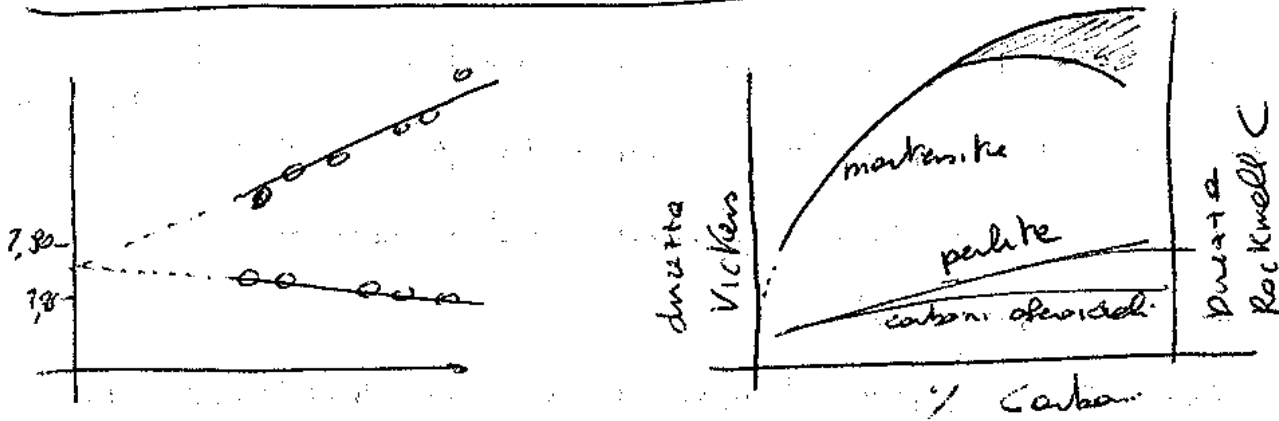
Questi trattamenti fanno nucleare alcuni cristalli di cementite in modo da avere un compromesso tra tenacità e fragilità.

L'insieme dei trattamenti fanno la tempera. La temprate martensitica ha strutture molto fini.

$M_s$  = martensite start

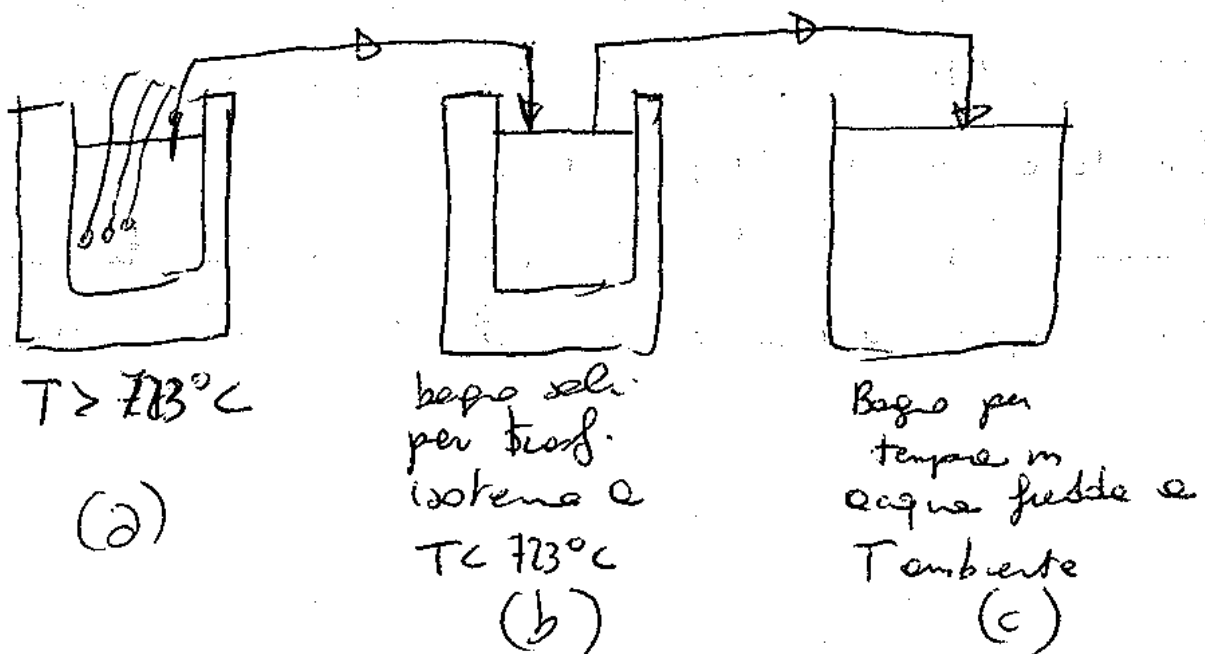


DISTORSIONE delle celle elementari e tenerezza



Anche per martensite: + carbonio piú nell'acciaio migliore è la resistenza.

CURVE TTT: effetto di trasf. isoterma



Treatamenti:

- Tempra martensitica
- Normalizzazione.

Per ogni tipo di acciaio sono stati fatti studi per progettare i trattamenti. Sono stati fatti questi TTT: Tempo Temperatura Trasformazione.

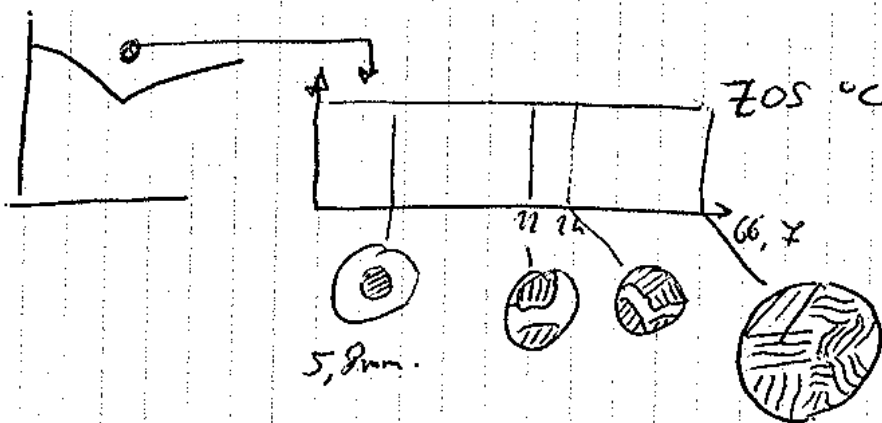
Le curve TTT consentano di disutare i trattamenti fatti.

Le curve TTT vengono ricavate sperimentalmente utilizzando lo schema precedente.

a) Sopra  $723^{\circ}\text{C}$  tutto Austenite - Ci sono dei protoni di acciaio all'interno.

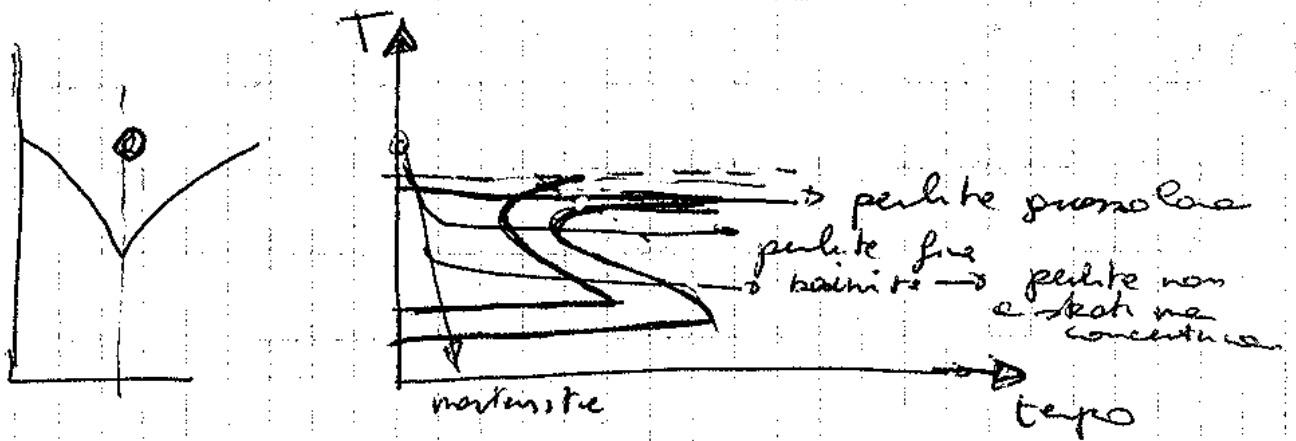
b) Forno con bagno di olio che consente di avere l'oggetto in questione alle temperature del forno molto rapidamente.

Prendi il primo del forno (a) e lo rebo e mettere nel forno (b) e poi lo tempo. Guarda come si presenta la struttura.





Si le il possono per diverse temperature. Poi si riparte tutto nei grafici TTT.



Questo grafico si può leggere in 2 modi:

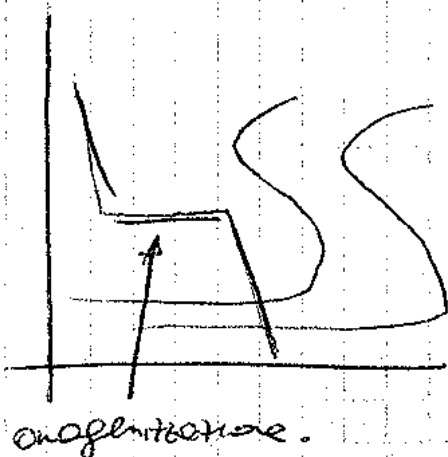
Si può leggere in orizzontale a  $T = cost$

in grande quanto tempo ci mette l'austenite a trasformarsi in ferrite.

Il poco di tempo deve evitare stress di natura termica sul materiale. Altrimenti:

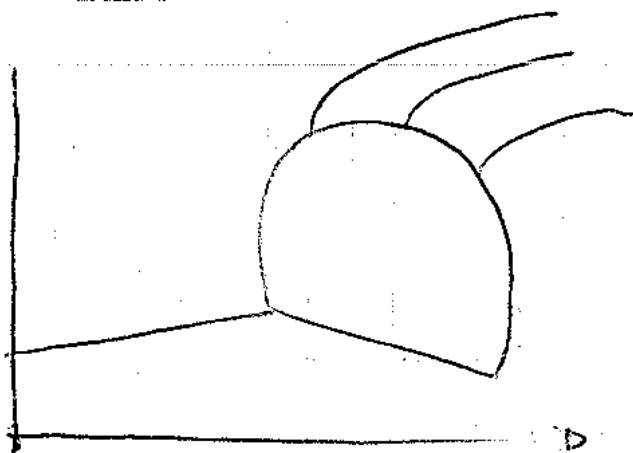
si rischia di creare <sup>se scelto</sup> miche. Gli acciai con strutture martensitiche sono fragili. Il carbonio in

ecceso si sposta dai nodi di grano e a si formano dei cristalli di  $C$ . Questo è il unvenimento.

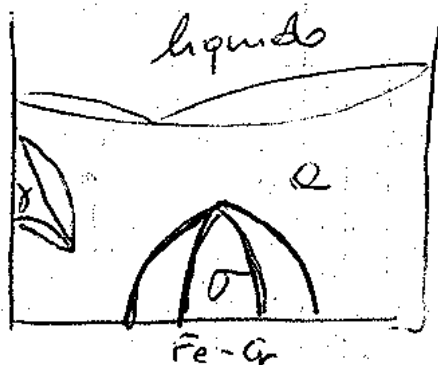


Il processo di tempo è del grano.

## PROEUTETTOIDICI



## ACCIAI INOSSIDABILI



Tipo di acciaio a cui non viene aggiunto solo carbonio, ma anche altri elementi.

È inossidabile perché è presente: l'ossido che si forma non riesce più passare l'ossigeno e blocca il processo di ossidazione. In realtà l'ossigeno deve migrare con dei processi diffusivi allo stato solido, ma questo processo è estremamente lento.

I metalli che danno un ossidato presente sono cromo e alluminio. Per fare acciai inossidabili si usa il cromo.

Analizziamo il caso Fe-C.

Affinché si formi  $\sigma$  bisogna mantenere il materiale a lungo a  $600^\circ\text{C}$ . Quindi queste fasi

è come se non esistesse. Non lo considero.  
non quindi mi fano solo la fase  $\alpha$ . Le  
cromo ha il compito di stabilizzare la  
fase  $\alpha$ .

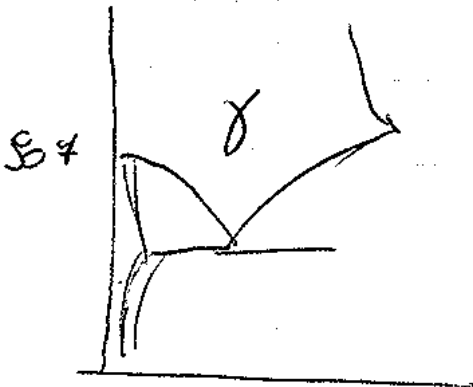
Se ho meno del 13% di cromo ottengo fase  $\delta$ .  
Se ho più del 13% di cromo ottengo sempre  
la fase  $\alpha$ .

Per avere l'effetto passivante devo avere più  
del 13% di Cr.

Gli acciai inossidabili sono fentici di fase  $\alpha$ .  
Questi acciai hanno grosse limitazioni: non sono  
bonificabili.

Acciai martensitici. Se aggiungo il cromo ho fase  
 $\alpha$  e tutte le temperature. Io devo austenitizzare  
l'acciaio. Devo aggiungere un elemento che favorisca  
stabilizzare l'austenite. L'elemento austenitizzante  
più comune è il C.

Se non ha C la fase  $\delta$  non  
esiste pure a  $90^\circ\text{C}$ . Se aggiungo  
carbono l'austenite esiste al di  
sopra dei  $722^\circ\text{C}$ . Quindi C  
stabilizza l'austenite.  
Il più delle volte è sufficientemente  
il carbonio (si fa la martensite e poi si tratta  
un altro elemento stabilizzante è  
il Ni).



Il nichel viene usato per creare un 3° tipo di  
acciai inossidabili "austenitici".  
Devo aggiungere una quantità  $< 40\%$  Ni. Ottimo  
risultato all'austenite.

Nonostante gli acciai fentici e gli austenitici  
non possono essere bonificati. L'unico acciaio inox che  
può essere bonificato è quello martensitico.

I fentici e gli austenitici vengono trattati con  
processi di solubilizzazione.

La solubilizzazione è un processo che permette  
al cromo di passare da composto alle soluzioni  
con il ferro.

Si riscalda l'acciaio ad una  $T$  suff. oltre  
tale che il cromo passi in soluzione con il Fe.  
Questo operazione si può fare per ogni tipo di  
acciaio inox.

Se aggiungo Titanio ottengo dei carboni che migliorano la resistenza e non sott'oggettivo cromo per la passi vedano.

## MATERIALI POLIMERICI

Sono una classe che ha delle sue specificità.

Hanno densità basse ( $< 1,5 \frac{g}{cm^3}$ )

Basse temperature di fusione

Materiali sintetici (a meno del cencurù) derivano da prodotti di derivazione del petrolio.

Basse conduttività elettrica

Bassa inerzia e buona resistenza ad usura.

Buona resistenza al fuoco

Buona resistenza a corrosione (e ad agenti chimici).

E: resistenza ottima all'acido fluoridrico.

### Definizione:

MONOMERO: molecola organica utilizzata nella reazione di sintesi del polimero

POLIMERO: molecola organica ed etero per molecole ottenute per sintesi di migliaia o decine di migliaia di monomeri.

COPOLIMERO: materiali polimerici ottenuti da sintesi di monomeri di tipo diverso

GRADO di POLIMERIZZAZIONE: n° monomeri che cost. il polimero

PESSO MOLECOLARE MEDIO: valore medio del peso molecolare delle singole catene polimeriche