

Università degli Studi di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
A.A. 2019-2020

Corso di Laurea in Ingegneria Civile ed Ambientale
Corso di Chimica e Tecnologia dei Materiali

Modulo 2: Tecnologia dei Materiali

- Lezione 7: Metalli e Leghe ferrose -

Barbara Codan

bcodan@units.it

Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Università degli Studi di Trieste

I Metalli

1 H																	2 He															
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne															
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar															
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr															
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe															
55 Cs	56 Ba			72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn														
87 Fr	88 Ra			104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn																				
																		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
																		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Elementi chimici in natura:

- Metalli
- Semimetalli
- Non metalli
- Gas rari
- Gas nobili



Circa 80

I Metalli

1 H																	2 He															
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne															
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar															
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr															
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe															
55 Cs	56 Ba	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn																
87 Fr	88 Ra	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn																						
																		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
																		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr



Metallo:

Elemento chimico caratterizzato da alto potere riflettente, opacità alla luce, buona conduttività termica ed elettrica (quest'ultima decrescente al crescere della temperatura), duttilità spesso elevata, e che è inoltre capace di fornire in soluzione ioni dotati di carica positiva e di formare ossidi a carattere basico.

I Metalli

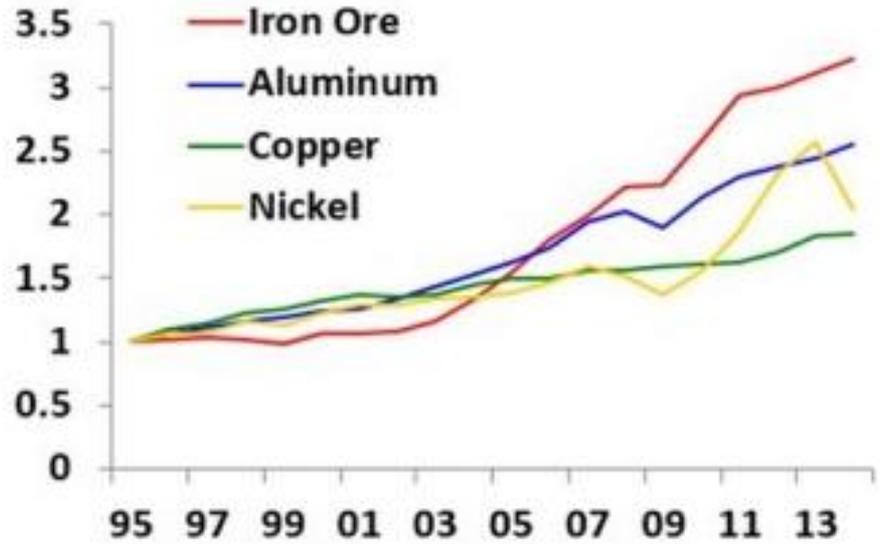
I metalli:

- sono gli elementi chimici più numerosi
- sono solidi a temperatura ambiente e pressione costante (tranne il mercurio)
- hanno un aspetto metallico, lucente
- presentano conducibilità termica ed elettrica elevata
- hanno un'alta densità
- il punto di fusione è elevato

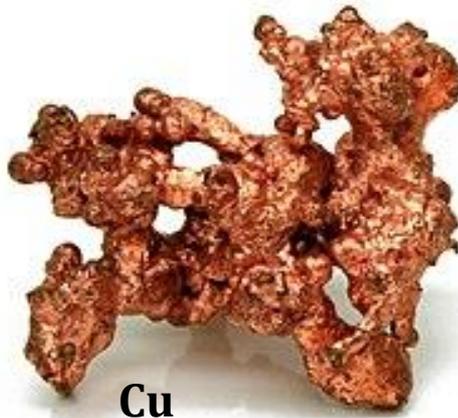
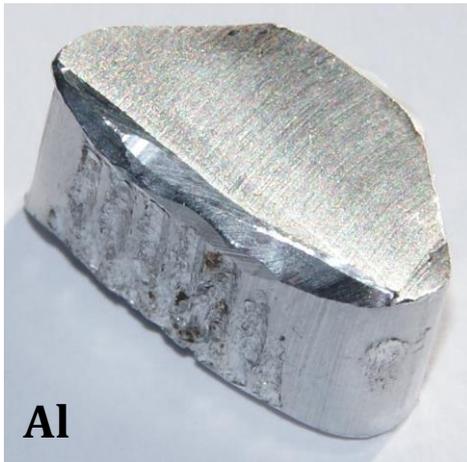


I Metalli

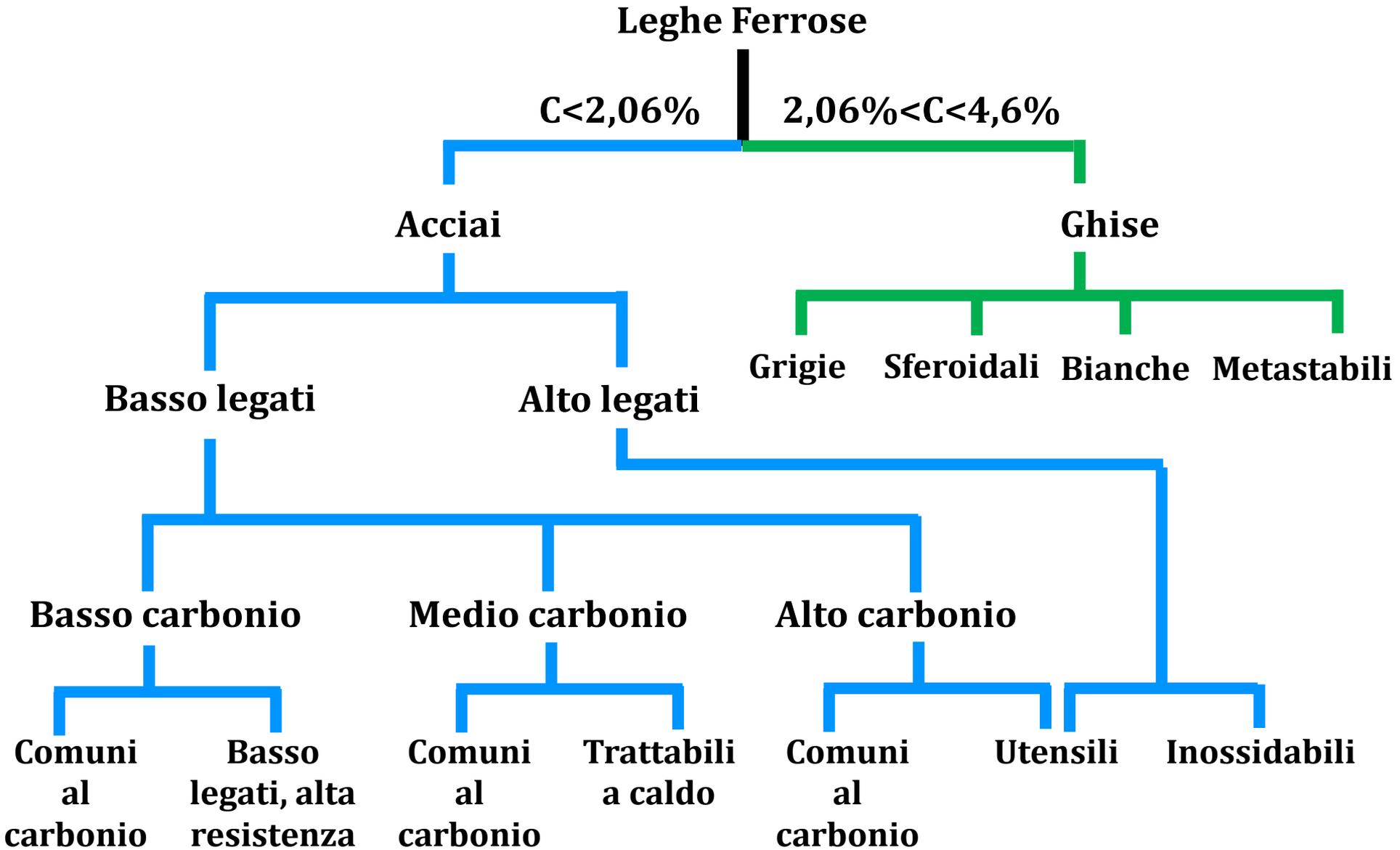
Chart 3. World Metal Production
(1995=1)



Sources: IMF, Primary Commodity Price System; and IMF staff calculations.



I Metalli



Produzione dei metalli

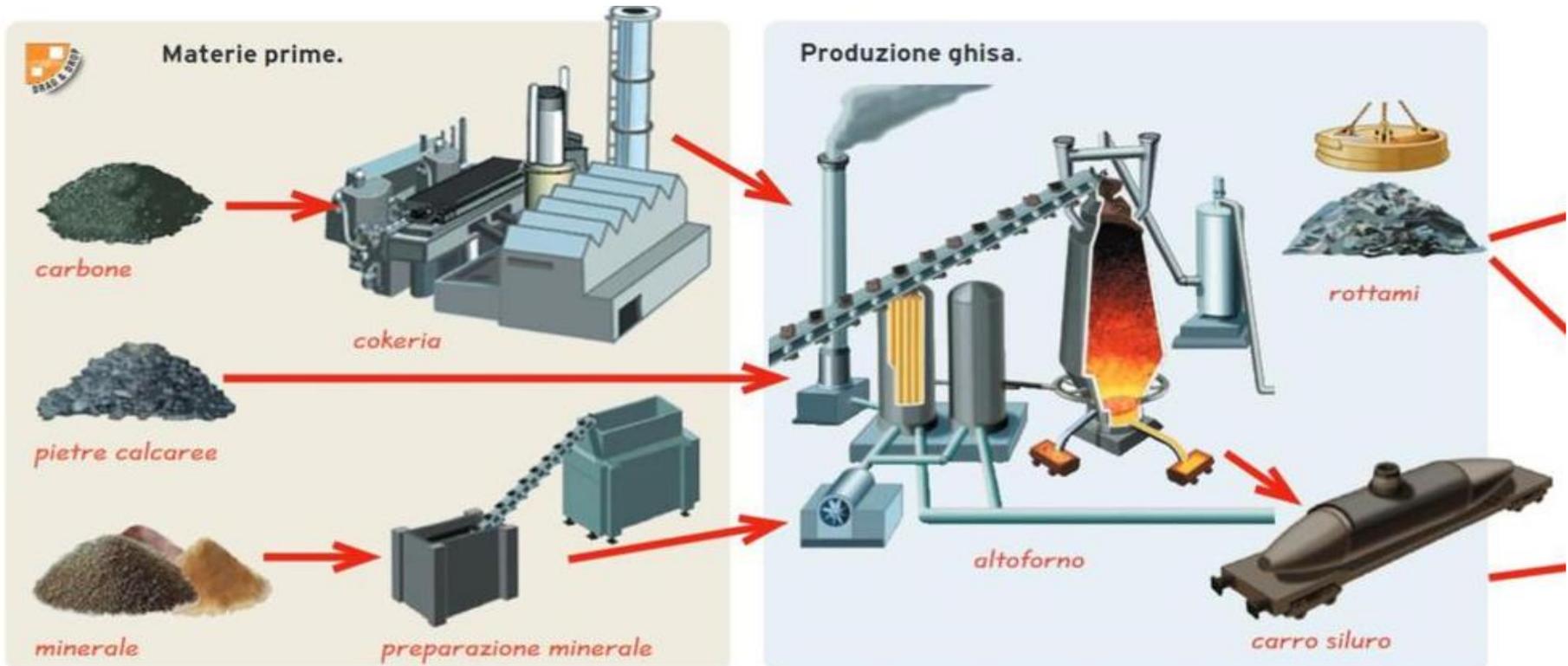
Produzione di metalli

- **Metallurgia:** la scienza e la tecnica che si occupano dell'estrazione dei metalli dai minerali (o dai composti) che li contengono, della loro raffinazione, lavorazione e trasformazione in prodotti industriali
- **Siderurgia:** l'insieme delle tecniche che hanno per scopo la produzione e la prima lavorazione del ferro, della ghisa, dell'acciaio e delle ferroleghie, fino alla produzione di semilavorati quali lingotti, billette, lamiera, ecc.



Produzione dell'acciaio

Dalle materie prime alla ghisa



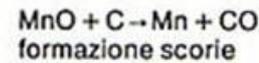
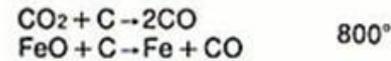
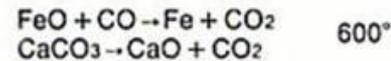
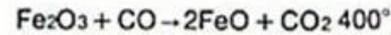
Produzione dell'acciaio

L'altoforno

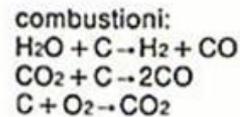


principali reazioni t (in °C)

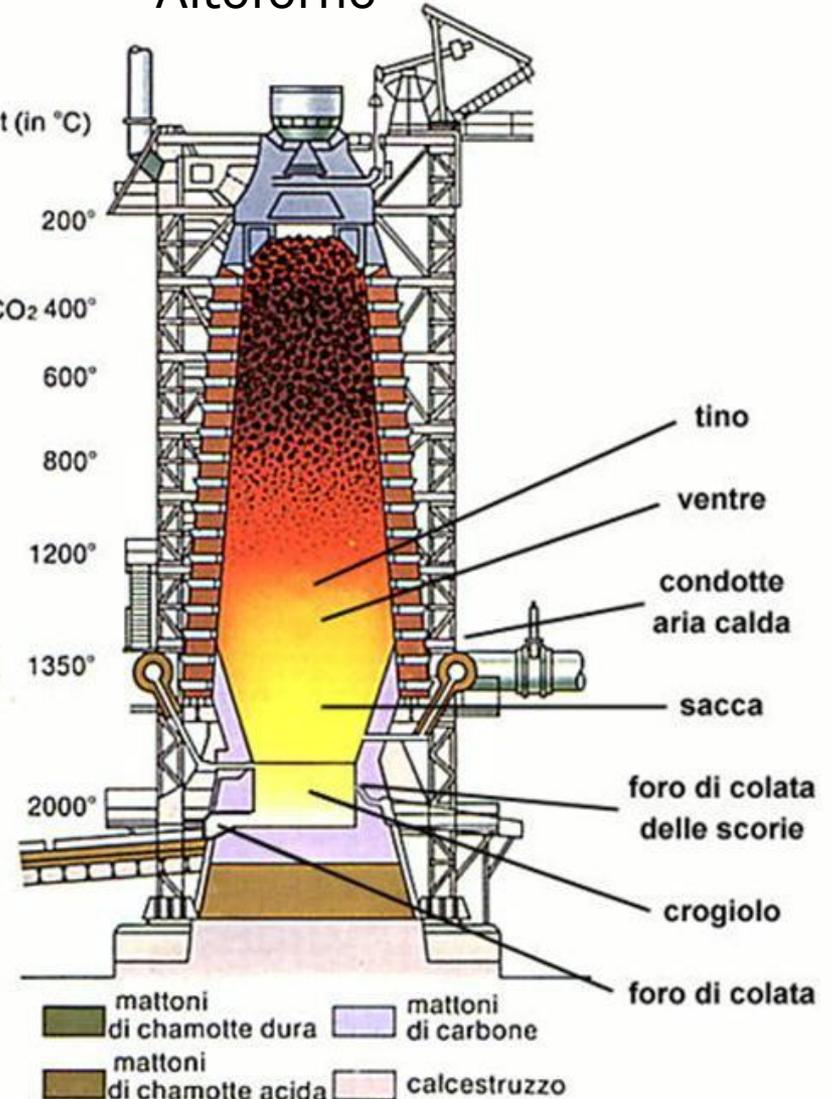
eliminazione acqua 200°



fusione (eccetto coke) 1350°



Altoforno



Produzione dell'acciaio

Dalla ghisa all'acciaio

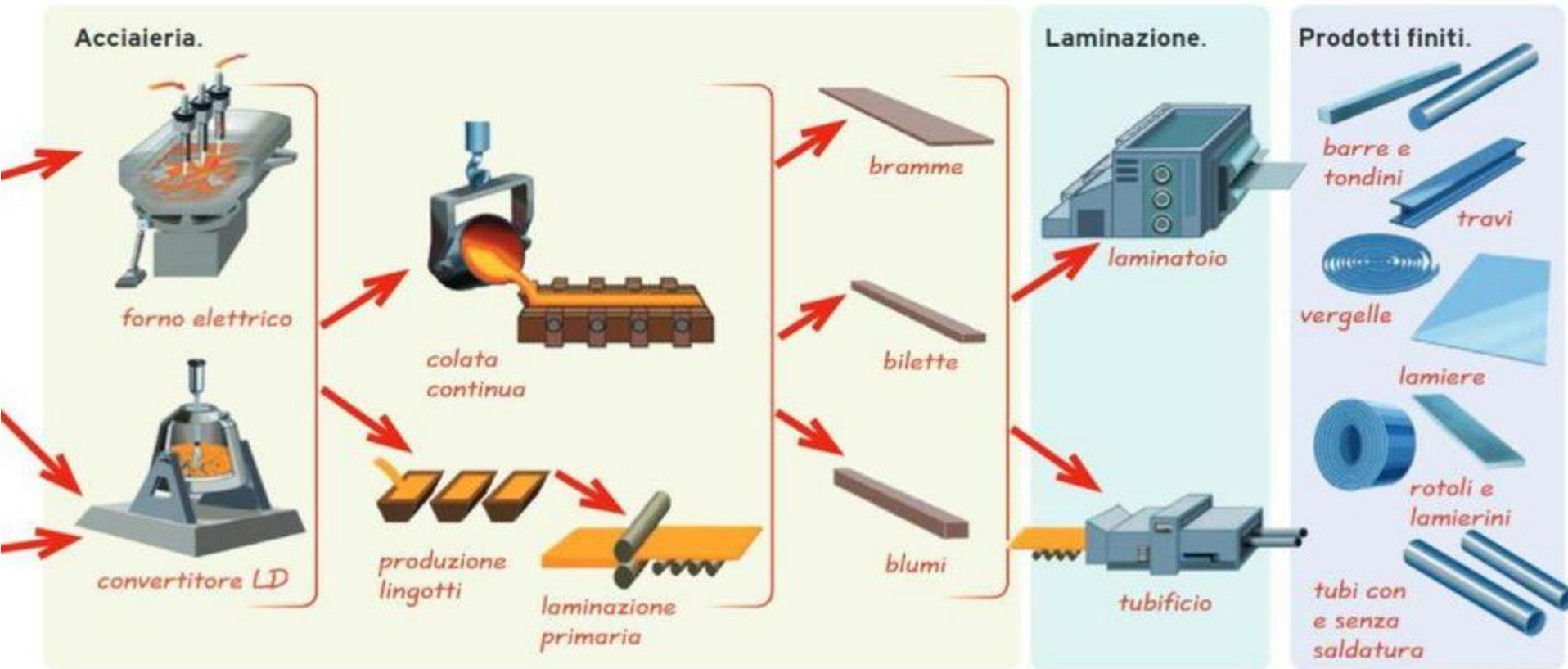


Diagramma Ferro - Carbonio

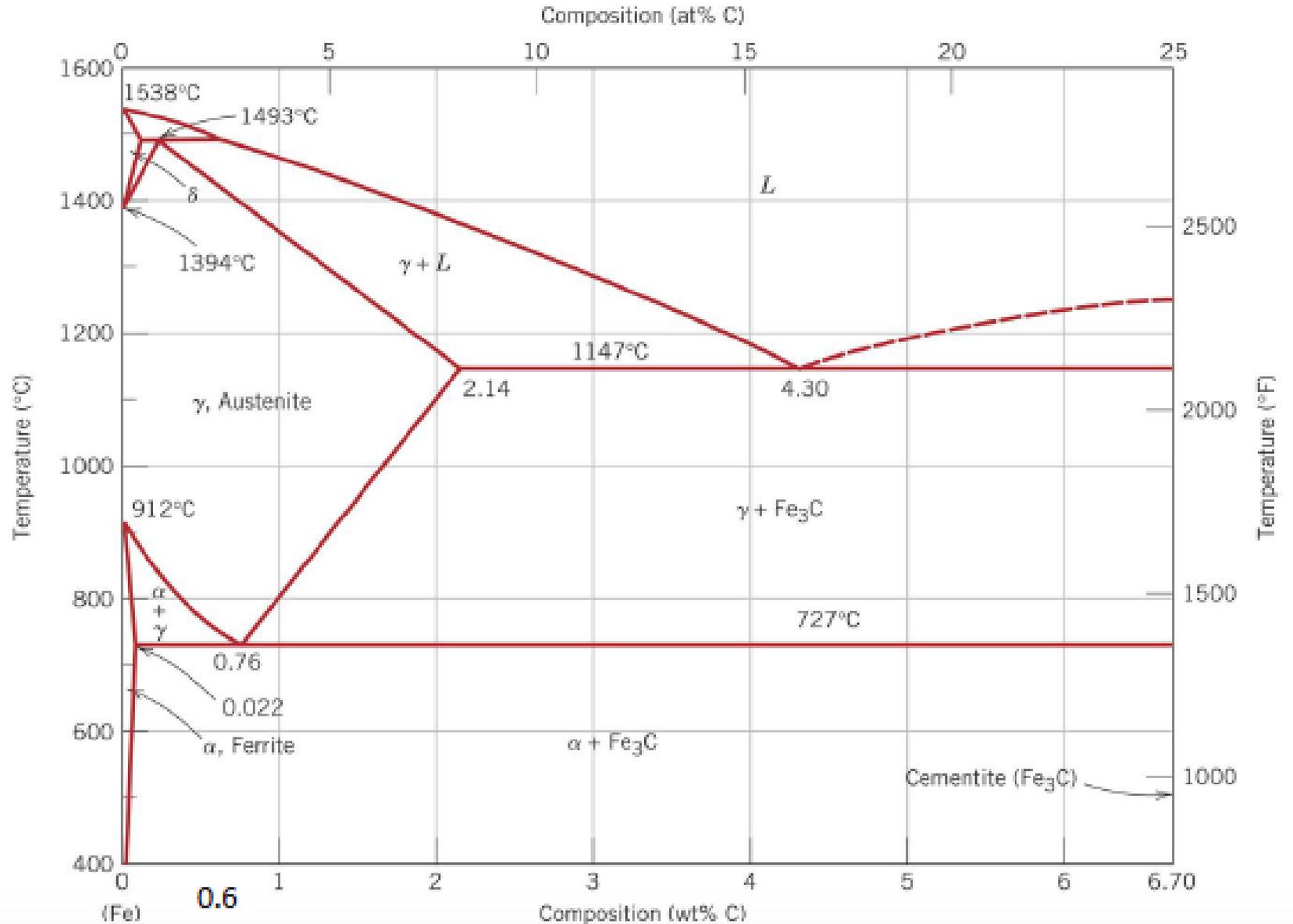
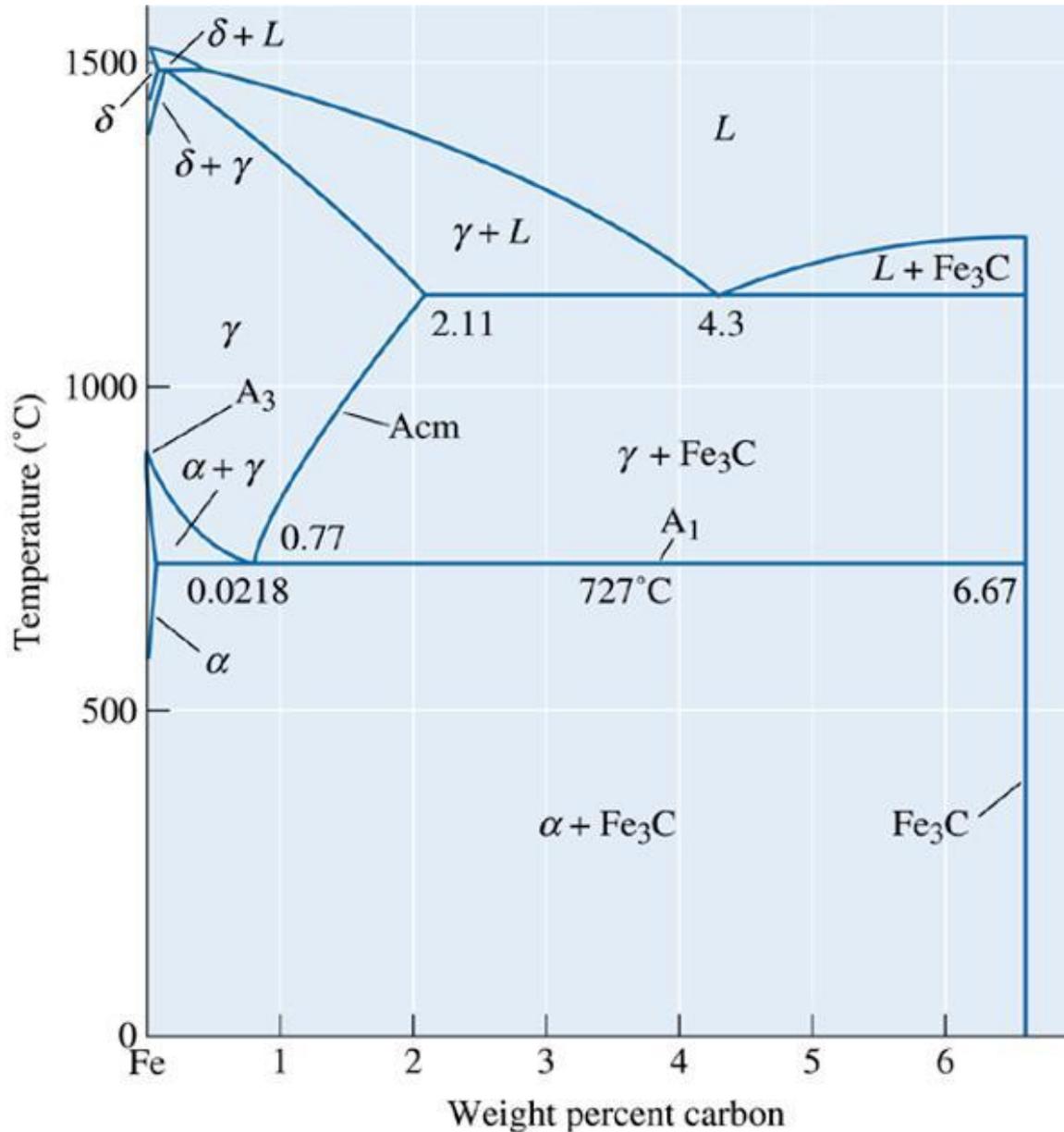


Diagramma Ferro - Carbonio

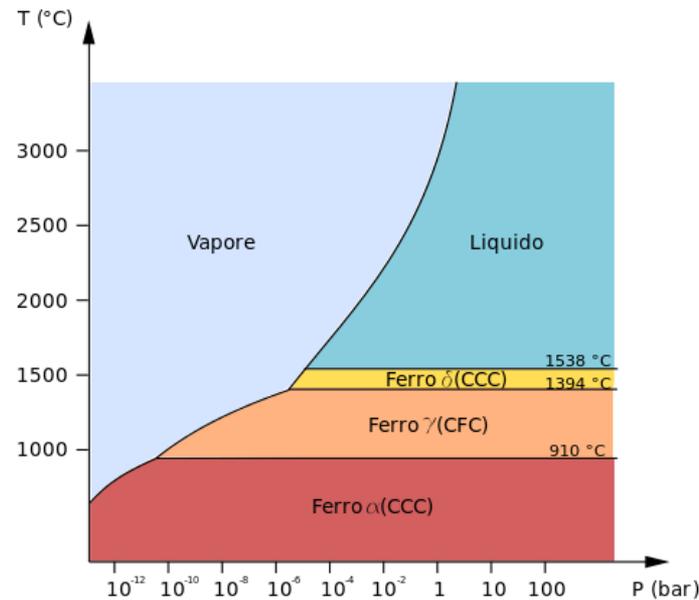


Il diagramma di fase Fe-Fe₃C (una parte del diagramma Fe-C). La linea verticale al 6,67% C è il composto stechiometrico Fe₃C.

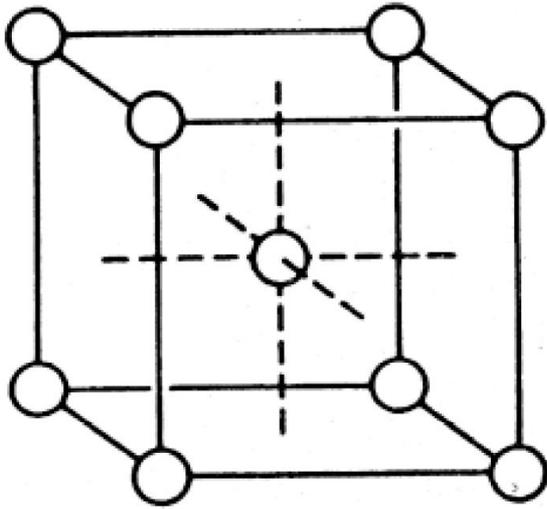
Il Ferro

Il ferro esiste in diverse forme allotropiche, variando la temperatura presenta strutture cristalline diverse: α , β , γ , δ .

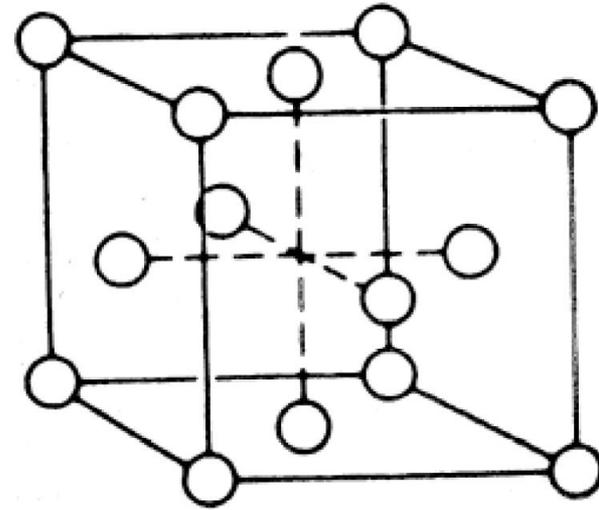
- le forme α , β e δ hanno una struttura cubica a corpo centrato
- la fase β e la fase α hanno la stessa struttura cristallina e si comportano nello stesso modo durante i trattamenti termici, mentre sono diverse le proprietà magnetiche.
- la forma γ presenta una struttura cubica a facce centrate.



Il Ferro



BCC



FCC

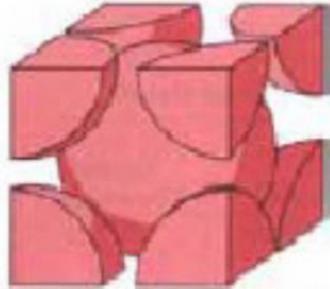
- Ferro α esiste a temperature inferiori a 768 °C; magnetico.
- Ferro β esiste a temperature comprese tra 768/770 °C e 910 °C; presenta una perdita delle caratteristiche magnetiche e alta duttilità.
- Ferro γ esiste a temperature comprese tra 910 °C e 1 394 °C; scioglie carbonio.
- Ferro δ esiste a temperature comprese tra 1 394 °C e 1 538 °C.

Il Ferro

Temperatura

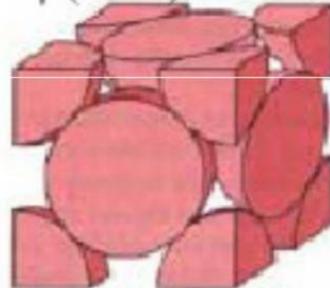
T_f (1538°C)

$Fe\delta$ (CCC) \leftrightarrow liquido



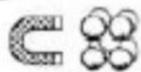
A_4 (1394°C)

$Fe\gamma$ (CFC) \leftrightarrow $Fe\delta$ (CCC)

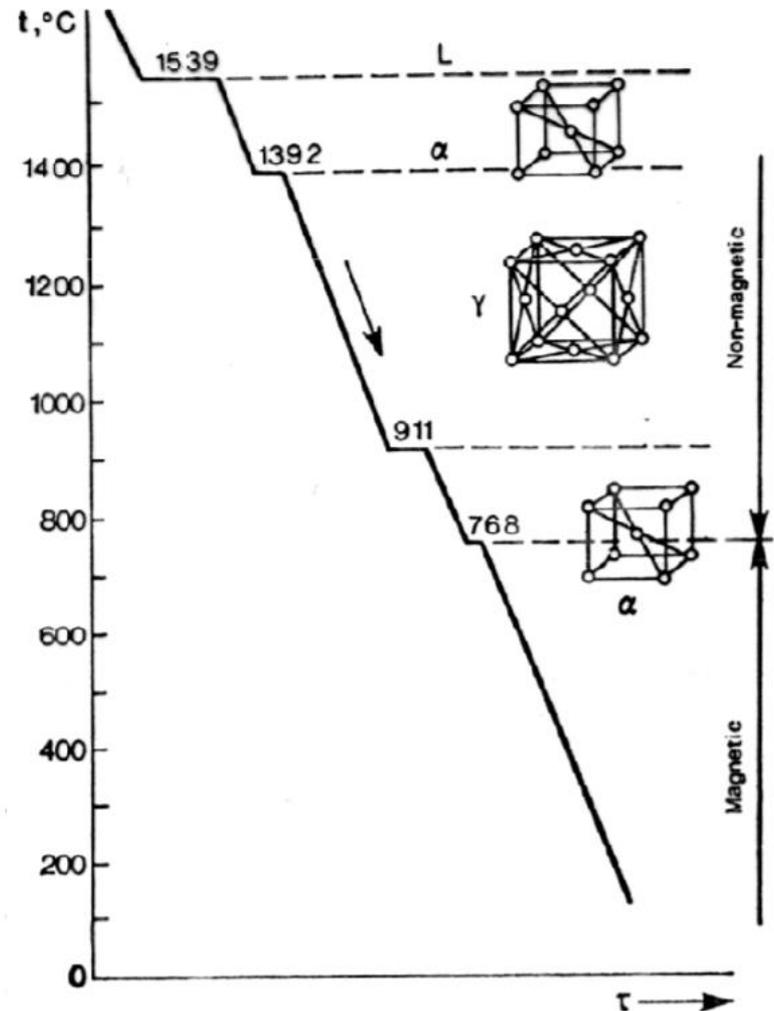
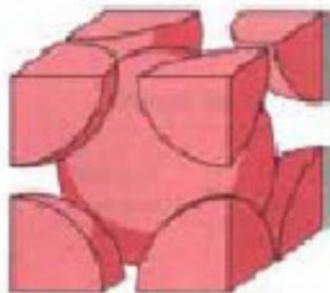


A_3 (912°C)

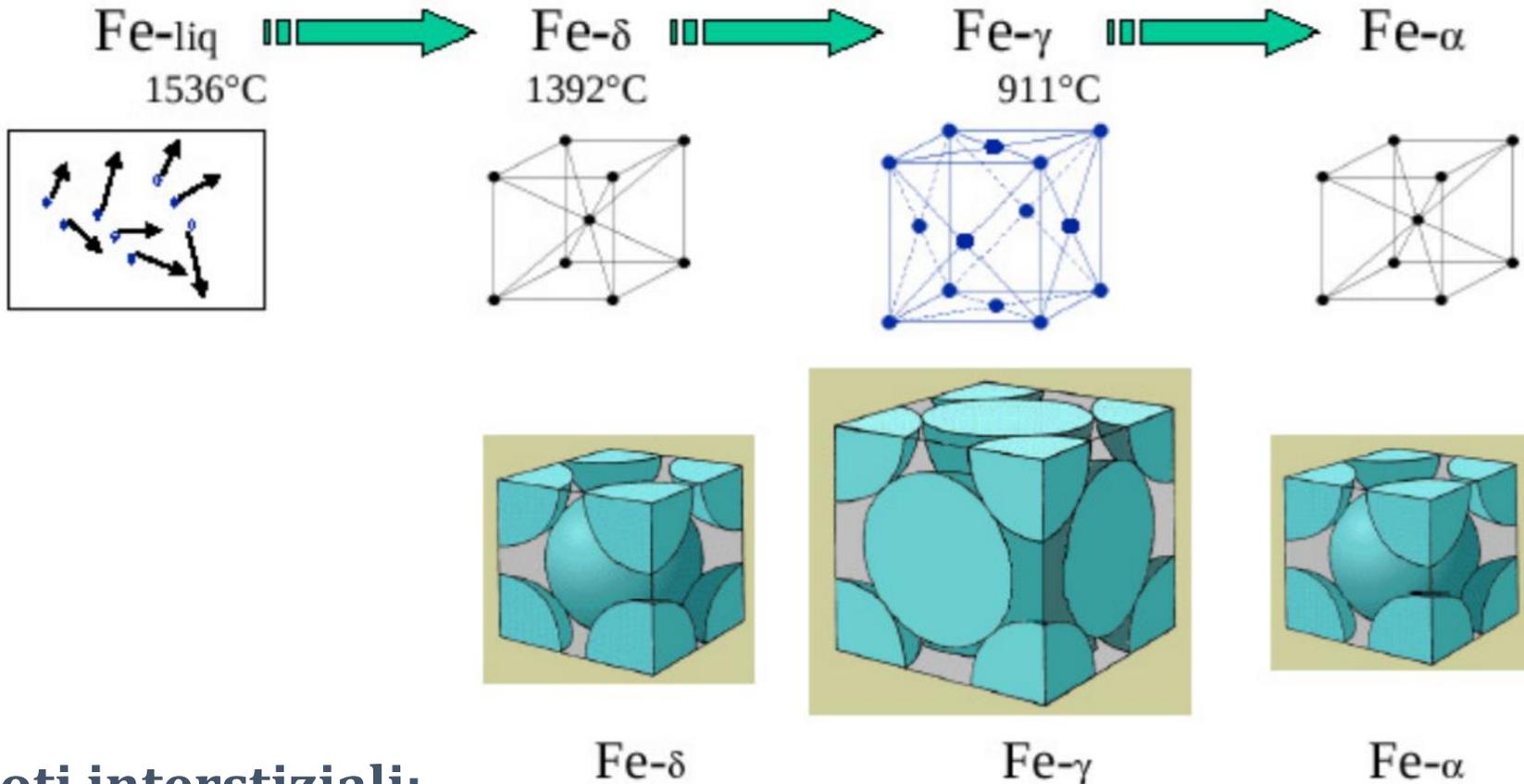
$Fe\alpha$ (CCC) \leftrightarrow $Fe\gamma$ (CFC)



770°C



Il Ferro



Vuoti interstiziali:

Cella CFC

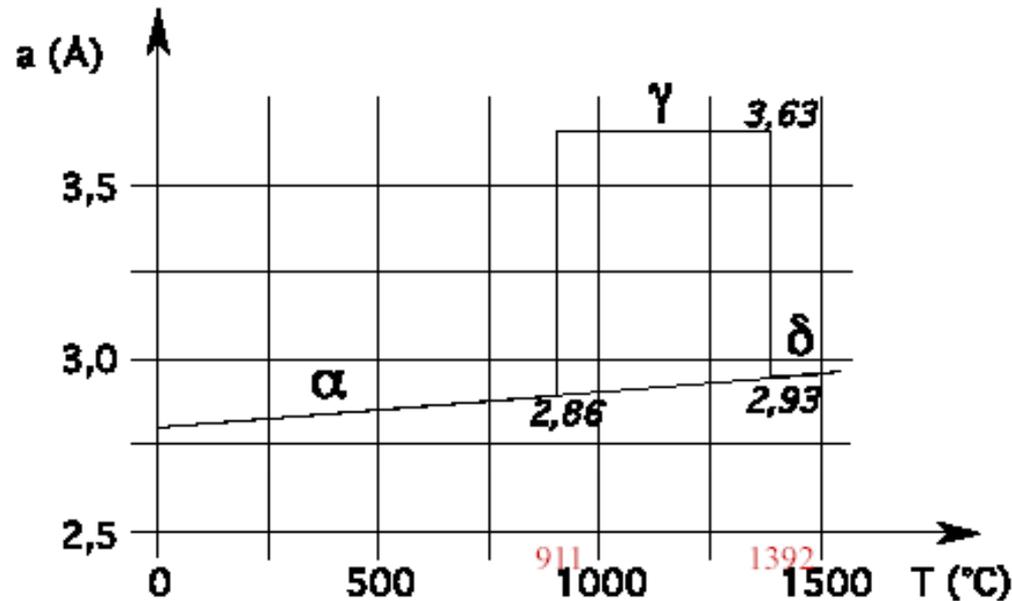
Sito di tipo ottaedrico $r = 0,4142 R$ Caso del $\text{Fe}(\gamma)$: $R = 1,260 \text{ \AA}$, $r = 0,522 \text{ \AA}$

Sito di tipo tetraedrico $r = 0,225 R$ Caso del $\text{Fe}(\gamma)$: $R = 1,260 \text{ \AA}$, $r = 0,284 \text{ \AA}$

Cella CCC

Sito di tipo ottaedrico $r = 0,155 R$ Caso del $\text{Fe}(\alpha)$: $R = 1,250 \text{ \AA}$, $r = 0,194 \text{ \AA}$

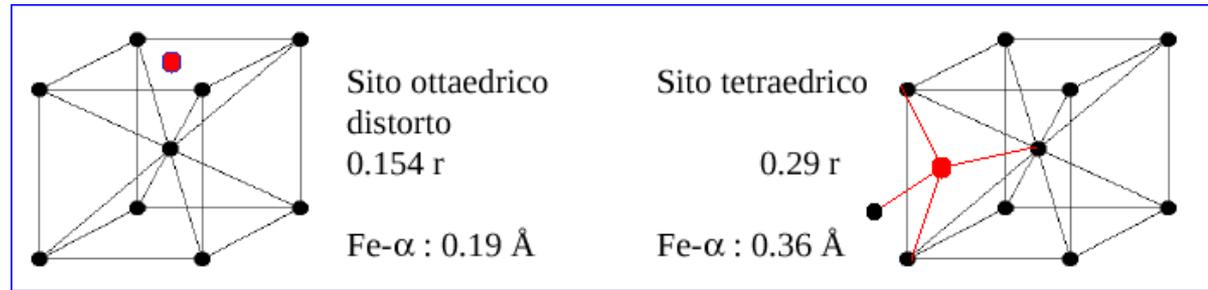
Il Ferro



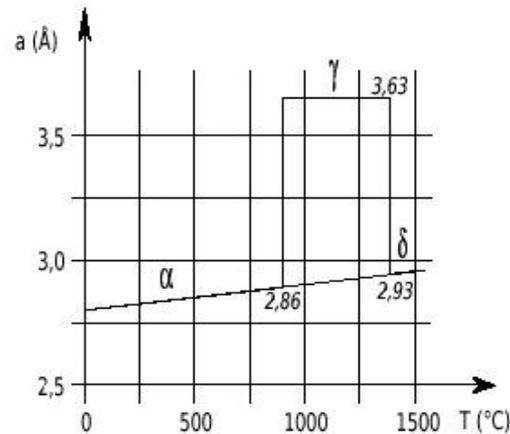
Valutando la variazione dovuta alla temperatura, il ferro α e il ferro δ hanno la stessa costante reticolare: il Fe α e il Fe δ non sono due forme reticolari distinte del ferro, bensì la stessa forma BCC, la quale manifesta una lacuna di esistenza tra 900°C e 1400°C.

Carbonio nel ferro α

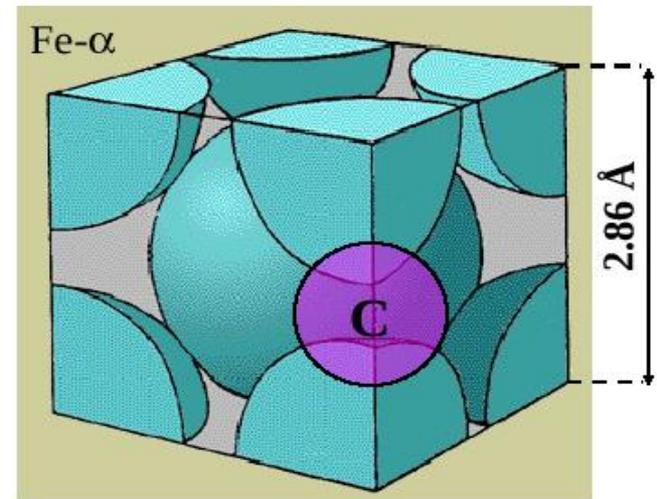
Siti interstiziali
nel Fe- α



Raggio atomico
del Fe



Raggio atomico Carbonio = 0.8 Å



Siti tetraedrici per il Carbonio nel Fe- α :

dimensioni = 0.36 Å

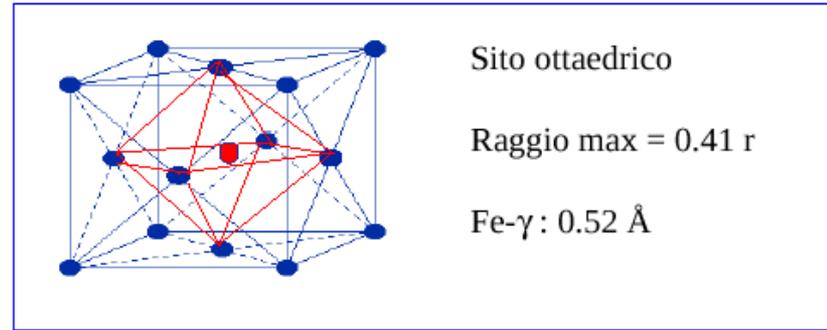
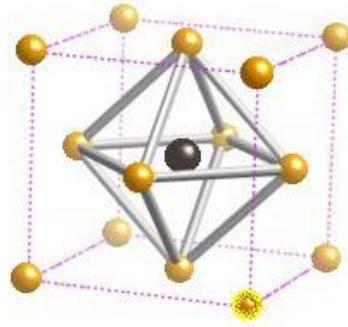
Siti ottaedrici distorti per il Carbonio nel Fe- α :

dimensioni = 0.19 Å

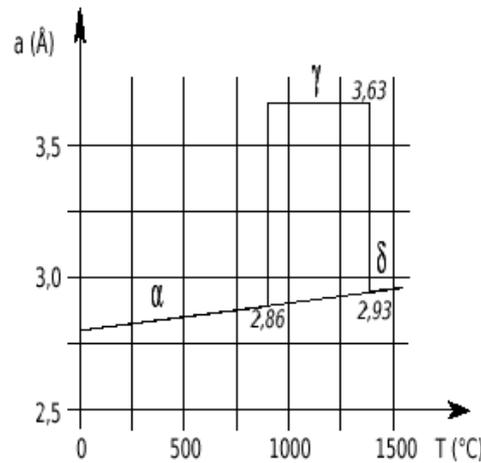
Solubilità max del Carbonio nel Fe- α = 0.02% in peso

Carbonio nel ferro γ

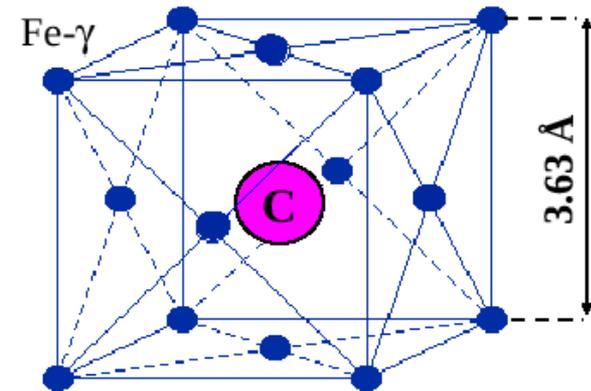
Siti interstiziali
nel Fe- γ



Raggio atomico
del Fe



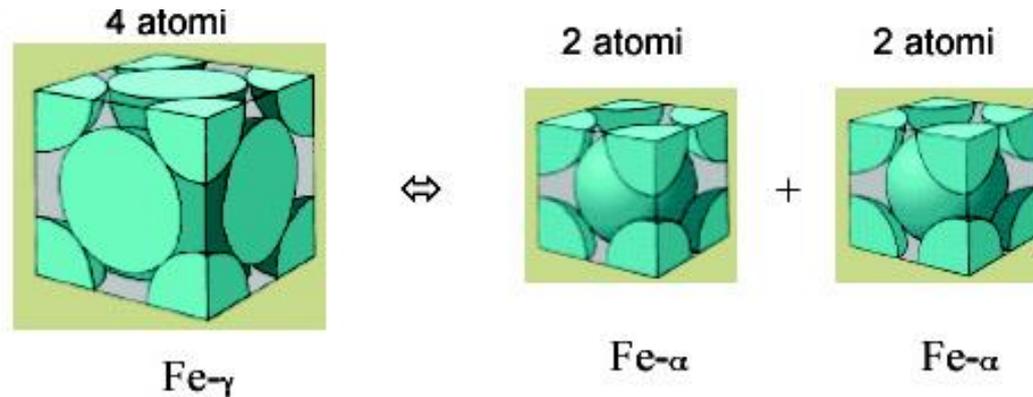
Raggio atomico Carbonio = 0.8 Å



Sito ottaedrico per il Carbonio nel Fe- γ : dimensioni = 0.52 Å

Solubilità max del Carbonio nel Fe- γ = 2.03% in peso

Impacchettamento nel Fe



Il Fe γ ha una **struttura più impacchettata** ma cella di dimensioni **doppie** rispetto al Fe α

$$\text{Cella } \alpha = 2.90 \times 2.90 \times 2.90 = 24.39 \text{ \AA}^3$$

Ma quanti atomi ci sono in ogni cella?

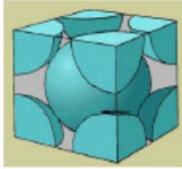
$$\text{Cella } \gamma = 3.64 \times 3.64 \times 3.64 = 48.23 \text{ \AA}^3$$

$$\text{Spazio a disposizione dall'atomo in } \alpha = 24.39/2 = 12.195 \text{ \AA}^3$$

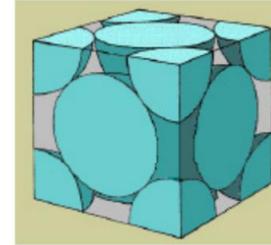
$$\text{Spazio a disposizione dall'atomo in } \gamma = 48.23/4 = 12.055 \text{ \AA}^3$$

Gli atomi nel Fe γ stanno un po' più stretti!!! (contrazione dell'1.15%)

Carbonio nel Ferro



C: diametro atomico = 0.8 \AA



RETICOLO BCC: lo spazio vuoto è suddiviso in varie zone del reticolo, e perciò è più difficilmente utilizzabile da atomi estranei per formare soluzioni solide interstiziali.
C occupa lo spazio di diametro 0.36 \AA



forte distorsione del reticolo
Solubilità max del Carbonio nel Fe- α = 0.02% in peso

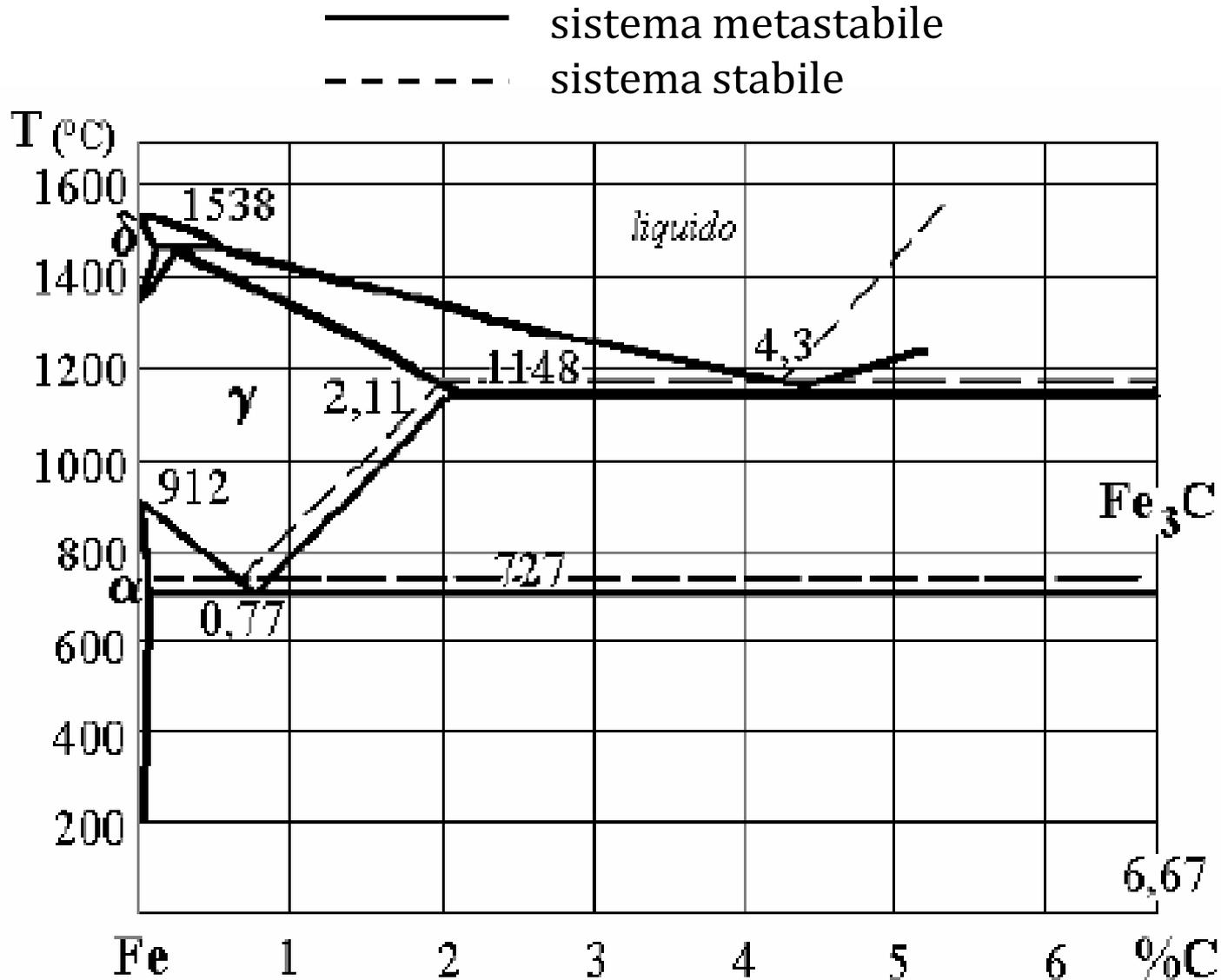
RETICOLO FCC: maggiore impacchettamento, lo spazio vuoto è concentrato al centro della cella unitaria.
C si sistema in un sito ottaedrico nel Fe- γ di dimensioni = 0.52 \AA



leggera distorsione del reticolo
Solubilità max del Carbonio nel Fe- γ = 2.03% in peso

Conclusione: La solubilità del carbonio nel ferro α esiste ma nella gran parte dei casi è trascurabile ai fini tecnologici.

Diagramma Ferro - Carbonio



Principali fasi e microstrutture

- **Ferrite:** nome dato alla struttura cristallina del ferro BCC che può apparire come α o δ .
- **Austenite:** nome dato alla struttura cristallina del ferro FCC.
- **Cementite:** composto duro e fragile simile alla ceramica Fe_3C che, se opportunamente disperso, fornisce il rinforzo degli acciai.
- **Perlite:** microcostituente lamellare bifase, contenente ferrite e cementite, che si forma in acciai raffreddati in modo normale o trasformati isotermicamente a temperature relativamente elevate.

Soluzioni solide di equilibrio nel sistema Fe-C

Ferrite α :

soluzione solida interstiziale di C in ferro BCC stabile fino a 911°C. La massima solubilità si ha a 723°C e vale circa 0,02%, mentre a temperatura ambiente si riduce a un terzo: in pratica è ferro tecnicamente puro.

Ferrite δ :

soluzione solida interstiziale di C in ferro BCC stabile oltre 1392°C. La solubilità massima è in questo caso di 0.09% a 1493°C.

Austenite:

soluzione solida interstiziale di C in ferro FCC, stabile tra 723°C e 1493°C detta anche fase γ . La solubilità è massima a 1143°C (temperatura eutettica) e vale circa 2,06%.

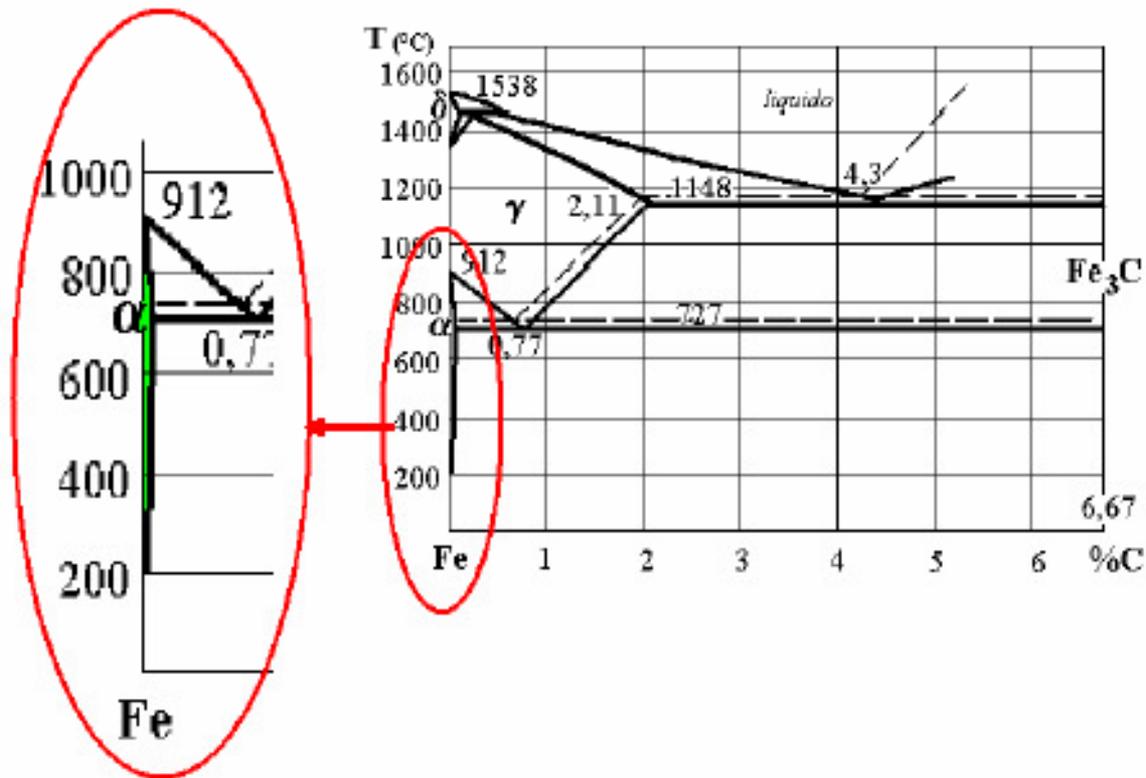
Principali fasi e microstrutture

- **Ferrite:** nome dato alla struttura cristallina del ferro BCC che può apparire come α o δ .
- **Austenite:** nome dato alla struttura cristallina del ferro FCC.
- **Cementite:** composto duro e fragile simile alla ceramica Fe_3C che, se opportunamente disperso, fornisce il rinforzo degli acciai.
- **Perlite:** microcostituente lamellare bifase, contenente ferrite e cementite, che si forma in acciai raffreddati in modo normale o trasformati isotermicamente a temperature relativamente elevate.

Sistema monofasico Ferrite α

- Presenta un reticolo cristallino cubico a corpo centrato BCC
- E' la forma di ferro stabile fino a $T < 911^\circ\text{C}$
- La solubilità del carbonio nel ferro α è molto bassa
- La soluzione di carbonio in ferro α si chiama ferrite α
- Le proprietà magnetiche sono presenti fino a 769°C

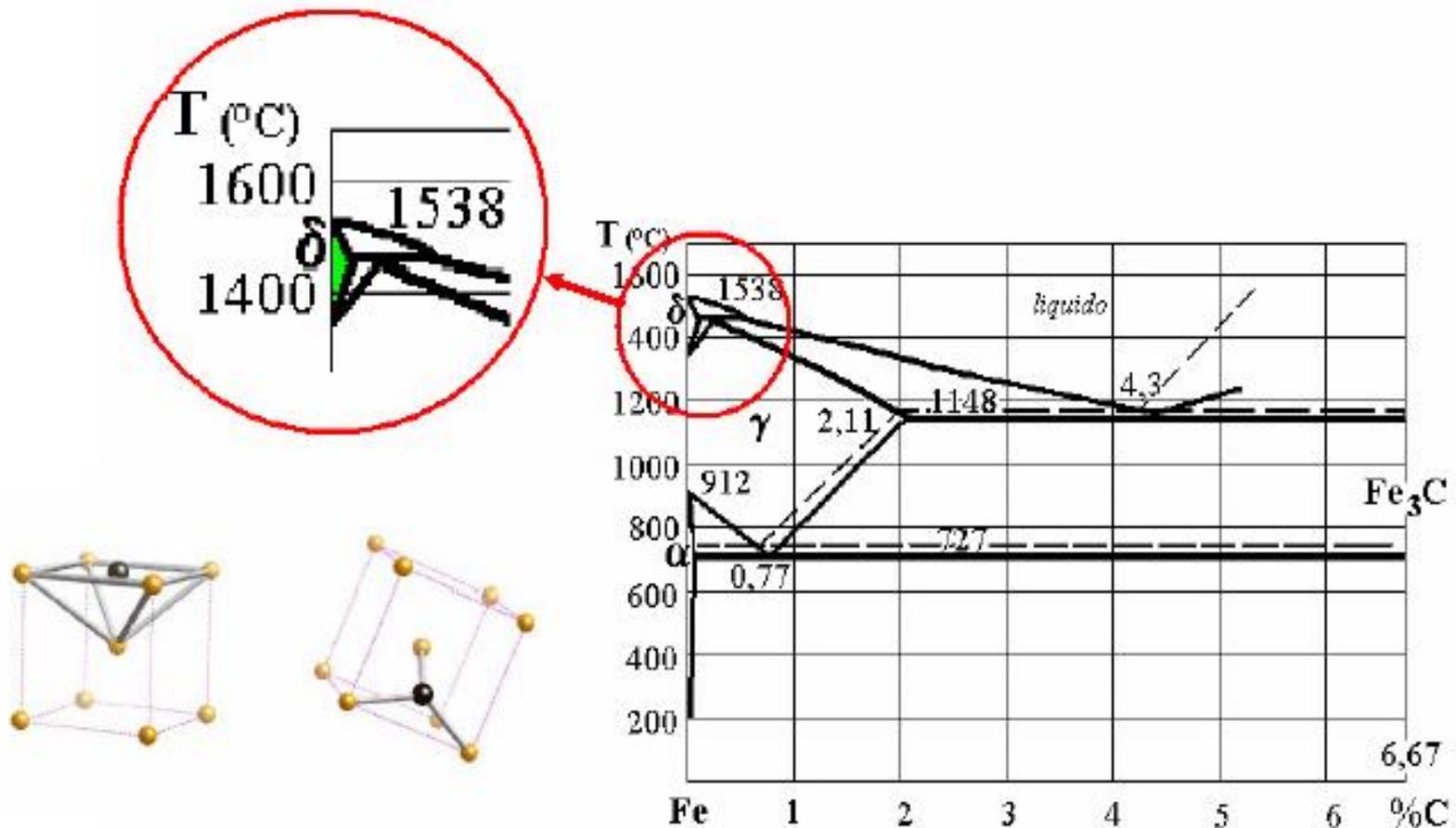
Campo di stabilità del sistema monofasico Ferrite α



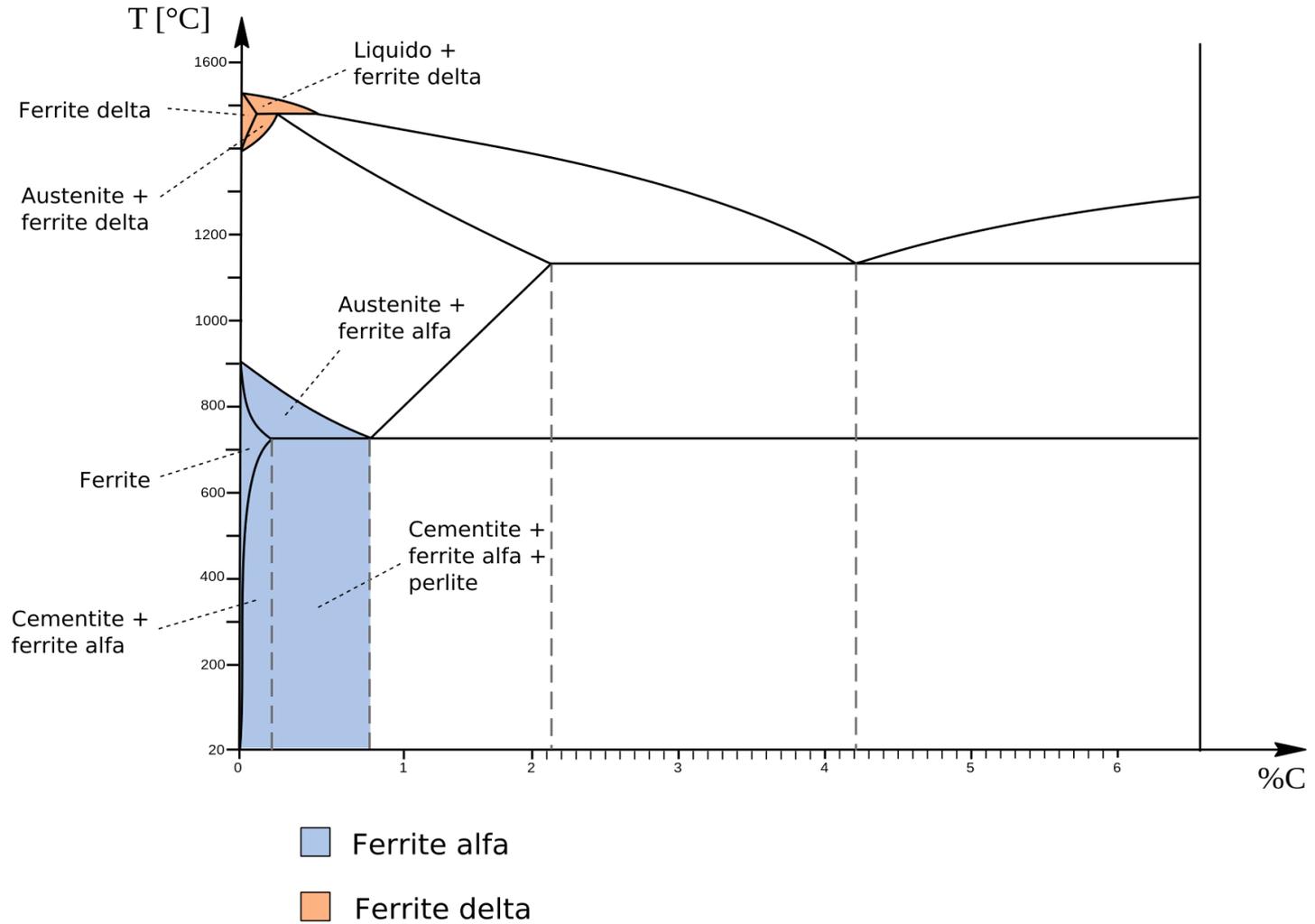
Sistema monofasico Ferrite δ

- Presenta un reticolo cristallino cubico a corpo centrato BCC
- E' la forma di ferro stabile per $1392^{\circ}\text{C} < T < 1536^{\circ}\text{C}$ (fusione)
- Nel caso di elementi in lega ad alta concentrazione, la ferrite δ assume un ruolo importante (es. acciaio ad alto tenore di Cr)
- La soluzione di carbonio in ferro δ si chiama ferrite δ

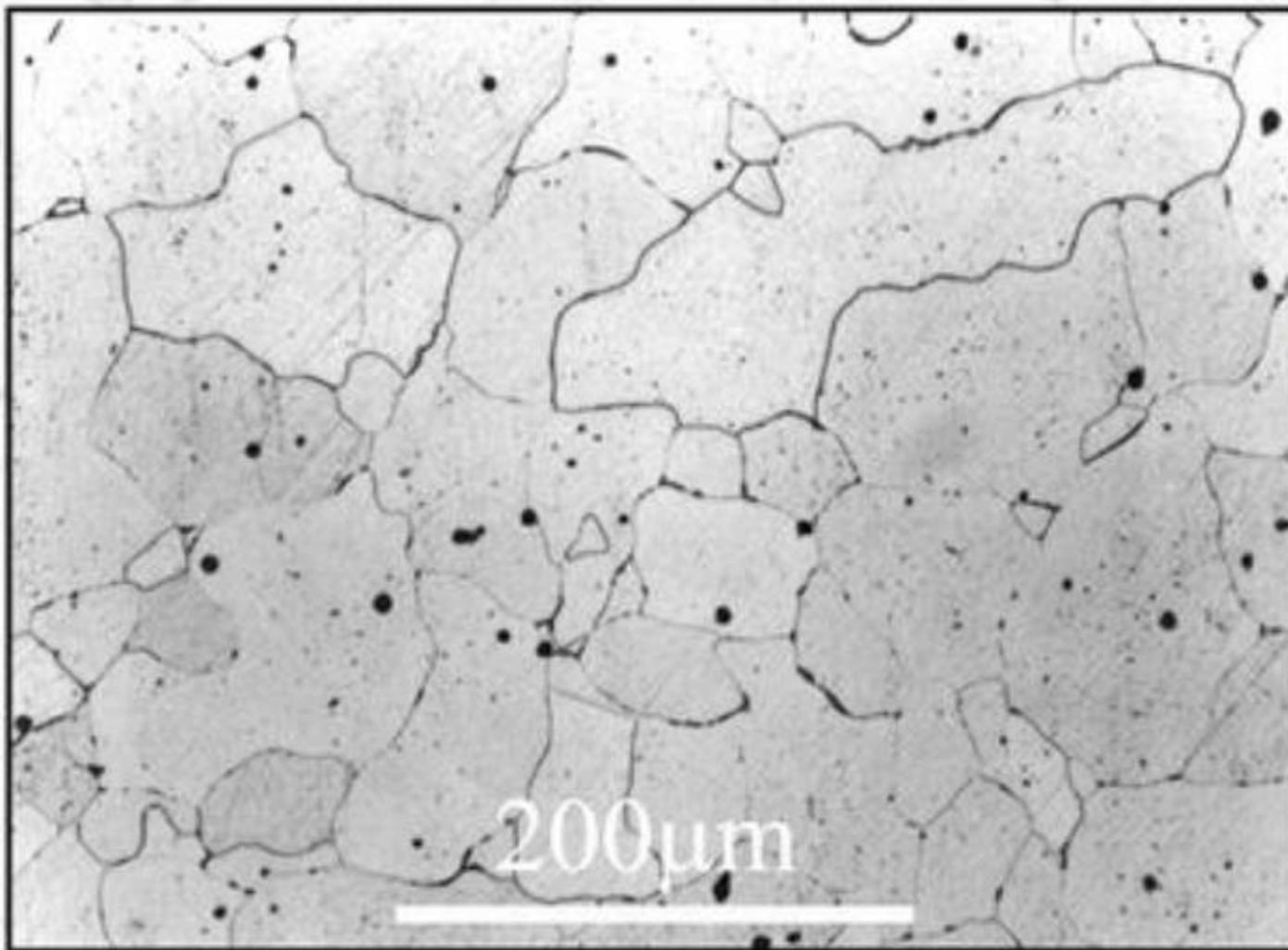
Campo di stabilità del sistema monofasico Ferrite δ



Ferrite α e δ

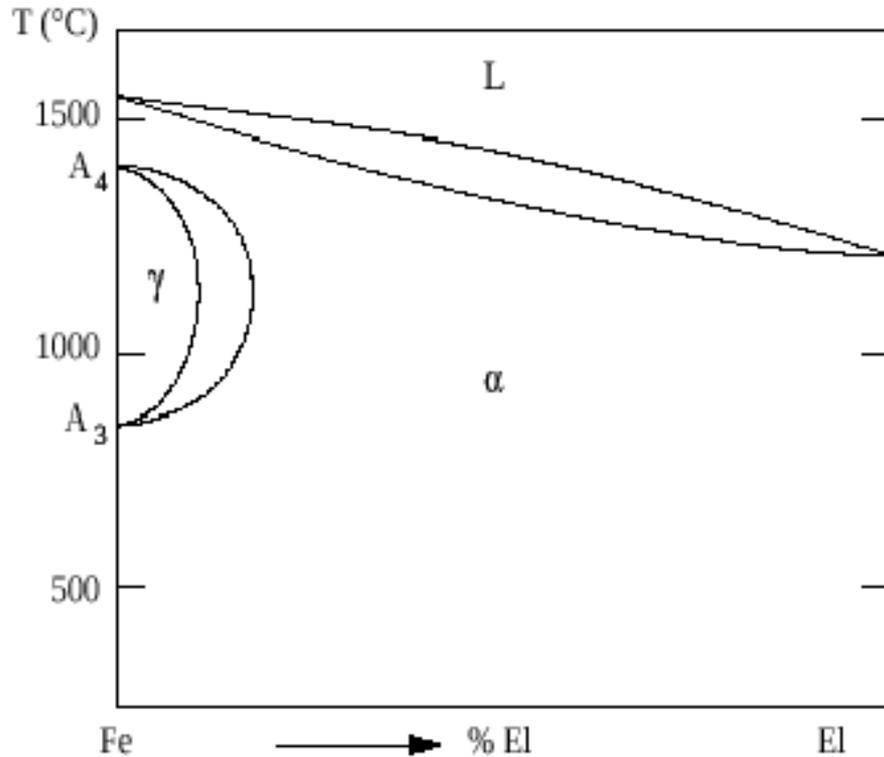


Ferrite α e δ



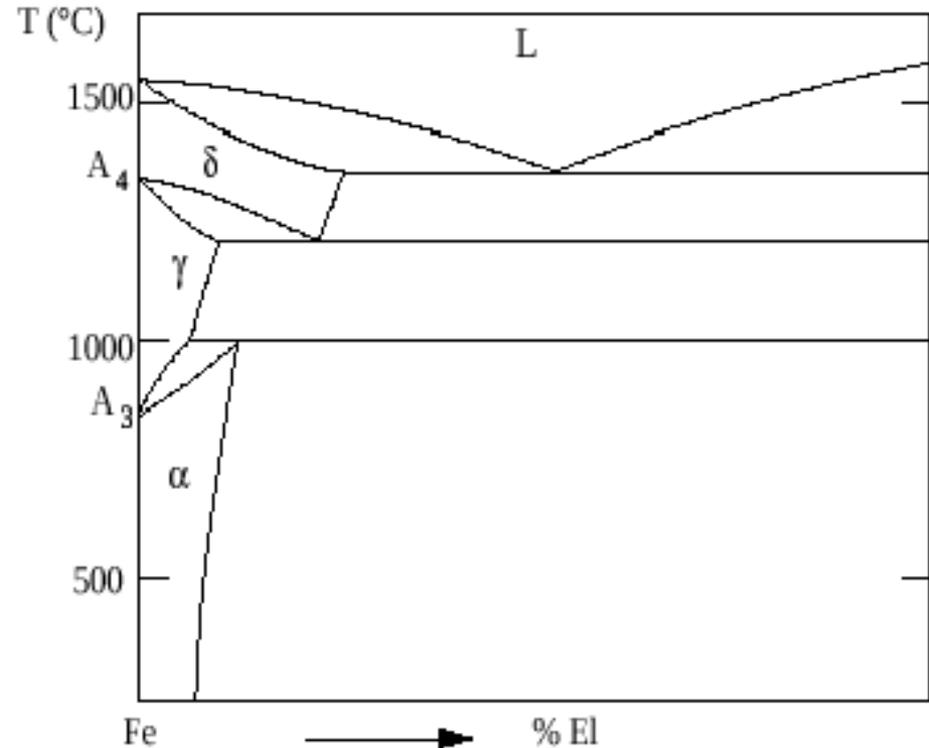
Elementi alfageni

Fortemente alfageni



Campo γ chiuso,
campo α unito a campo δ
Be, Al, Si, P, Ti, V, Cr, Mo, Sn, Sb, W

Debolmente alfageni



Campo γ chiuso,
campo α separato da campo δ
B, S, Zr, Nb, Ce, O, Ta

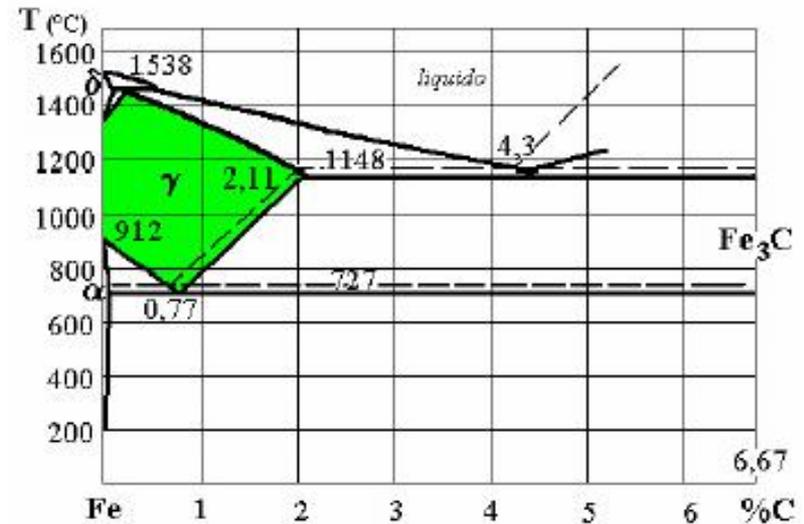
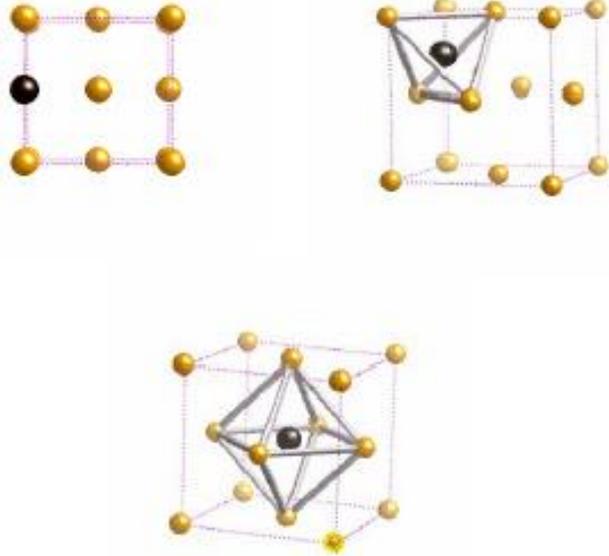
Principali fasi e microstrutture

- **Ferrite:** nome dato alla struttura cristallina del ferro BCC che può apparire come α o δ .
- **Austenite:** nome dato alla struttura cristallina del ferro FCC.
- **Cementite:** composto duro e fragile simile alla ceramica Fe_3C che, se opportunamente disperso, fornisce il rinforzo degli acciai.
- **Perlite:** microcostituente lamellare bifase, contenente ferrite e cementite, che si forma in acciai raffreddati in modo normale o trasformati isotermicamente a temperature relativamente elevate.

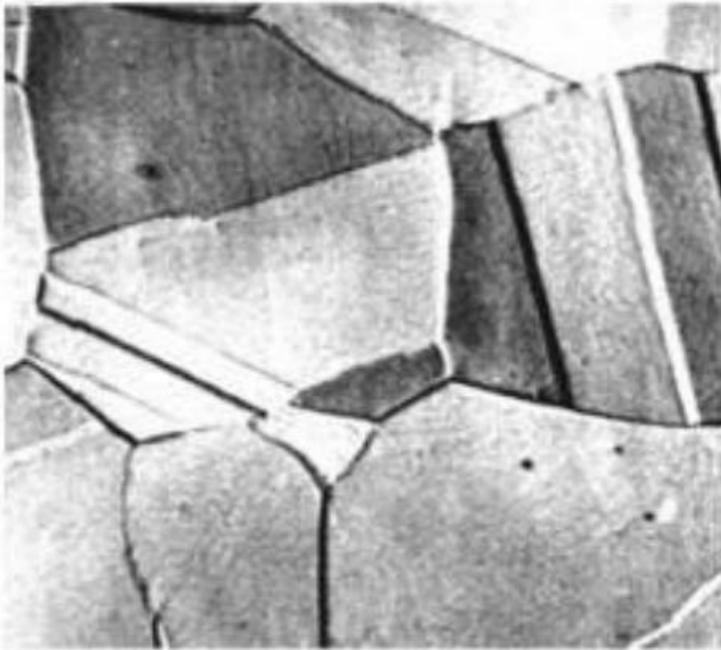
Sistema monofasico Austenite γ

- Presenta un reticolo cristallino cubico a facce centrate FCC
- E' la forma di ferro stabile per $911^{\circ}\text{C} < T < 1400^{\circ}\text{C}$
- La solubilità del carbonio nel ferro γ è alta
- La soluzione di carbonio in ferro γ si chiama austenite
- Non è magnetico

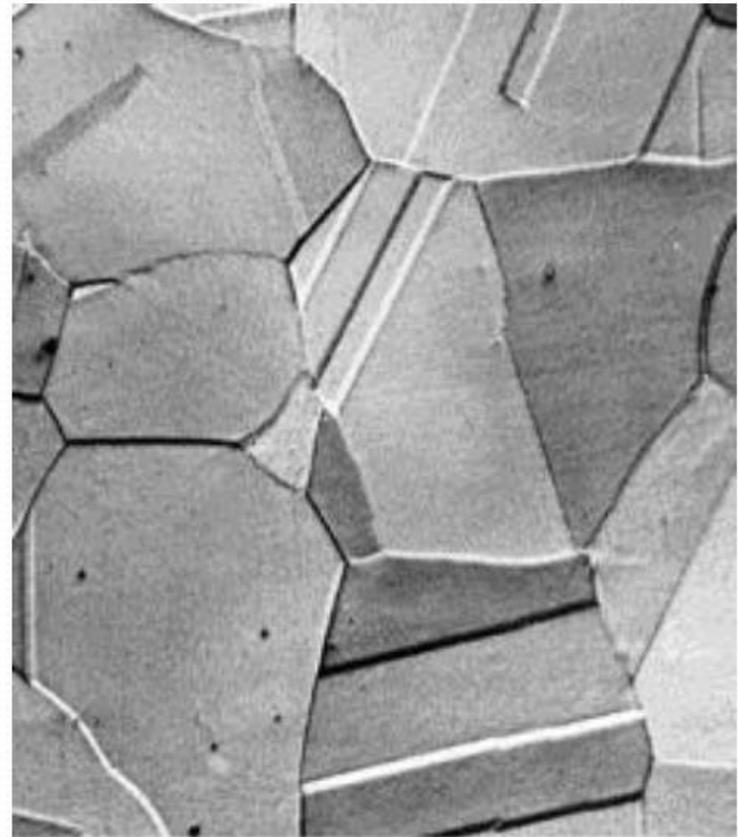
Campo di stabilità del sistema monofasico Austenite γ



Sistema monofasico Austenite γ



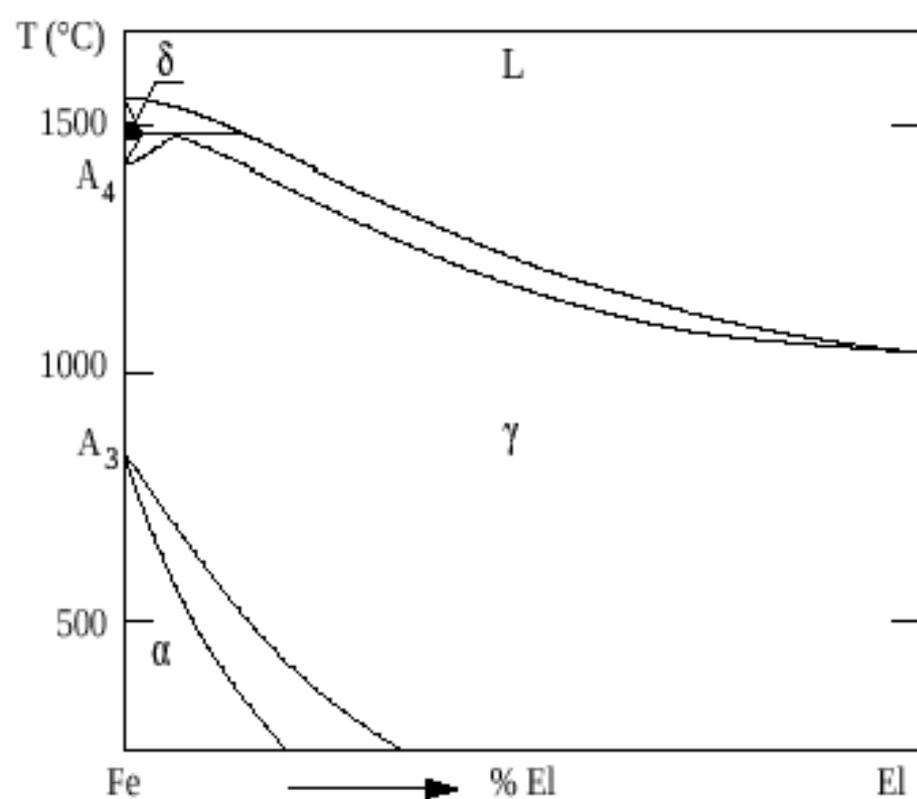
Microstructure of Austenite



(b)

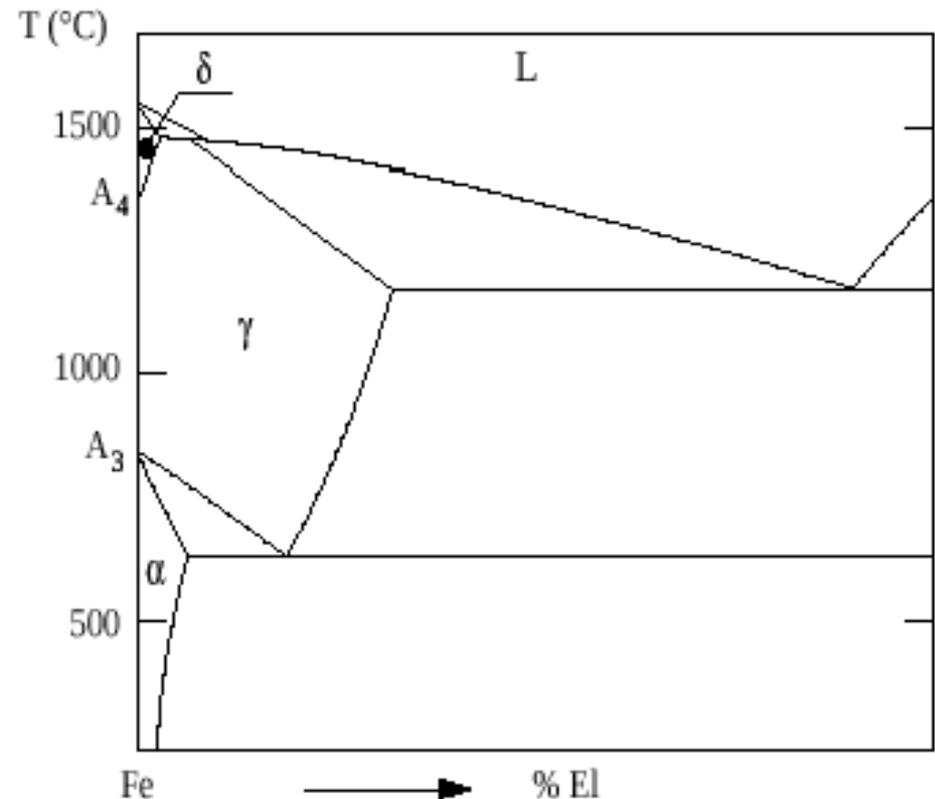
Elementi gammageni

Fortemente gammageni



Allargamento illimitato del campo γ
Ni, Mn, Co, Ru, Rh, Pd, Ir, Pt

Debolmente gammageni



Allargamento limitato del campo γ
C, N, Cu, Zn, Au

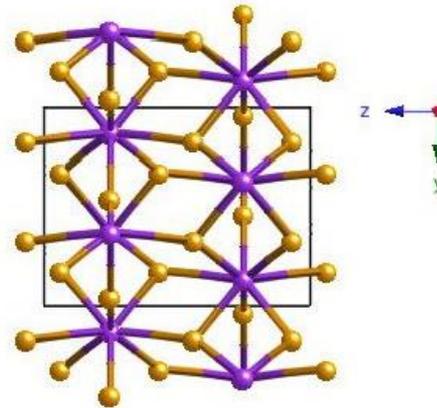
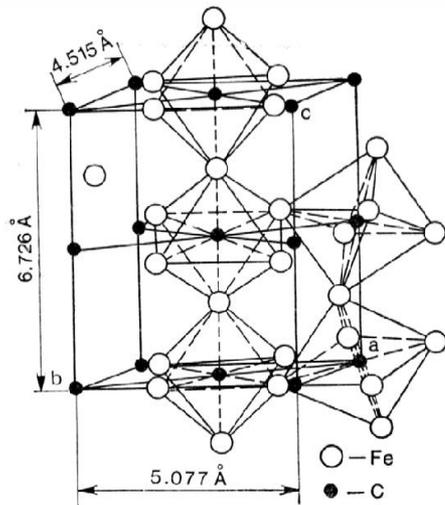
Principali fasi e microstrutture

- **Ferrite:** nome dato alla struttura cristallina del ferro BCC che può apparire come α o δ .
- **Austenite:** nome dato alla struttura cristallina del ferro FCC.
- **Cementite:** composto duro e fragile simile alla ceramica Fe_3C che, se opportunamente disperso, fornisce il rinforzo degli acciai.
- **Perlite:** microcostituente lamellare bifase, contenente ferrite e cementite, che si forma in acciai raffreddati in modo normale o trasformati isotermicamente a temperature relativamente elevate.

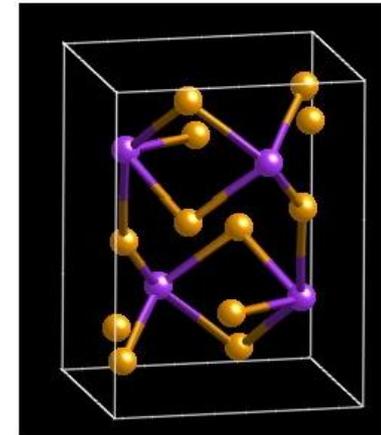
Cementite

Cementite = composto intermetallico di formula Fe_3C , corrispondente alla composizione di 6,67% in peso (25% atomico) di C.

Reticolo ortorombico con 12 atomi di Fe e 4 atomi di C per cella.



Cementite



$T_f = 1550^\circ\text{C}$; durezza elevata; duttilità nulla;

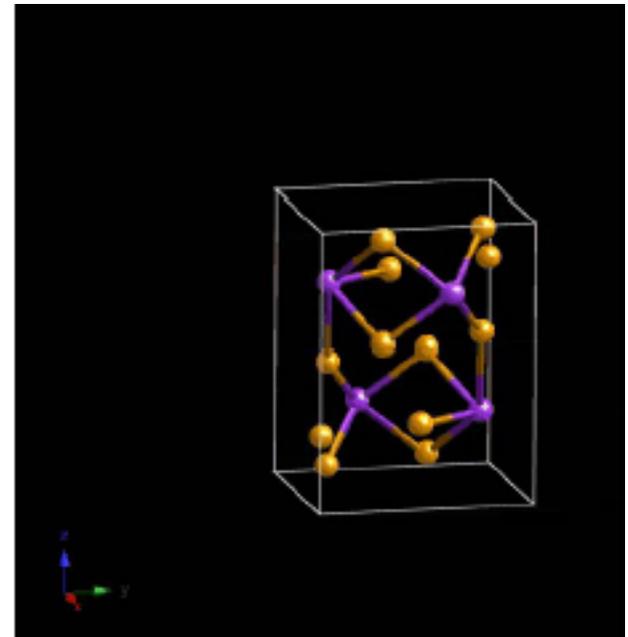
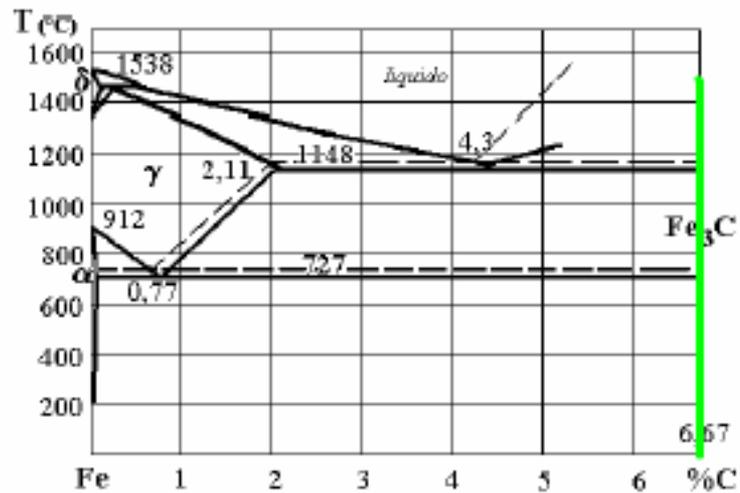
fase metastabile a morfologia lamellare, globulare o a maglie.

La fase stabile è la **grafite** (lamellare, o a fiocchi o nodulare)

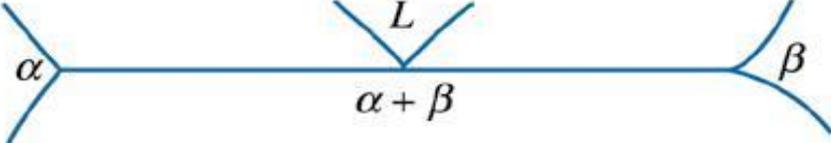
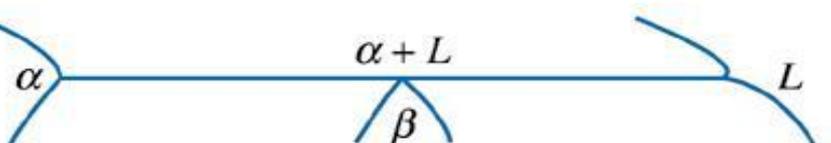
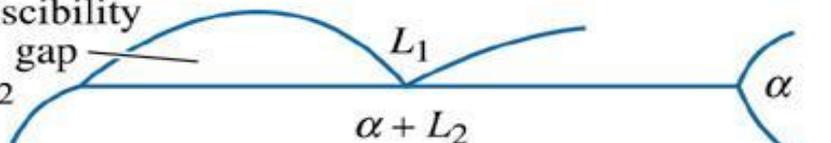
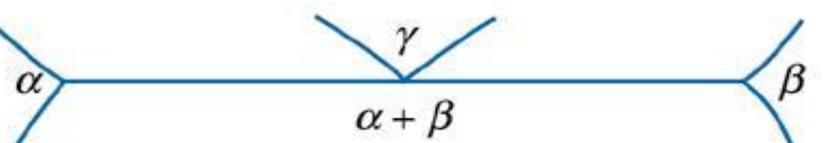
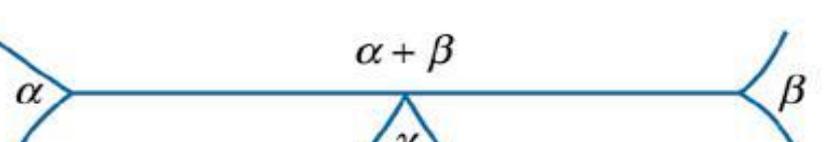
Cementite

- Carburo di ferro: Fe_3C
- Presente negli acciai (basso tenore di C) e nelle ghise (bianche – raffreddamento rapido)
- E' la forma instabile del carbonio nel sistema Fe-C
- Può assumere una morfologia:
 - Lamellare
 - Globulare
 - A maglie (cementite secondaria)

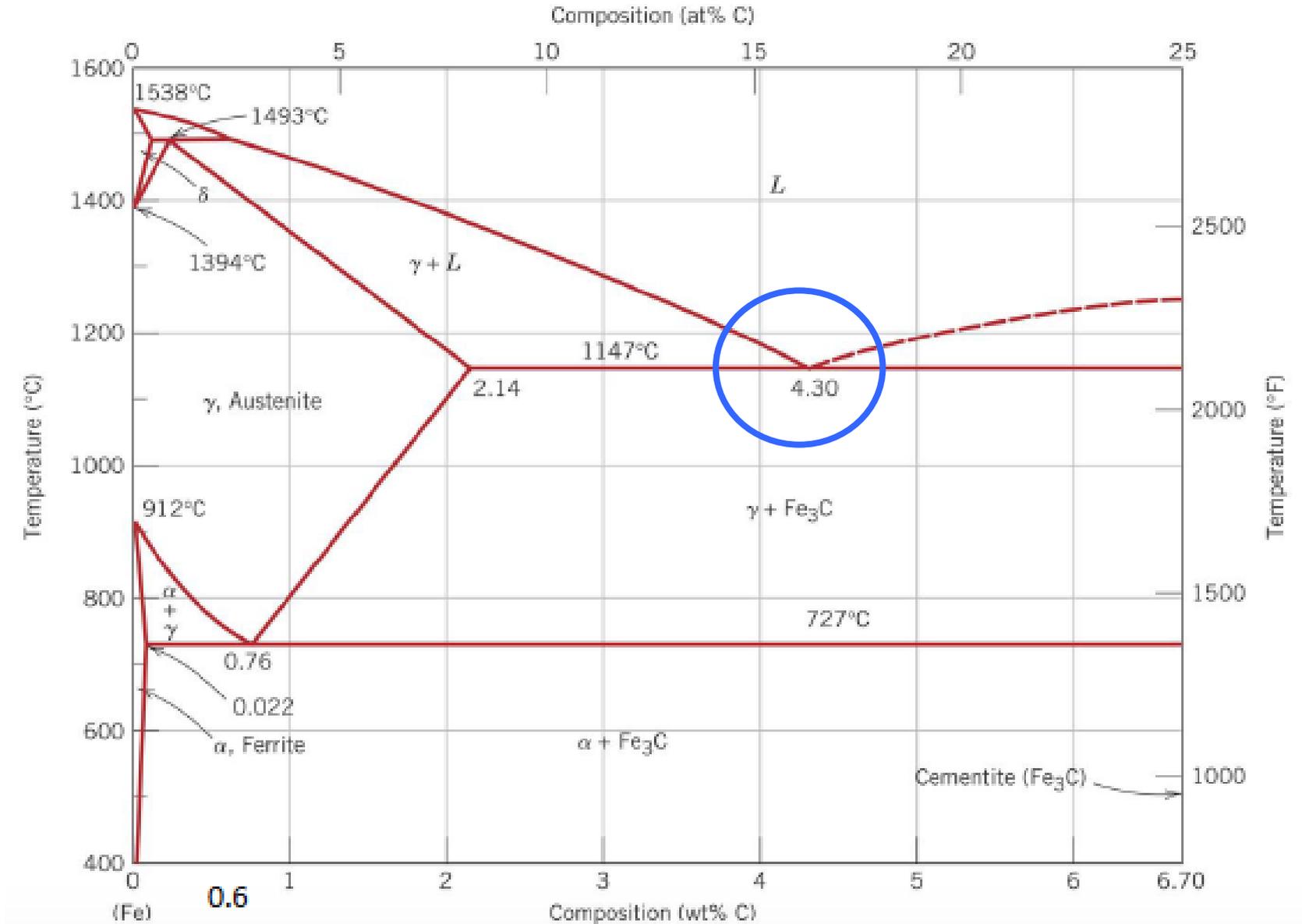
Campo di stabilità del sistema monofasico Cementite Fe_3C



Trasformazioni a Tre Fasi

Eutectic	$L \rightarrow \alpha + \beta$	 <p>A phase diagram showing a horizontal eutectic line. Above the line is a V-shaped region labeled 'L'. Below the line, the left side is labeled 'α' and the right side is labeled 'β'. The horizontal line itself is labeled 'α + β'.</p>
Peritectic	$\alpha + L \rightarrow \beta$	 <p>A phase diagram showing a horizontal peritectic line. Above the line, the left side is labeled 'α' and the right side is labeled 'L'. Below the line, the left side is labeled 'α + L' and the right side is labeled 'β'. The horizontal line itself is labeled 'α + L'.</p>
Monotectic	$L_1 \rightarrow L_2 + \alpha$	 <p>A phase diagram showing a miscibility gap. The gap is a lens-shaped region at the top, with the left side labeled 'L₂' and the right side labeled 'L₁'. Below the gap is a horizontal monotectic line. The left side of the line is labeled 'α + L₂' and the right side is labeled 'α'. The horizontal line itself is labeled 'α + L₂'.</p>
Eutectoid	$\gamma \rightarrow \alpha + \beta$	 <p>A phase diagram showing a horizontal eutectoid line. Above the line is a V-shaped region labeled 'γ'. Below the line, the left side is labeled 'α' and the right side is labeled 'β'. The horizontal line itself is labeled 'α + β'.</p>
Peritectoid	$\alpha + \beta \rightarrow \gamma$	 <p>A phase diagram showing a horizontal peritectoid line. Above the line, the left side is labeled 'α' and the right side is labeled 'β'. Below the line, the left side is labeled 'α + β' and the right side is labeled 'γ'. The horizontal line itself is labeled 'α + β'.</p>

Trasformazione eutettica



Trasformazione eutettica

Diagramma metastabile

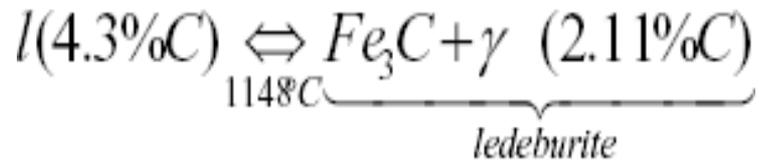
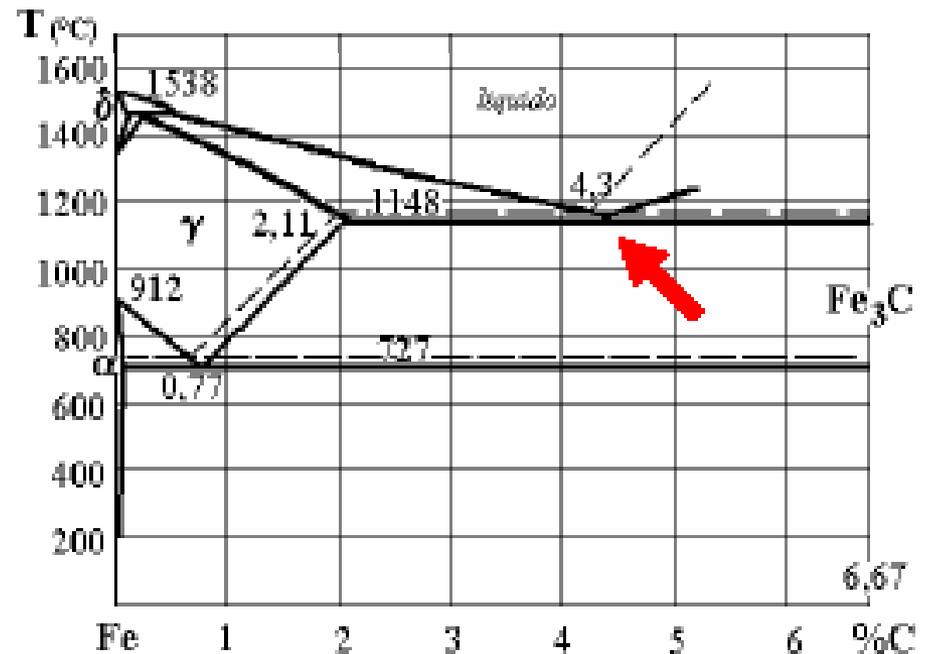
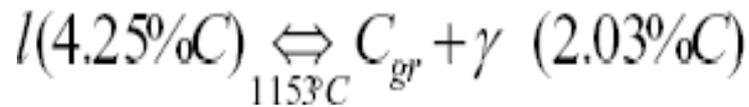
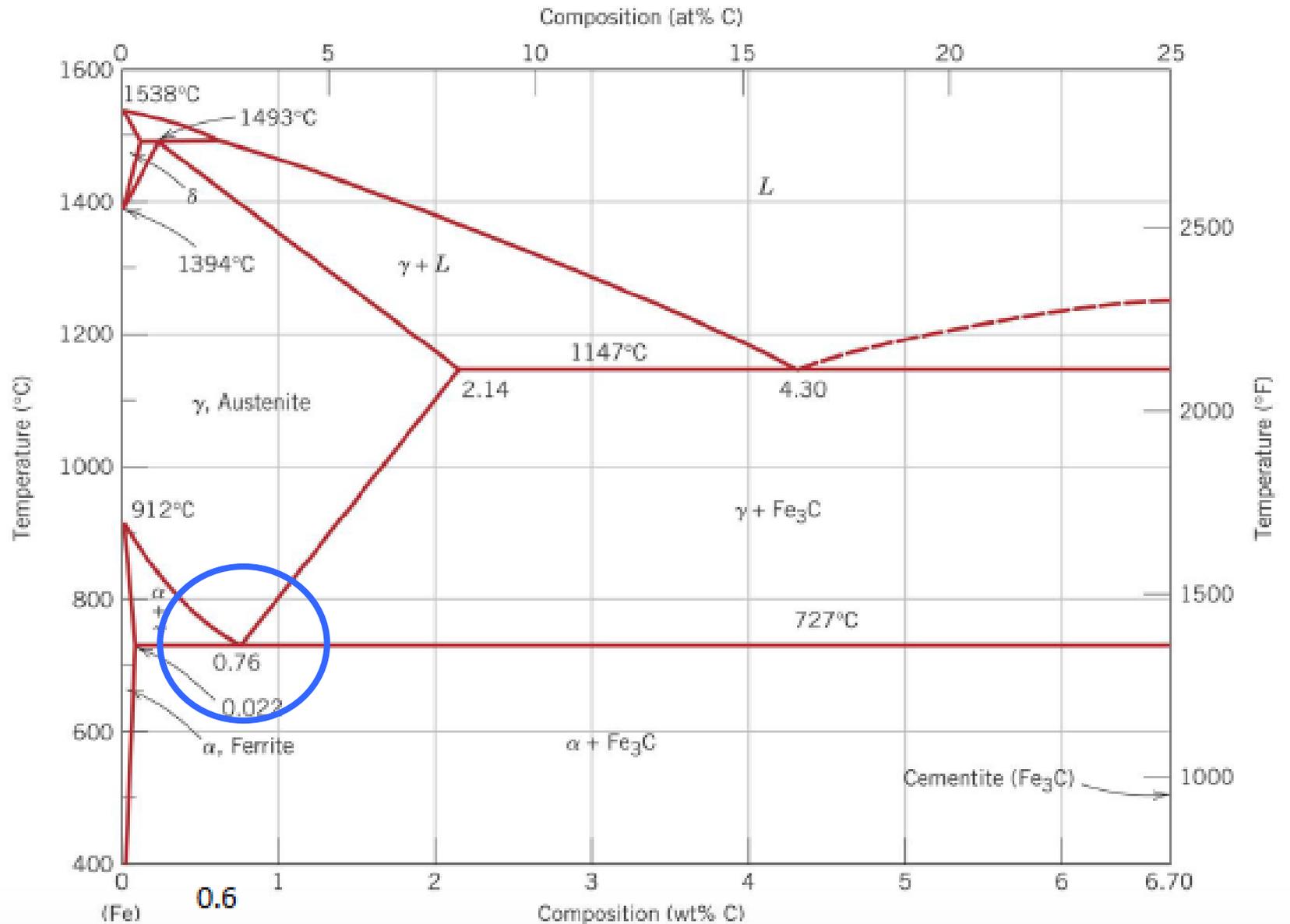


Diagramma stabile



Trasformazione eutettoidica



Trasformazione eutettoidica

Diagramma metastabile

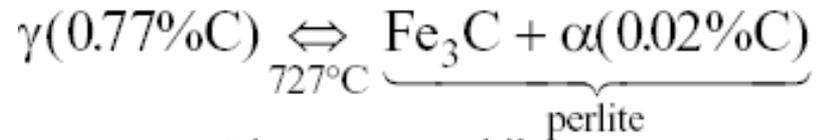
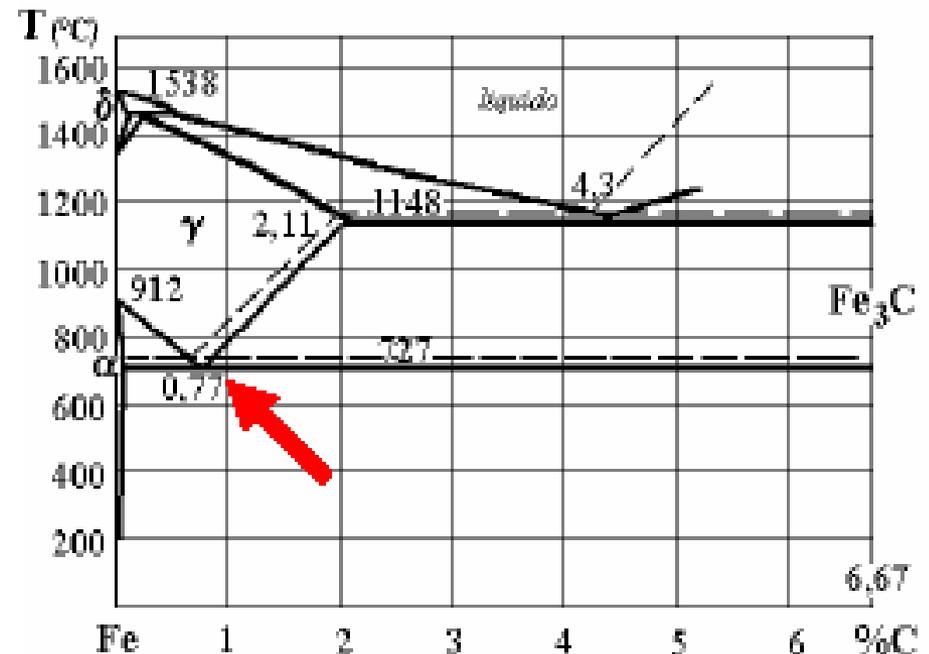
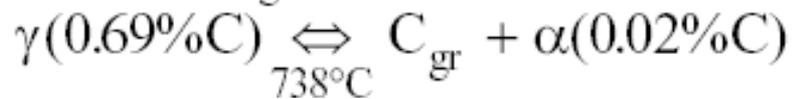
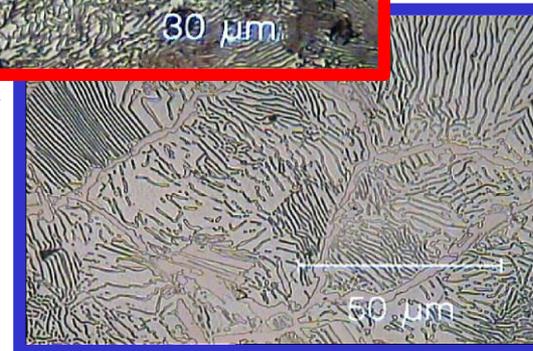
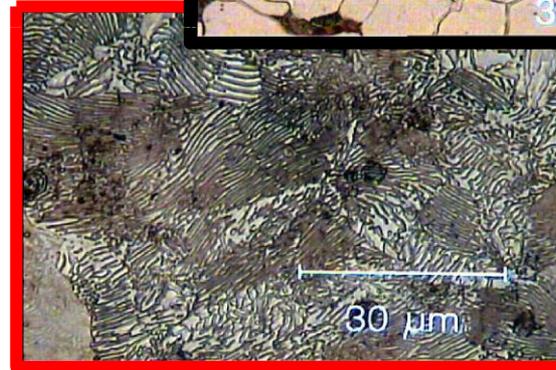
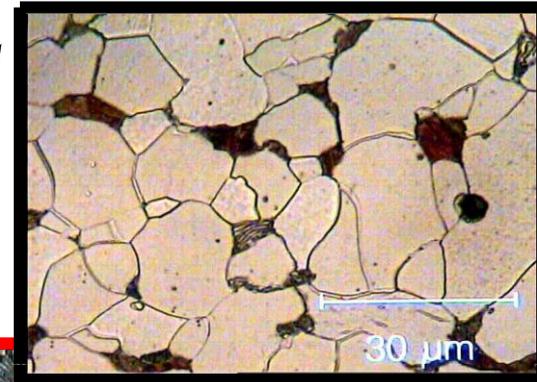
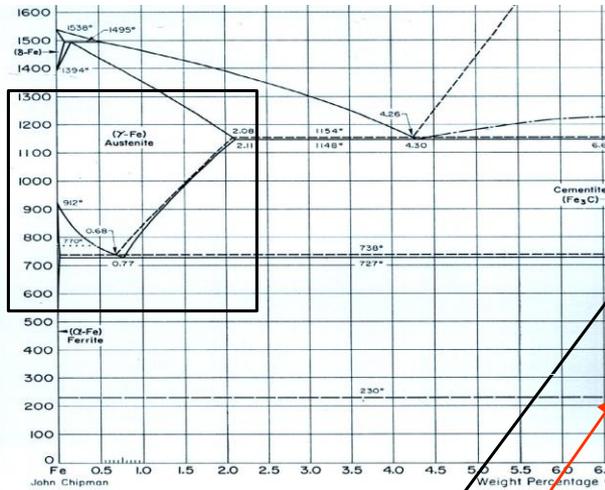


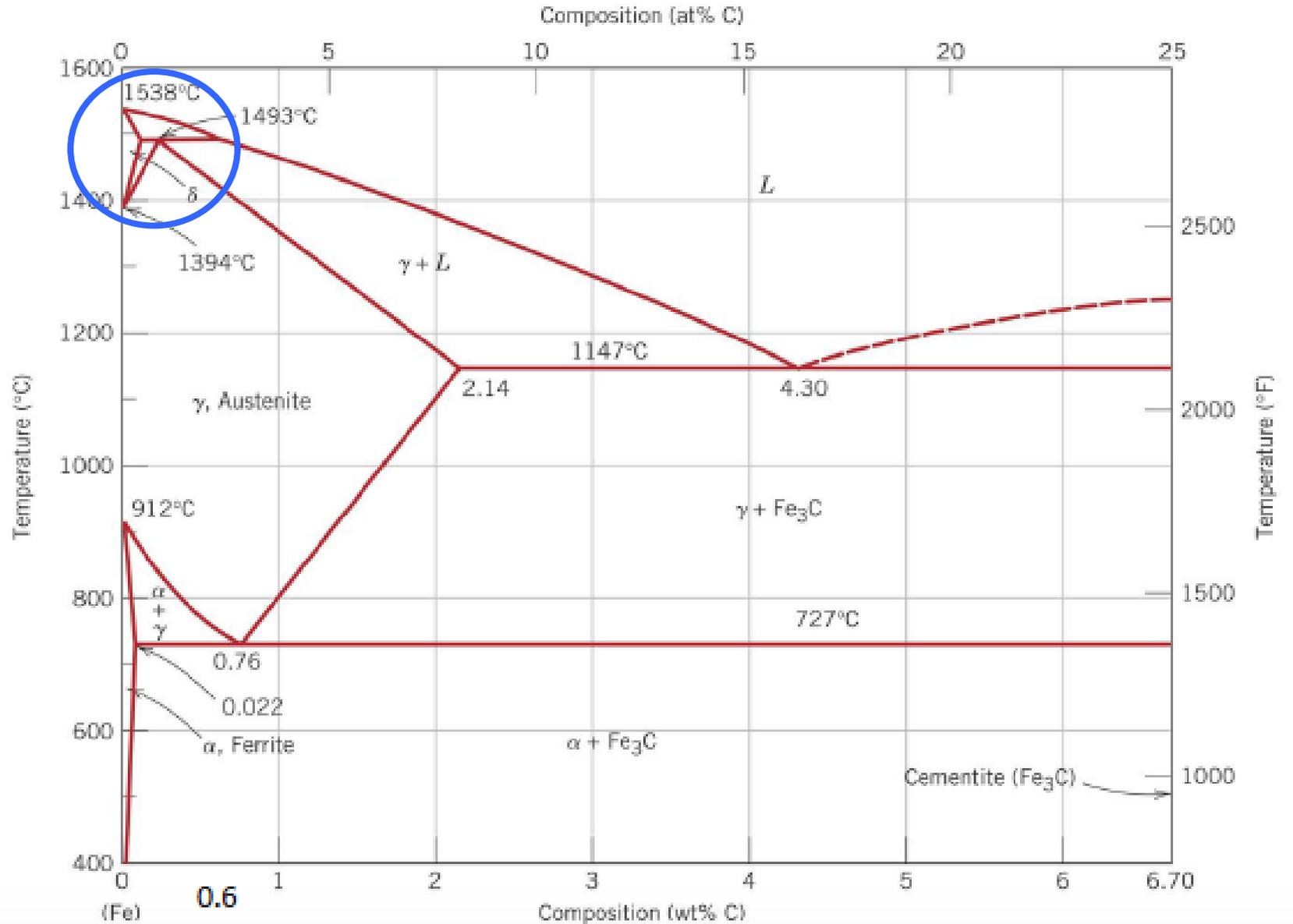
Diagramma stabile



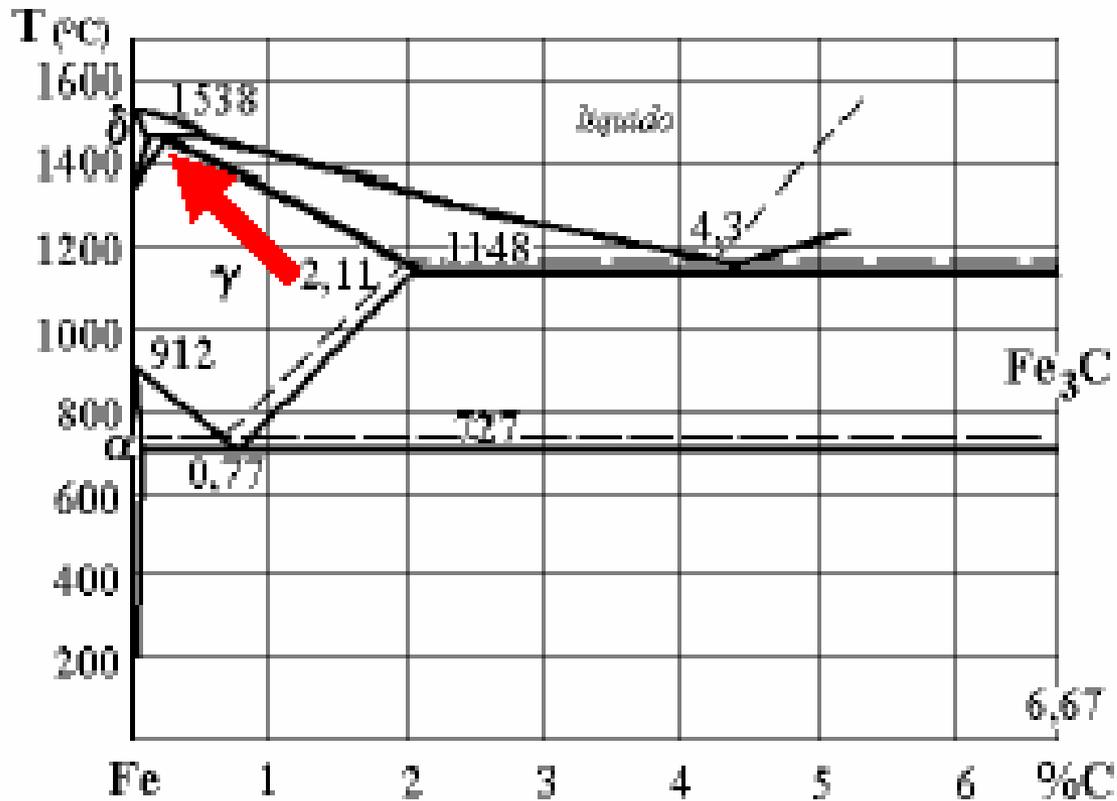
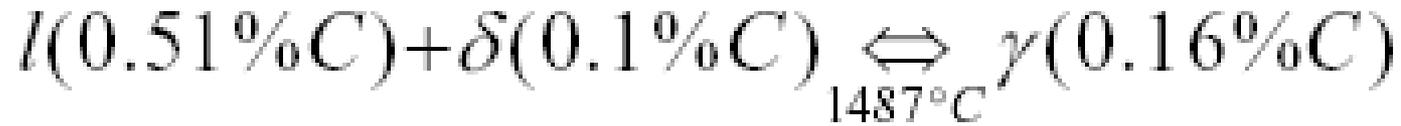
Trasformazione eutettoidica



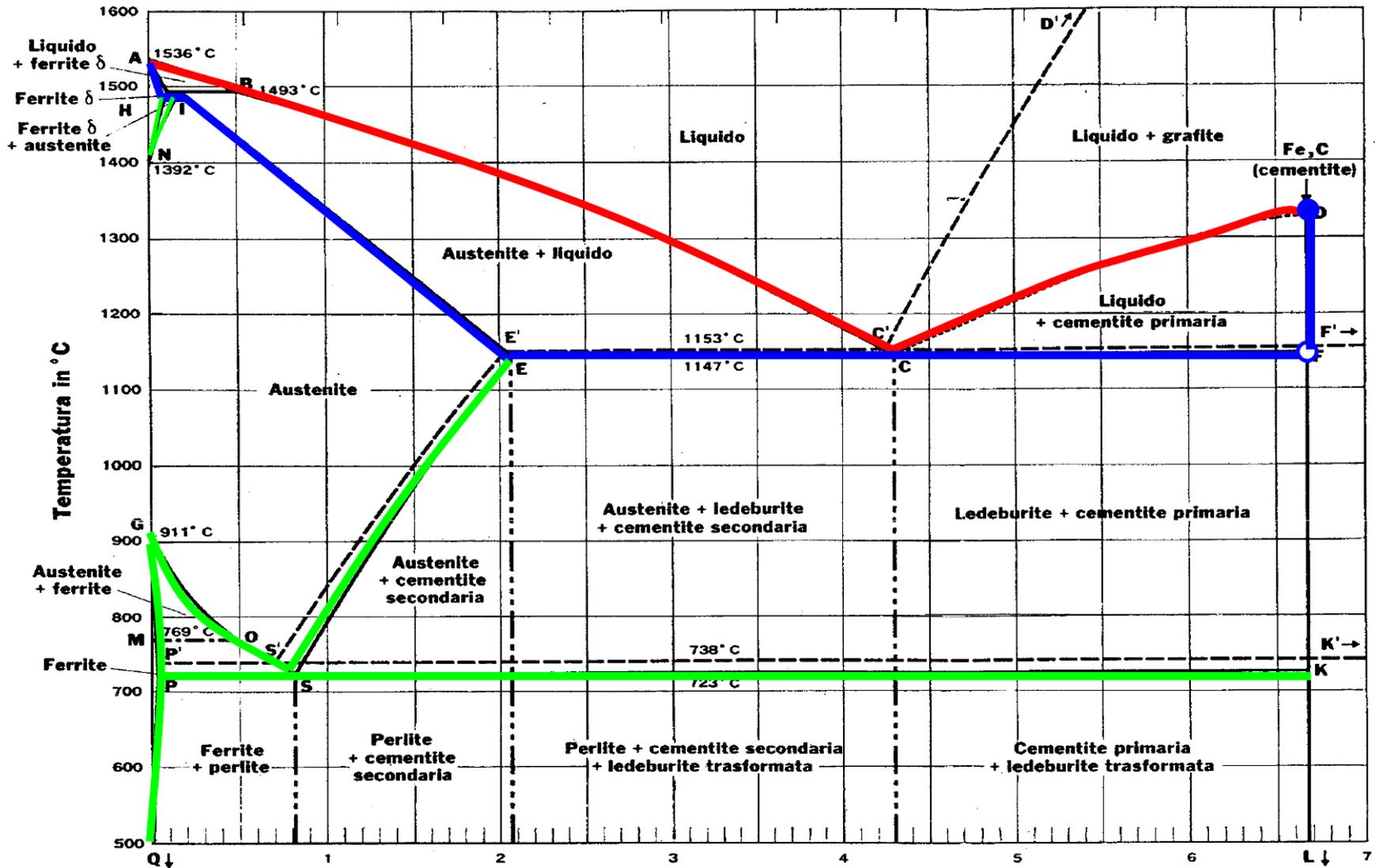
Trasformazione peritettica



Trasformazione peritettica



Punti critici nel sistema Fe-C



In rosso la curva del liquidus, in blu la curva del solidus, in verde le curve di saturazione

Punti critici nel sistema Fe-C

Definizioni

Luogo dei punti T tale che:

A_1 : limite inferiore di esistenza di γ (723°C)

A_3 : separano il campo di γ da quello del sistema bifasico $\alpha + \gamma$

A_4 : separano il campo di γ da quello del sistema bifasico $\gamma + \delta$

A_{cm} : separano il campo di γ da quello del sistema bifasico $\gamma + Fe_3C$

Punto T = valore di temperatura

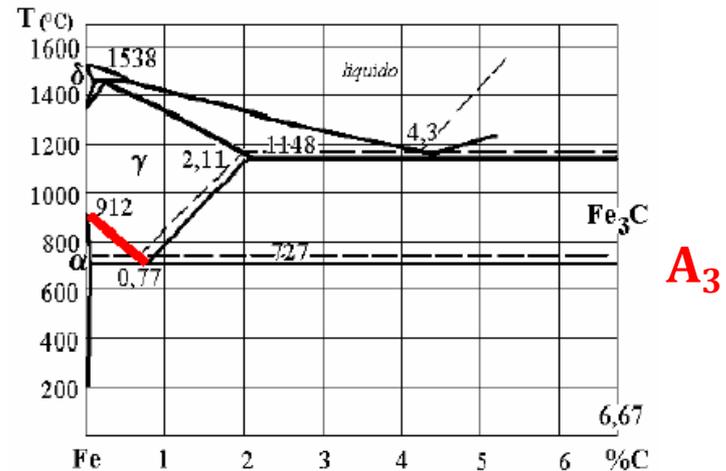
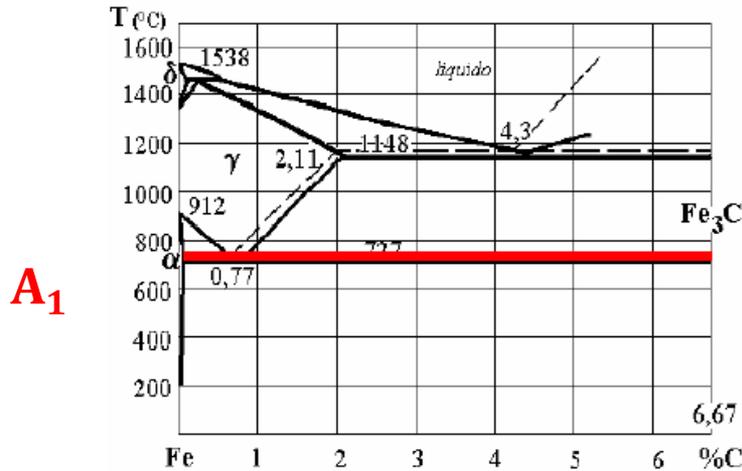
Per ognuno dei punti critici si possono distinguere:

A_e : T di equilibrio della trasformazione

A_c : T alla quale la trasformazione avviene mediante riscaldamento

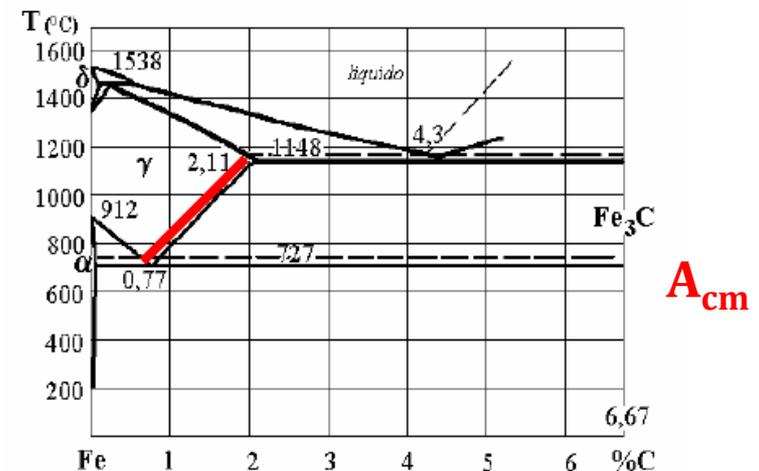
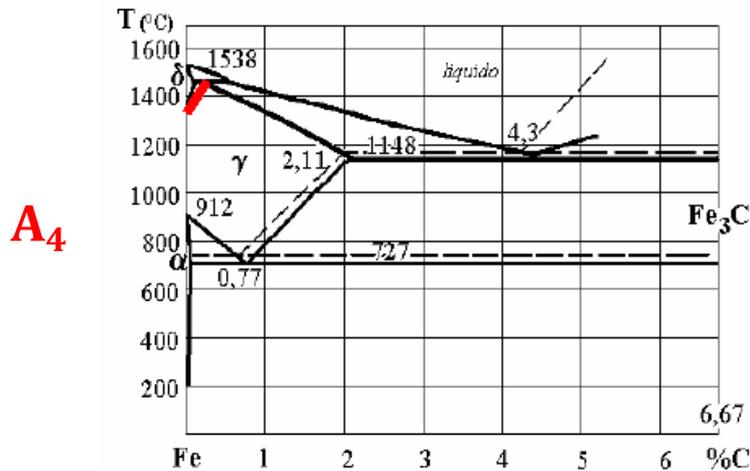
A_r : T alla quale la trasformazione avviene mediante raffreddamento

Punti critici nel sistema Fe-C



Limite inferiore di esistenza di γ (723°C)

Separazione tra γ e sistema bifasico $\alpha + \gamma$



Separazione tra γ e sistema bifasico $\gamma + \delta$

Separazione tra γ e sistema bifasico $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$

I Metalli

Leghe Ferrose

$C < 2,06\%$

$2,06\% < C < 4,6\%$

Acciai

Ghise

Basso legati

Alto legati

Grigie

Sferoidali

Bianche

Metastabili

Basso carbonio

Medio carbonio

Alto carbonio

**Comuni
al
carbonio**

**Basso
legati, alta
resistenza**

**Comuni
al
carbonio**

**Trattabili
a caldo**

**Comuni
al
carbonio**

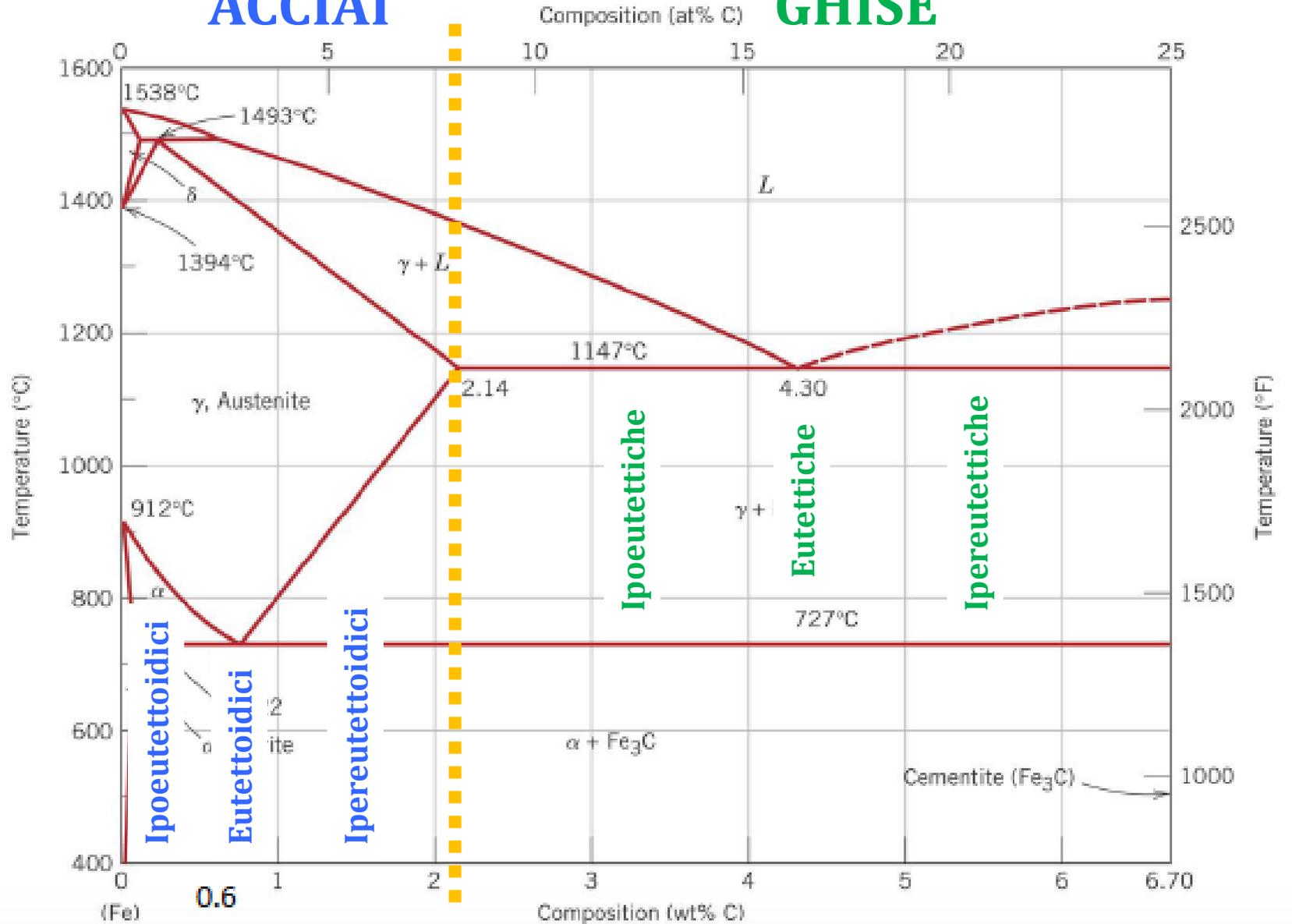
Utensili

Inossidabili

Suddivisioni convenzionali

ACCIAI

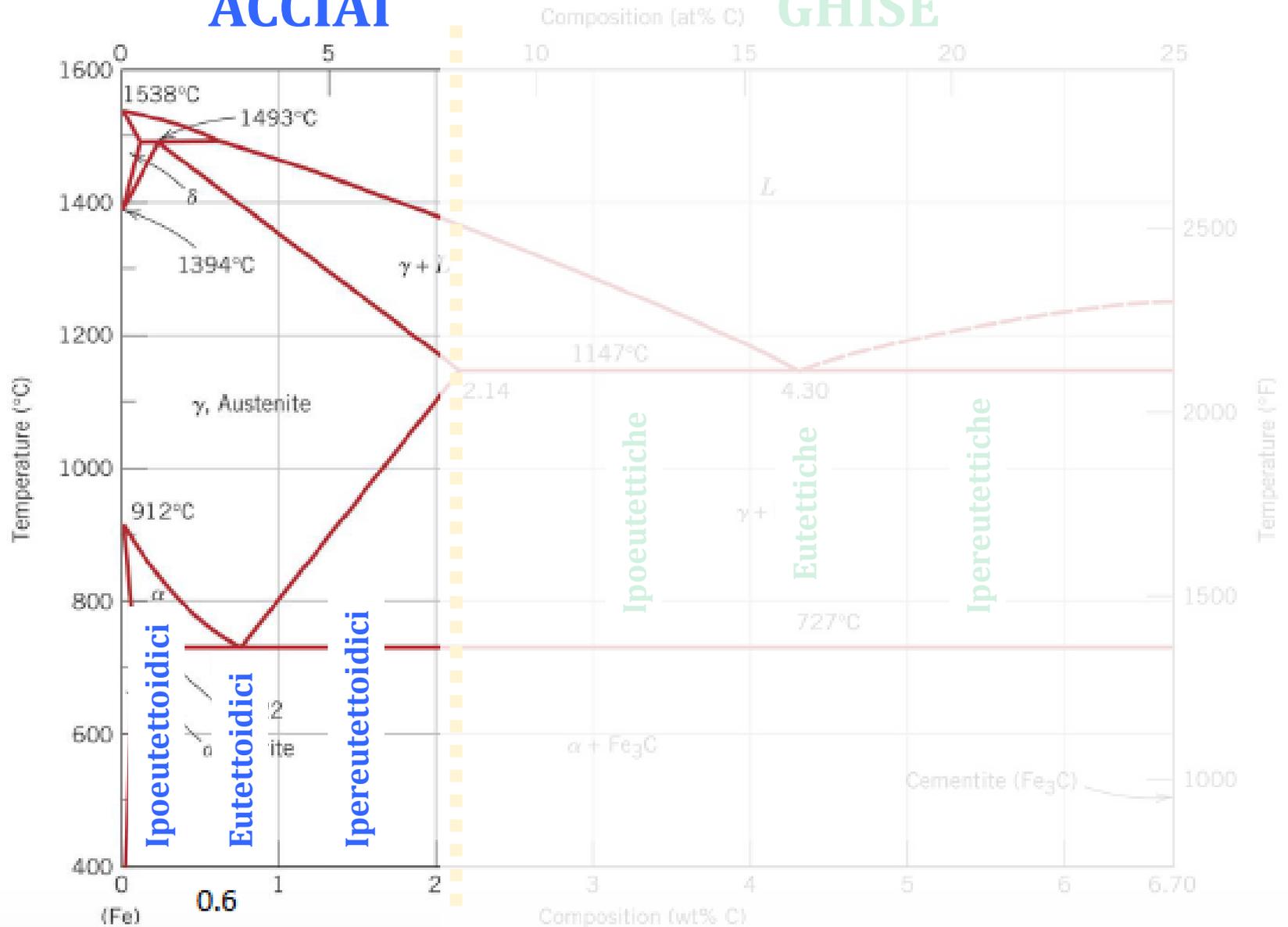
GHISE



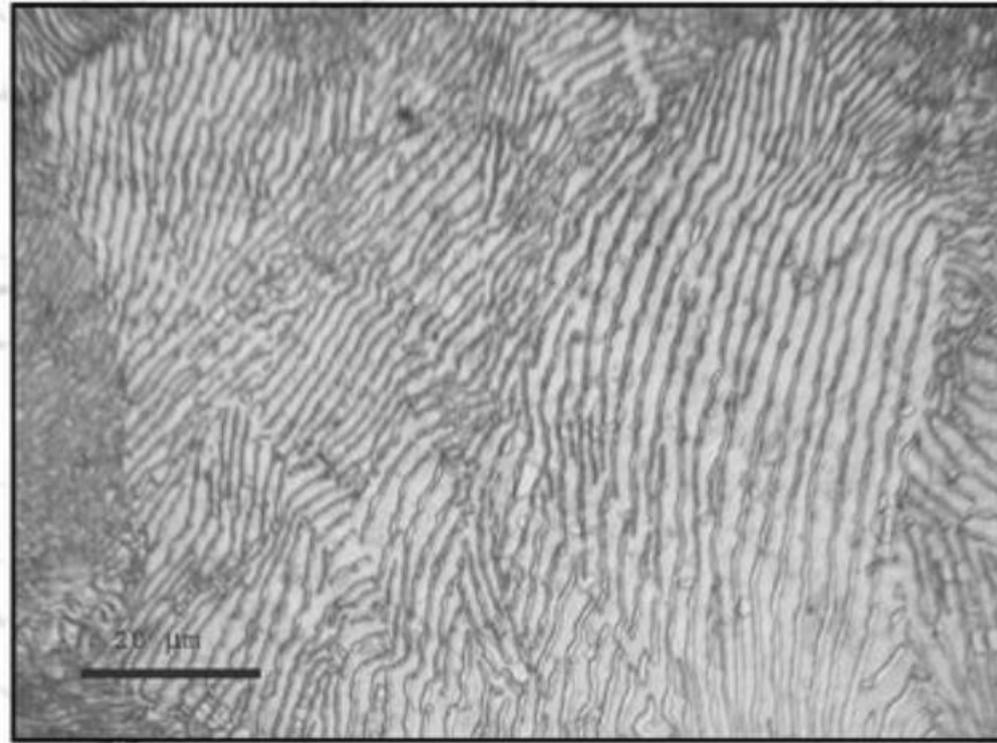
Acciai

ACCIAI

GHISE

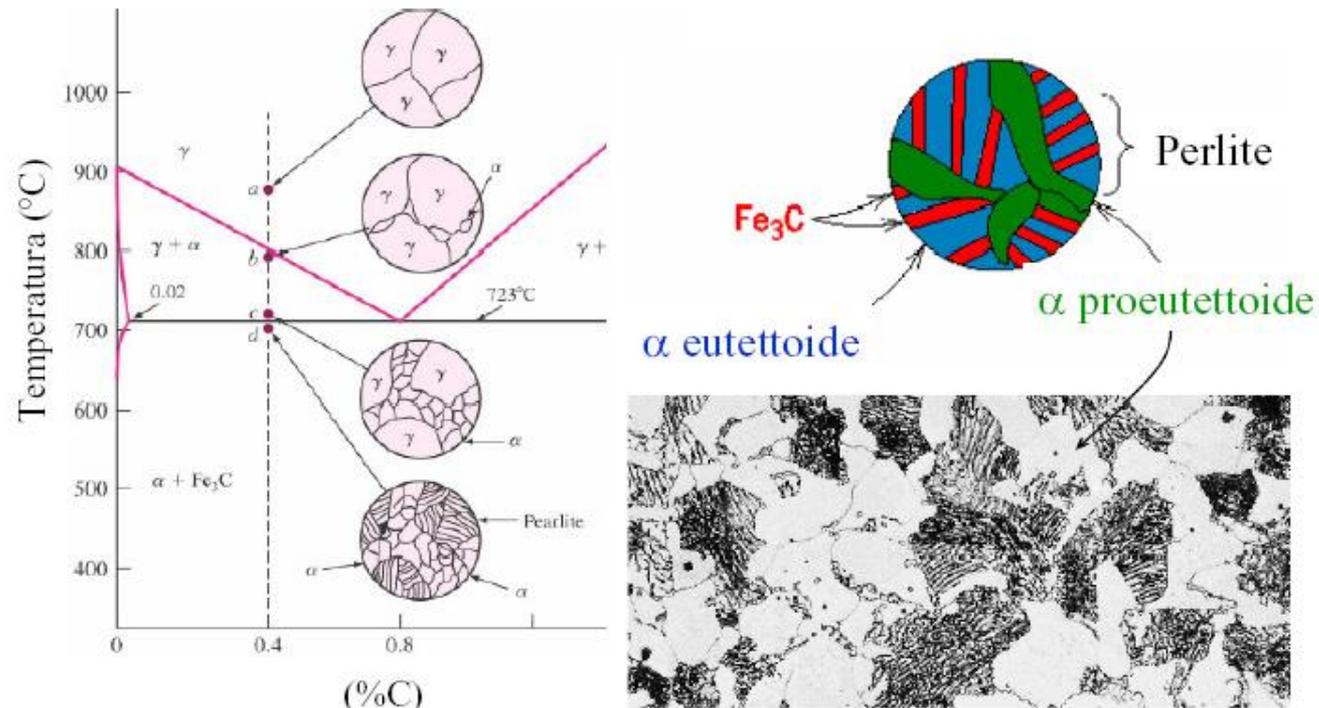


Perlite



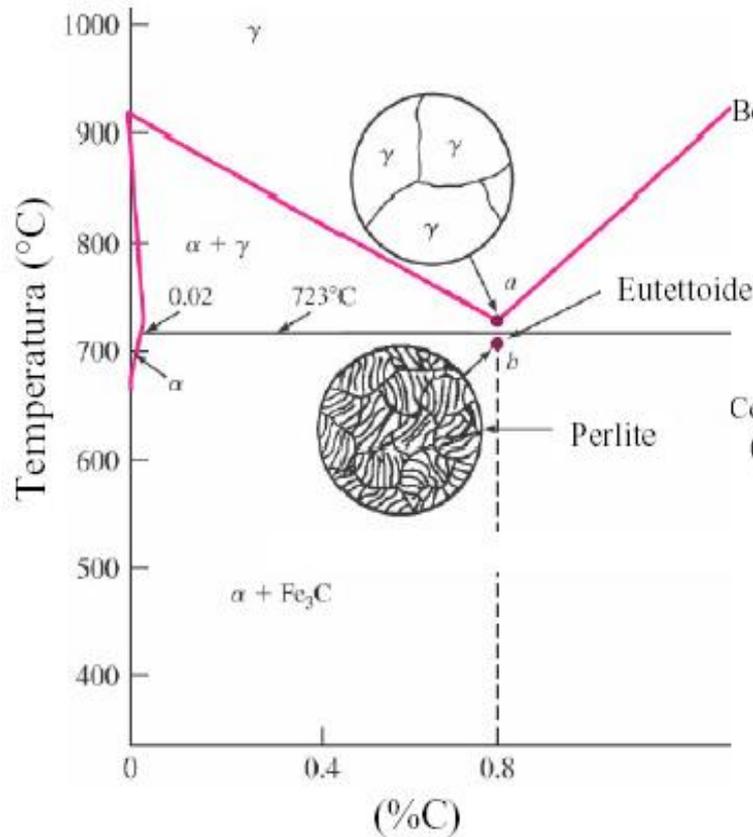
La **perlite** è costituita da un **aggregato lamellare** di ferrite e cementite, ottenuto dalla trasformazione diretta dell'austenite per raffreddamento sotto del punto critico A1 (temperatura di 723°C, sotto la quale l'austenite non è più stabile e tende a trasformarsi in una struttura stabile come la ferrite e/o la perlite).

Microstruttura della perlite

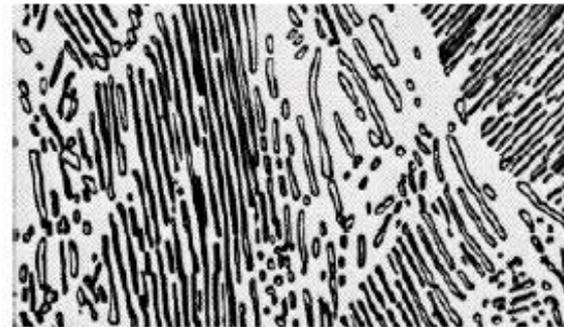
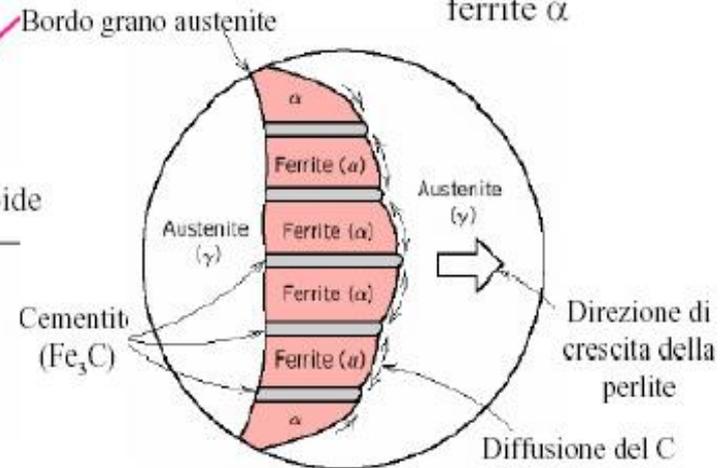


- Composta da l'11% in peso di cementite Fe_3C e l'89% in peso di ferrite
- L'aggregato è generalmente lamellare.
- La cementite è la fase nucleante.
- Un parametro importante è la distanza interlamellare λ

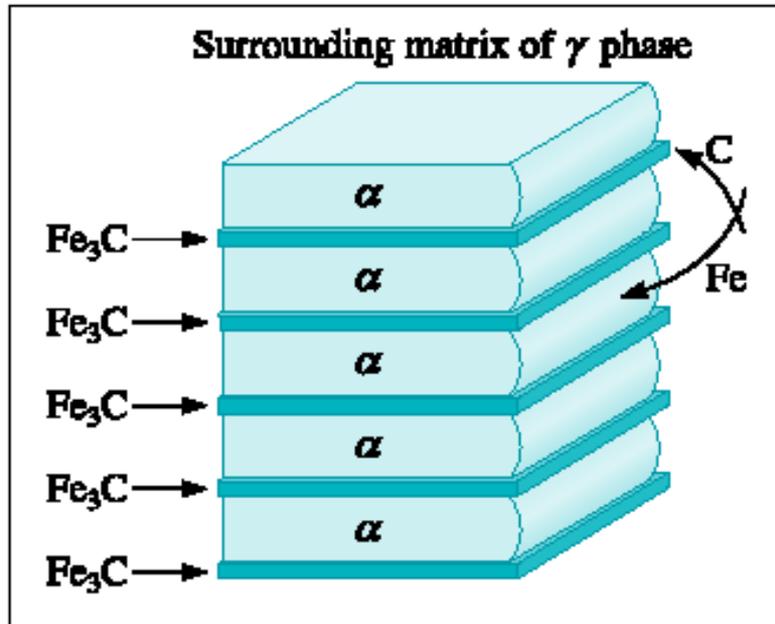
Microstruttura della perlite



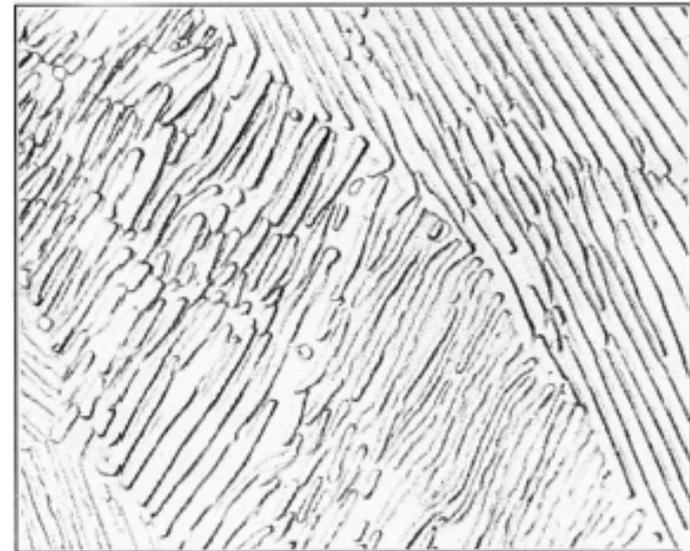
Nella micrografia, le zone scure sono le lamelle di cementite (Fe_3C), mentre la fase chiara è ferrite α



Microstruttura della perlite



(a)

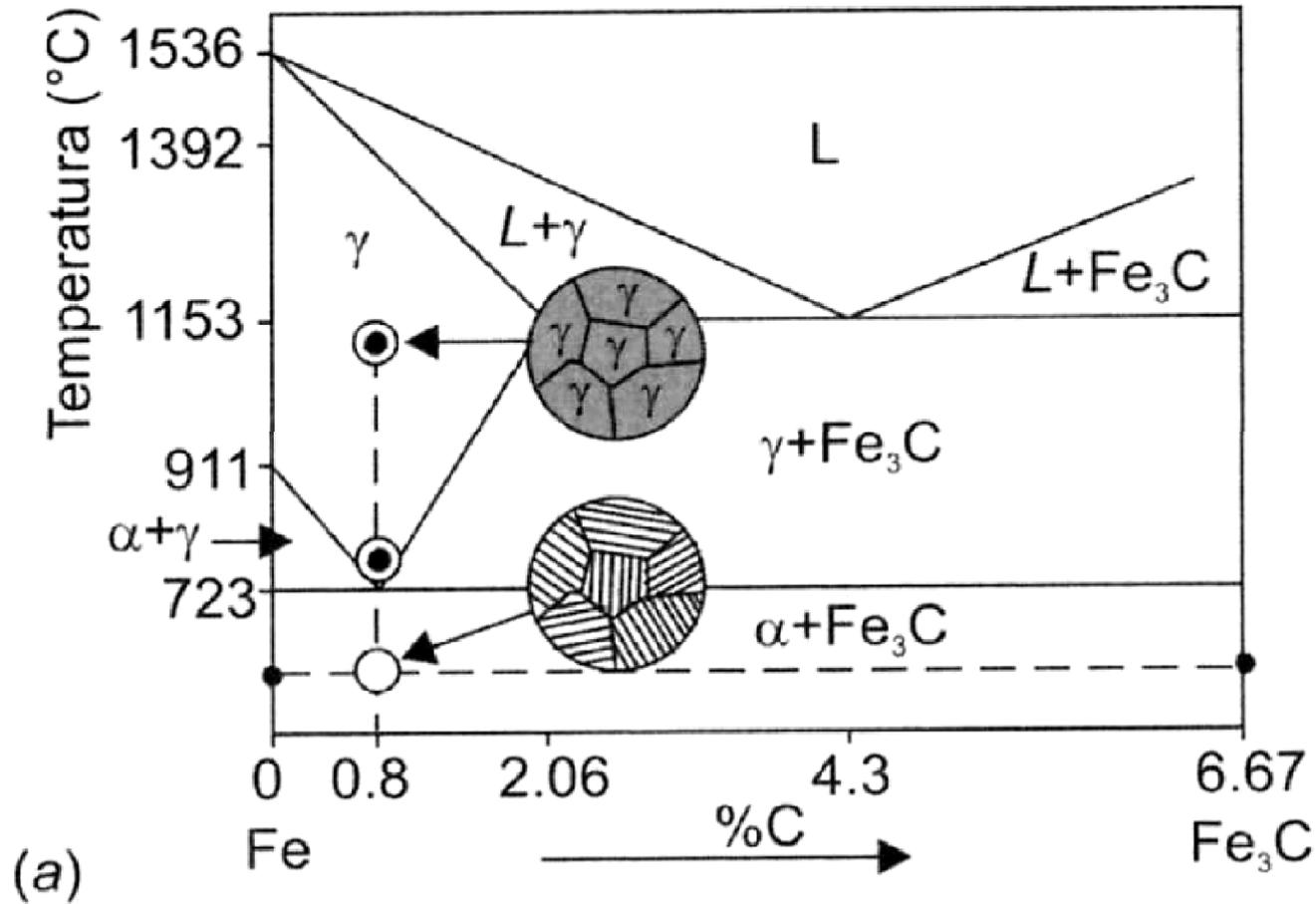


(b)

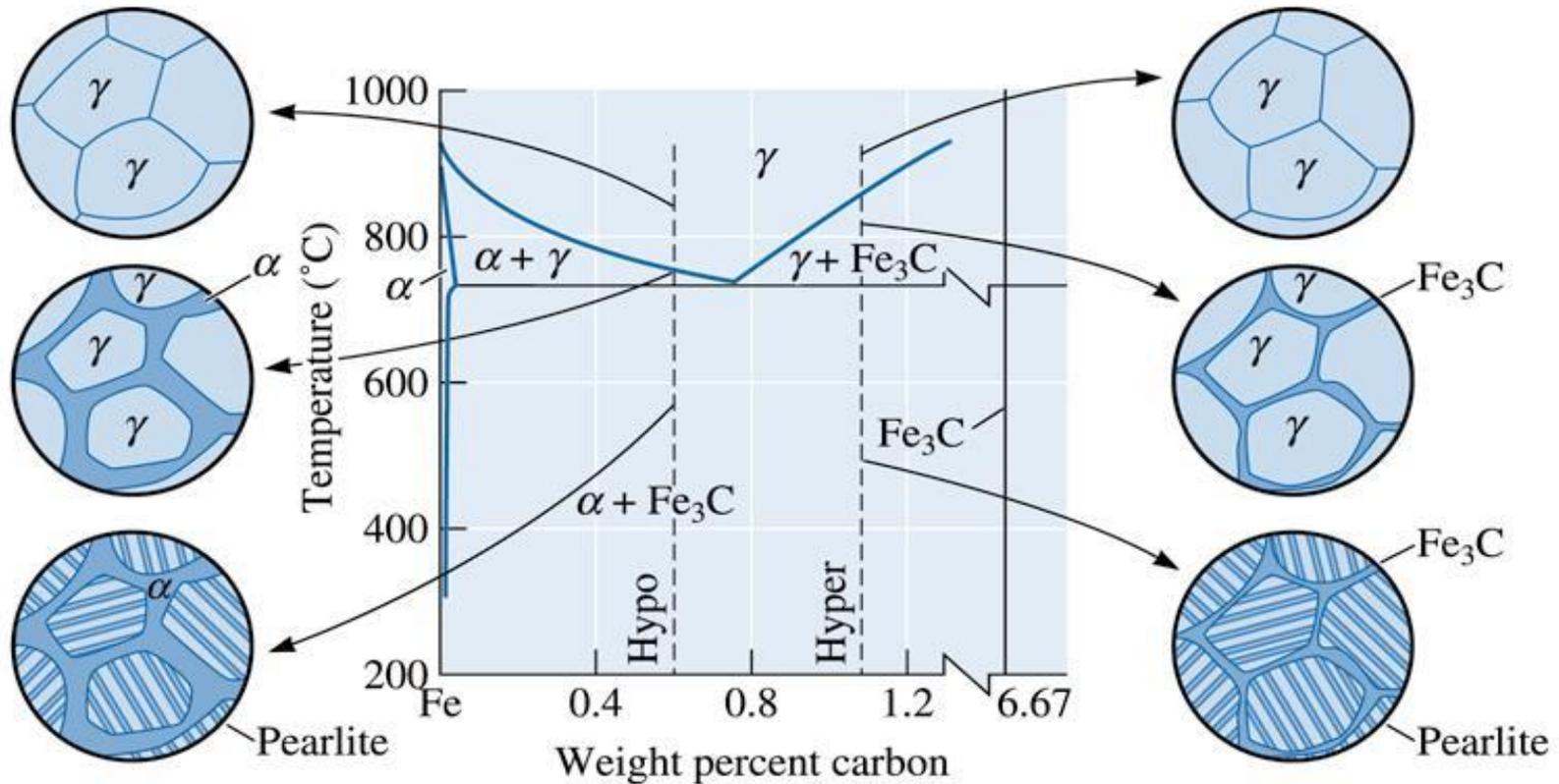
Crescita e struttura della perlite: (a) redistribuzione del carbonio e del ferro e (b) micrografia delle lamelle di perlite (2000).

(ASM Handbook, Vol. 7, (1972), ASM International, Materials Park, OH 44073.)

Microstruttura ottenute al raffreddamento in acciai eutettoidi



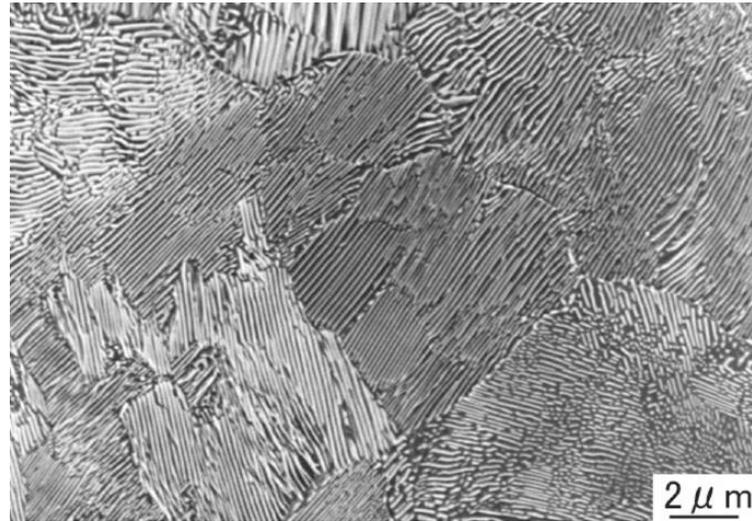
Microstruttura ottenute al raffreddamento in acciai iper ed ipoeutettoi



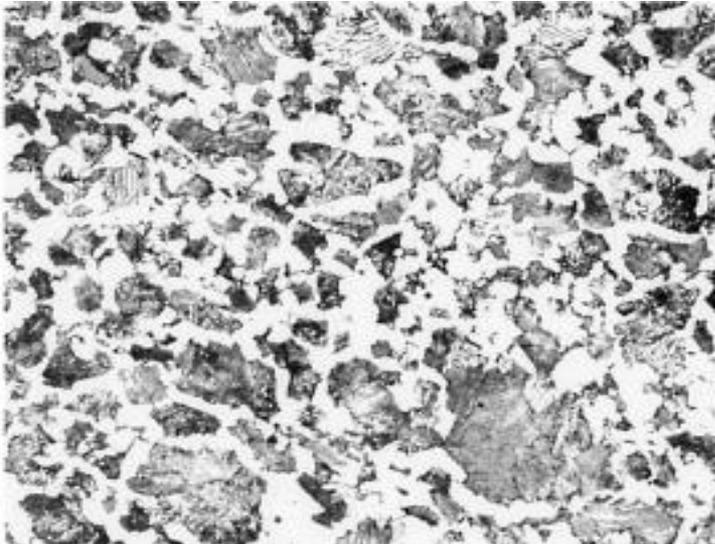
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[®] is a trademark used herein under license.

L'evoluzione della microstruttura degli acciai ipoeutettoi e ipereutettoi durante il raffreddamento. In relazione al diagramma di fase Fe-Fe₃C.

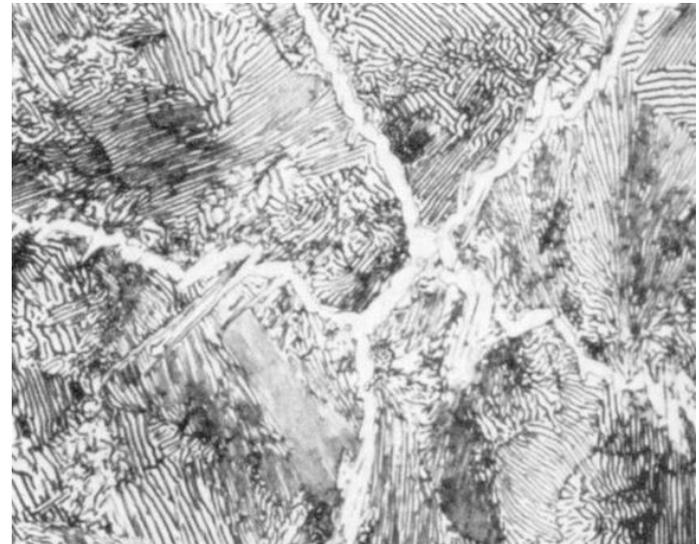
Microstruttura eutettoide



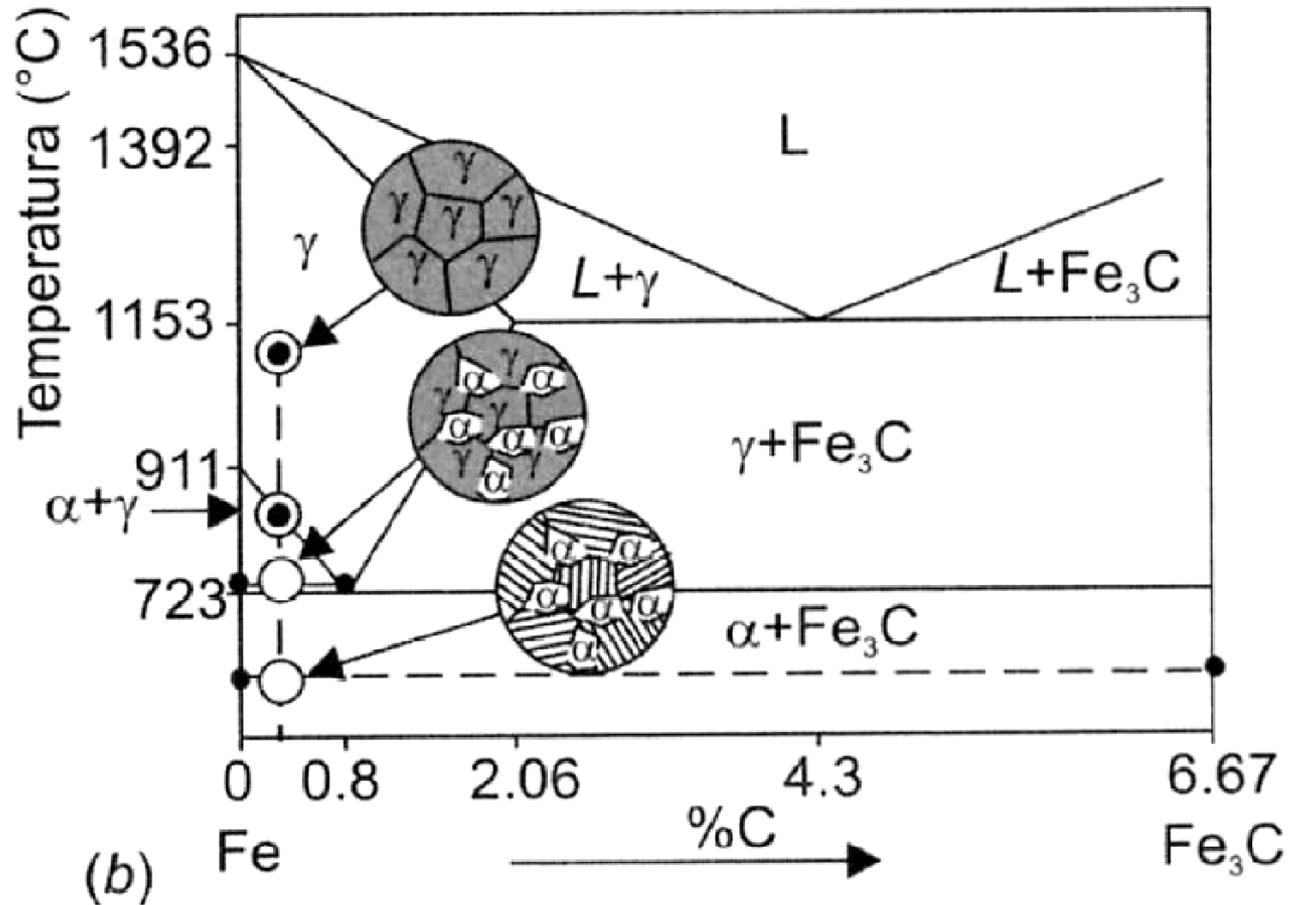
Microstruttura ipoeutettoide



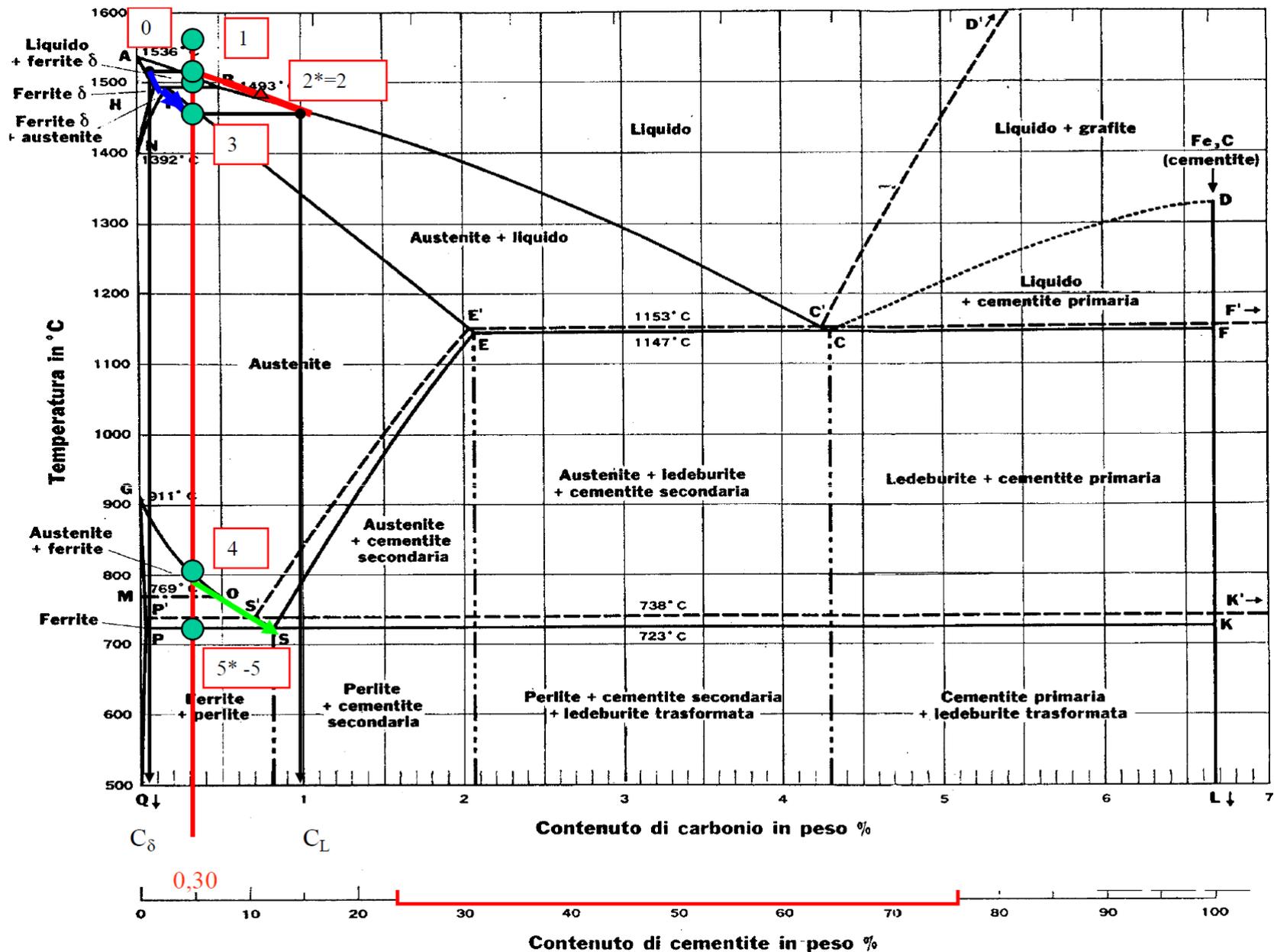
Microstruttura ipereutettoide



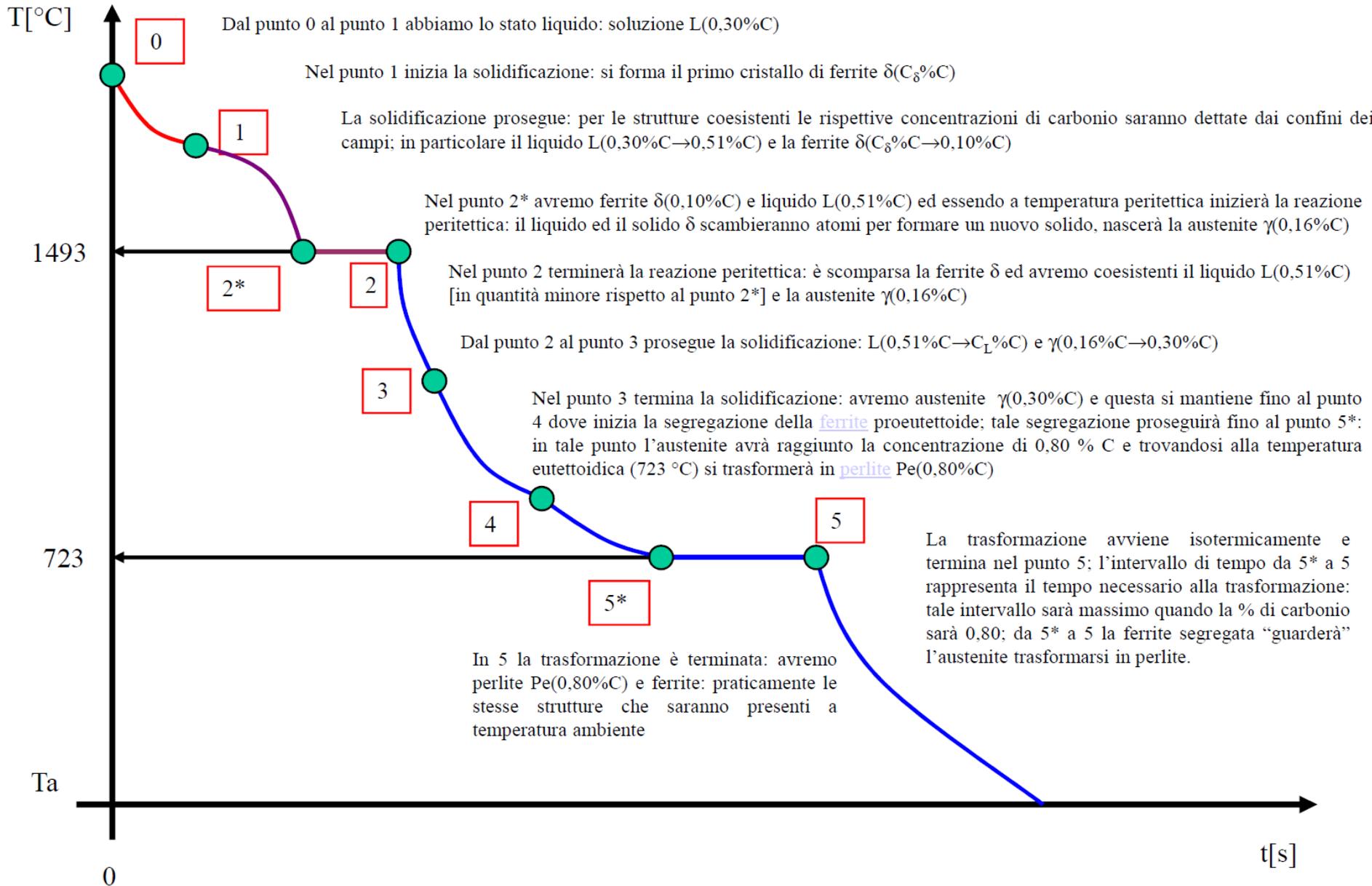
Microstruttura ottenute al raffreddamento in acciai ipoeutettoiidi



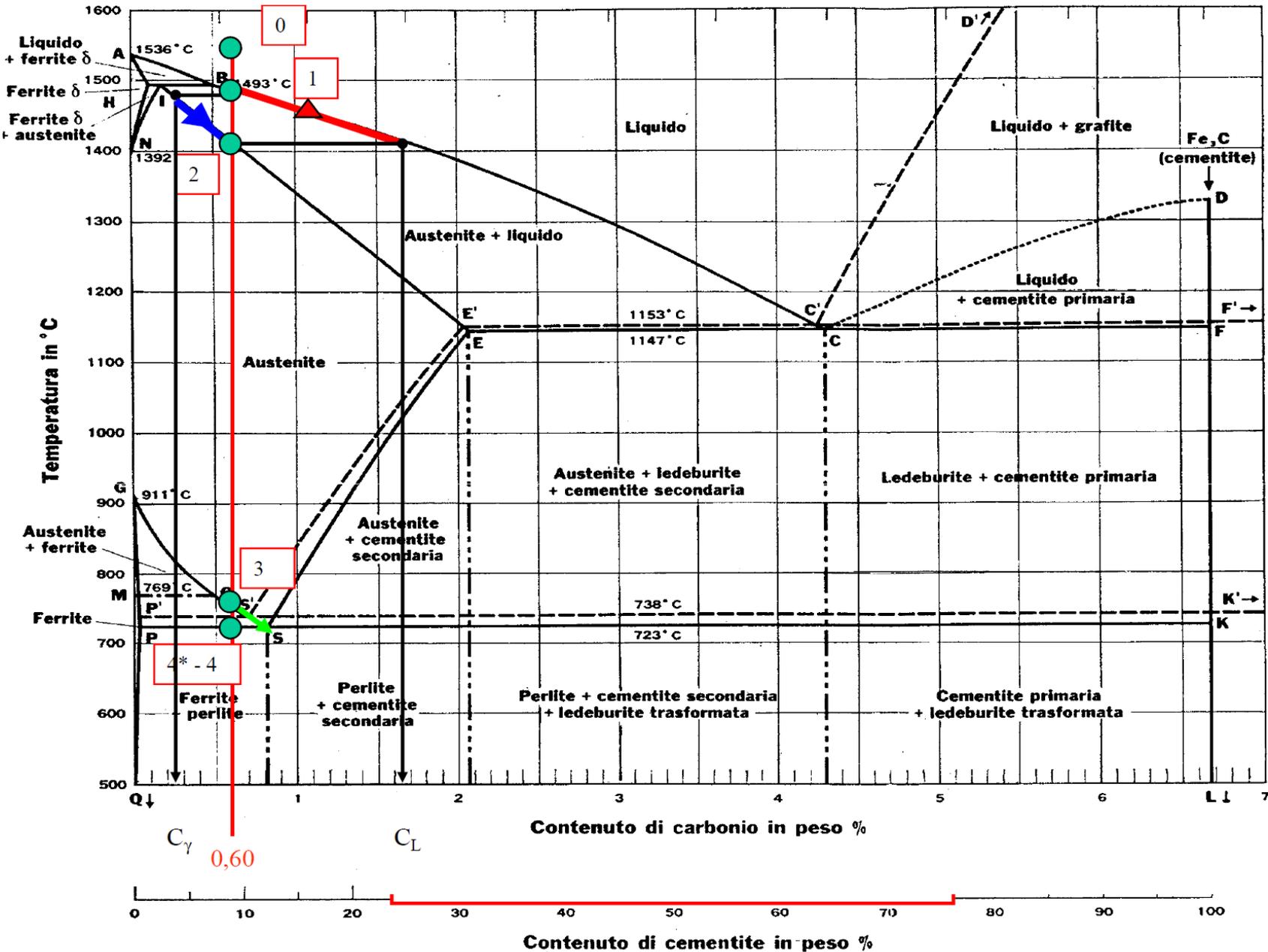
Acciai ipoeutettoi - C30



ACCIAI IPOEUTETTOIDI (C < 0,8%) - C30

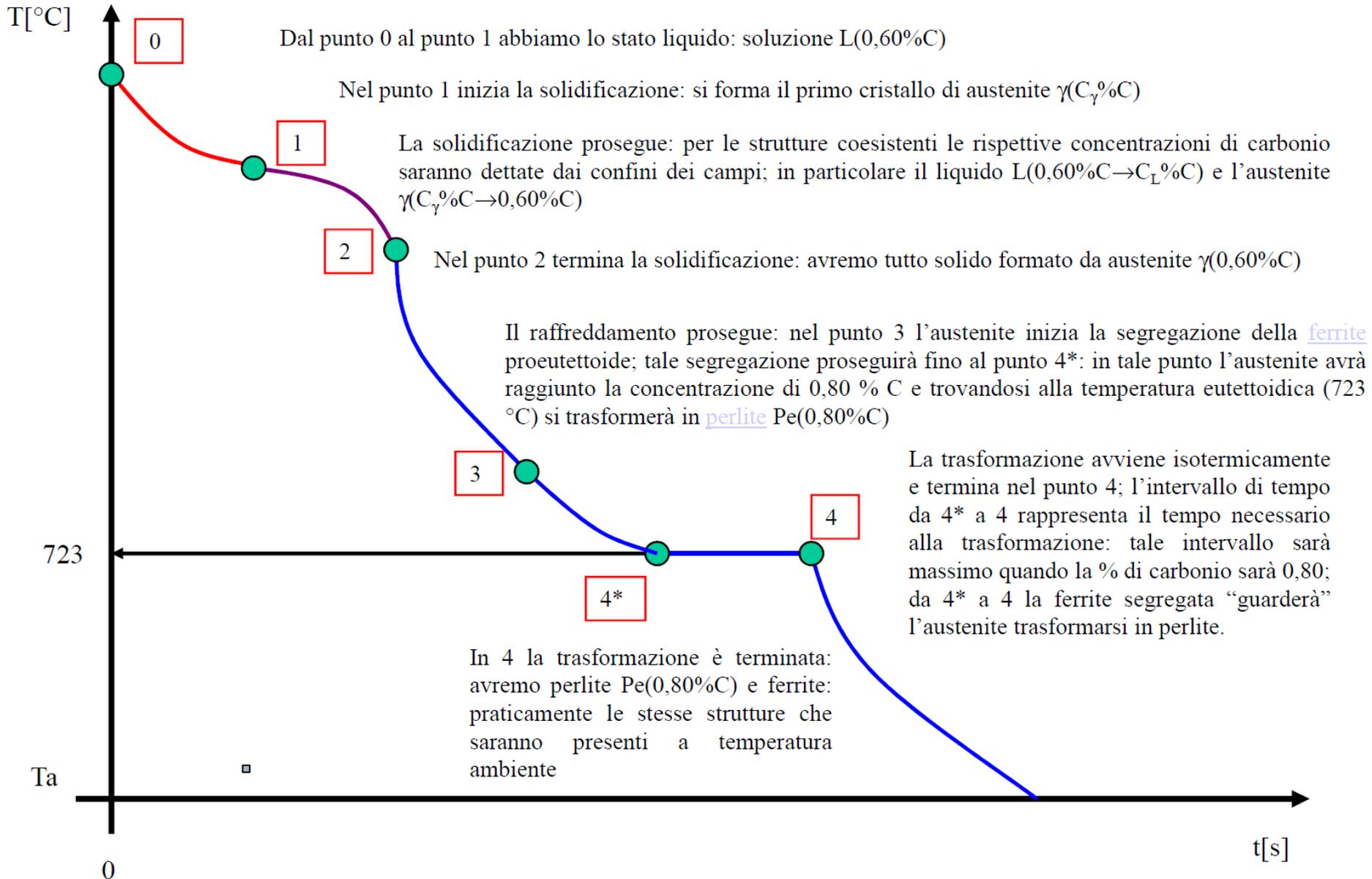


Acciai ipoeutettoi - C60

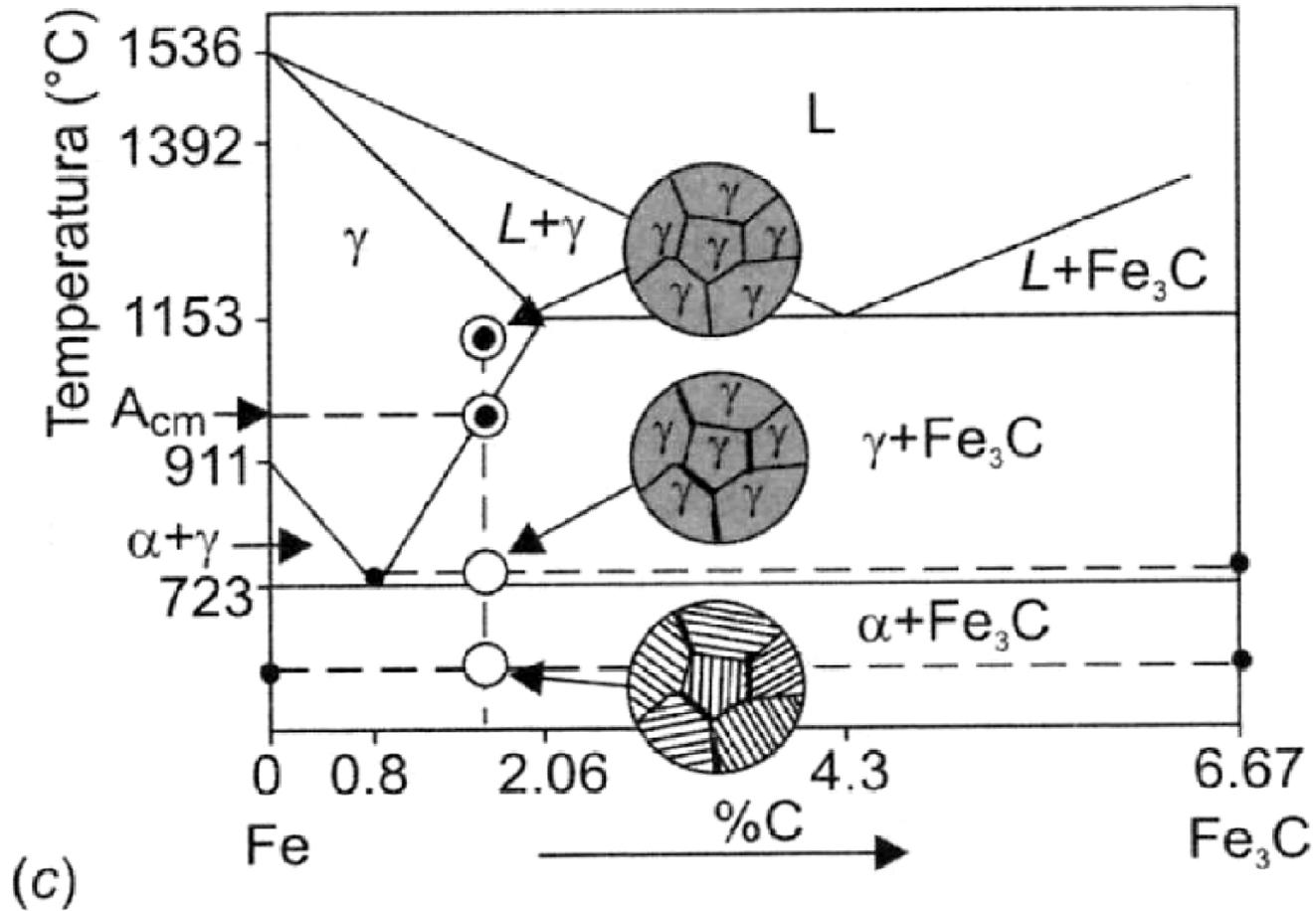


Acciai ipoeutetoidi – C60

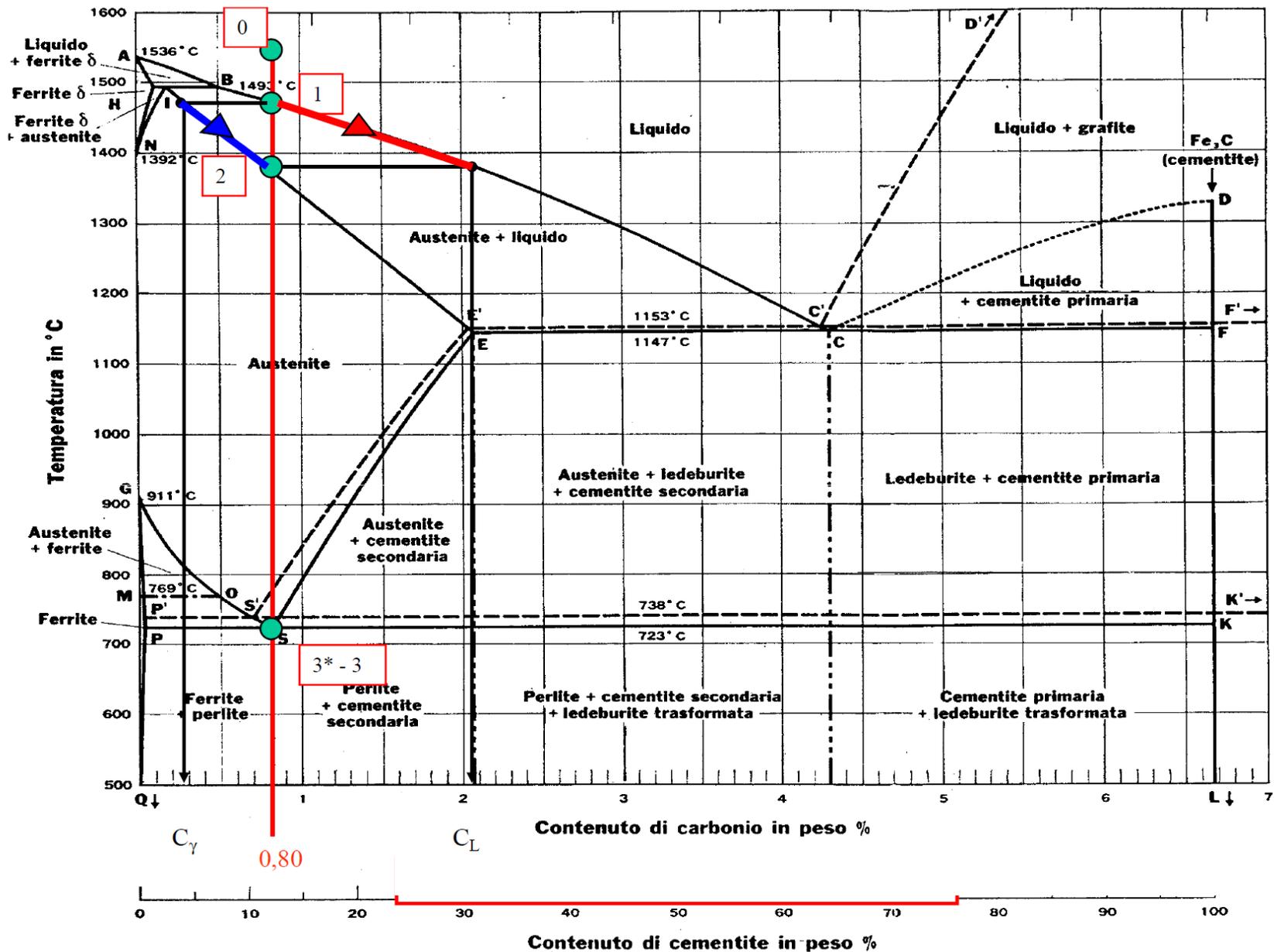
CURVA DI RAFFREDDAMENTO DEL C60



Microstruttura ottenute al raffreddamento in acciai ipereutettoi

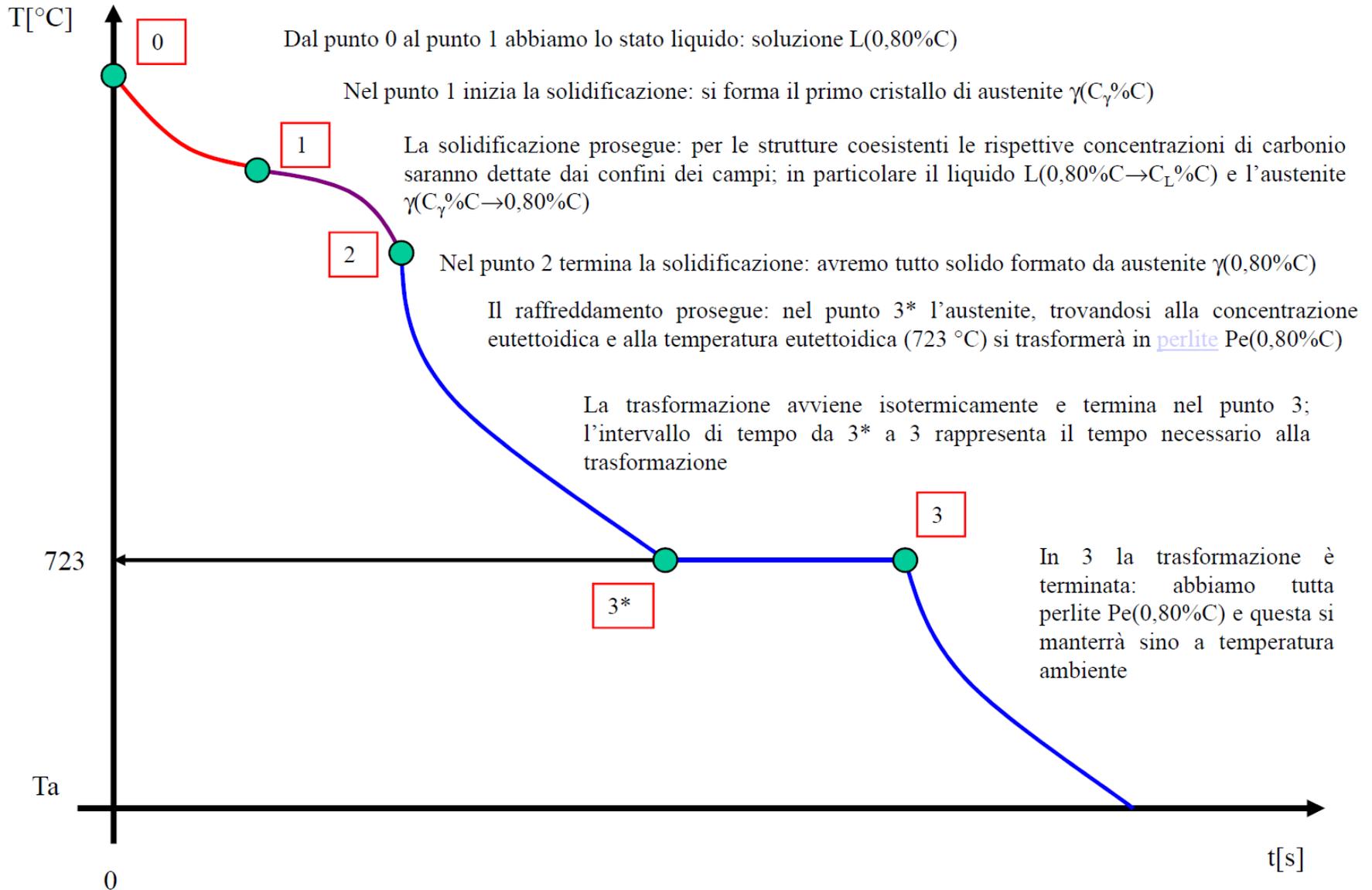


Acciai ipereutettoidi - C80

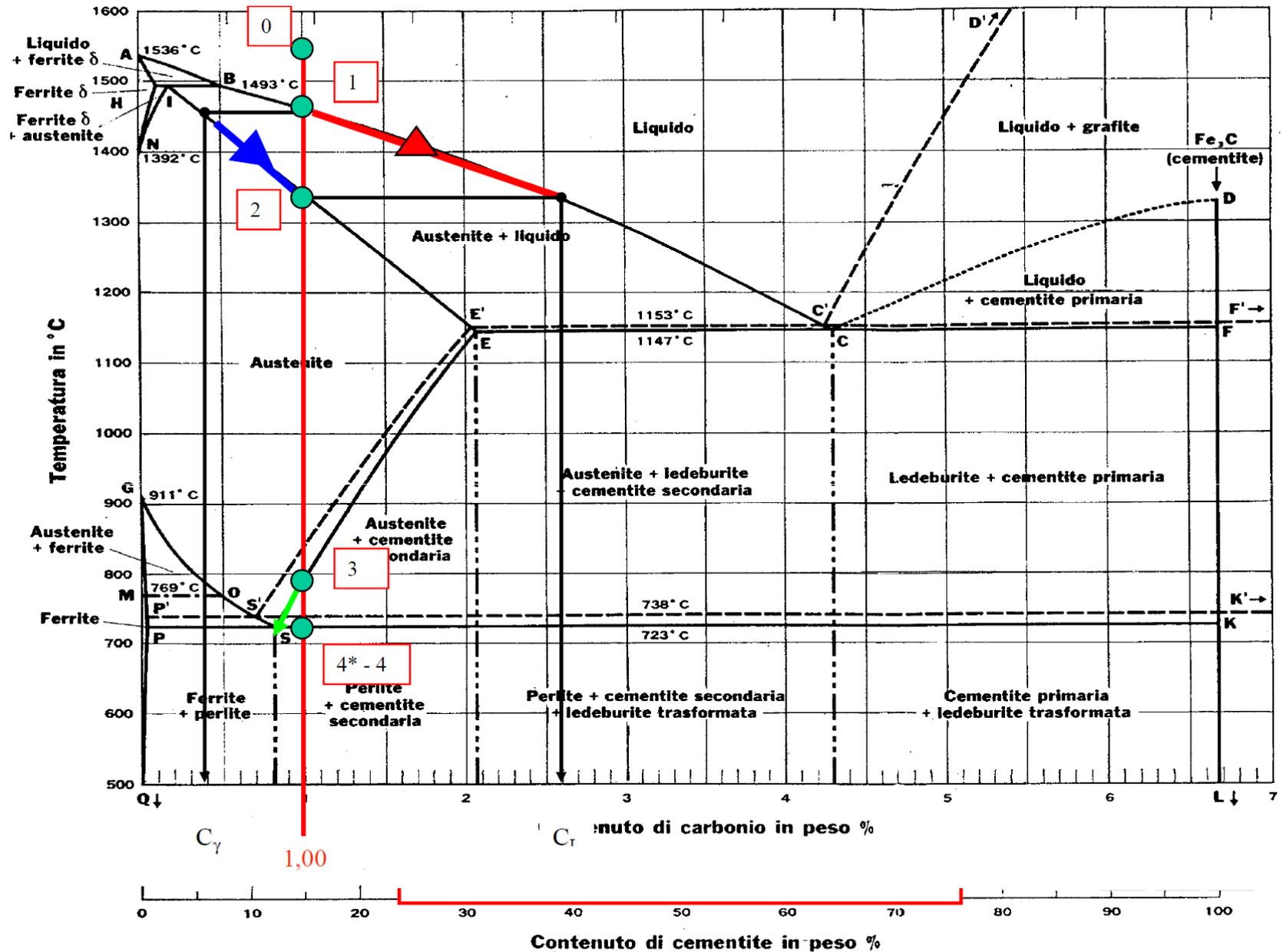


Acciai ipereutettoiidi – C80

CURVA DI RAFFREDDAMENTO DEL C80

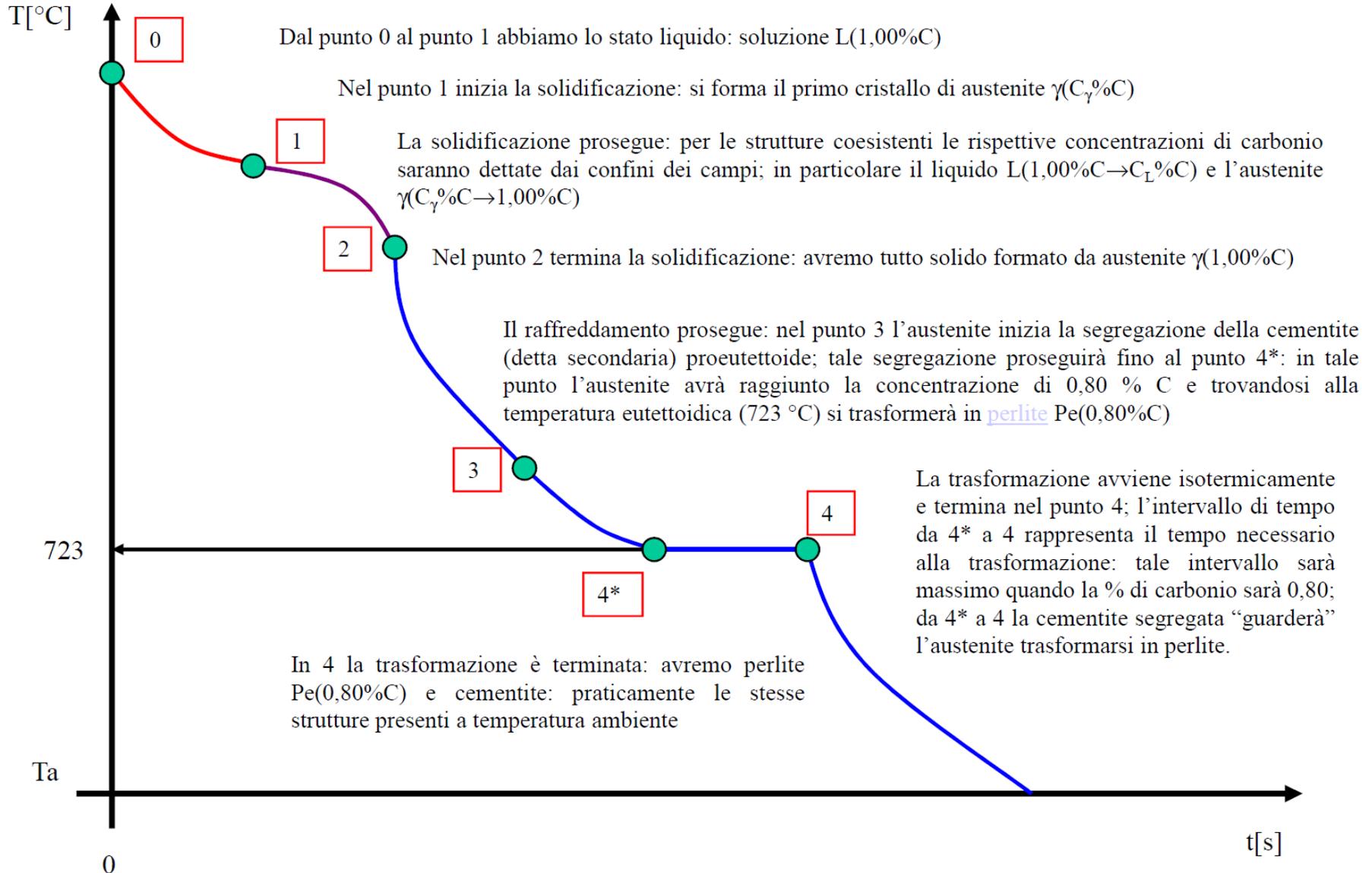


Acciai ipereutettoidi - C100



Acciai ipereutettoiidi - C100

CURVA DI RAFFREDDAMENTO DEL C100



Controllo della Reazione Eutettoide

- Controllo del quantitativo di eutettoide
- Controllo del numero e dimensione delle colonie perlitiche
- Controllo delle dimensioni delle lamelle cementitiche
- Controllo della temperatura di trasformazione

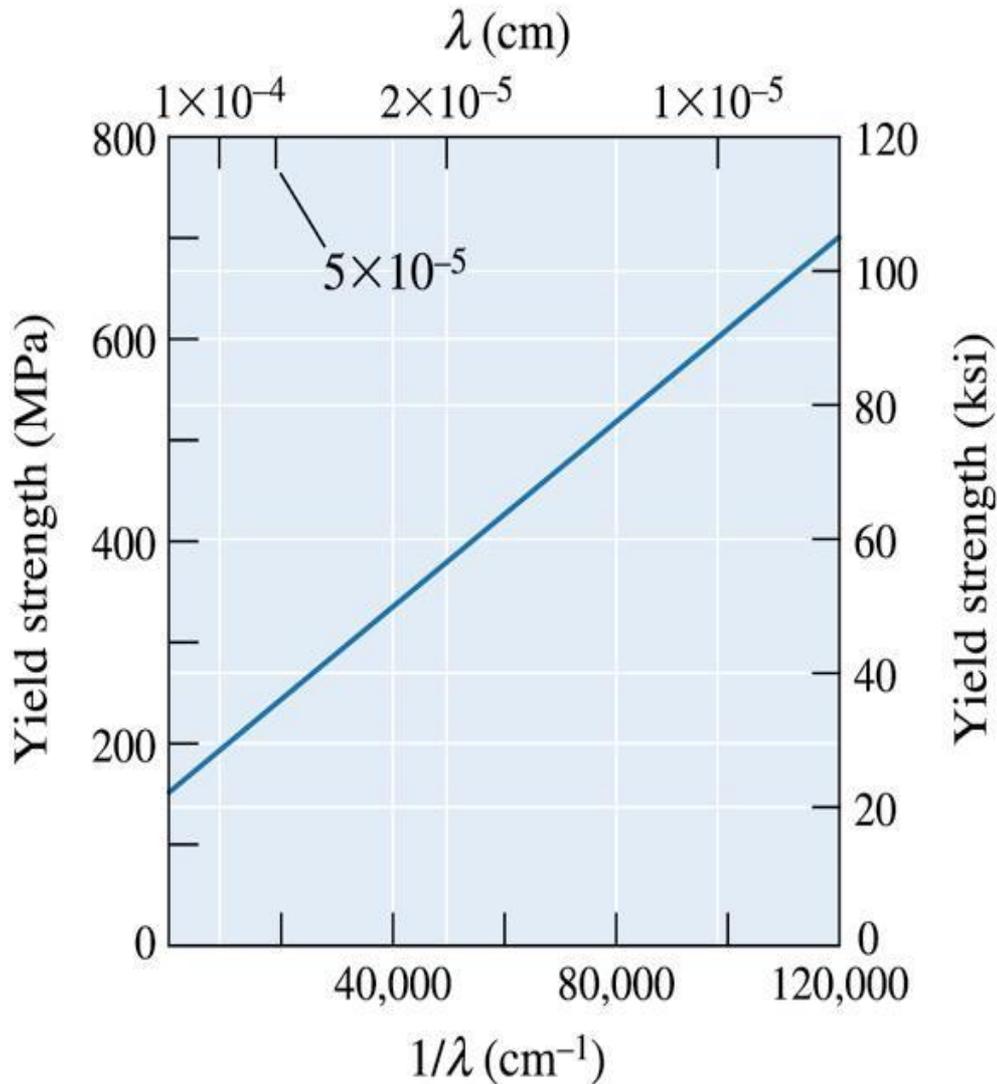
Effetto della quantità di carbonio sulle proprietà meccaniche

TABLE 11-1 ■ *The effect of carbon on the strength of steels*

Slow Cooling (Coarse Pearlite)				Fast Cooling (Fine Pearlite)		
Carbon %	Yield Strength (psi)	Tensile Strength (psi)	% Elongation	Yield Strength (psi)	Tensile Strength (psi)	% Elongation
0.20	42,750	57,200	36.5	50,250	64,000	36.0
0.40	51,250	75,250	30.0	54,250	85,500	28.0
0.60	54,000	90,750	23.0	61,000	112,500	18.0
0.80	54,500	89,250	25.0	76,000	146,500	11.0
0.95	55,000	95,250	13.0	72,500	147,000	9.5

After Metals Progress Materials and Processing Databook, 1981.

Effetto dello spazio interlamellare sulla resistenza della perlite

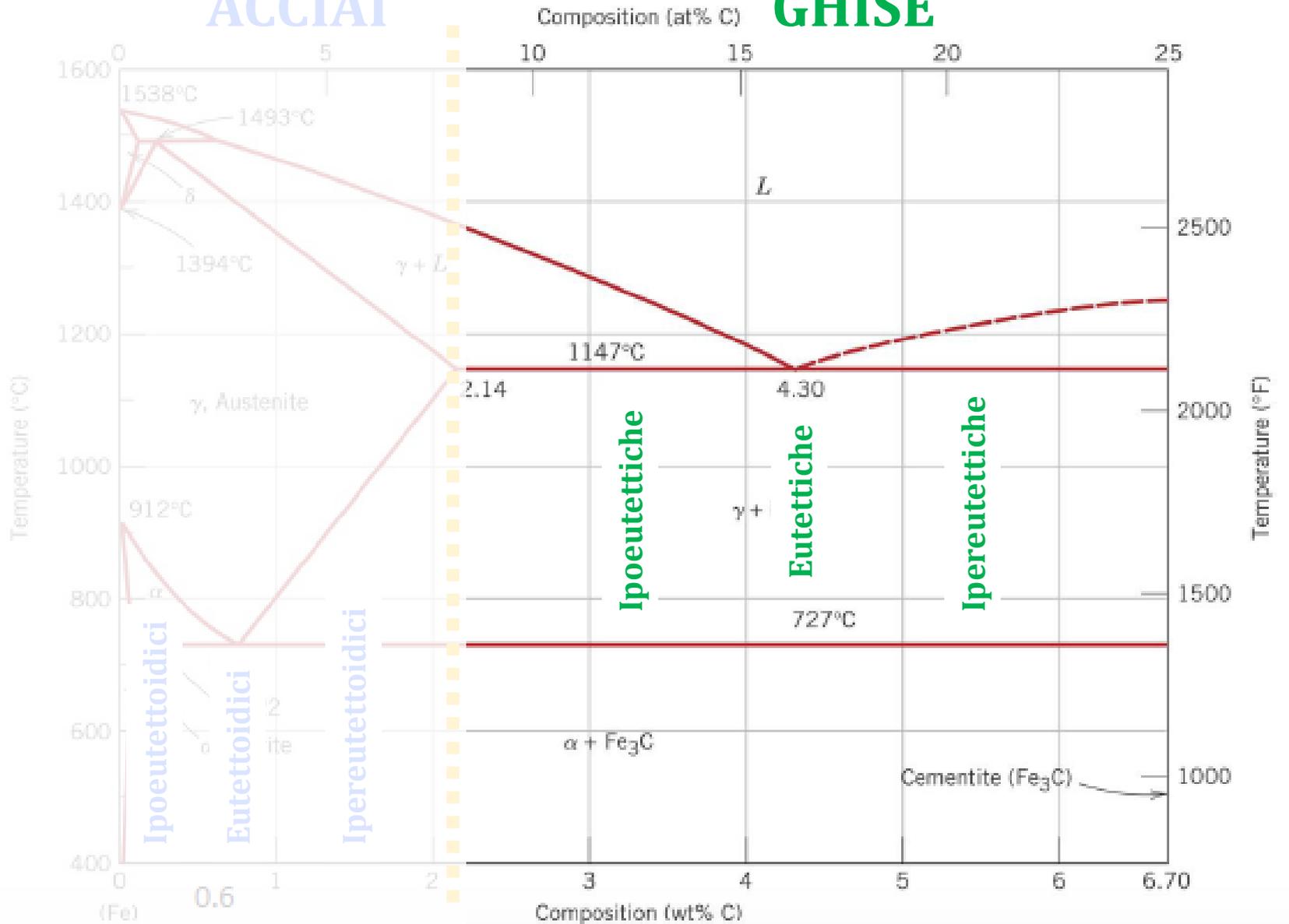


L'effetto della spaziatura interlamellare (λ) sulla resistenza allo snervamento della perlite.

Ghise

ACCIAI

GHISE



Ledeburite

La **ledeburite** è il nome che viene dato all'eutettico (dallo studioso Ledebur); nasce alla temperatura di 1147 °C quando il liquido ha un tenore di carbonio pari al 4,3%.

Quando nasce è formata da austenite γ (2,06%C) e da cementite primaria Fe_3C (6,67%C);

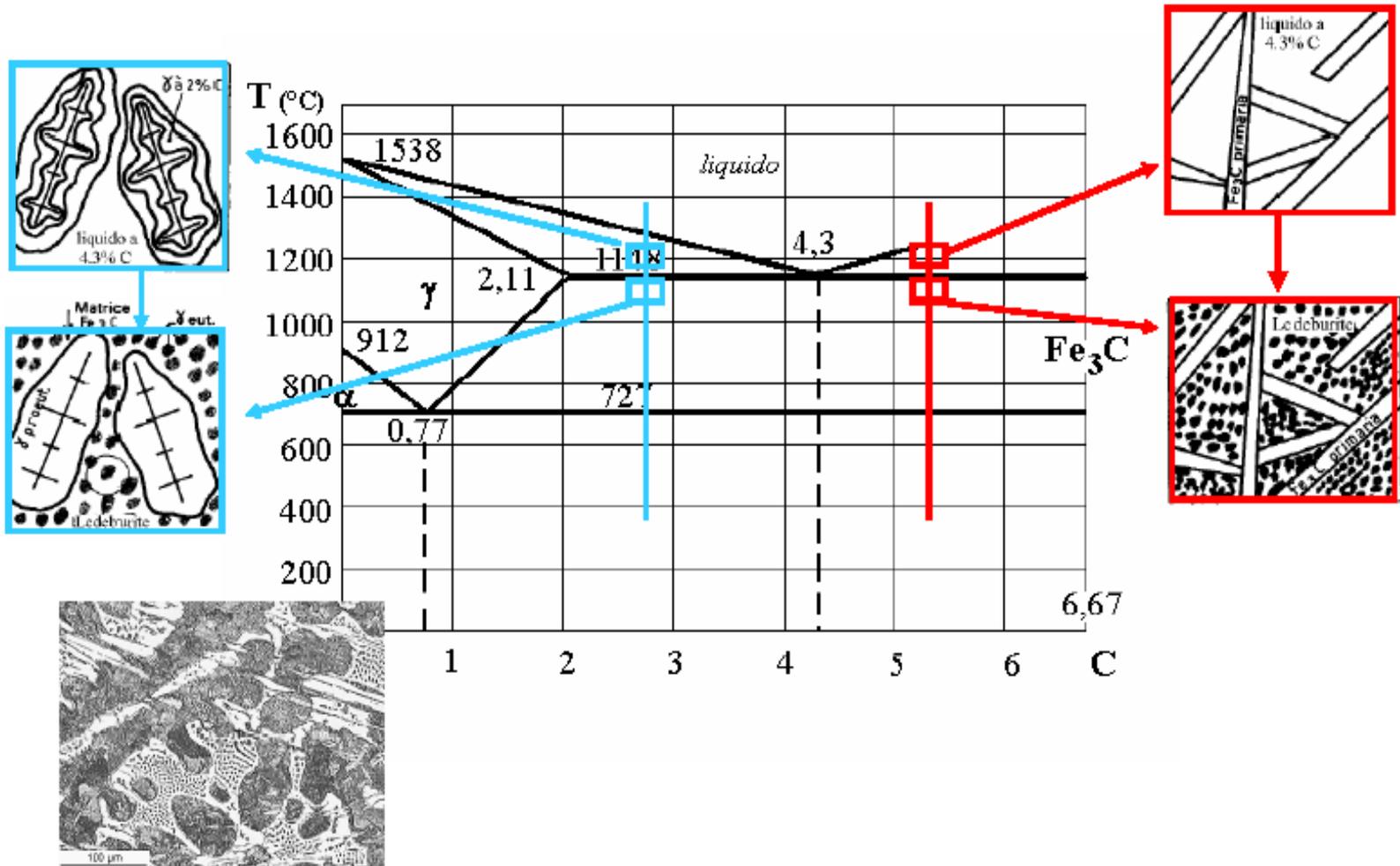
al diminuire della temperatura l'austenite seguendo la sua curva di saturazione passerà dal tenore sciolto di 2,06%C al tenore di 0,80%C alla temperatura di 723°C: espellerà cementite, che sarà chiamata secondaria.

Alla temperatura di 723°C, isotermicamente, diventerà perlite.

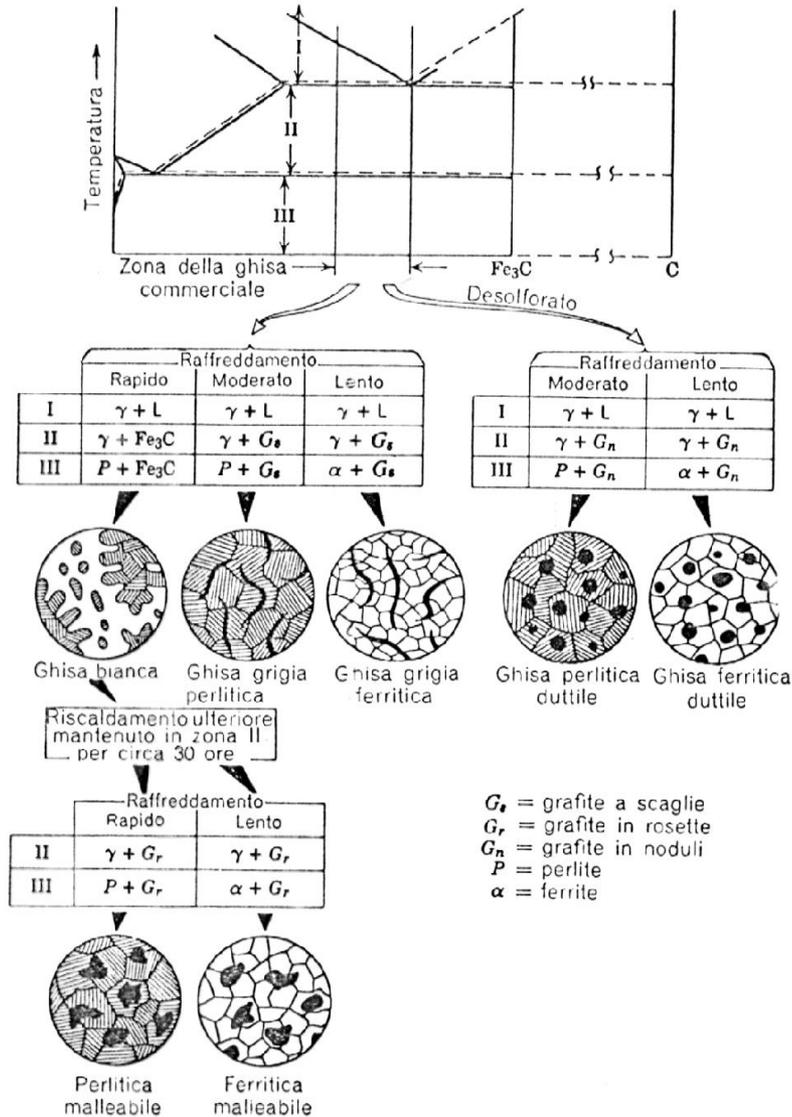
La ledeburite assumerà il nome di ledeburite trasformata e conterrà: perlite(0,80%C), cementite secondaria, cementite primaria (quella che si era formata a 1147°C e che poi ha osservato l'austenite nel processo di saturazione).

Trascurando la cementite terziaria le strutture presenti a 723°C saranno le stesse presenti a temperatura ambiente.

Strutture da solidificazione delle ghise



Strutture da solidificazione delle ghise



Strutture da solidificazione delle ghise

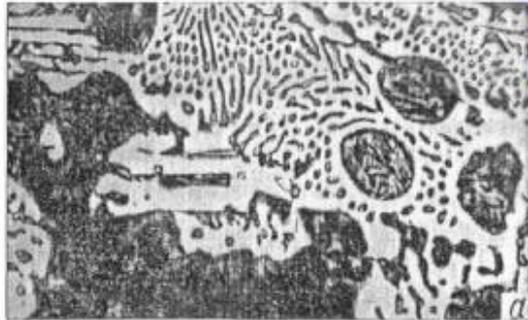


Diagramma Fe-C: le ghise

Composizione ipoeutettica (con %C tra 2 e 4,3 %): dopo il raffreddamento riscontriamo perlite (zone scure), ledeburite e cementite secondaria (non visibile).

(500x)

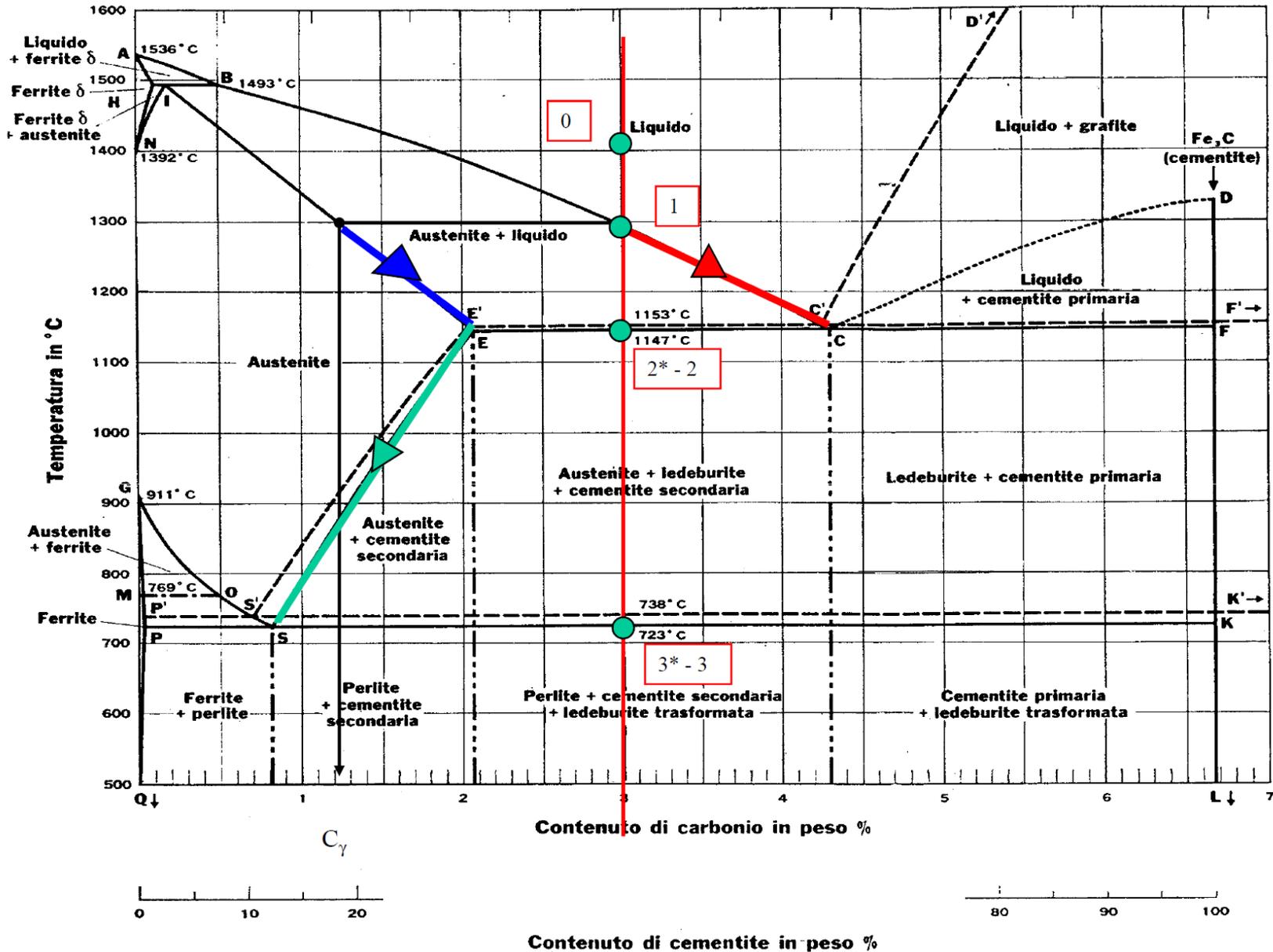


Composizione eutettica, ledeburite. Le zone scure sono perlite e quelle chiare cementite.



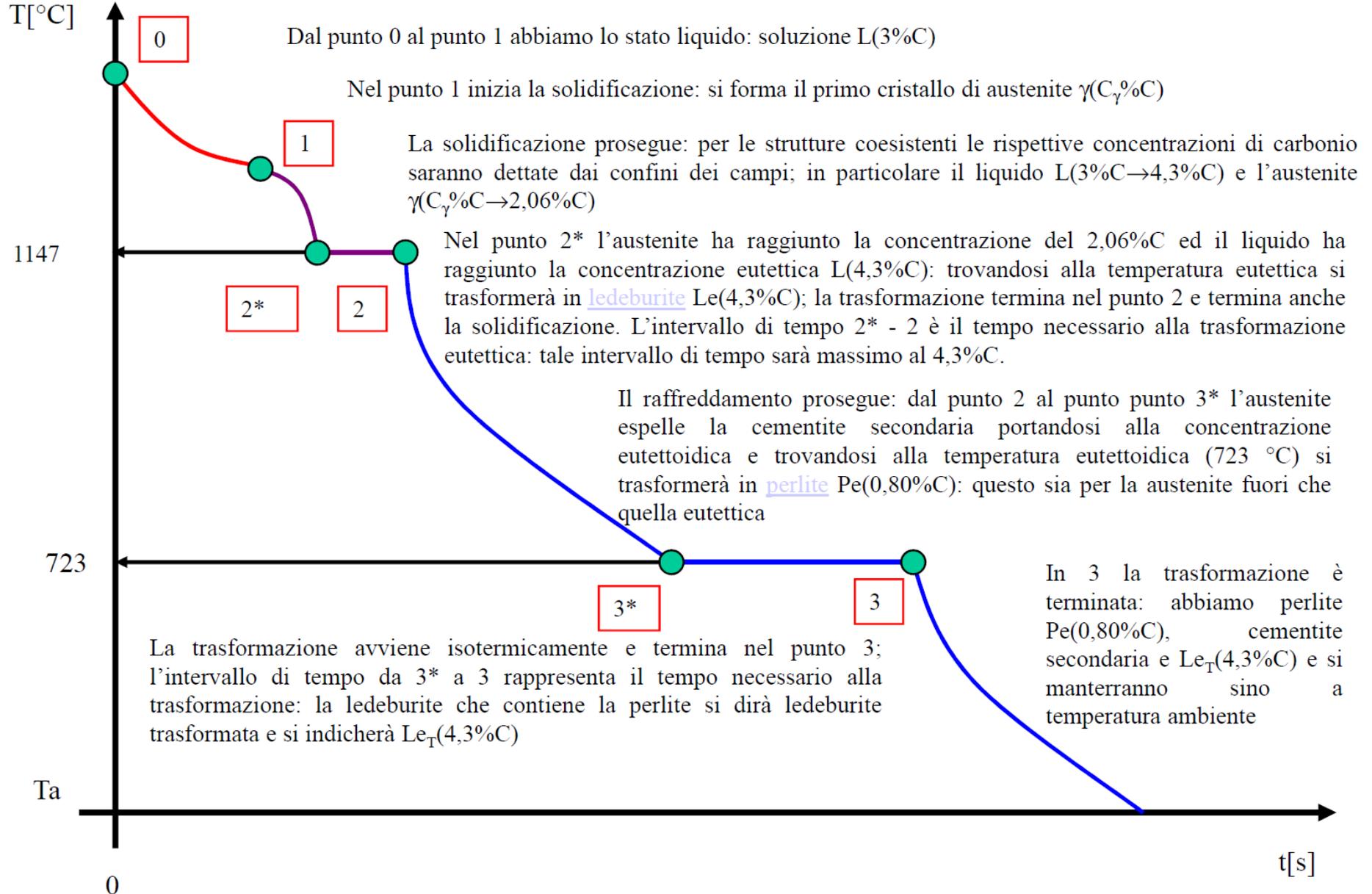
Composizione ipereutettica. Lamelle chiare di cementite e ledeburite (formata da zone scure e chiare corrispondenti a perlite e cementite rispettivamente).

Ghise - 3%



Ghise - 3%

CURVA DI RAFFREDDAMENTO DELLA GHISA AL 3 % C

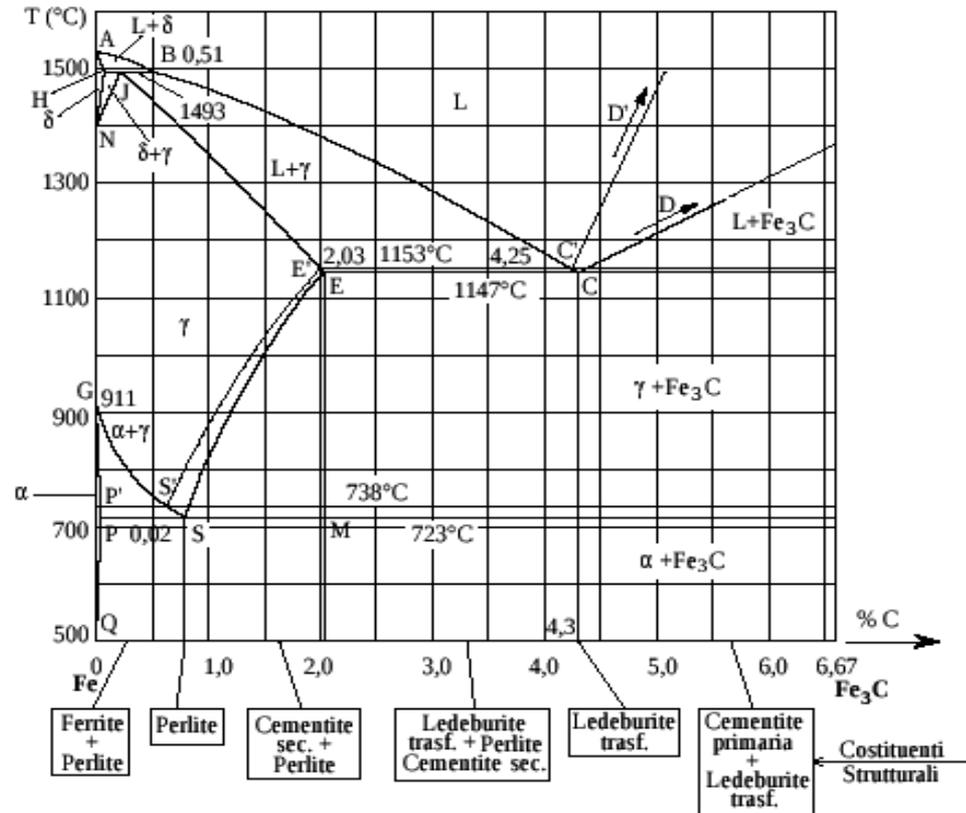


SISTEMA Fe - C: riassunto fasi e strutture

- Diagramma Fe-cementite
- Diagramma Fe-grafite

- Solubilità max del C:
2.06% a 1147°C nel Fe- γ
0.02% a 723°C nel Fe- α

Fasi	e	Costituenti strutturali
- liquida		
- fase δ		- ferrite δ
- fase γ		- austenite
- fase α		- ferrite α
- Fe_3C		- cementite
		- perlite
		- ledeburite



Punti critici

A4: $\gamma \leftrightarrow \delta$

A1: austenite eutettoidica \leftrightarrow perlite

A3: $\alpha \leftrightarrow \gamma$ A_{cm}: austenite \leftrightarrow cementite