

8. Acciai al carbonio

8.1 Introduzione, Produzione

8.2 Diagramma di stato Fe – Fe₃C (metastabile)

- fase ferrite α , austenite γ , cementite Fe₃C

8.3 La trasformazione eutettoidica

- reazione $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$, fattori che influiscono la reazione

- microstrutture lamellare (perlite)

8.4 Formazione della bainite e della martensite

- diagrammi di trasformazione isoterme TTT

- microstrutture e correlazione con proprietà meccaniche

8.5 Riassunto

8.6 Domande di verifica

8.1 Introduzione, produzione dell' acciaio

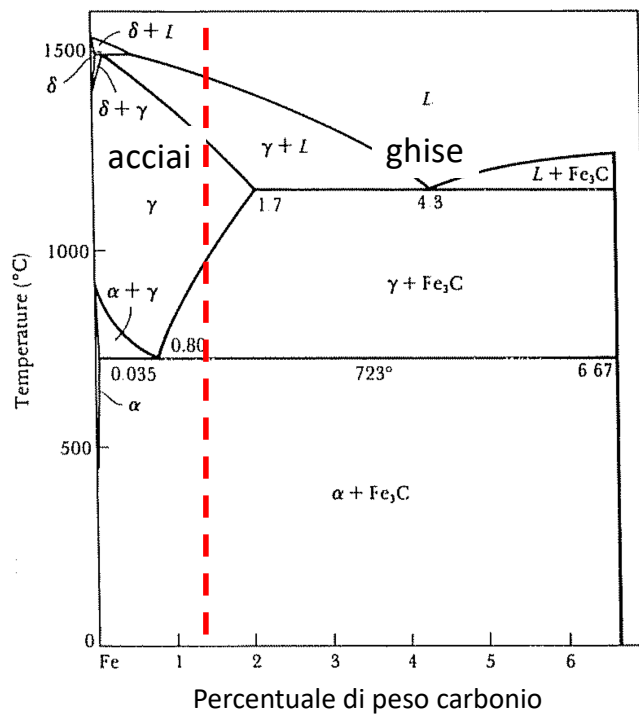
Gli acciai al carbonio sono leghe di ferro e carbonio con un tenore di carbonio tra 0.2 e 1.2 %.

Il ferro viene estratto dagli ossidi di ferro negli altoforni, utilizzando coke (dal carbone) per ridurre gli ossidi di ferro ad alte temperature. Il prodotto di questo processo è la ghisa grezza (ca. 4% di carbonio).

La produzione dell' acciaio avviene nei convertitori di ossigeno: ghisa grezza e rottame (ca. 30%). L' ossido di ferro che si forma viene ridotto dal carbonio. In questa maniera il tenore di carbonio si abbassa.

Il fuso di acciaio contiene tantissime impurezze. Per questo motivo vengono aggiunte addensanti di scorie (calce) per ridurre il tenore di impurezze zolfo e fosforo.

8.2 Il diagramma di stato Fe – Fe₃C



Nel diagramma di stato sono presenti le fasi:

Fe₃C (cementite)
composto intermetallico, 6.67% C

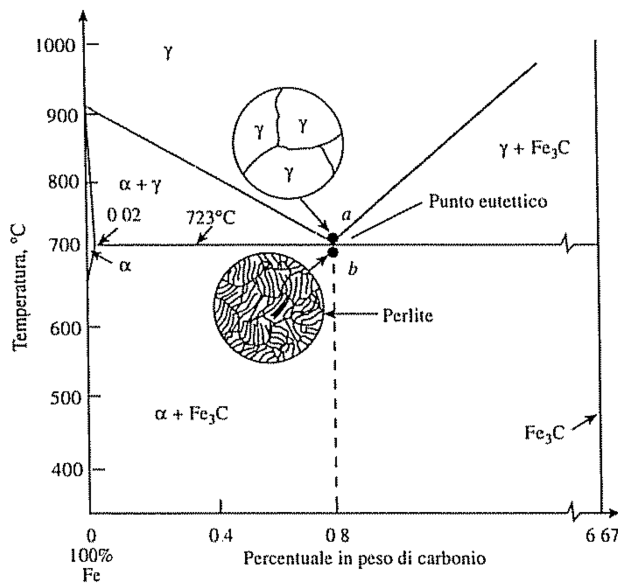
austenite γ (CFC)
soluzione solida Fe-C,

ferrite α (CCC)
soluzione solida Fe-C (0 – 0.02%)

Domanda: che cosa si aspetta per le proprietà meccaniche del Fe₃C ?

8.2 Il diagramma di stato Fe – Fe₃C, acciai

Diagramma di stato della parte 0 – 1.2% C (acciai al carbonio)



Fe₃C (cementite)

composto intermetallico, 6.67% C

austenite γ (CFC)

soluzione solida Fe-C,

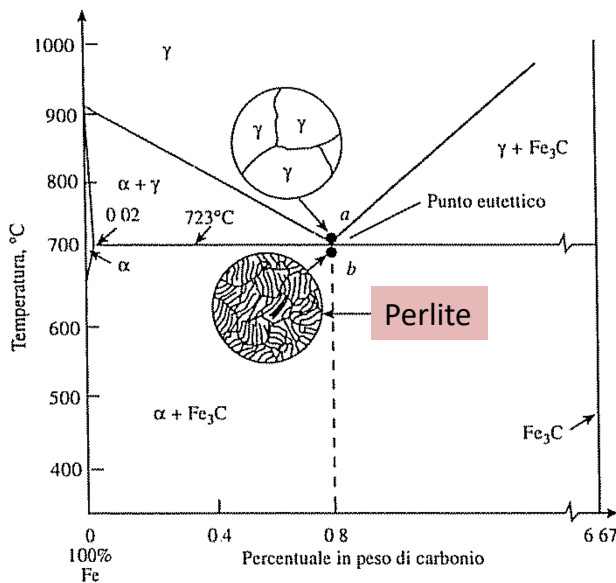
ferrite α (CCC)

soluzione solida Fe-C (0 – 0.02%)

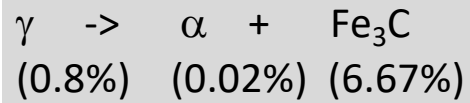
Domanda: perché la solubilità del C nel austenite è molto più alto rispetto alla ferrite ?

8.3 La trasformazione eutettoidica

A 723 °C e 0.8% di carbonio esiste un punto triplo con γ , α e Fe_3C (solidi)



Reazione eutettoidica:



L'austenite γ (CFC) si trasforma in ferrite α (CCC) più cementite Fe_3C . Questa reazione avviene nello stato solido.

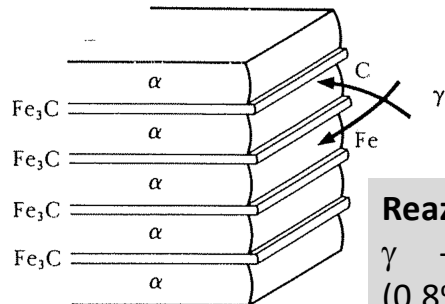
Domanda: quale microstruttura si aspetta da $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$?

Con la quantità, la forma e la distribuzione della fase Fe_3C nella fase α controlliamo le proprietà meccaniche degli acciai.

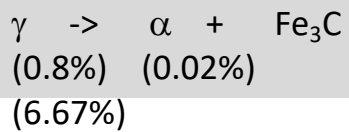
8.3 Trasformazione eutettoidica – la perlite

Dalla trasformazione dell' austenite γ a 723 °C e 0.8% di carbonio si forma la perlite, una struttura finissima lamellare composto di α e Fe_3C .

formazione della perlite



Reazione eutettoidica:



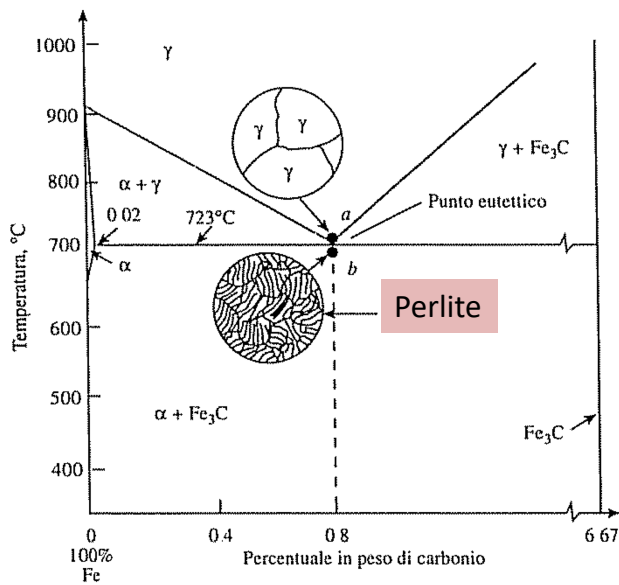
microstruttura della perlite



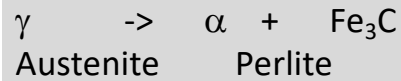
La struttura della microstruttura della perlite, formato nella reazione eutettoidica, è lamellare. Le lamelle sono molto più sottili di quelli dell' eutettico Pb-Sn perché la trasformazione avviene nello stato solido.

8.3 La perlite

Dalla trasformazione dell' austenite γ a 723 °C e 0.8% di carbonio si forma la perlite, una struttura finissima lamellare composto di α e Fe_3C .



Reazione eutettoidica:



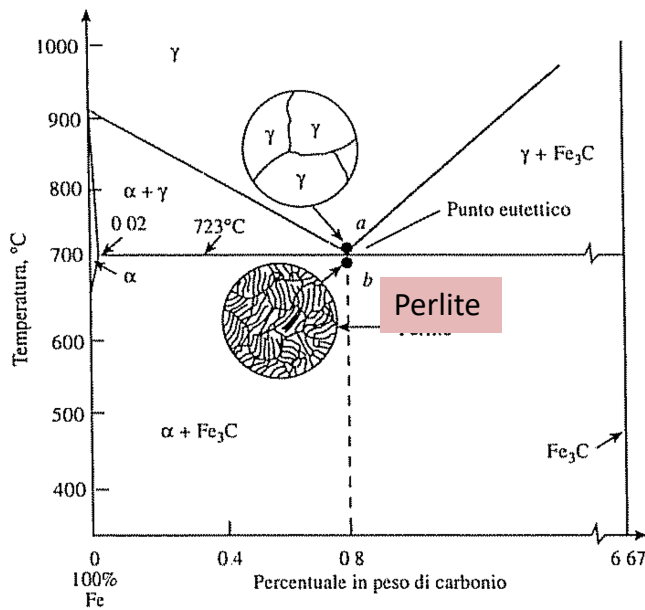
Perlite è una microstruttura con
 α ferrite, 0.02% C
 Fe_3C cementite, 6.67% C

Domanda:

Calcolare la quantità di α e di Fe_3C nella perlite

8.3 Processi di raffreddamento

Dalla trasformazione dell' austenite γ a $723\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 0.8% di carbonio si forma la perlite, una struttura finissima lamellare composto di α e Fe_3C .



Lega con 0.8% carbonio

100% di austenite γ a T alte

a $T > 723\text{ }^{\circ}\text{C}$ 100% γ

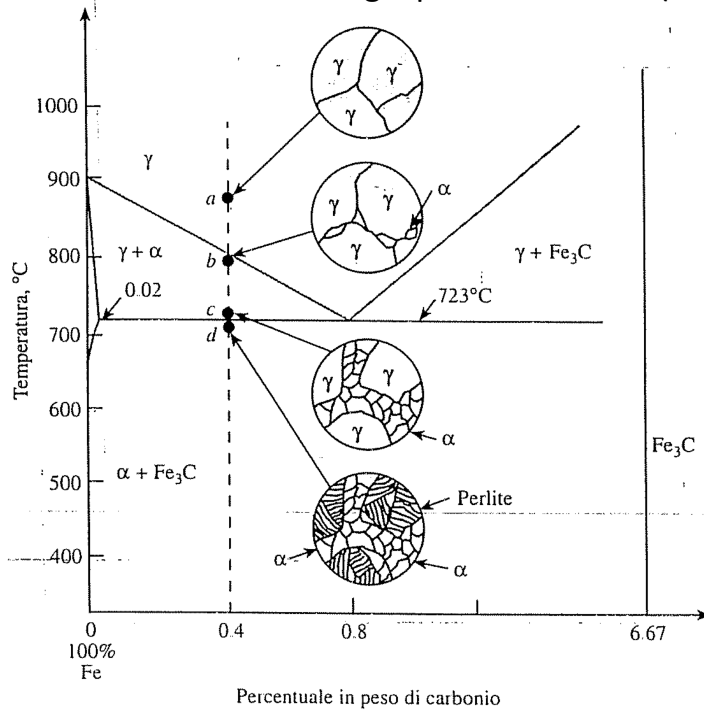
$T = 723\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\gamma \rightarrow$ Perlite

b $T < 723\text{ }^{\circ}\text{C}$ 100% Perlite
(88% α e 12% Fe_3C)

Lega con 0.8% C \rightarrow 12% Fe_3C

8.3 Processi di raffreddamento

Traformazione di una lega ipo-eutettoidico ($C < 0.8\%$).



Legha con 0.4% carbonio

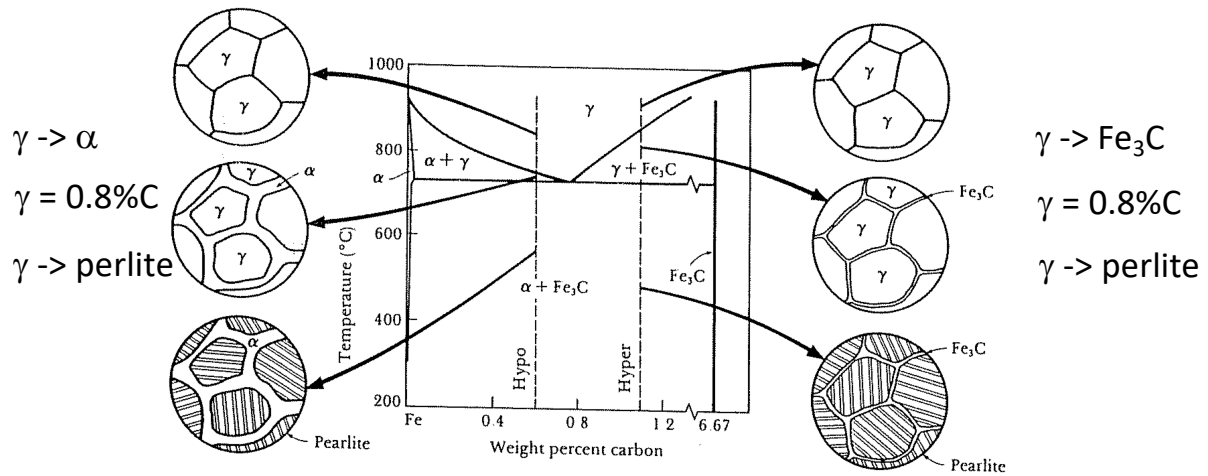
- a 100% di austenite γ a T alte
- b formazione α pro-eutettoidico
- c 50% α , 50% g
T = 723°C $\gamma \rightarrow$ Perlite
- d 50% α pro-eutt. e 50% perlite
(88% α e 12% Fe_3C)

Legha con 0.4% C \rightarrow 6% Fe_3C

Domanda: Perché i cristalli di α pro-eutettico si formano lungo i bordi di grano ?

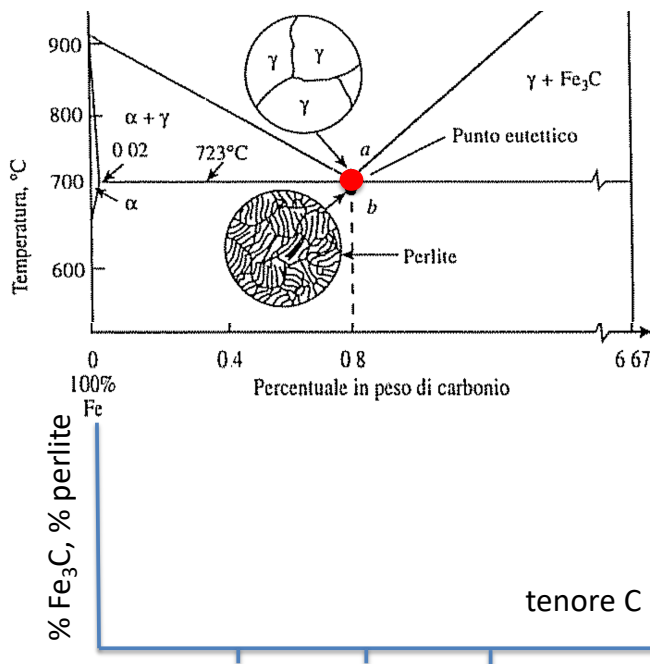
8.3 Processi di raffreddamento

Trasformazione di una lega ipo-eutettoidico o iper-eutettoidico. La composizione dell' austenite γ primo della trasformazione deve essere 0.8%C.

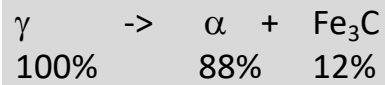


8.3 Quantità della cementite Fe₃C e della perlite

La quantità della cementite è importante per le proprietà meccaniche.



Reazione eutettoidica (0.8%):



Disegnare la quantità della cementite Fe₃C e della perlite verso il tenore di C.

Che cosa si osserva ?

8.3 Proprietà meccaniche e diagramma di stato

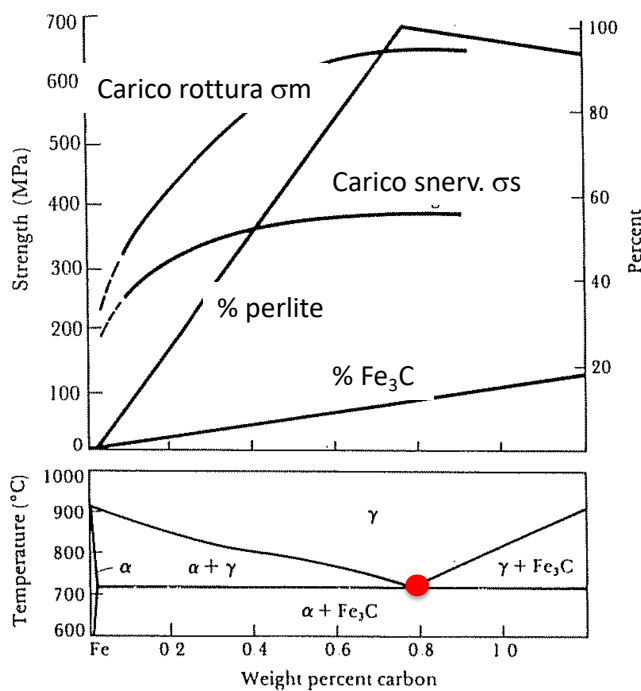


Diagramma di stato Fe-Fe₃C con parziale miscibilità. Punto eutetico a 0.8% C

La percentuale della cementite Fe₃C aumenta linearmente

La percentuale della perlite è massima (100%) a 0.8% di C.

Spiegare perché aumentano la resistenza meccanica σ_s e σ_m .

8.3 Controllare la trasformazione eutettoidica

Variando il contenuto di carbonio e le modalità di raffreddamento degli acciai si possono ottenere diverse combinazioni di microstrutture e di conseguenza di proprietà meccaniche.

- Controllo della *composizione*
Un tenore di carbonio alto fa aumentare la percentuale della cementite (fase dura) e anche della perlite Fe_3C aumenta linearmente
- Controllo della *dimensione dei grani dell' austenite γ*
La nucleazione della perlite avviene ai bordi di grano dell' austenite. Grani fini aumentano il numero delle lamelle della perlite.
- Controllo della *velocità di raffreddamento*
Aumentando la velocità di raffreddamento il tempo con diffusione veloce è più breve e le lamelle della perlite diventano più sottili
- Controllo della *temperatura di trasformazione*
Temperature di trasformazioni più basse risultano in lamelle più fini.

8.3 Effetto del tenore di carbonio

La microstruttura che risulta dalla trasformazione eutettoidica si controlla con il tenore di carbonio.

Effetto del tenore di C

carbonio (%)	raffreddamento lento (perlite grossolano)			raffreddamento veloce (perlite fine)		
	Rp	Rm	ϵ %	Rp	Rm	ϵ %
0.2	295	394	36.5	346	441	36
0.4	353	519	30	374	590	28
0.6	372	625	23	420	775	18
0.8	376	615	25	524	1010	11
0.95	380	657	13	500	1014	9.5

Descrivere che cosa si osserva nella tabella.