



Metallurgia

Trattamenti termici

Prof. Francesco Iacoviello

Studio: piano terra Facoltà di Ingegneria, stanza 25

Orario di ricevimento: Mercoledì 14.00-16.00

Tel. – fax 07762993681

E-mail: **iacoviello@unicas.it**

Sito didattico: **<http://webuser.unicas.it/iacoviello>**

TRATTAMENTI TERMICI

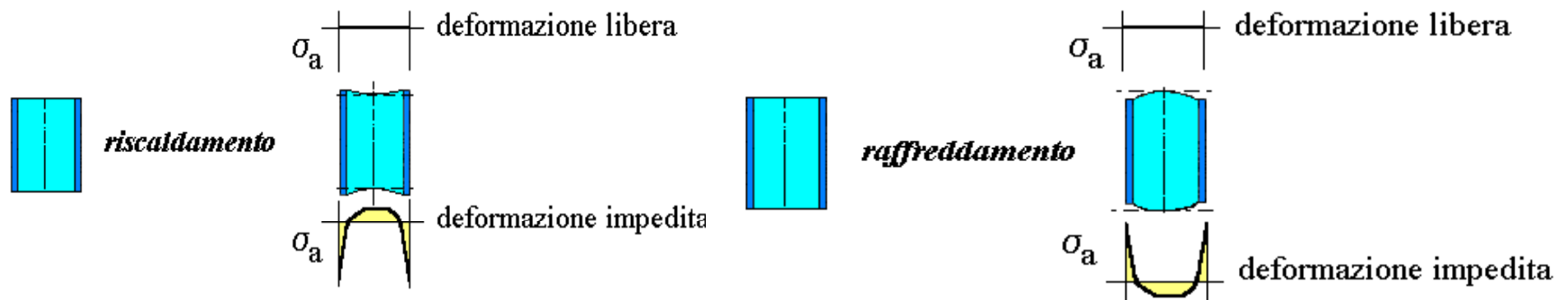
Il riscaldamento del materiale metallico coinvolge tutti i meccanismi di trasporto del calore (conduzione, convezione ed irraggiamento). Ovviamente il pezzo interessato dal trattamento si riscalda a partire dalla superficie esterna. Si formano inevitabilmente dei gradienti di temperatura tra la superficie riscaldata ed il cuore ancora freddo e dei corrispondenti gradienti di deformazione: le parti più calde si dilatano ma sono ostacolate dalla presenza di parti fredde.

La dilatazione lineare ε per una variazione di temperatura $\Delta T > 0$ vale:

$$\varepsilon = \alpha \Delta T$$

Se tale dilatazione è impedita, il materiale è sottoposto ad una sollecitazione σ di compressione data dalla legge di Hooke:

$$\sigma = \varepsilon E = \alpha E \Delta T$$



I trattamenti degli acciai possono essere classificati in:

- Trattamenti effettuati a temperature superiori alle temperature critiche (ricotture, normalizzazioni, tempre)
- Trattamenti effettuati a temperature inferiori alle temperature critiche (rinvenimenti, distensioni)
- Trattamenti termochimici di diffusione (nitrurazione, cementazione)

La fase iniziale di un trattamento termico che preveda una trasformazione di fase è denominato ***austenitizzazione***. Tale processo consiste in un riscaldamento effettuato in modo da ottenere una struttura che sia austenitica in modo completo o parziale, in funzione della composizione chimica dell'acciaio.

Austenitizzazione

I parametri di austenitizzazione sono:

- La temperatura di austenitizzazione T_a
- La durata di austenitizzazione t_a

Lo stato austenitico è caratterizzato da:

- Composizione chimica media dell'austenite
- Dimensione del grano austenitico

Influenza elementi di lega:

- Estensione del dominio
- Affinità per il C

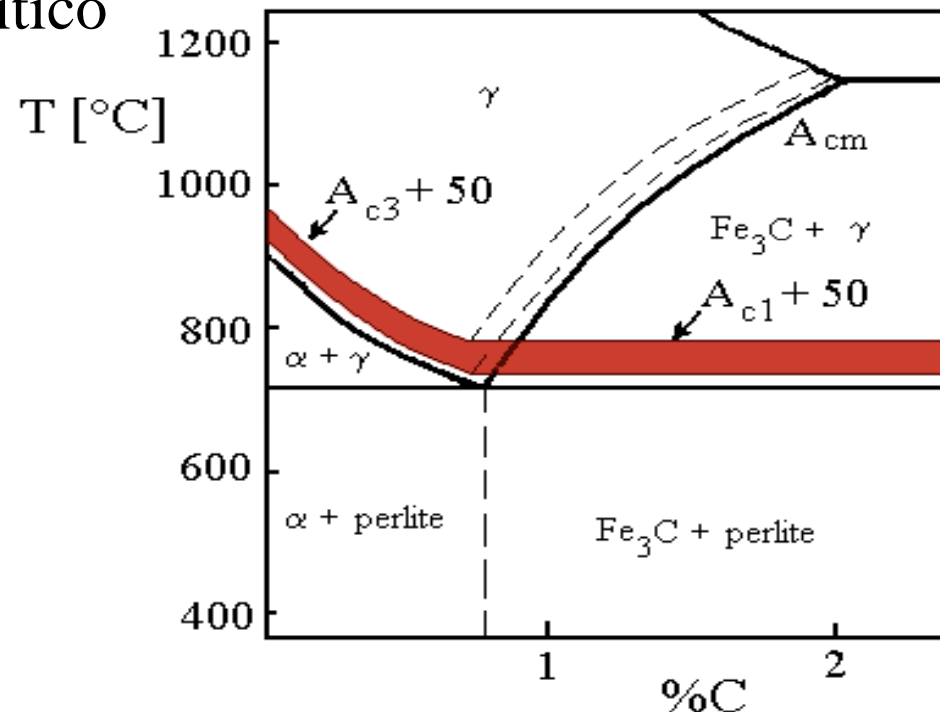
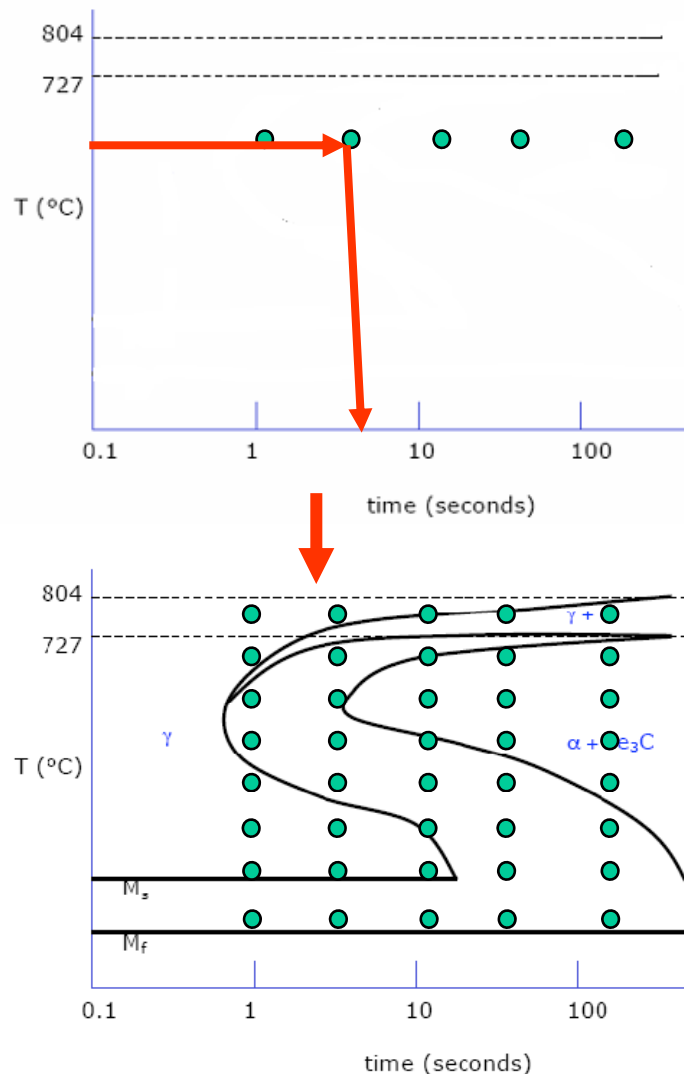


Diagramma TTT (Trasformazione, Tempo, Temperatura)

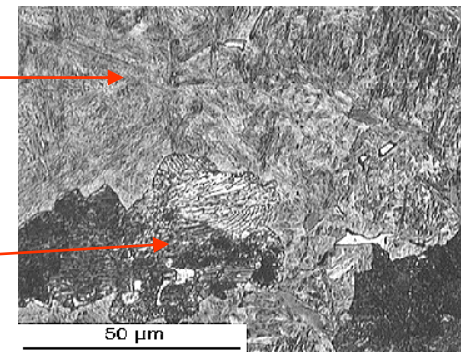


Possibile procedura (1):

- Numerosi campioni sottili vengono austenitizzati completamente in forno e quindi trasferiti in differenti bagni di Pb fuso a differenti temperature.
- Dopo un determinato tempo di permanenza, i campioni sono raffreddati in acqua in modo da prevenire ulteriori trasformazioni. Durante tale raffreddamento, l'austenite non trasformata diviene martensite.
- Per ogni temperatura, la procedura viene ripetuta variando il tempo di attesa.

Martensite

Perlite



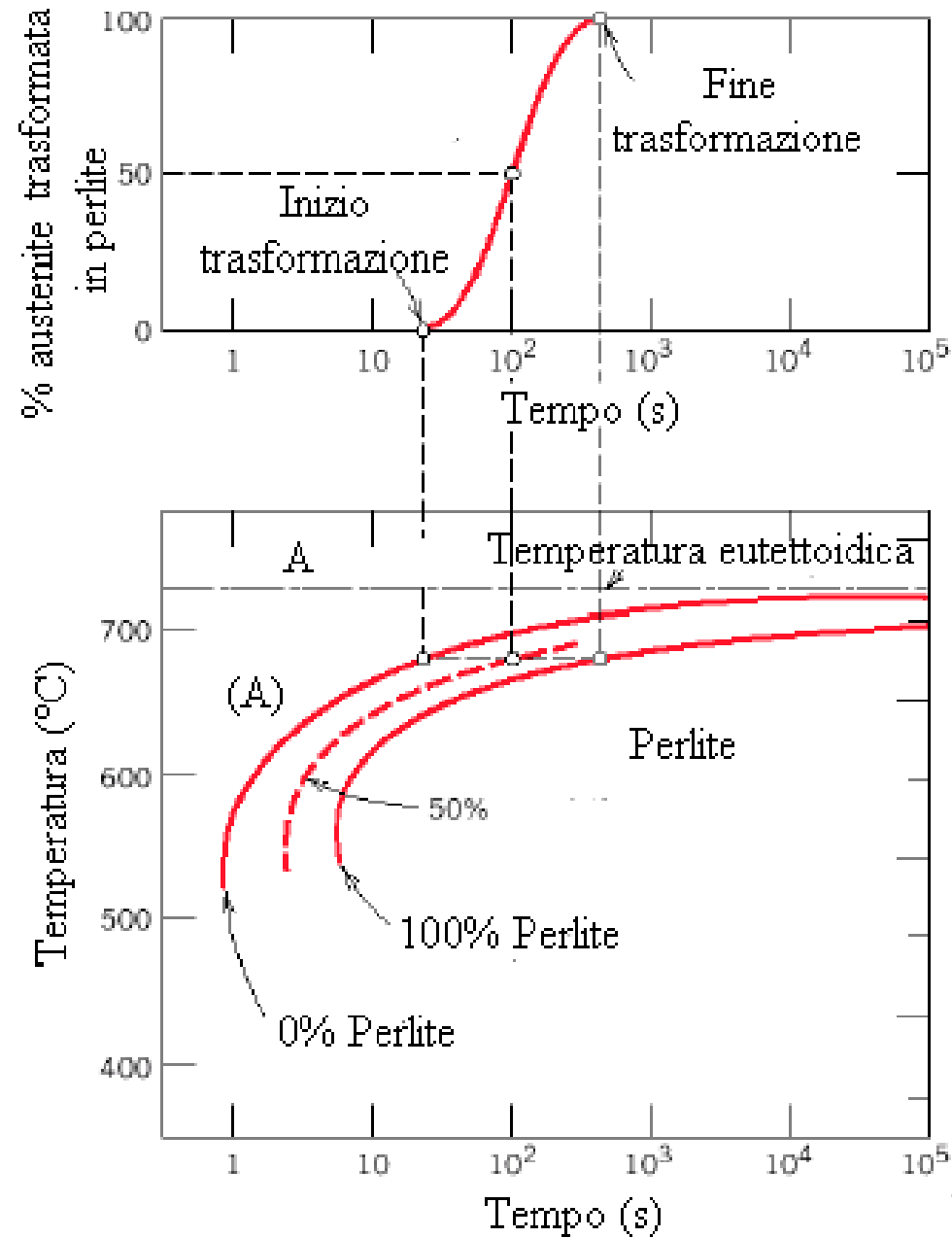
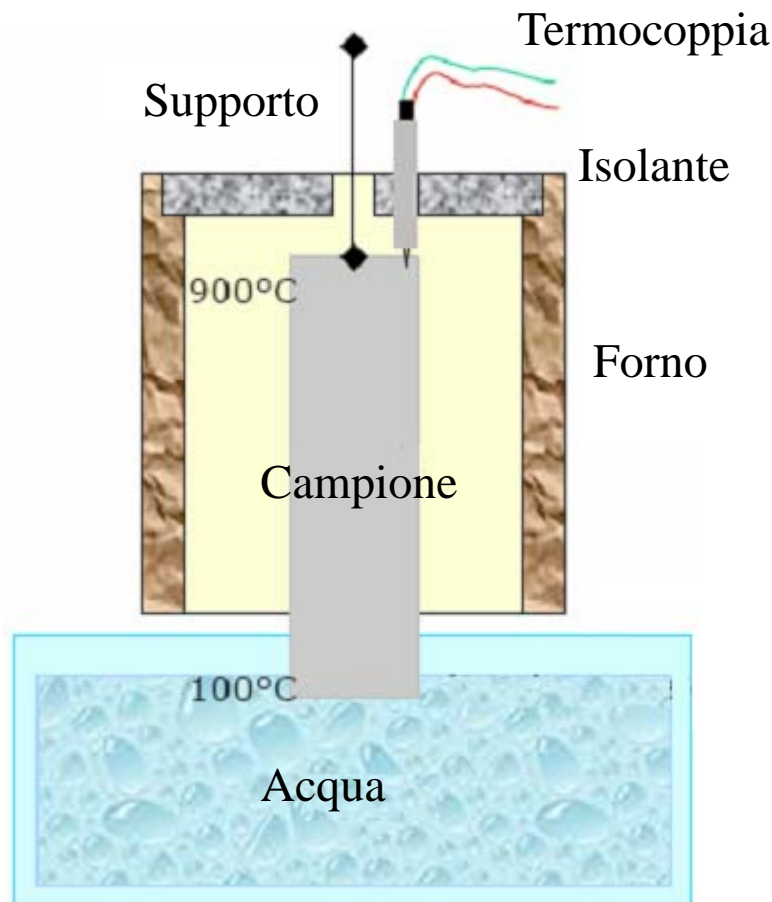
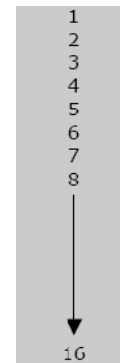


Diagramma TTT (Trasformazione, Tempo, Temperatura)



Possibile procedura (2):

- Si posiziona il campione nel forno a 1050°C;
- Si mantiene a tale temperatura per almeno 5 minuti
- Si posiziona rapidamente nella posizione di figura
- Si regola la potenza in modo che la sommità del campione permanga a 900°C
- Dopo 15 minuti si raffredda rapidamente in acqua

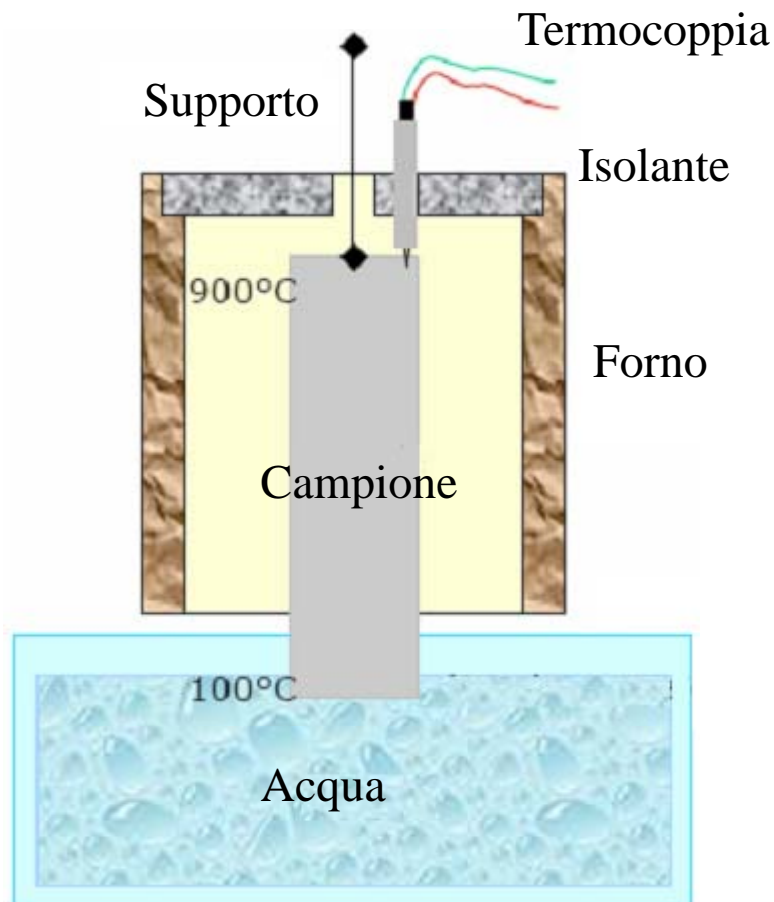


Ogni punto del campione è rimasto per 15 minuti ad una temperatura che decresce partendo dal punto 1 (900°C) fino al punto 16 (100°C).

L'analisi metallografica e prove di durezza permettono di caratterizzare ciascun punto

Diagramma TTT

(Trasformazione, Tempo, Temperatura)



Possibile procedura (2):

- Si ripete la procedura precedente modificando il tempo di permanenza.
- Utilizzando un diagramma Temperatura – tempo (log t), ed interpolando i punti sperimentali, si possono determinare le curve che rappresentano l'inizio e la fine delle trasformazioni.

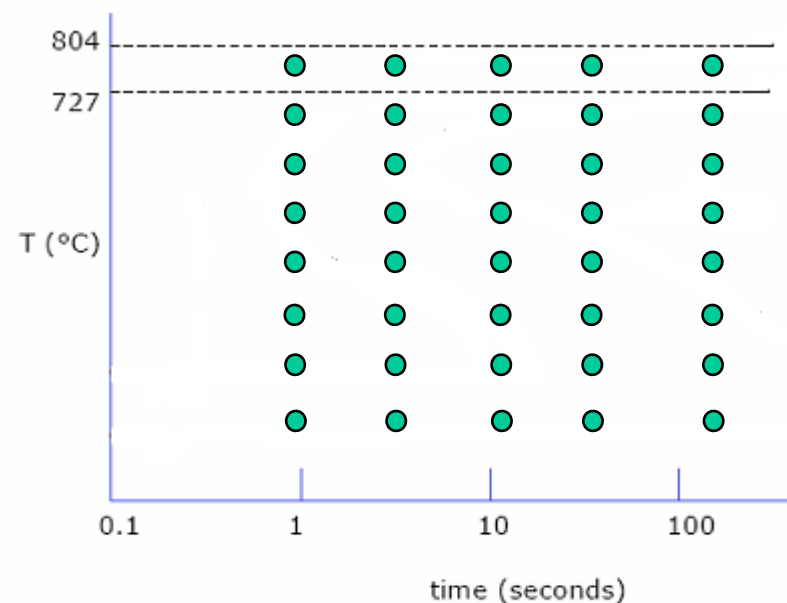
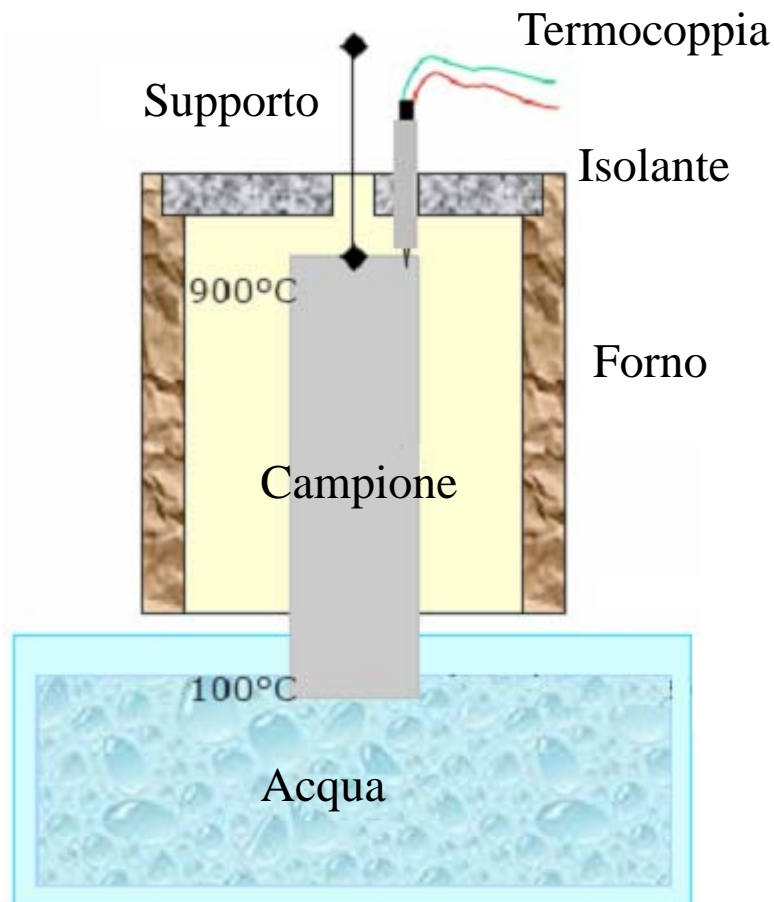


Diagramma TTT

(Trasformazione, Tempo, Temperatura)



Possibile procedura (2):

- Si ripete la procedura precedente modificando il tempo di permanenza.
- Utilizzando un diagramma Temperatura – tempo (log t), ed interpolando i punti sperimentali, si possono determinare le curve che rappresentano l'inizio e la fine delle trasformazioni.

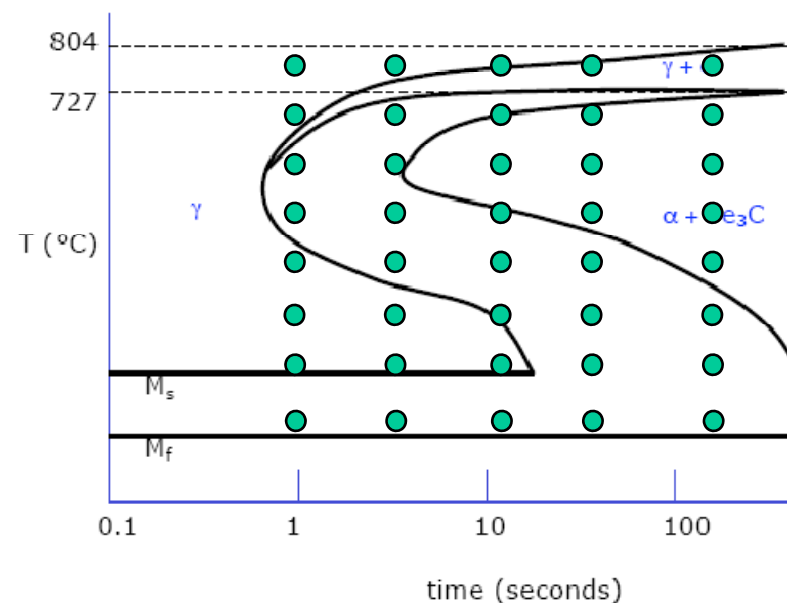
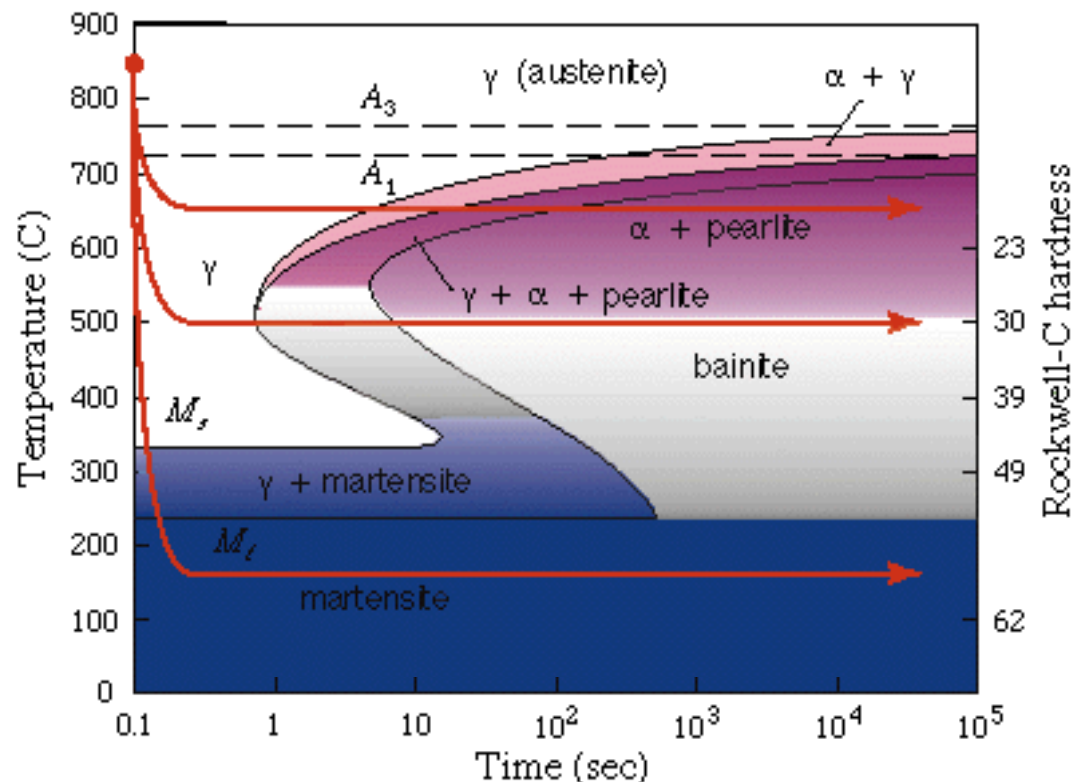


Diagramma TTT

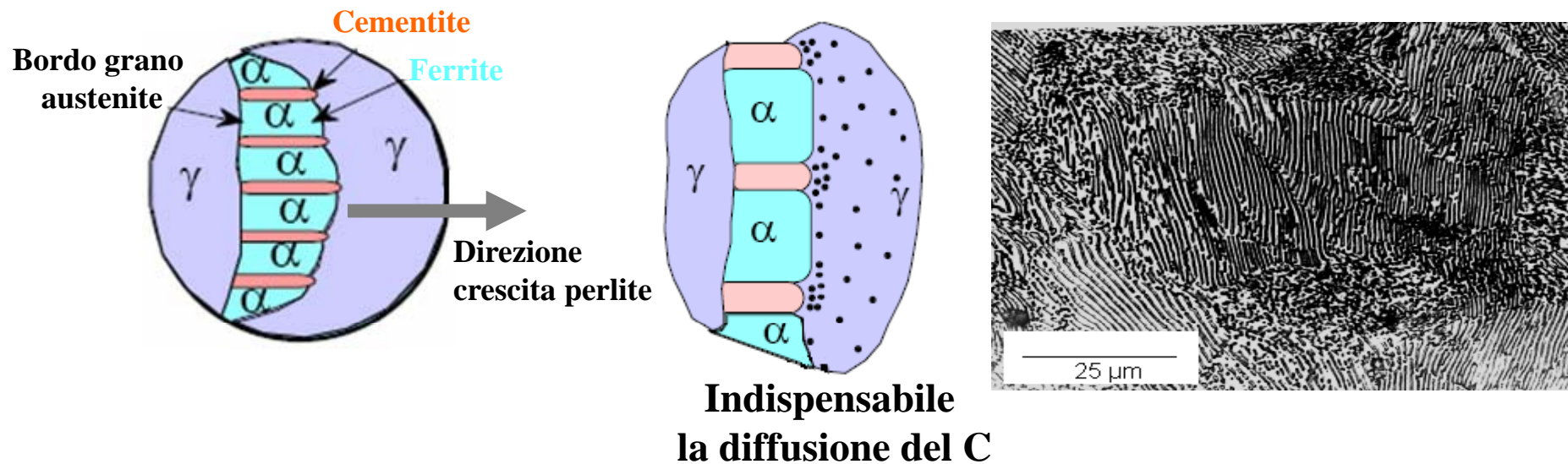
(Trasformazione, Tempo, Temperatura)

Il diagramma TTT è una rappresentazione della cinetica di decomposizione dell'austenite ottenuta mediante mantenimenti isotermitici per differenti durate fino al completamento della reazione.



Trasformazioni perlitiche

- Si hanno per temperature di permanenza elevate
- La trasformazione perlitica è legata a fenomeni diffusivi del C e degli elementi di lega nell'austenite. I carburi che si formano sono sia delle cementiti legate, sia dei carburi legati veri e propri
- L'aggregato è di tipo lamellare
- La distanza interlamellare diminuisce con la diminuzione della temperatura



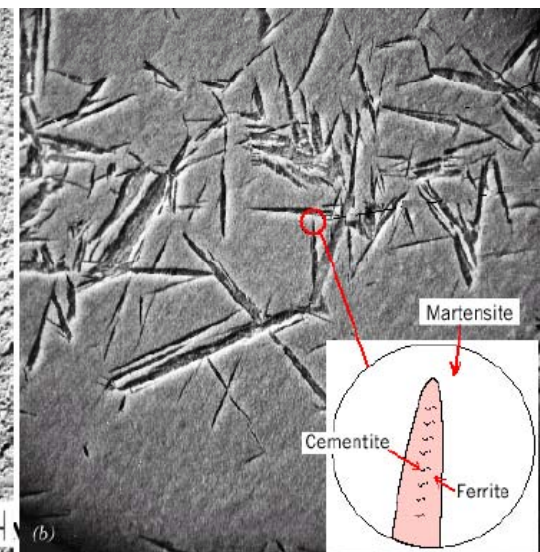
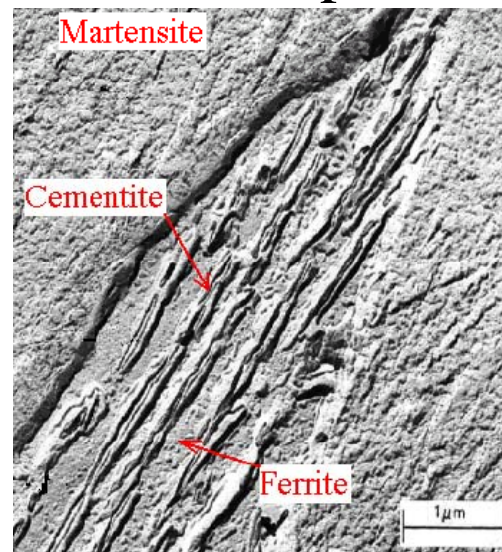
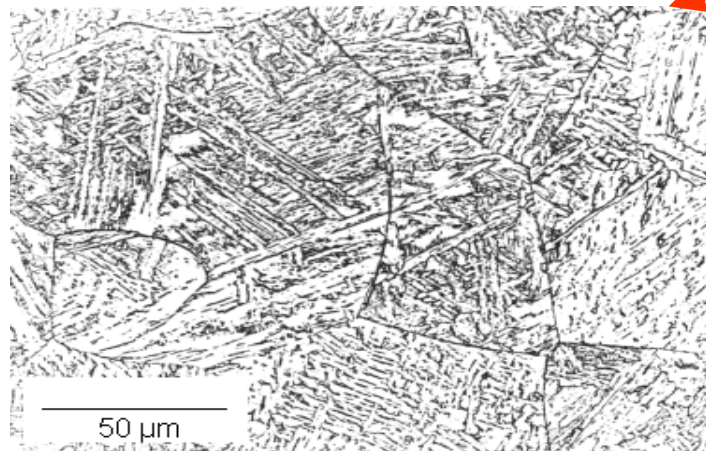
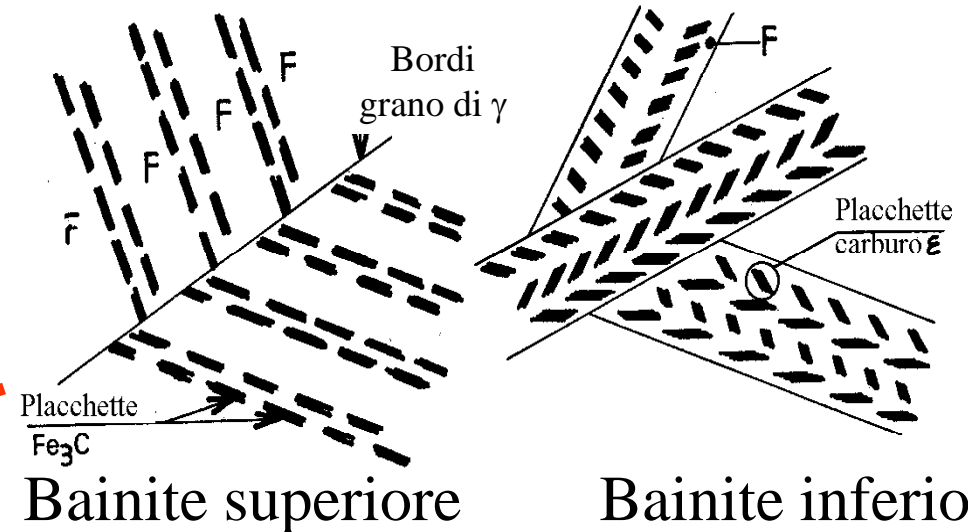
Trasformazioni bainitiche

Per temperature di mantenimento inferiori, rispetto alle precedenti, la diffusione degli elementi di lega sostituzionali diviene più difficile.

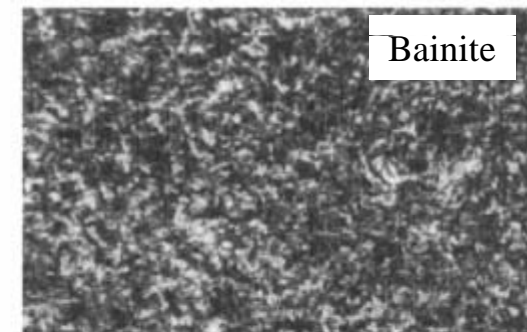
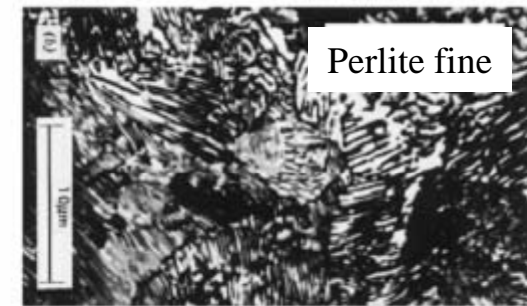
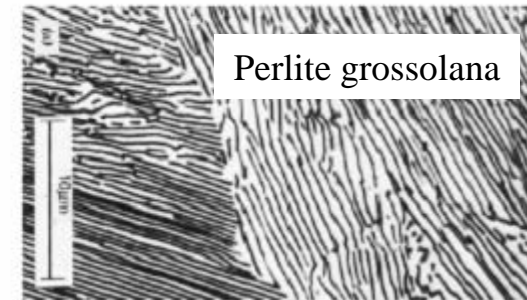
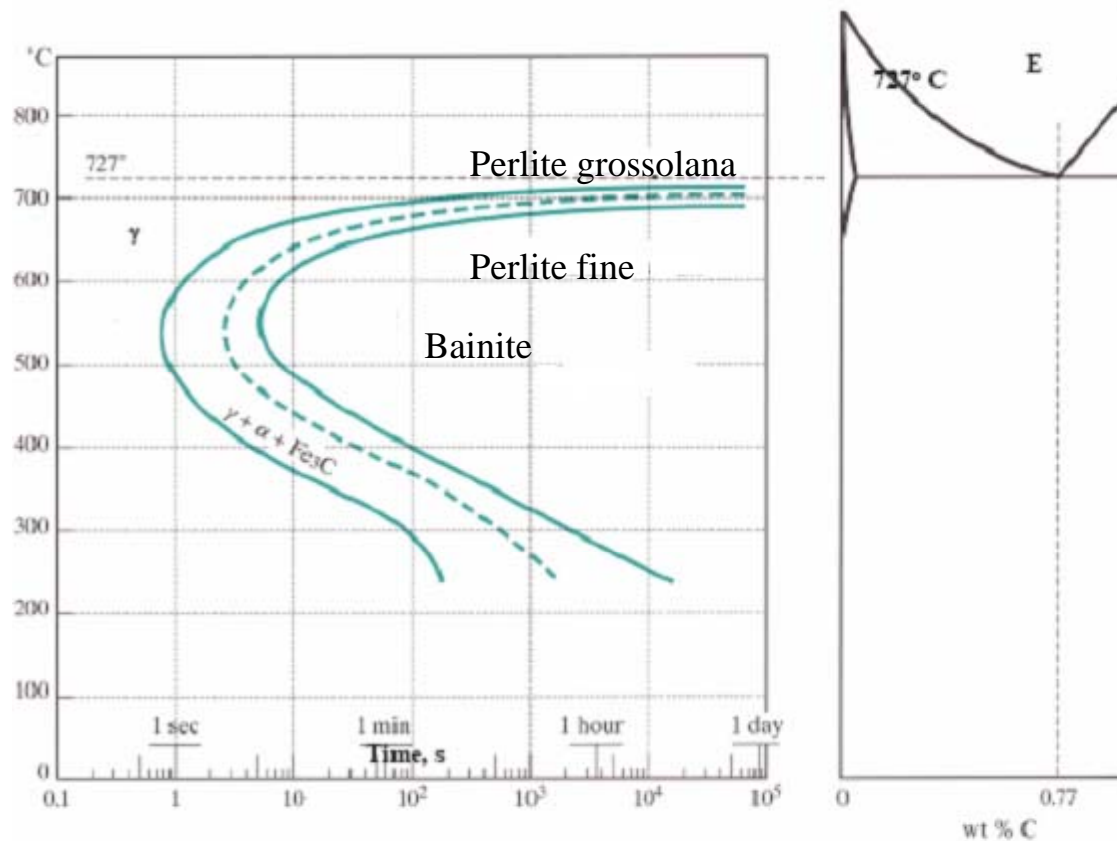
La fase nucleante è la ferrite.

Si possono distinguere:

- Bainite superiore
- Bainite inferiore



Trasformazioni isoterme acciaio eutettoidico



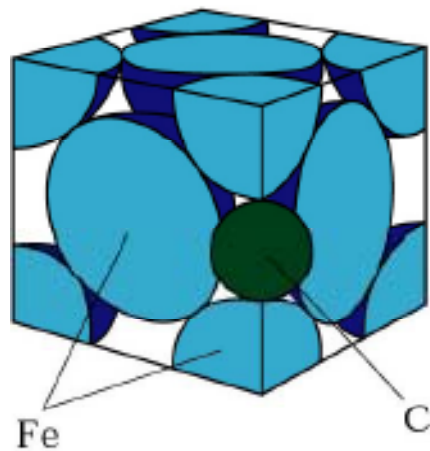
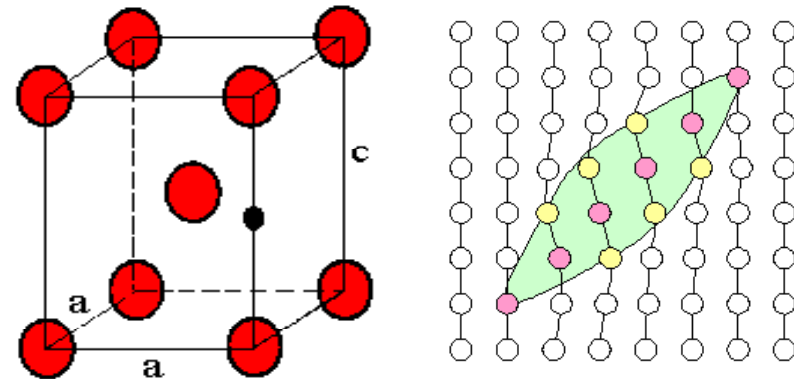
Trasformazioni martensitiche

- Se la T è inferiore ad M_s (martensite starting), caratteristica della lega considerata e delle condizioni di austenizzazione, si ottiene Martensite.
- La martensite si ottiene dalla austenite mediante degli spostamenti degli ioni inferiori alle distanze interatomiche.
- Il suo reticolo è tetragonale corpo centrato.

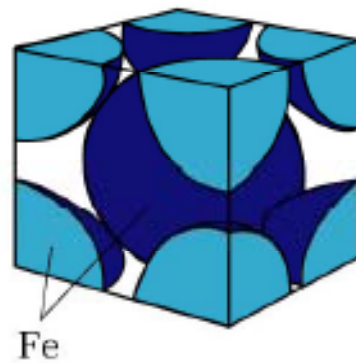
$$c/a = 1 + 0.045 (\%C)$$

- Appare sotto forma di placchette.

La trasformazione da un reticolo CFC ad uno tetragonale avviene con aumento di volume

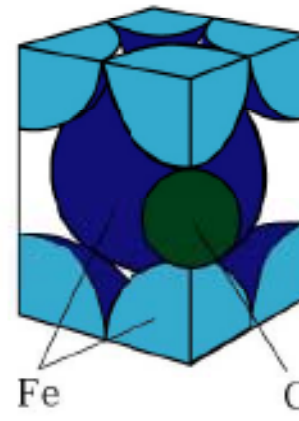


Austenite



Fe

Ferrite

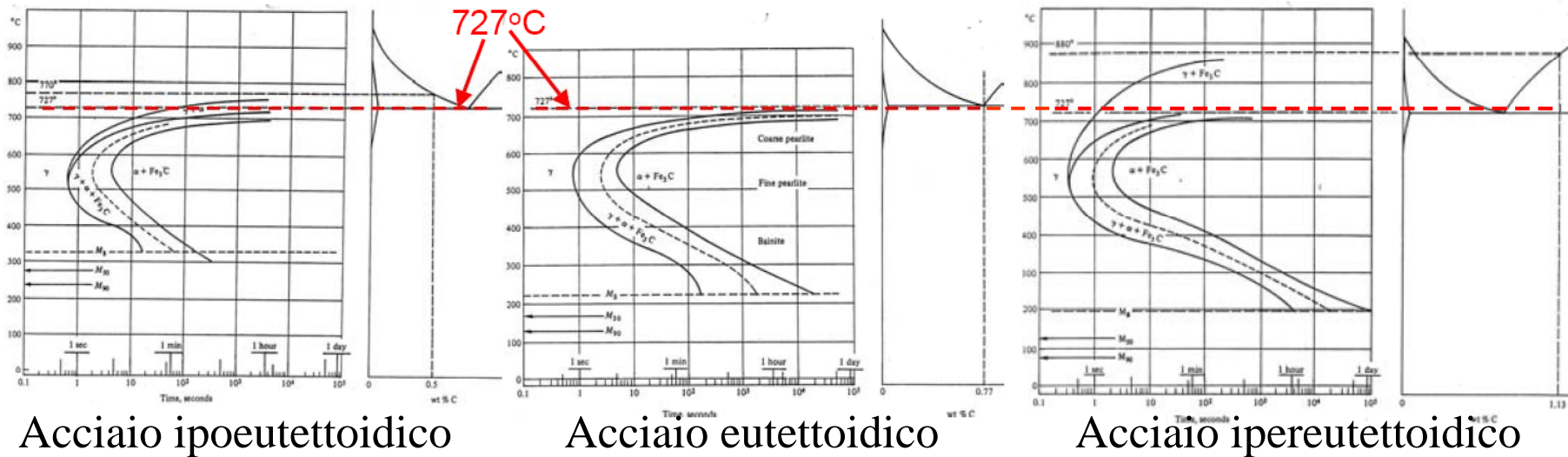


Fe

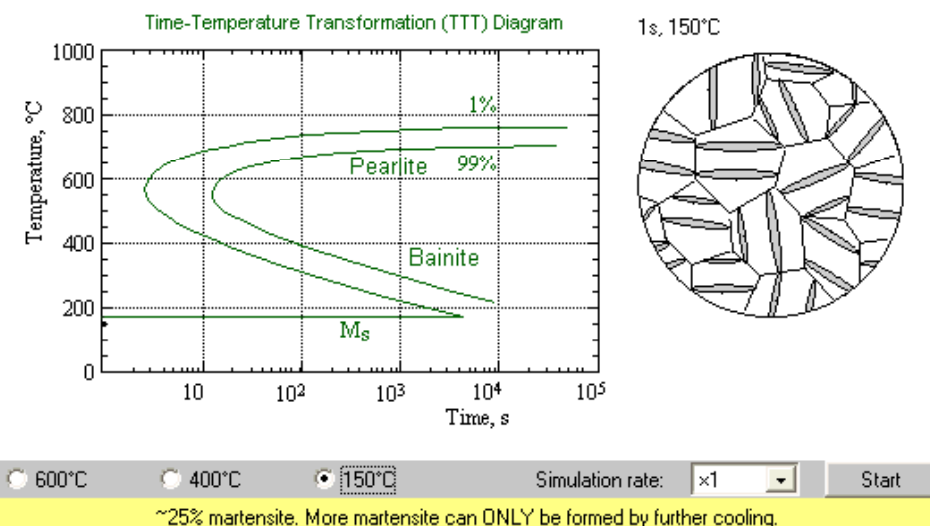
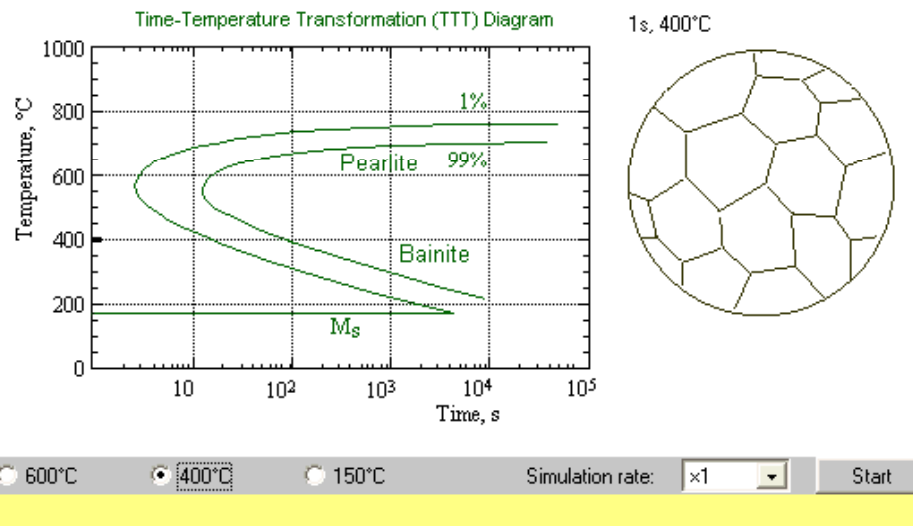
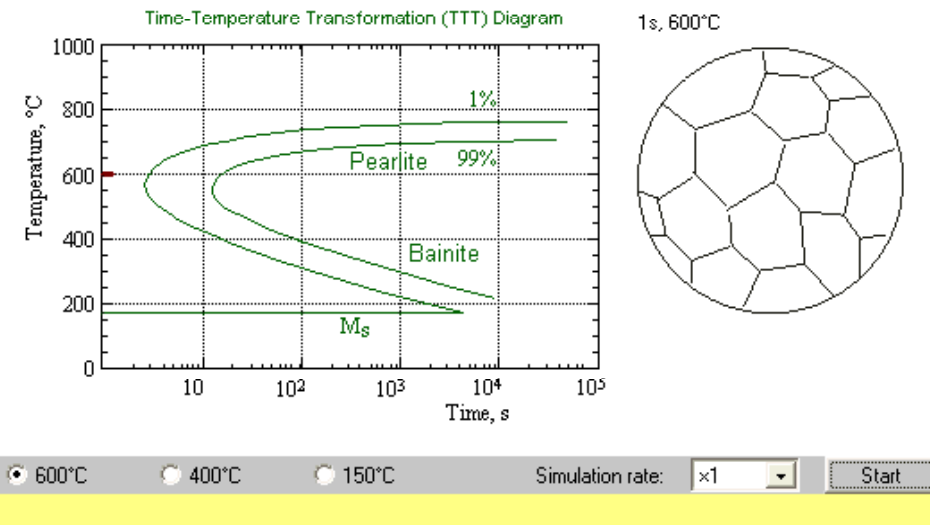
Martensite



Diagrammi TTT per acciaio ipoeutetoidico, eutetoidico, ipereutetoidico

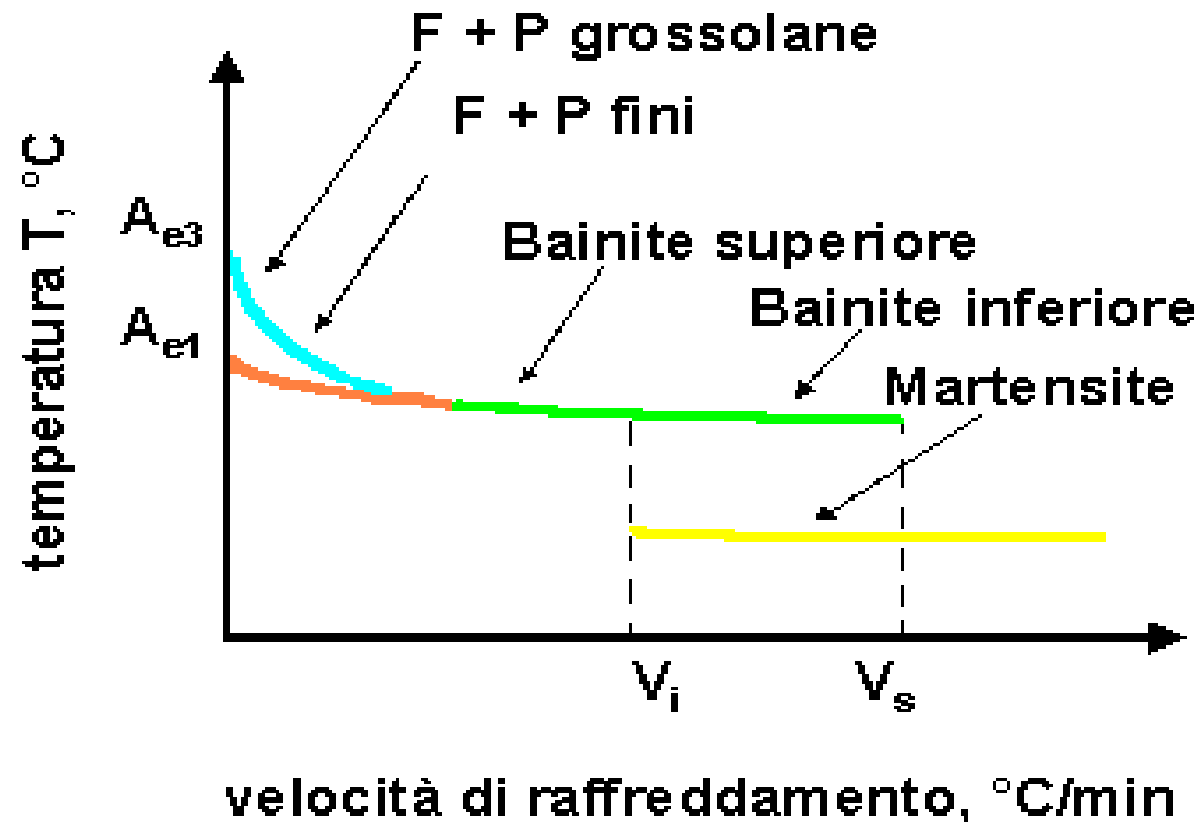


Diagrammi TTT
(Trasformazione, Tempo,
Temperatura) per un acciaio
1% C, 0.3% Si, 0.4% Mn
(600, 400 e 150°C)

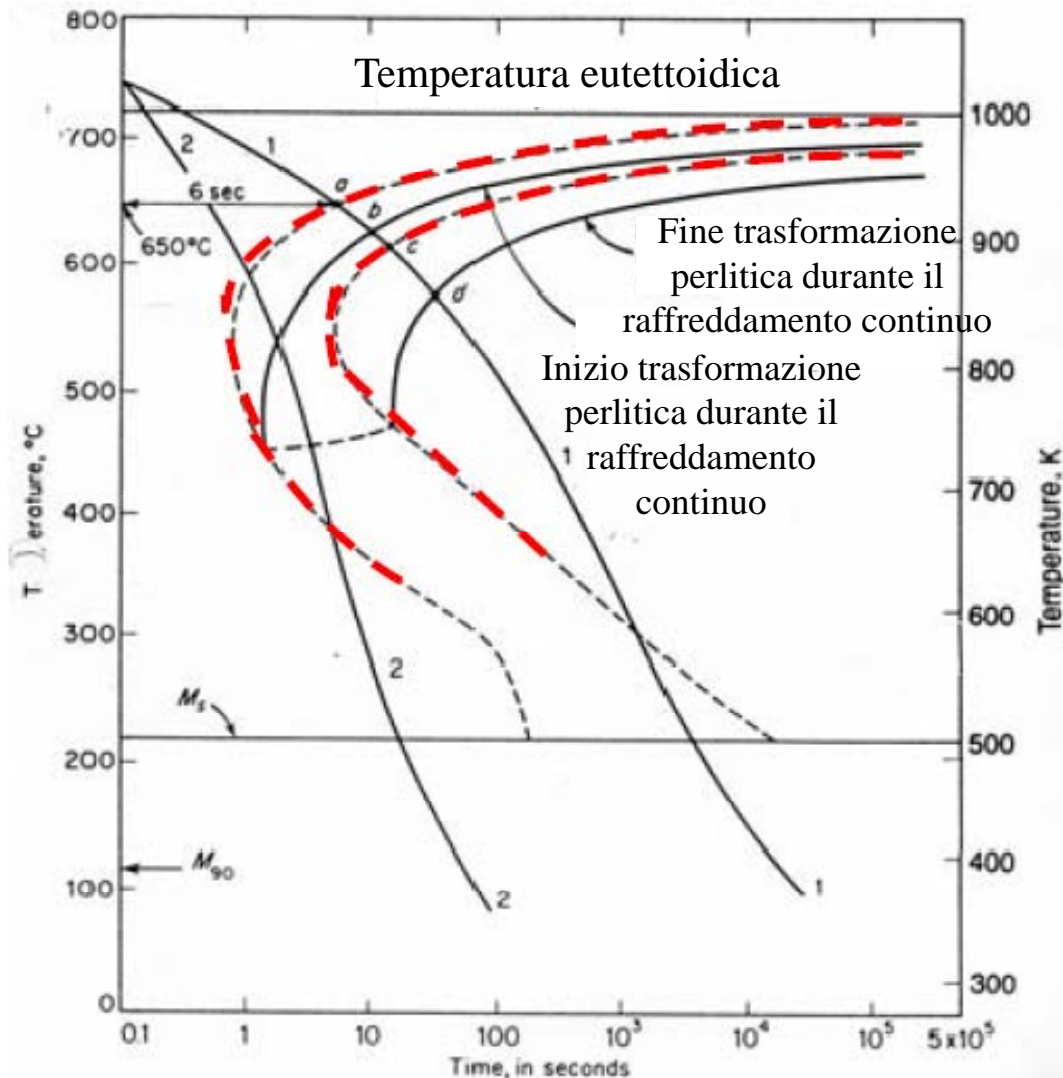


Se invece di permanere ad una temperatura costante, si raffredda con velocità crescenti, come variano i punti critici?

Se consideriamo un acciaio ipoeutetoidico e misuriamo la variazione dei punti di trasformazione all'aumentare della velocità di raffreddamento si otterrà il seguente diagramma:

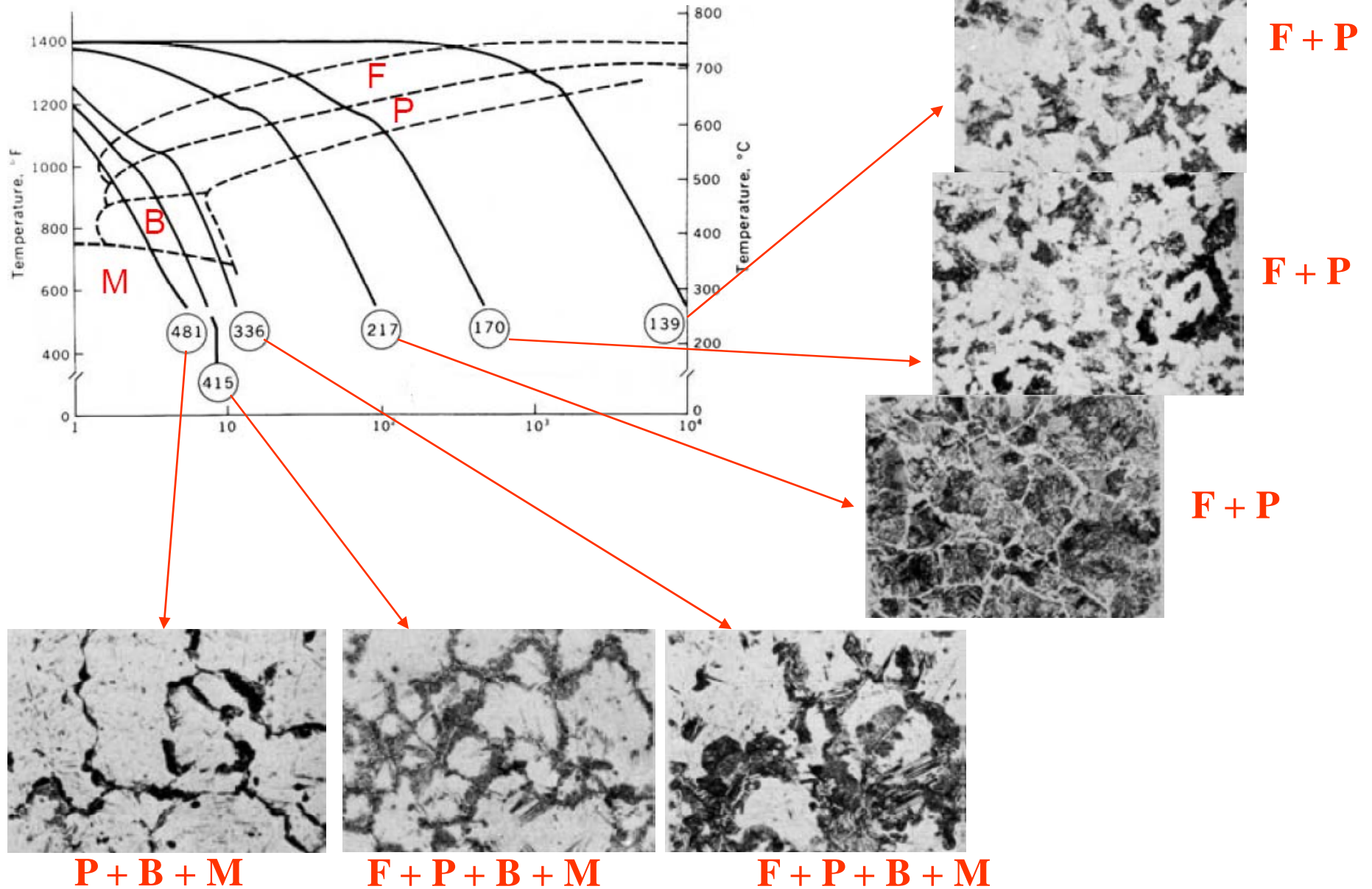


Dal diagramma **TTT** al diagramma CCT (Continuous Cooling Transformation)

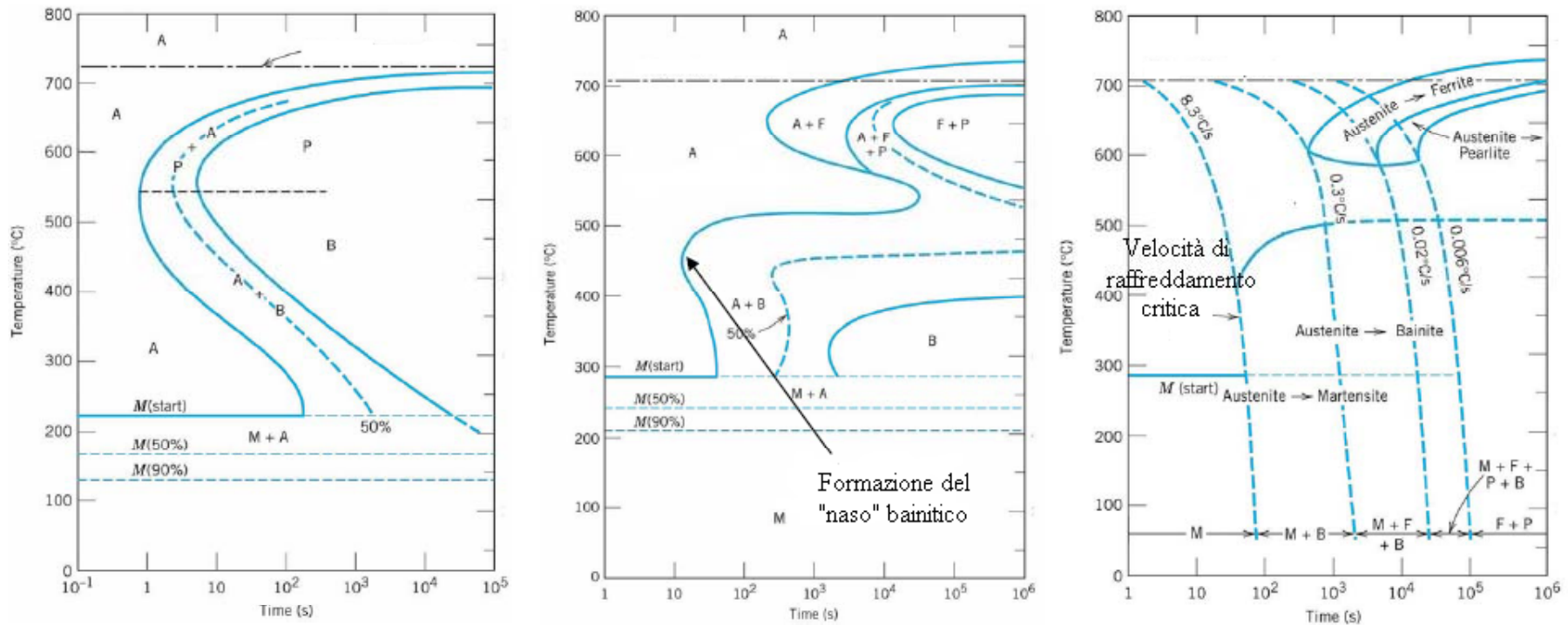


Il diagramma CCT è una rappresentazione della cinetica di decomposizione dell'austenite ottenuta mediante raffreddamenti continui fino al completamento della reazione.

Rispetto alle curve **TTT**, le curve CCT sono spostate verso il basso e verso destra

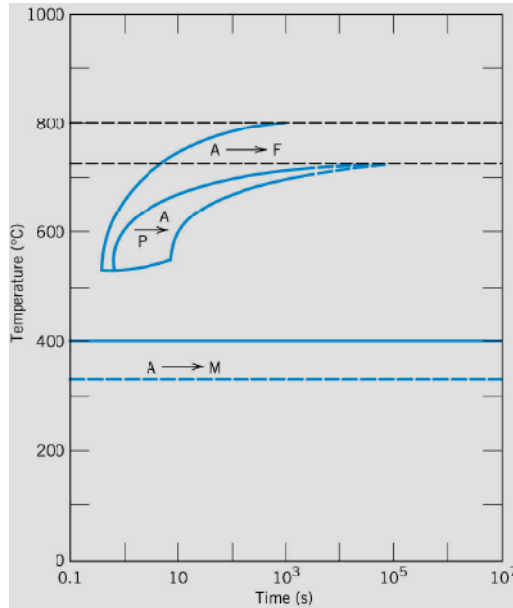


I diagrammi CCT (*Continuous Cooling Transformation*) permettono di rappresentare contemporaneamente le differenti trasformazioni microstrutturali, comprese quelle non rappresentabili nei diagrammi di fase, e le leggi di raffreddamento effettivamente utilizzate.

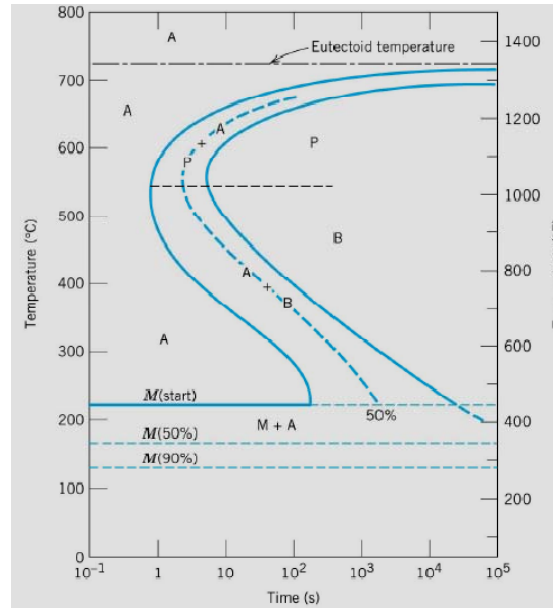


In questi diagrammi si hanno delle zone in cui le fasi risultano stabili, delle aree in cui sono metastabili ed, infine, delle porzioni dello spazio in cui si hanno le trasformazioni microstrutturali.

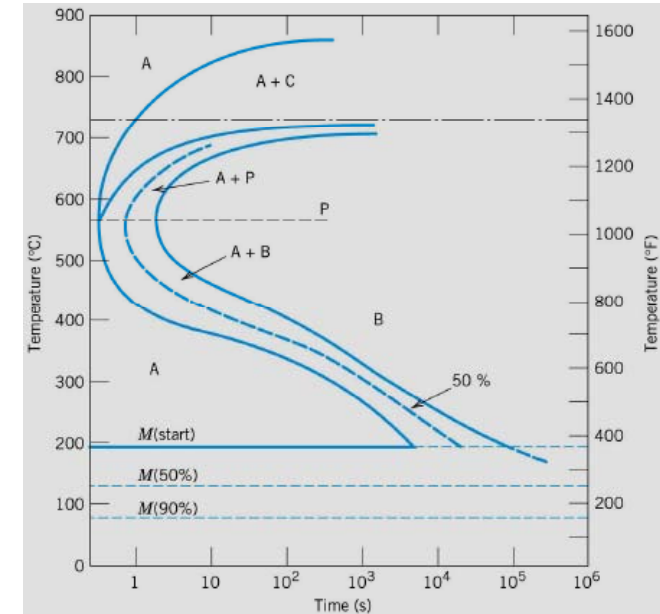
Diagrammi CCT per acciaio ipoeutettoideico, eutettoideico, ipereutettoideico



Acciaio ipoeutettoideico

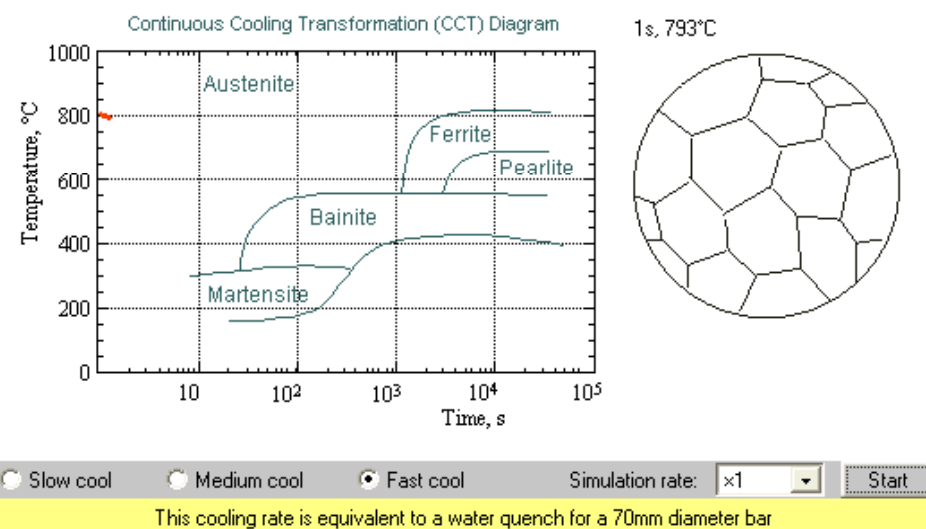
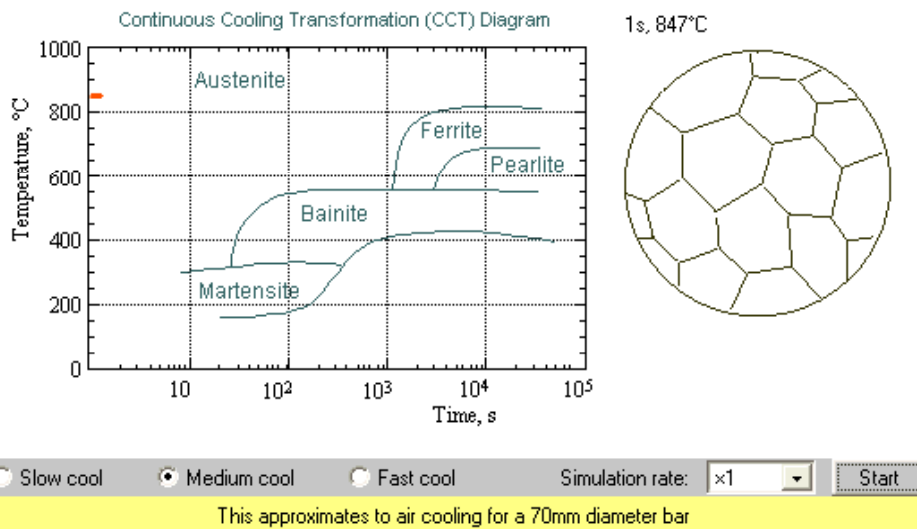
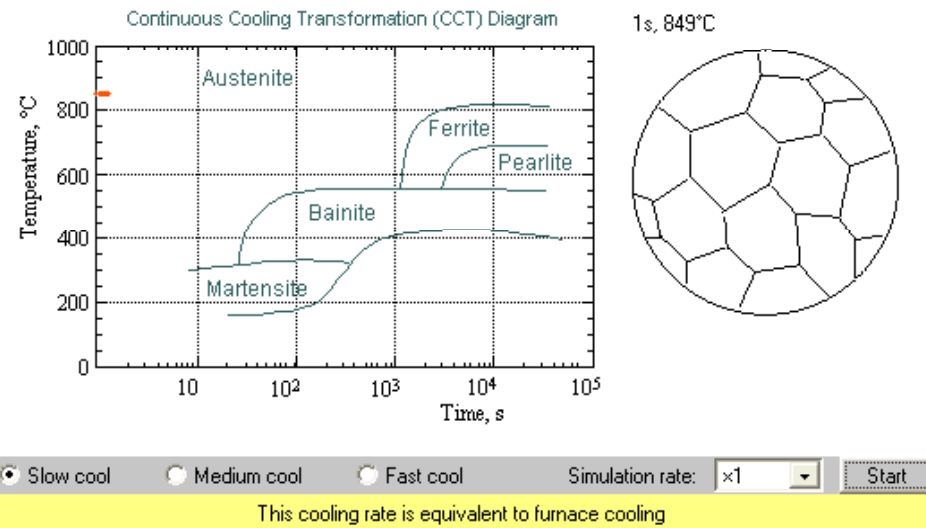


Acciaio eutettoideico



Acciaio ipereutettoideico

Diagrammi CCT (Continuous Cooling Transformation) per un acciaio 0.4% C, 1.5% Mn, 0.5% Mo (tre differenti velocità)

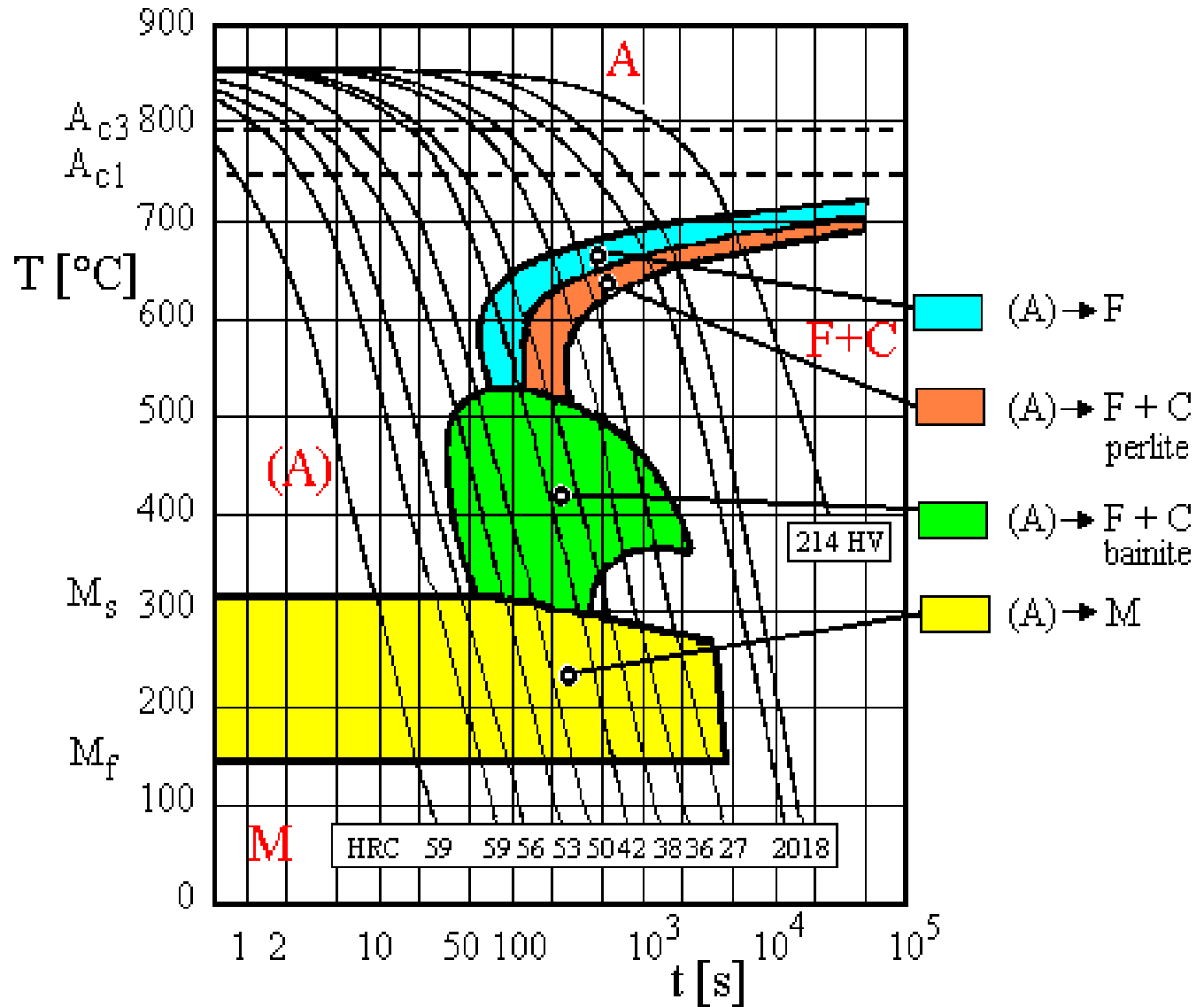


%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Ni	%Cr	%Mo	%Cu
0.44	0.80	0.31	0.013	0.030	0.46	0.96	0.05	0.18

Per le applicazioni numeriche, al fine di rappresentare una determinata legge di raffreddamento, viene utilizzato un solo parametro significativo.

Ad esempio:

- la velocità di raffreddamento istantanea a 700°C
- il Δt necessario a passare da 700 a 300°C



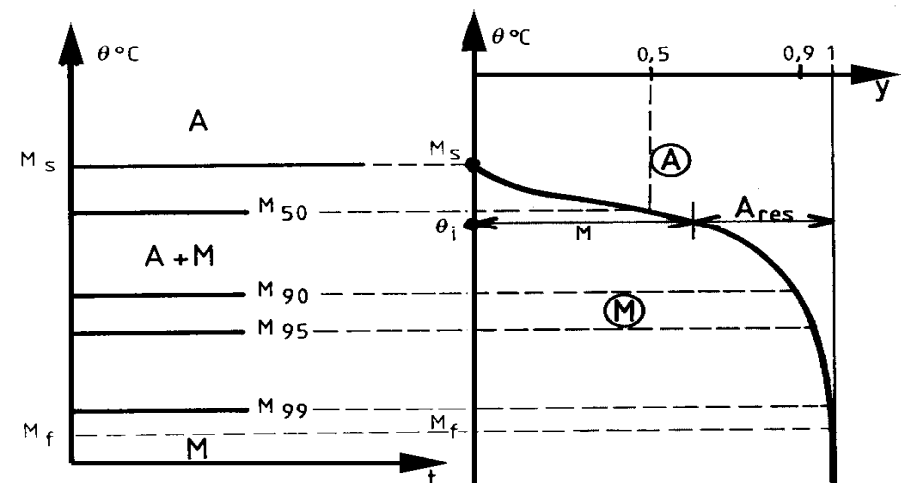
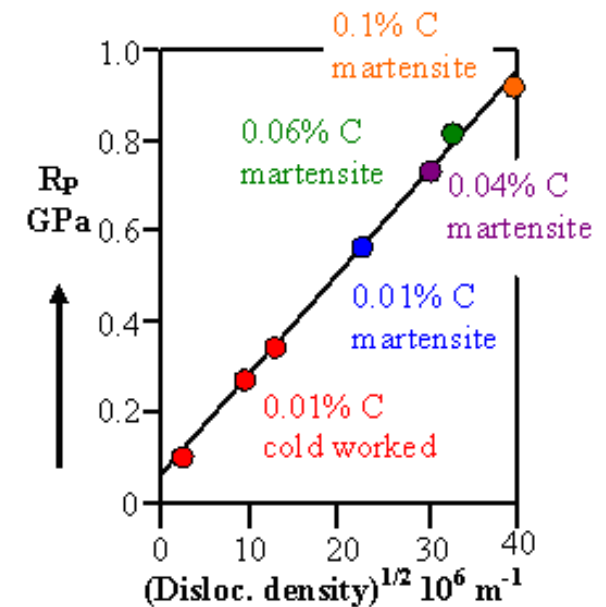
Ulteriori informazioni sulle trasformazioni martensitiche

La martensite è caratterizzata da una durezza molto elevata, dovuta a:

- una elevata densità di dislocazioni;
- Indurimento per l'influenza del C (in soluzione solida interstiziale)

Da ricordare che

- La trasformazione martensitica è quasi istantanea.
- Ad ogni temperatura una determinata frazione di austenite si trasforma in martensite
- Le linee "isoaustenite" sono parallele all'asse dei tempi
- Se la T finale è superiore ad M_f , al termine del raffreddamento si otterrà dell'austenite residua



RICOTTURA

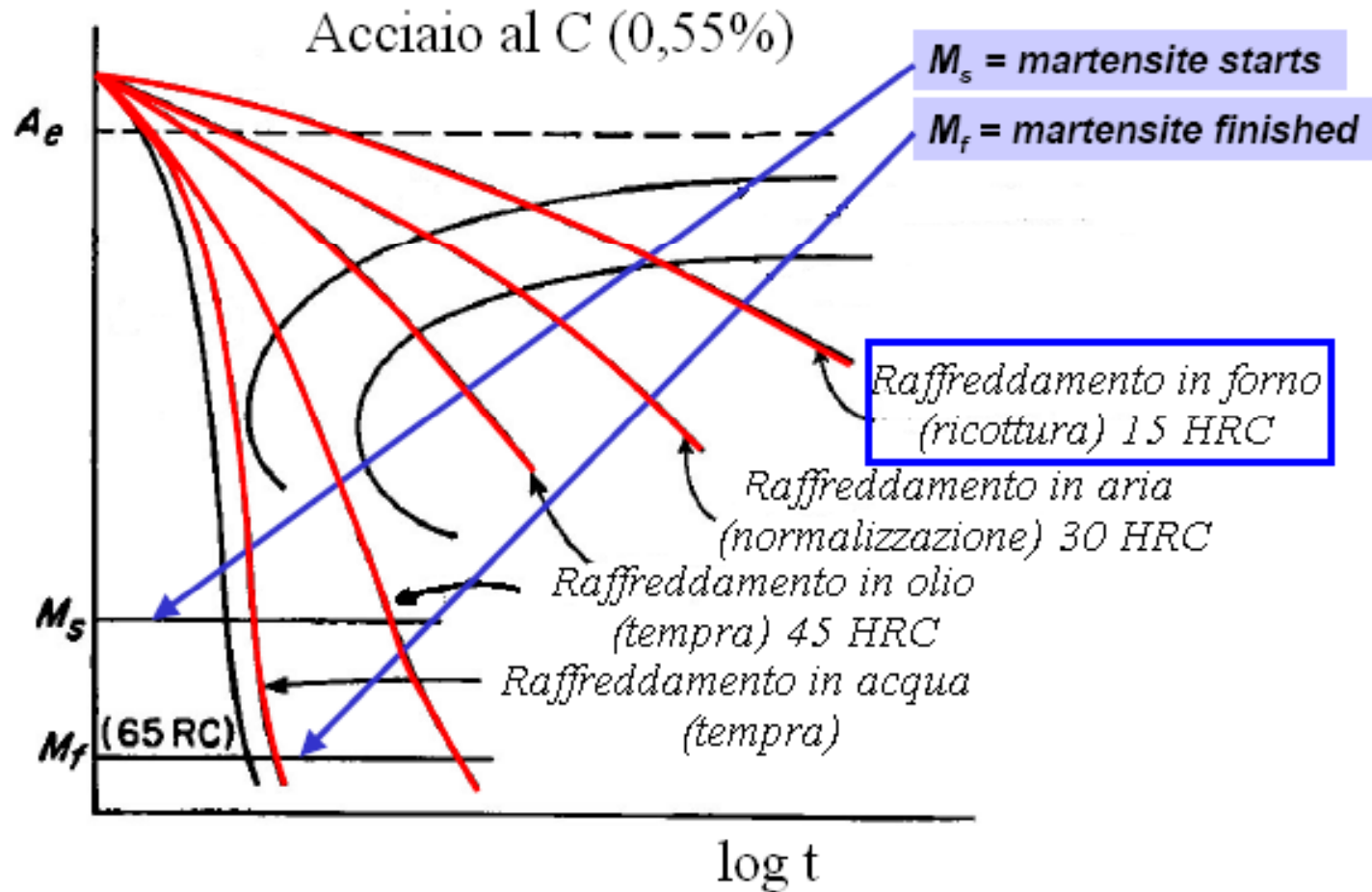
Un acciaio può presentare all'interno della sua struttura disomogeneità di varia natura ed origine:

- Segregazioni (macro e micro) ottenute al termine della solidificazione;
- Incrudimento per deformazione a freddo;
- Sforzi residui per saldature etc...

I trattamenti di ricottura permettono all'acciaio di avvicinarsi ad uno stato di equilibrio termodinamico, eliminando, almeno in parte, le suddette disomogeneità

Il ciclo consiste in un riscaldamento ad una temperatura opportuna (in modo che l'acciaio sia austenitico), permanenza per una durata opportuna, raffreddamento effettuato in forno.

RICOTTURA



Ricottura completa

(o, semplicemente, ricottura)

- Mantenimento a $\begin{cases} T = A_{c_3} + 50 \text{ (ipoeutetoidici)} \\ T = A_{c_1} + 50 \text{ (ipereutetoidici)} \end{cases}$
- Raffreddamento lento, specialmente attraversando l'intervallo critico.

Risultato:

- Ipoeutetoidici: ferrite e perlite relativamente grossolane, resistenza e durezza modeste, duttilità elevata
- Ipereutetoidici: globulizzazione parziale della cementite proeutetoidica, con aumento della resilienza.

Ricottura di omogenizzazione (o di diffusione)

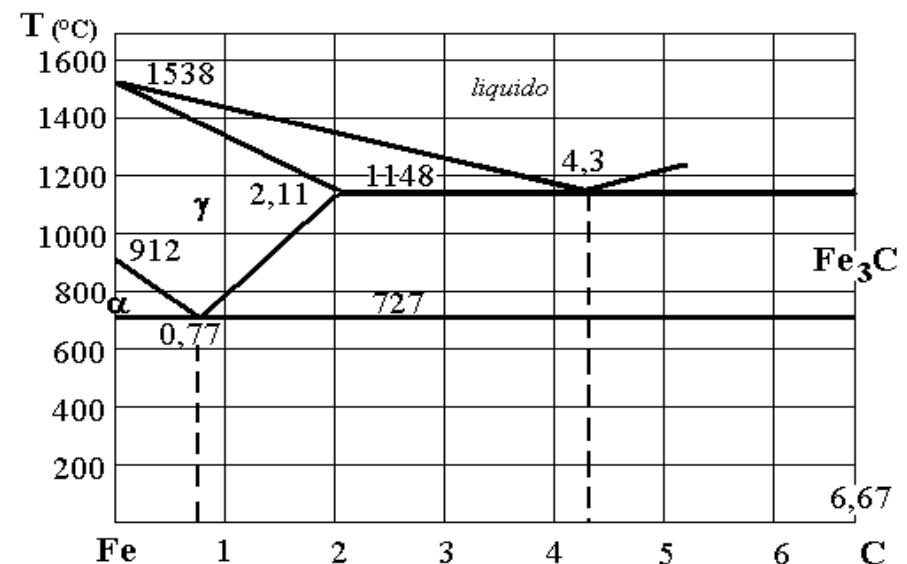
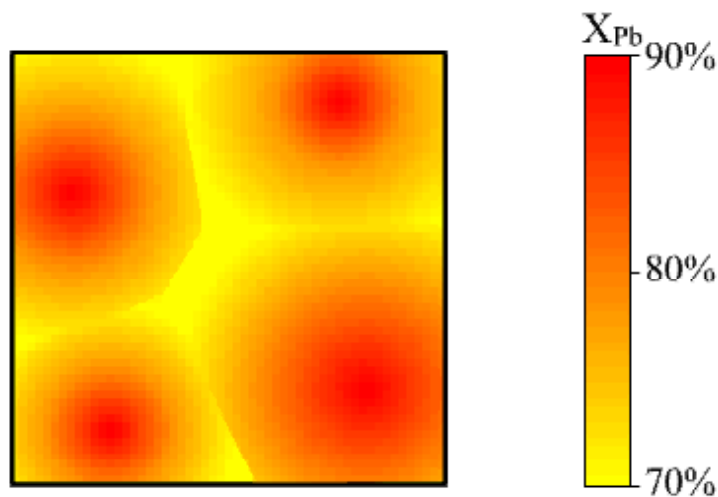
- Mantenimento in campo austenitico (1000-1200°C)

Risultato:

- Eliminazione, o almeno riduzione, della microsegregazione

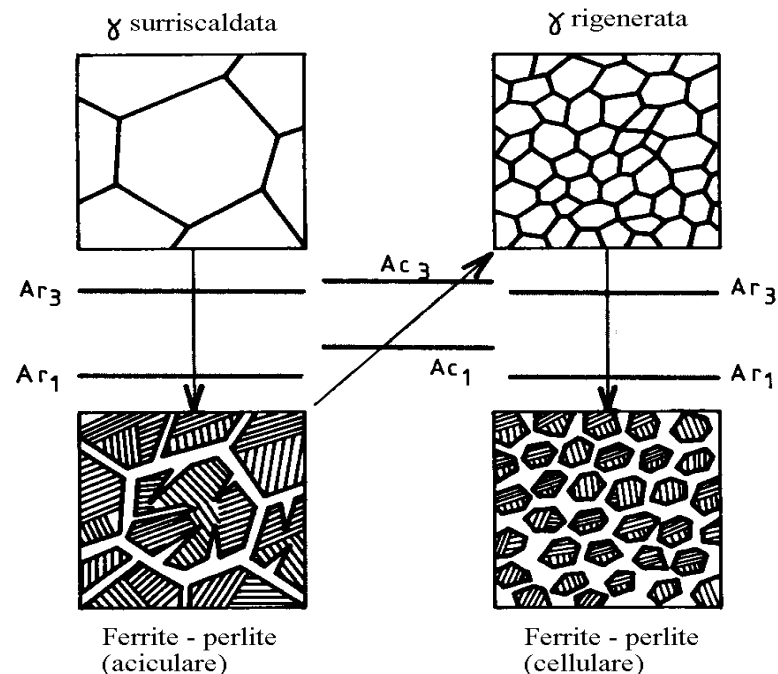
Rischi:

- Fusione parziale (acciaio bruciato), non rimediabile
- Ingrossamento eccessivo del grano cristallino, rimediabile mediante trattamento di ricottura di rigenerazione e/o mediante una deformazione plastica appropriata



Ricottura di rigenerazione (o trattamento di affinazione strutturale)

- Riscaldamento, senza mantenimento prolungato, ad una T leggermente superiore ad Ac_3 (per gli ipereutetoidici Ac_1), in modo da ottenere austenite a grano fine
- Raffreddamento a velocità conveniente, in modo da ottenere una ferrito-perlitica fine.



Normalizzazione

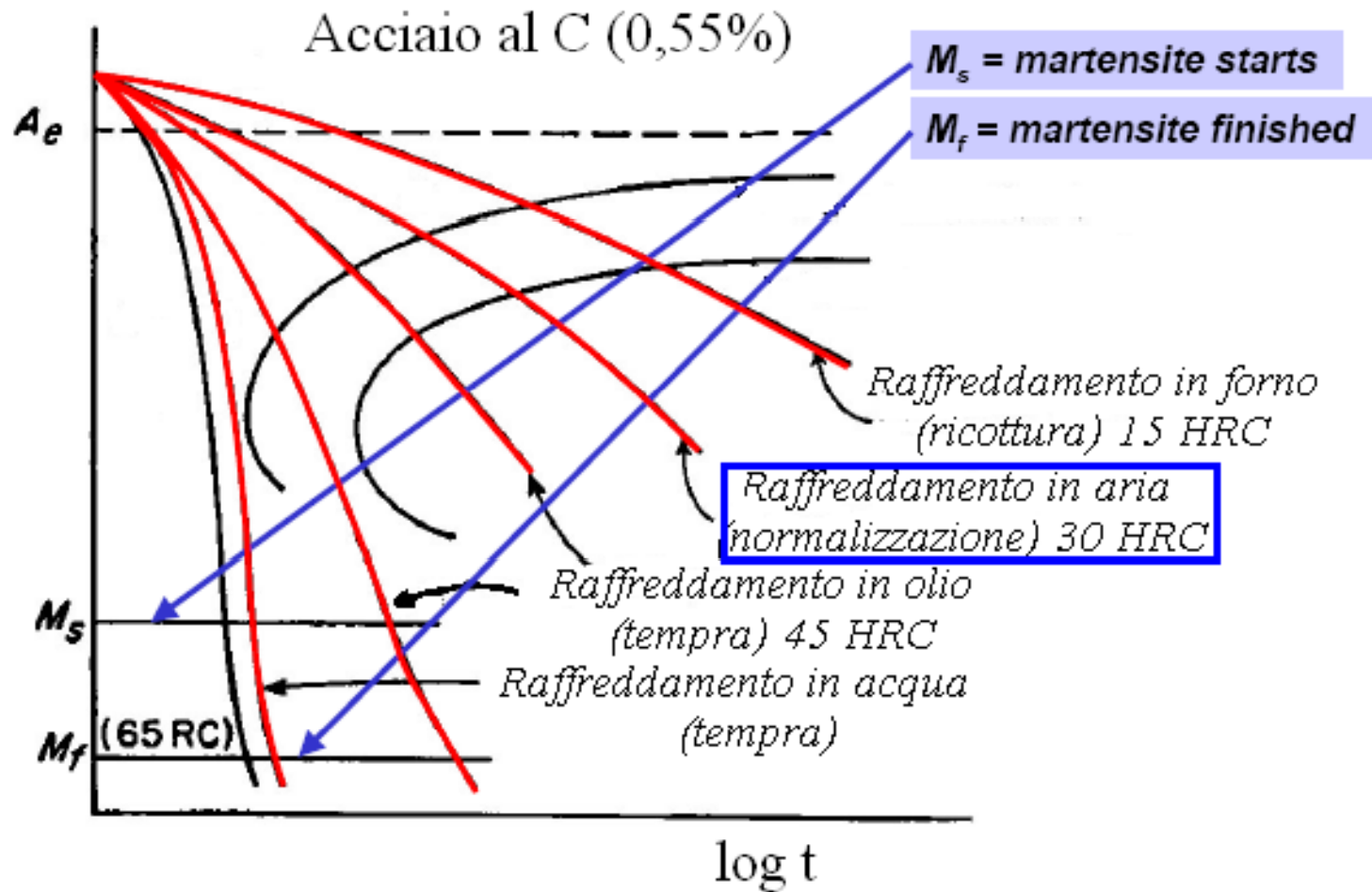
La normalizzazione segue lo stesso ciclo termico della ricottura e permette quindi di ottenere strutture ferrito-perlitiche. Tuttavia:

- La temperatura di mantenimento è leggermente superiore per gli ipoeutetoidici e supera A_{cm} nel caso degli ipereutetoidici.
- Il raffreddamento in aria calma è sicuramente più rapido di quello caratteristico della ricottura.

Risultato:

- Una struttura ferrito-perlitica caratterizzata da grani ferritici fini e da uno spazio interlamellare della perlite molto ridotto
- Sono strutture ottimali per successivi trattamenti termici di tempra e per determinate applicazioni meccaniche

Normalizzazione



Tempra

Il trattamento di tempra consiste in una completa austenitizzazione dell'acciaio, seguita da un rapido raffreddamento al fine di ottenere una struttura completamente martensitica.

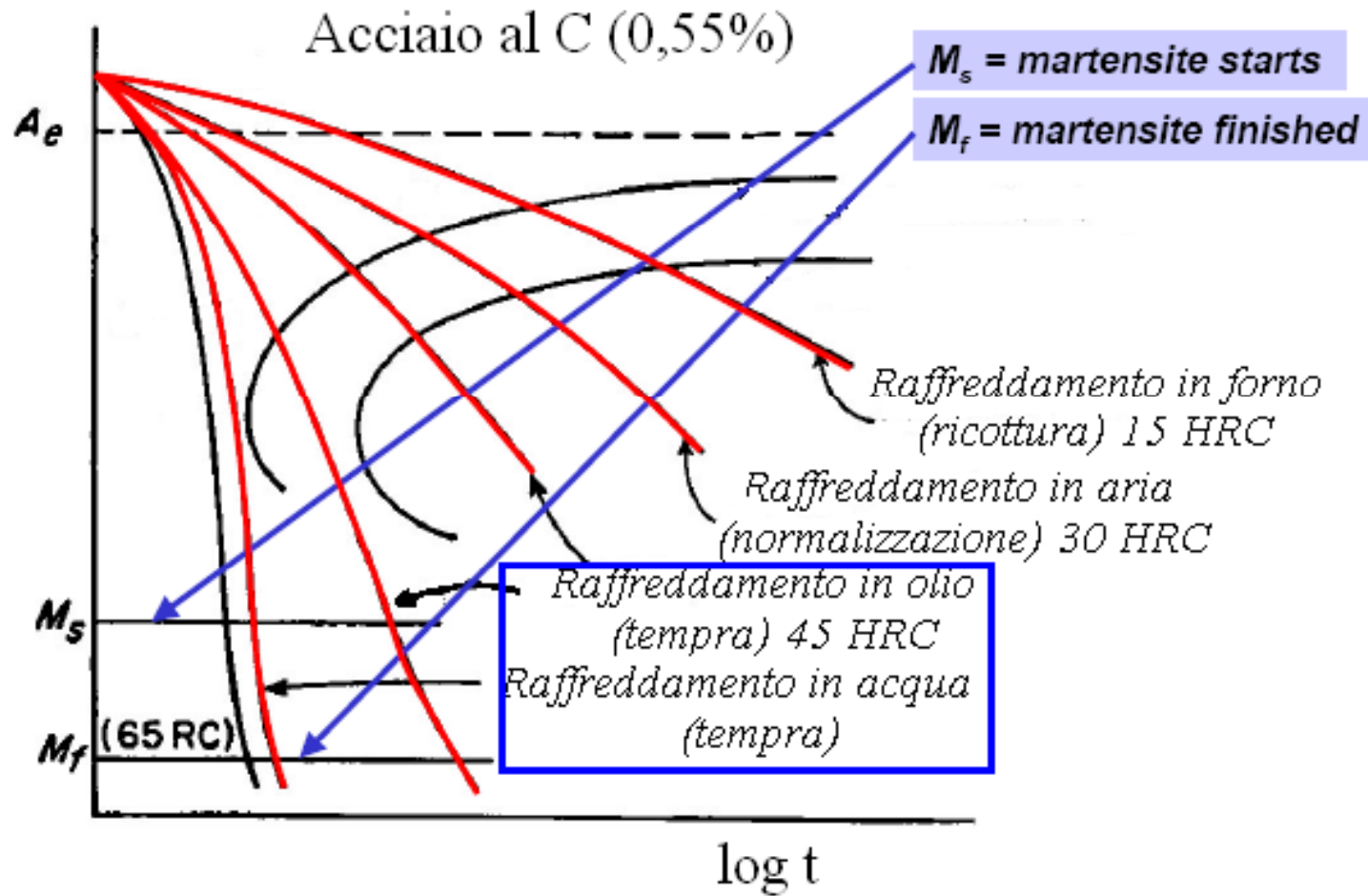
Il raffreddamento può essere effettuato in acqua, soluzioni saline, olio, metalli fusi, aria soffiata oppure semplicemente aria.

La scelta del mezzo temprante dipende dalla sua attitudine alla tempra, caratterizzata dalla temprabilità o penetrazione di tempra.

Metallurgicamente, la temprabilità può essere definita come la capacità di nucleazione della austenite rispetto alla ferrite, oppure ai carburi.

Più le curve CCT sono spostate verso destra, più è elevata la temprabilità.

Tempra



La temprabilità è influenzata da tutti i fattori che agiscono sul tempo di incubazione della reazione $A \rightarrow F+C$:

- La presenza di elementi di lega (eccetto il Co) in soluzione solida nell'austenite, ritardando la nucleazione dei carburi, aumentano la temprabilità;
- Le condizioni di austenitizzazione, legate alla grandezza del grano austenitico ed all'omogeneità chimica dell'austenite, influiscono sulla temprabilità

Se si considerano dei tondi austenitizzati a 850°C , ove t è misurato in secondi e (d) in mm, al centro dei tondi si ha che:

$$\text{- in acqua } \log \left(\Delta t \begin{matrix} 3 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 0 \end{matrix} \right) = 1,568 \log (d) - 1,012$$

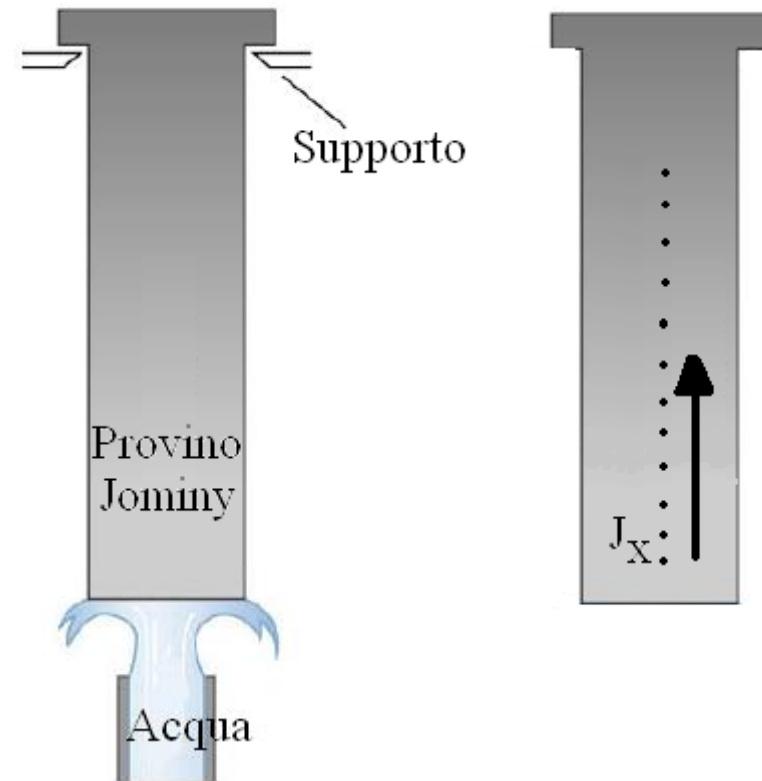
$$\text{- in olio } \log \left(\Delta t \begin{matrix} 3 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 0 \end{matrix} \right) = 1,372 \log (d) - 0,331$$

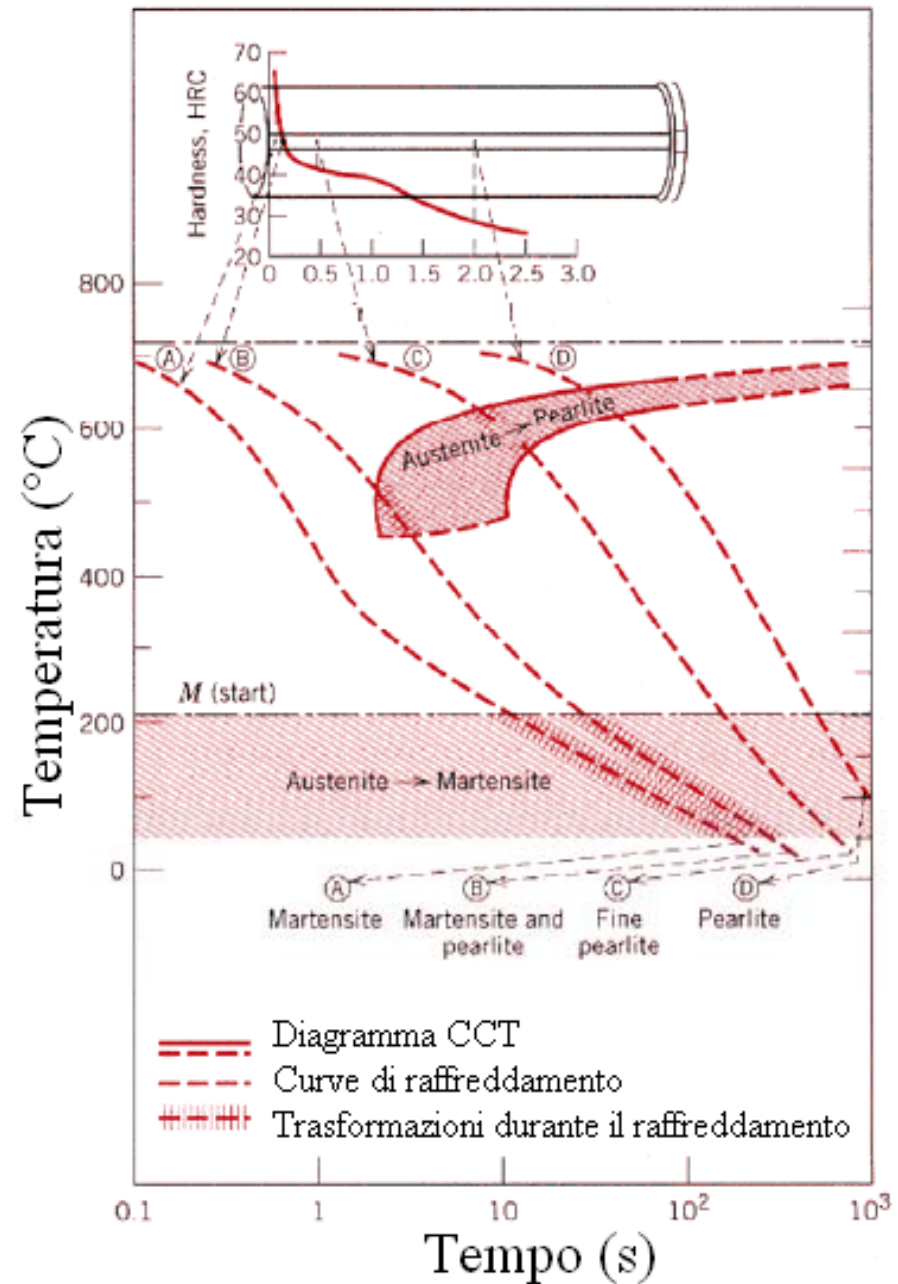
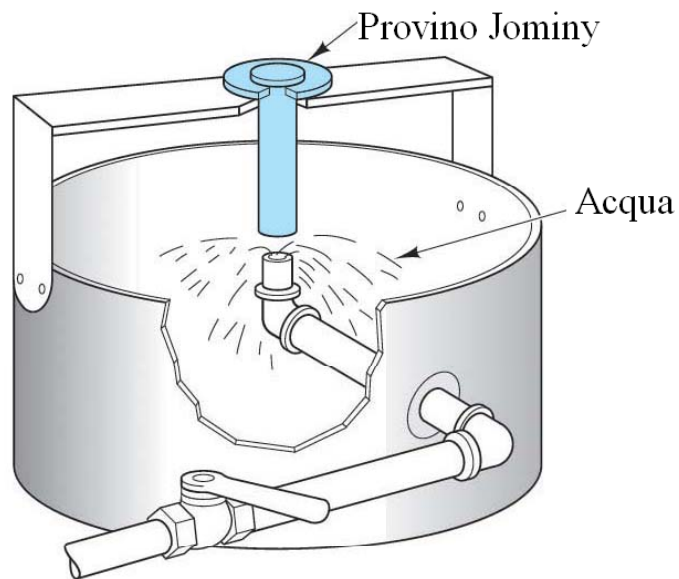
$$\text{- in aria } \log \left(\Delta t \begin{matrix} 3 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 0 \end{matrix} \right) = 0,961 \log (d) + 1,516$$

Se si hanno dei tondi di 100 mm di diametro, le velocità medie di raffreddamento sono rispettivamente 10^4 , $5 \cdot 10^3$ e $5 \cdot 10^2$ $^{\circ}\text{C}/\text{h}$.

Prova Jominy

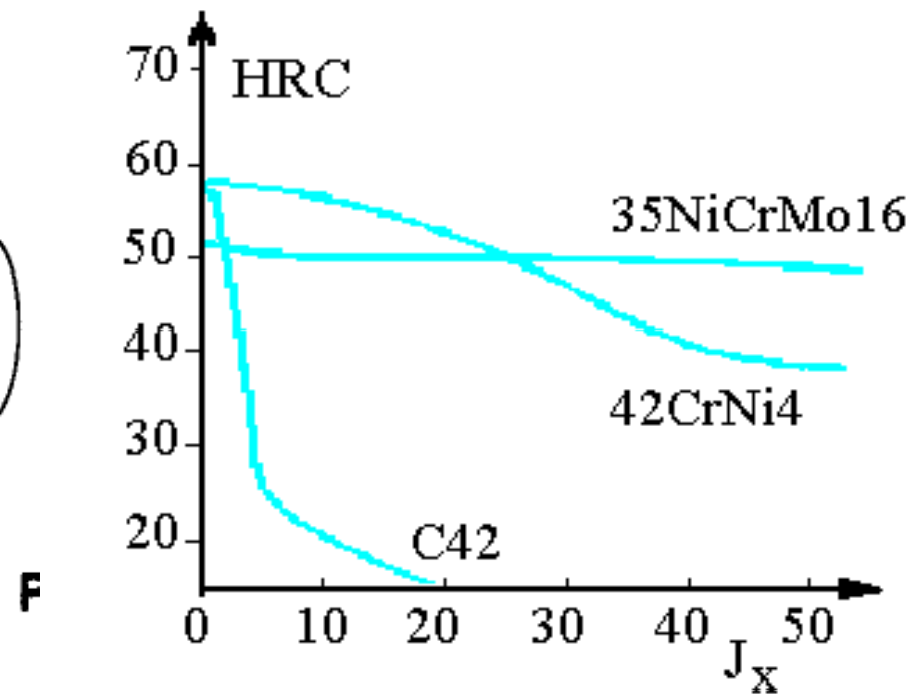
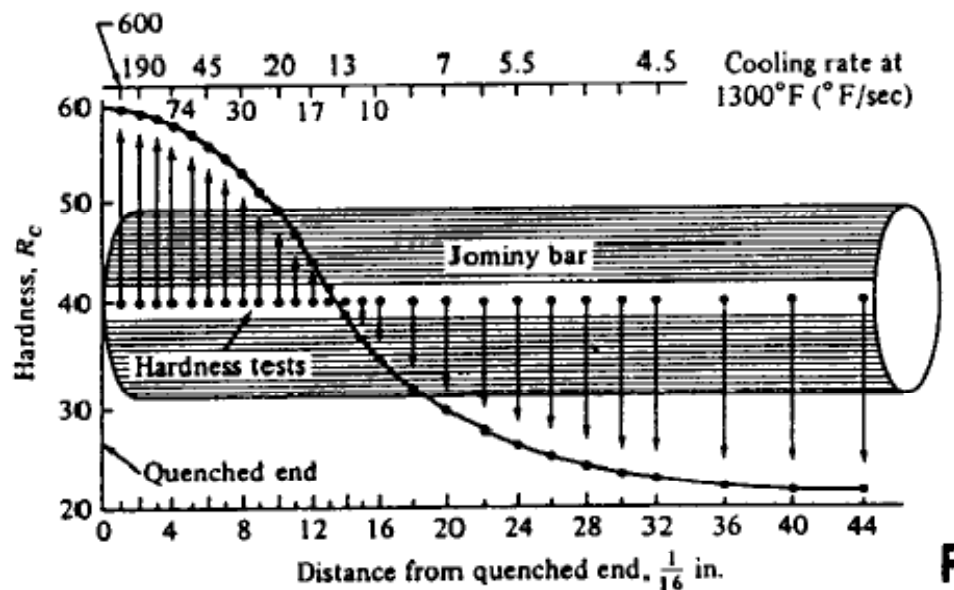
Ha come obiettivo quello di dare indicazioni globali sulla temprabilità di un acciaio, mediante l'impiego di una provetta normalizzata e di condizioni di tempra standardizzate.

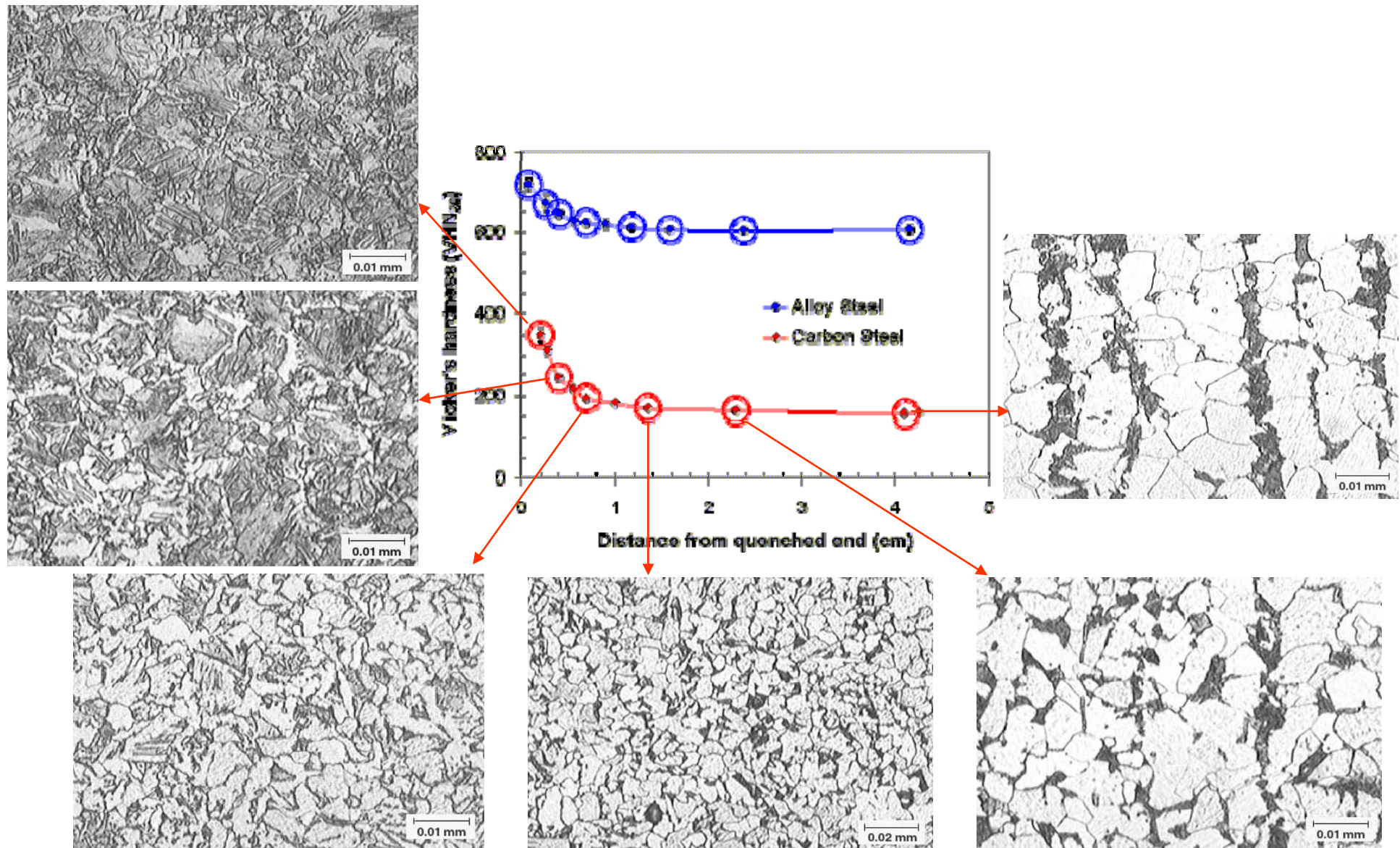


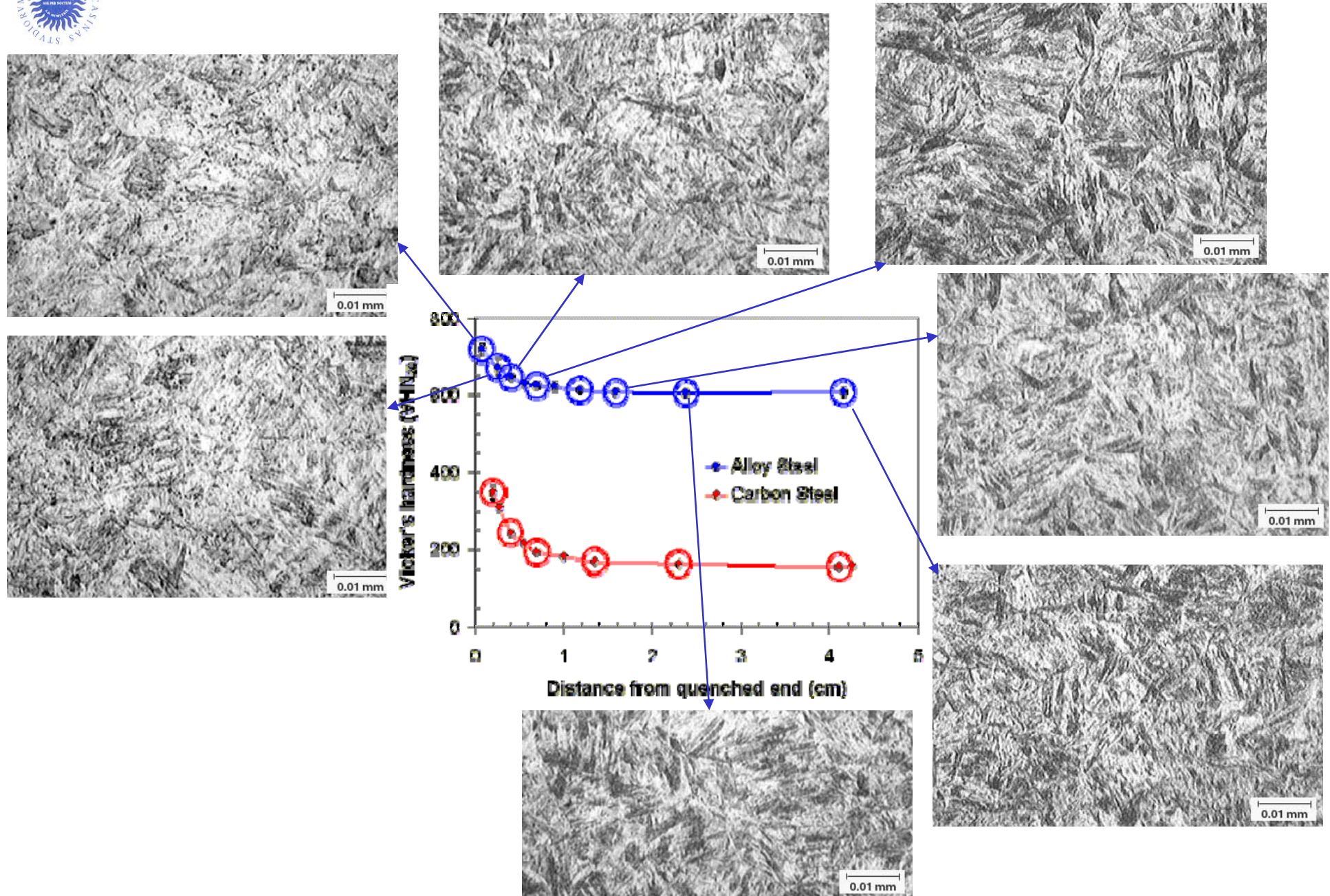


Prova Jominy

Ha come obiettivo quello di dare indicazioni globali sulla temprabilità di un acciaio, mediante l'impiego di una provetta normalizzata e di condizioni di tempra standardizzate.







Trattamenti termici che non comportano trasformazioni di fasi

- *Ricottura di addolcimento o di miglioramento della lavorabilità*

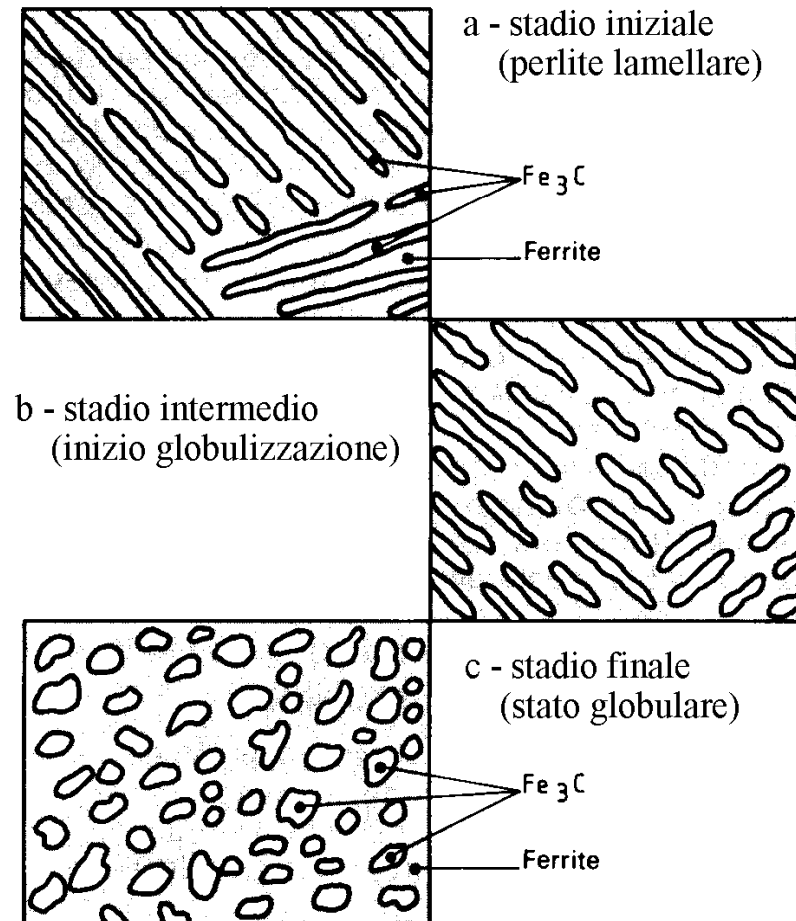
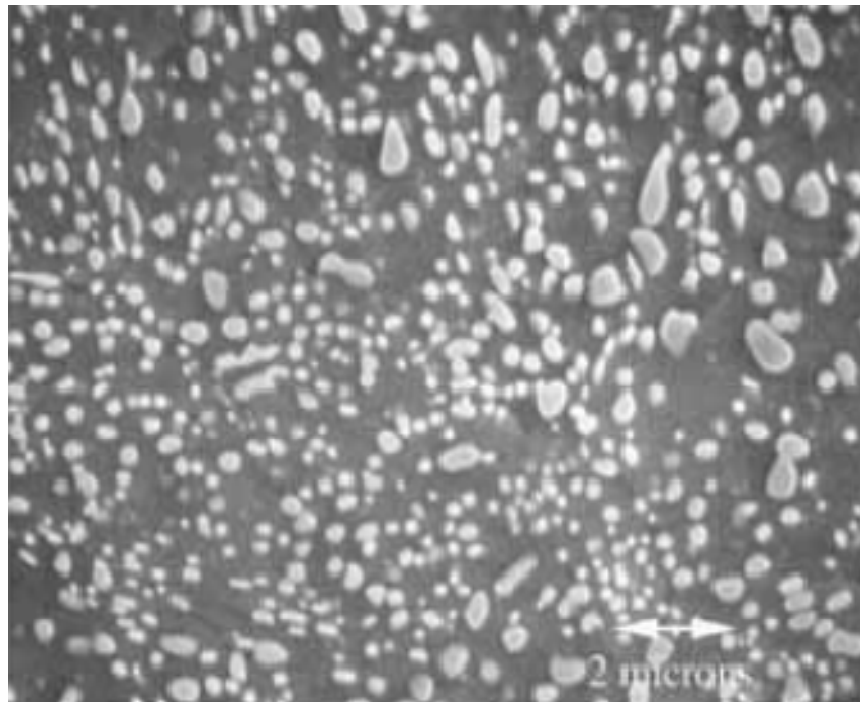
Consiste in un riscaldamento a qualche decina di gradi al di sotto di Ac_1 , seguito da un raffreddamento lento

Permette di ottenere uno stato sufficientemente addolcito e privo di sforzi residui, migliorando la lavorabilità e l'attitudine alla deformazione a freddo

Trattamenti termici che non comportano trasformazioni di fasi

- *Ricottura di sferoidizzazione o globulizzazione*

Si riscalda il pezzo appena al di sotto di Ac_1 , si mantiene per un tempo sufficiente, oppure si oscilla intorno ad Ac_1 , si raffredda lentamente, in modo da ottenere una coalescenza spinta della cementite



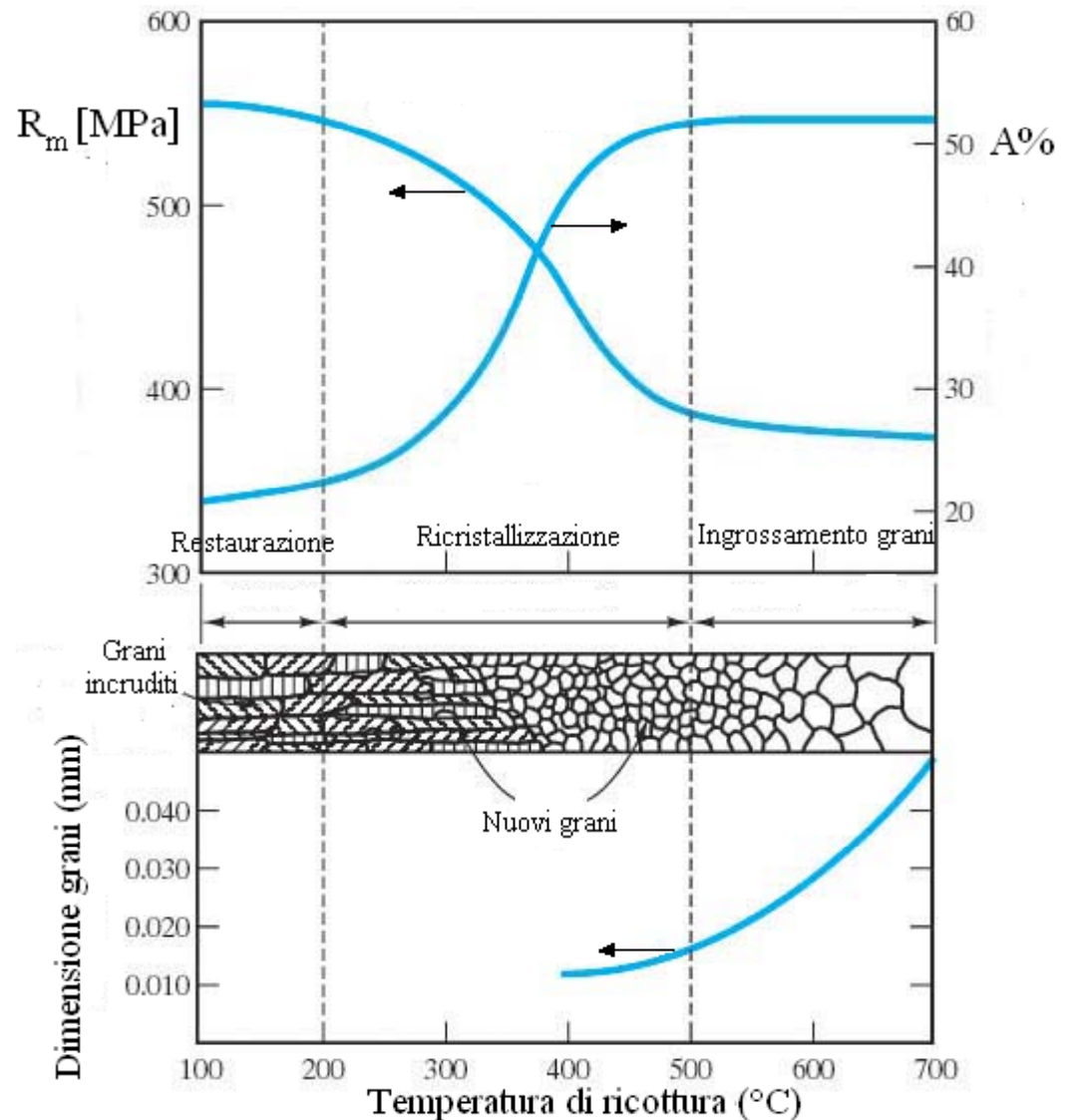
Trattamenti di restaurazione e di ricristallizzazione

Premessa:

- La lavorazione a freddo di una lega comporta il suo incrudimento.
- Una struttura incrudita è caratterizzata da una forte deformazione orientata dei grani e da una elevata densità di difetti (dislocazioni e vacanze).
- Una struttura incrudita è fragile.

Per ovviare a tali problemi si può ricorrere a due trattamenti:

- Trattamento di restaurazione
- Trattamento di ricristallizzazione

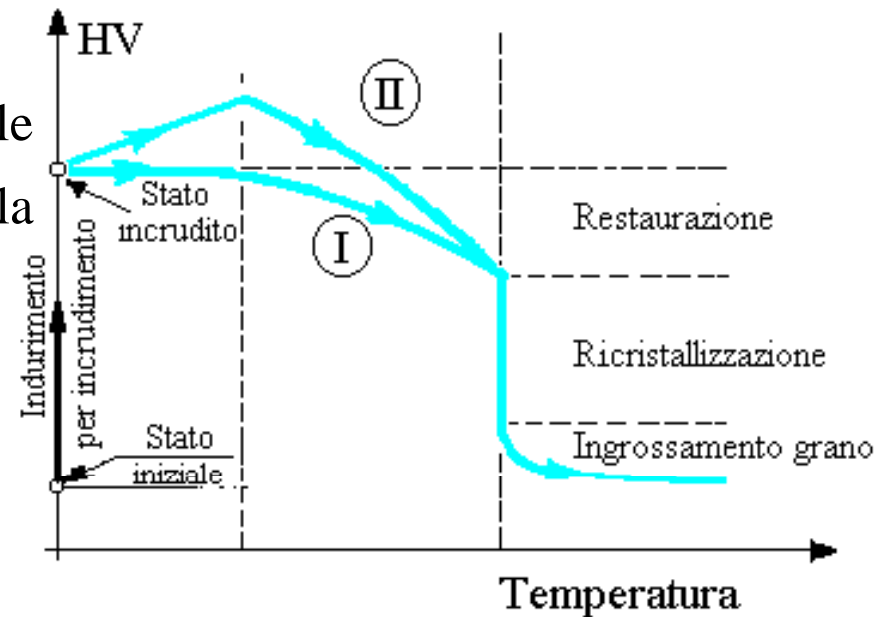


Trattamento di restaurazione

- E' effettuato al di sotto della T di ricristallizzazione.
- Permette di recuperare, almeno in parte, le proprietà meccaniche, senza modifica della struttura.

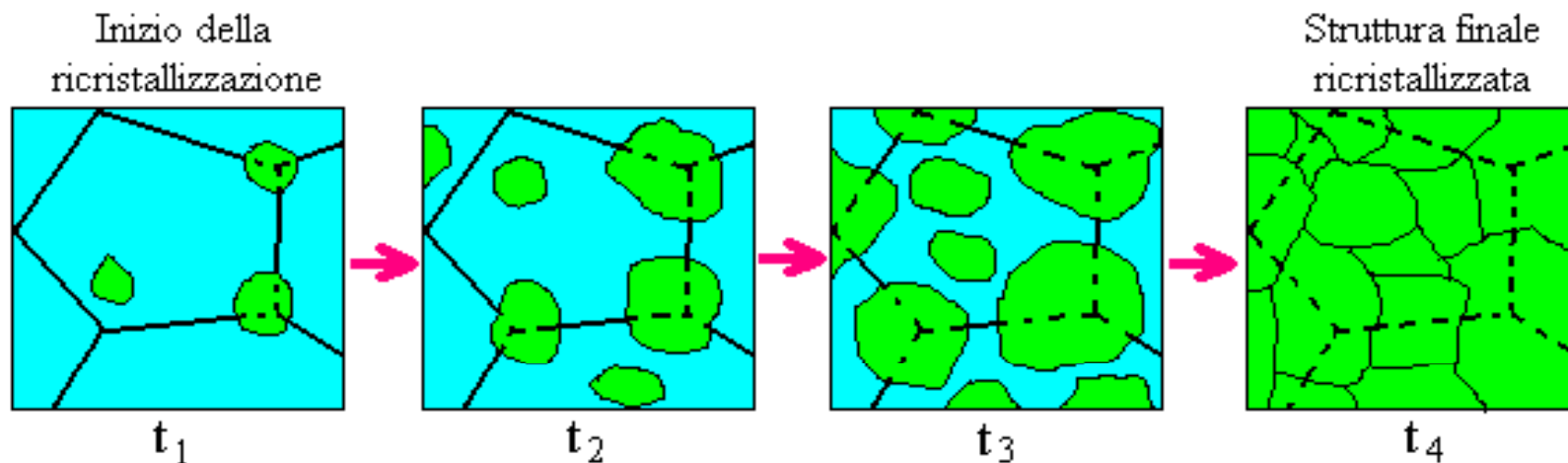
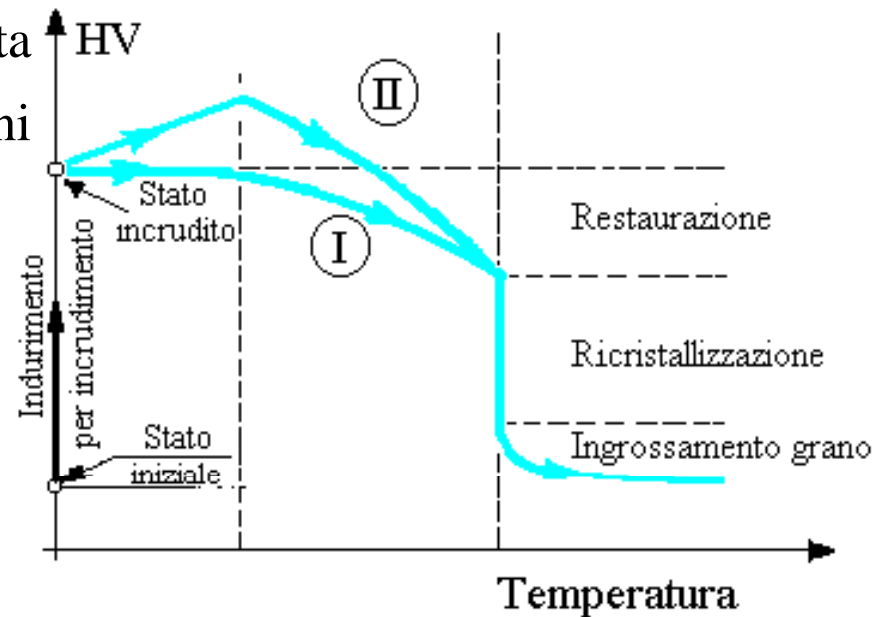
Si ottiene mediante:

- annullamento parziale delle vacanze e delle dislocazioni
- riarrangiamento delle dislocazioni



Trattamento di ricristallizzazione

La ricristallizzazione di un metallo permette di sostituire una struttura distorta ed incrudita con una caratterizzata da grani completamente nuovi.

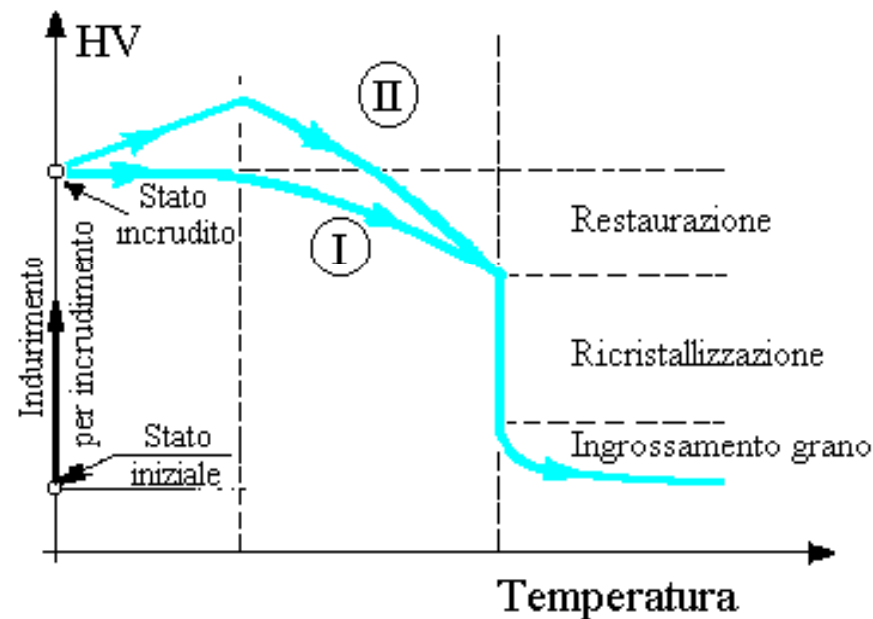


Trattamento di distensione

Viene utilizzato per diminuire il livello di tensione interna residua dovuto a lavorazioni meccaniche oppure a processi di raffreddamento non uniformi.

Si tratta di un rinvenimento effettuato a temperatura piuttosto bassa, con velocità di riscaldamento e di raffreddamento piuttosto basse.

È essenzialmente dovuto alla restaurazione, ma non modifica le proprietà meccaniche.





Rinvenimento

Si effettua dopo una tempra, in modo da eliminare, almeno in parte, la bassa duttilità e resilienza di una struttura completamente martensitica.

La sequenza di tempra + rinvenimento è denominata **bonifica**.

Il rinvenimento comporta una evoluzione del metallo verso uno stato chimico fisico di maggiore equilibrio.

Trasformazioni della martensite dovute al rinvenimento

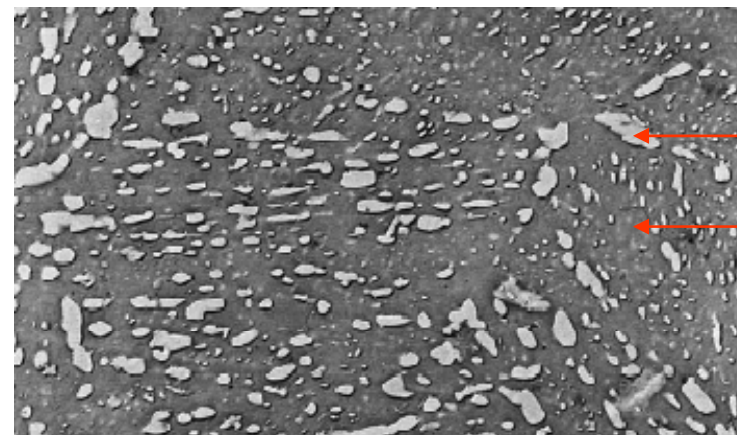
Dipendono dalla temperatura T_r : al crescere di questa temperatura aumenta l'importanza della diffusione del C che si sposta dal reticolo tetragonale e con formazione di ferrite e cementite.

Se l'acciaio contiene elementi carburigeni

$T_r > 450^\circ\text{C}$: si formano dei carburi legati, più stabili della cementite. Si ottiene un indurimento per precipitazione



RINVENIMENTO
600°C



Cementite

Ferrite

Evoluzione delle proprietà meccaniche durante il rinvenimento

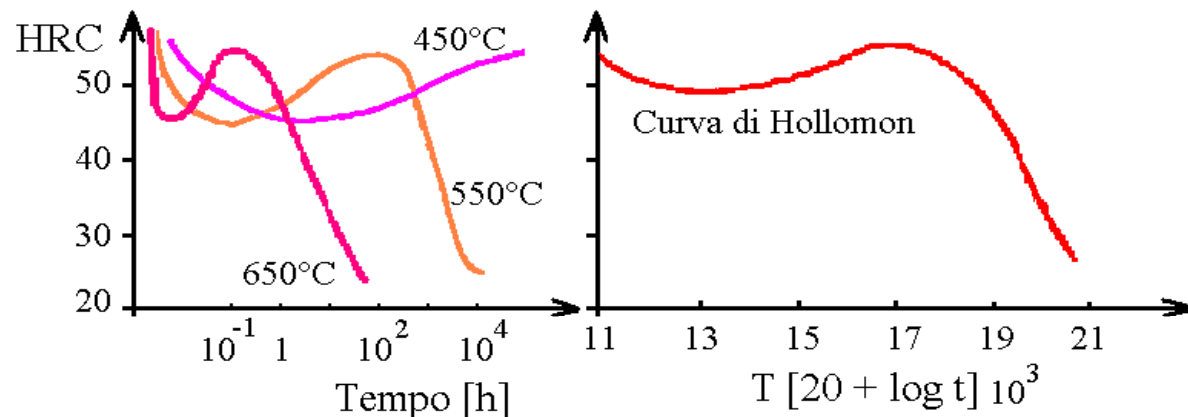
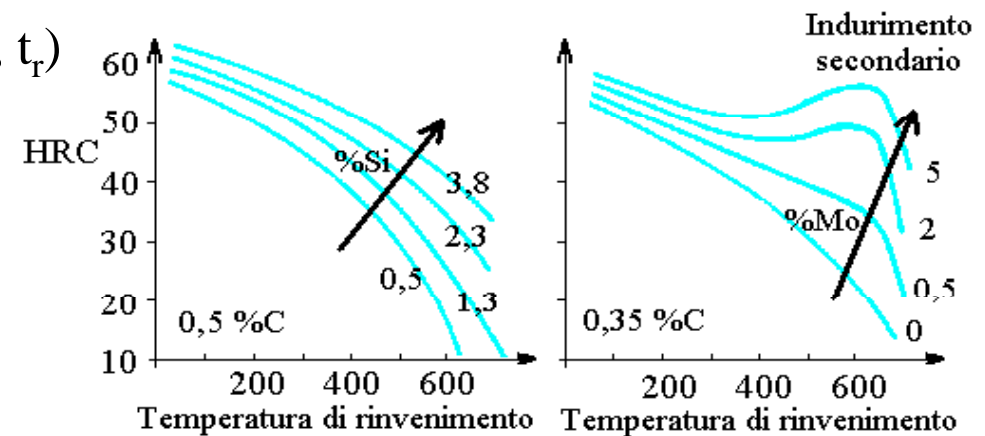
I principali parametri che influenzano il trattamento di rinvenimento sono:

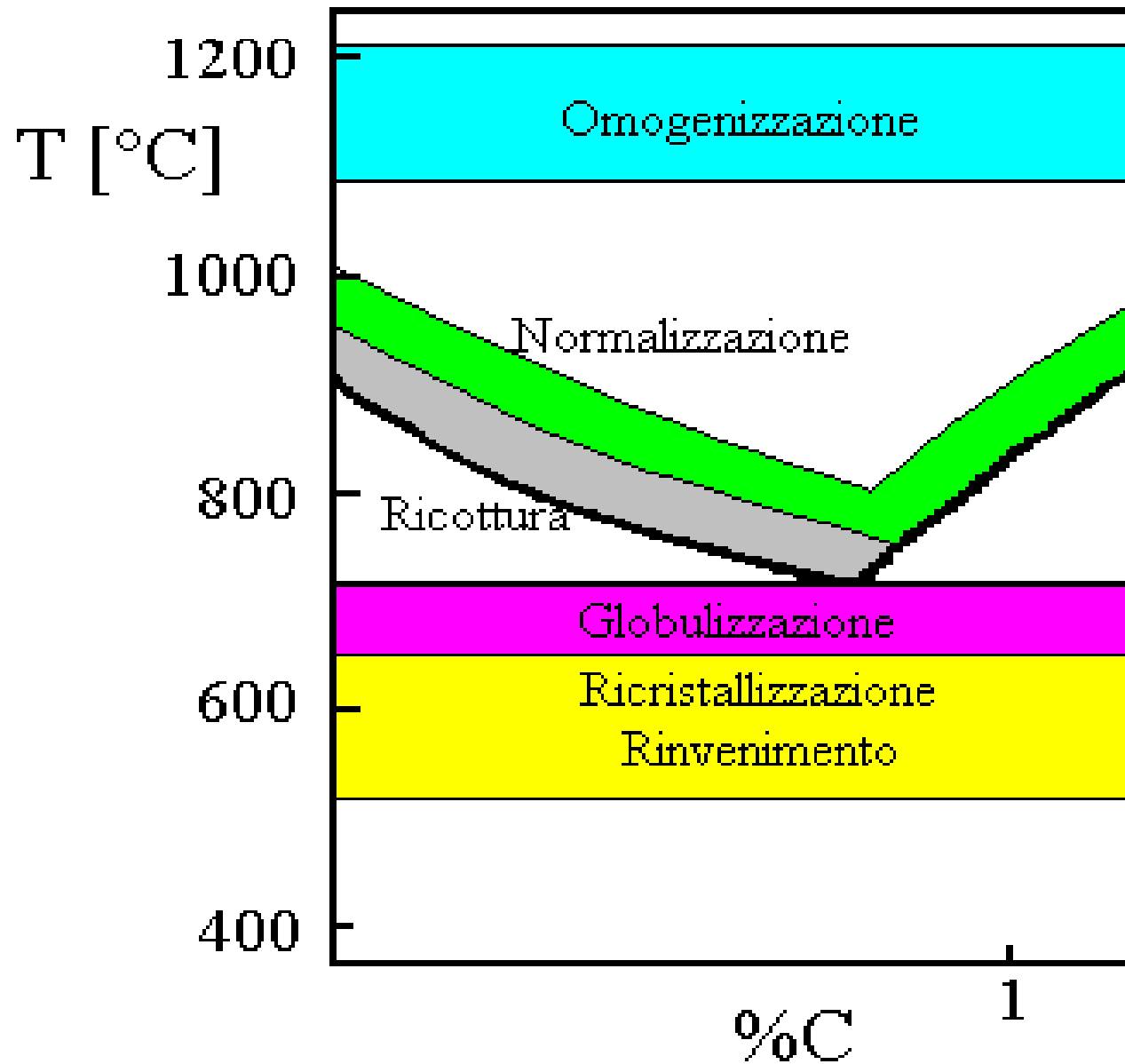
- la composizione chimica

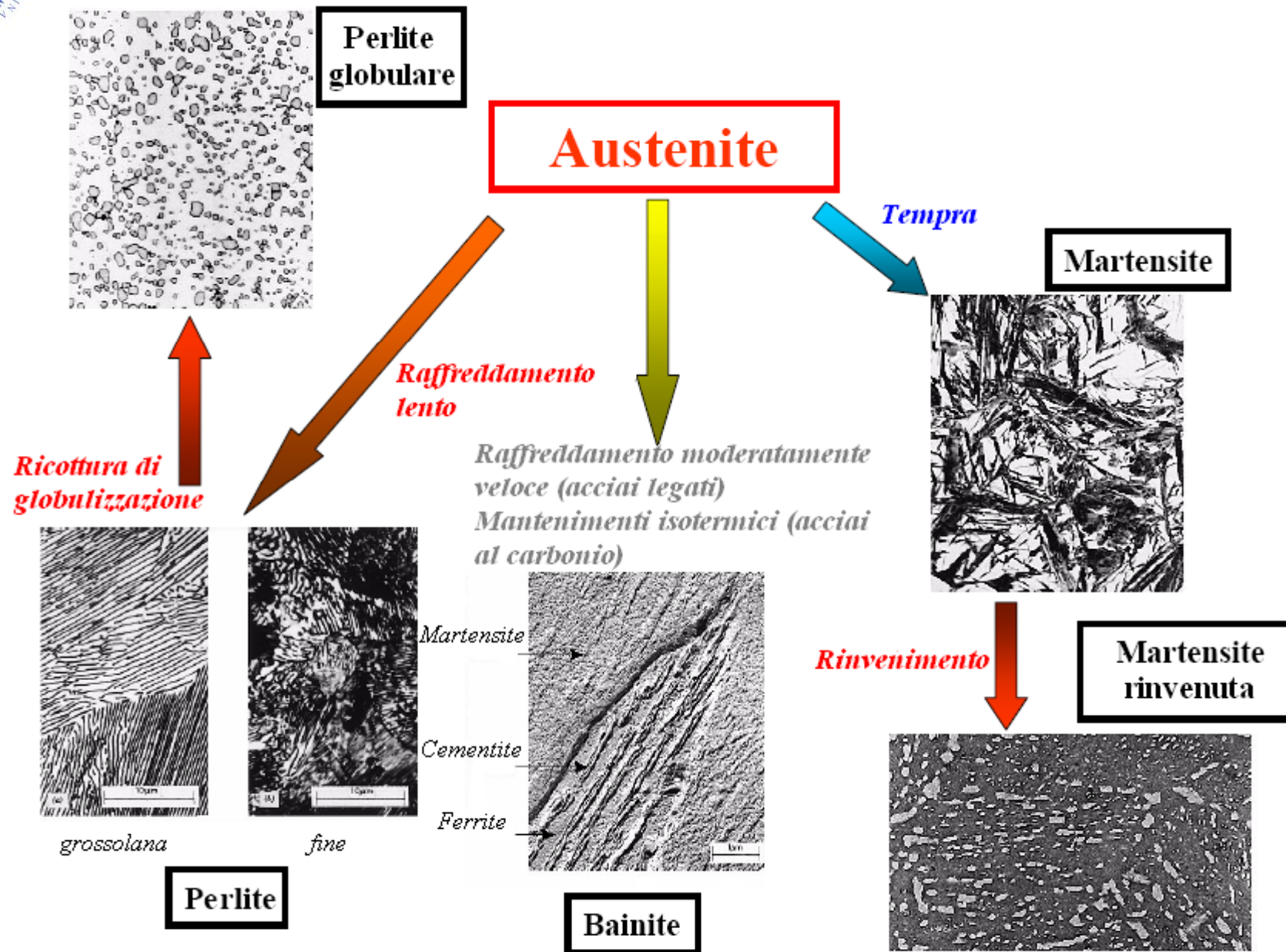
gli elementi di lega ritardano la diminuzione di durezza (soluzione solida e per coalescenza di carburi).

- le condizioni di rinvenimento (T_R , t_R)

$$P = T_R (\beta + \log t_R)$$









Metallurgia

Trattamenti superficiali

Prof. Francesco Iacoviello

Studio: piano terra Facoltà di Ingegneria, stanza 25

Orario di ricevimento: Mercoledì 14.00-16.00

Tel.-fax 07762993681

E-mail: **iacoviello@unicas.it**

Sito didattico: **<http://webuser.unicas.it/iacoviello>**

Trattamenti superficiali

Hanno come obiettivo quello di ottenere una durezza elevata sulla superficie insieme ad una elevata duttilità ed una buona tenacità del cuore del pezzo.

Tale risultato può essere ottenuto in diversi modi:

- Modifica della superficie mediante trattamento termico localizzato (indurimento mediante tempra superficiale).
- Modifica della superficie mediante trattamento termochimico di diffusione di un elemento di lega (nitrurazione, solfonitrurazione, cromizzazione, ...)
- Modifica della superficie per diffusione di uno o più elementi, seguito da un trattamento termico (cementazione oppure carbonitrurazione , seguite da bonifica).

Tempra superficiale

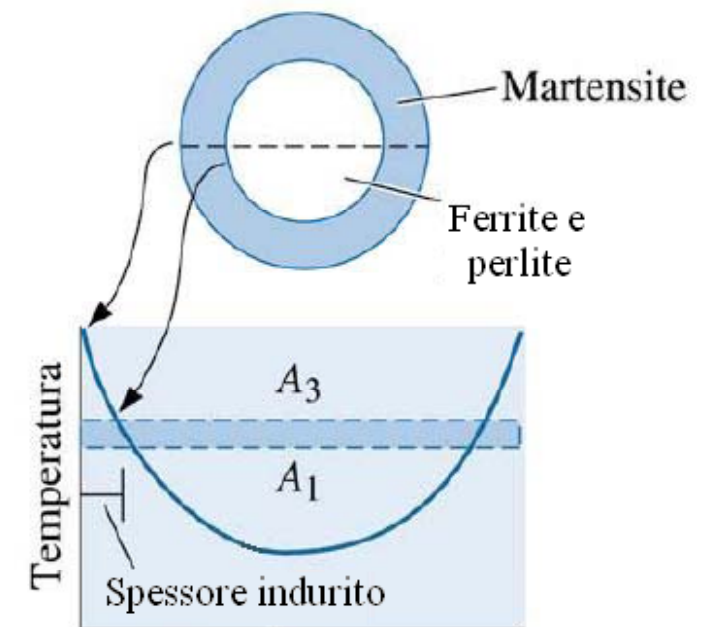
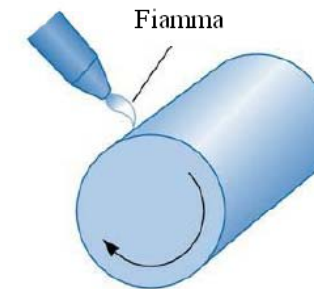
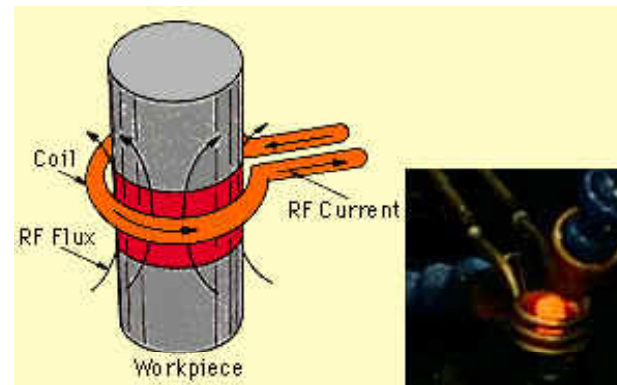
Tale trattamento ha come obiettivo quello di ottenere una struttura martensitica in uno strato superficiale di qualche millimetro di spessore.

E' inutile ricorrere ad acciai ad elevata temprabilità.

$C < 0,5\%$.

Tenori controllati di S, P, Ni, Mo, Cu,

Grana fine e poco sensibile all'ingrossamento.





Metallurgia

Trattamenti termochimici di diffusione

Prof. Francesco Iacoviello

Studio: piano terra Facoltà di Ingegneria, stanza 25

Orario di ricevimento: Mercoledì 14.00-16.00

Tel.-fax 07762993681

E-mail: **iacoviello@unicas.it**

Sito didattico: **<http://webuser.unicas.it/iacoviello>**

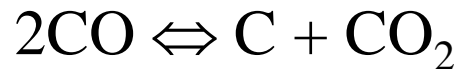
Trattamenti termochimici di diffusione

Cementazione

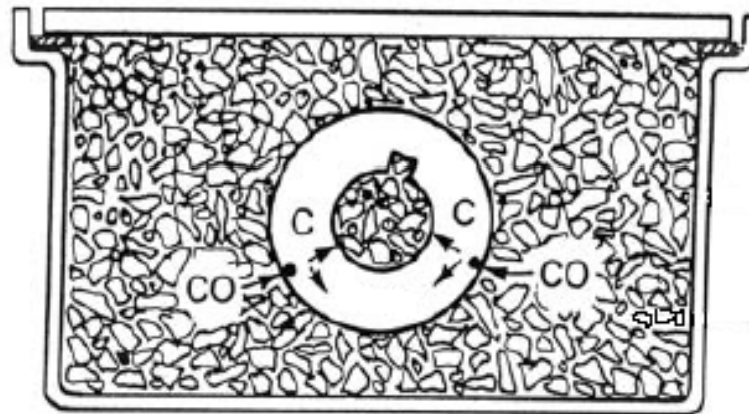
- E' un trattamento termochimico di diffusione in cui l'acciaio viene arricchito superficialmente in carbonio.
- La temperatura di cementazione è $> A_{c3}$ (normalmente fra 900 e 1000°C)
- La cementazione può essere distinta in tre tipologie principali:
 - Solida (o in cassetta)
 - Liquida
 - Gassosa
- L'acciaio cementato subisce un processo di indurimento mediante tempra immediata oppure successiva
- Si possono ottenere durezza di 700-900HV
- Lo spessore cementato è dell'ordine del millimetro

Cementazione solida o in cassetta

- L'acciaio è posto in una cassetta di ghisa o di acciaio legato
- L'agente cementante è costituito da una miscela di carbone di legna, carbonato di bario, carbonato di sodio



- $T_{\text{cem}} = 900\text{-}950^\circ\text{C}$
- A contatto con il Fe il monossido di C si decompone liberando C
- Il C penetra nel Fe γ
- Durata del trattamento: alcune ore

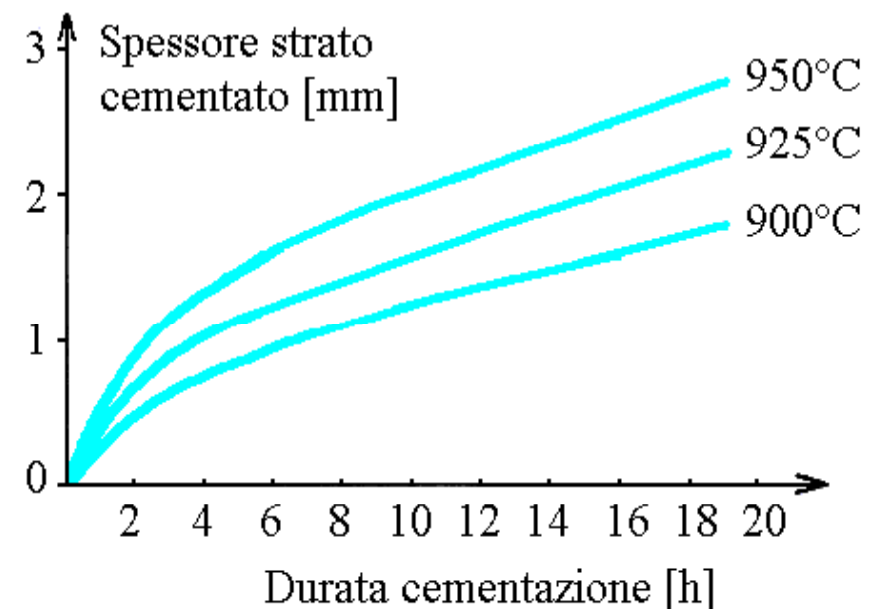


Cementazione liquida

- L'acciaio è posto in cestelli
- Il bagno è costituito da:
 - 20-50% cianuro di sodio
 - 40% di carbonato di sodio o di bario
 - resto cloruro di sodio o di bario
- $T_{\text{cem}} = 870-950^{\circ}\text{C}$
- Durata trattamento: fino ad 1 ora

Cementazione gassosa

- La miscela gassosa è costituita da:
 - ossido di carbonio
 - idrocarburi (metano e propano)



Parametri influenzanti
la penetrazione del C

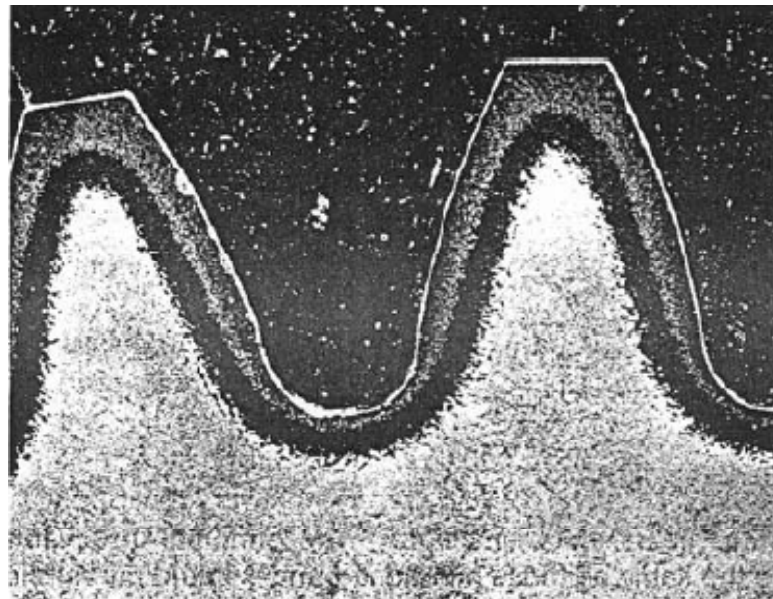


- Composizione chimica dell'acciaio
- Temperatura di cementazione
- Durata trattamento
- Sostanza cementante

- La cementazione è favorita dagli elementi che formano carburi (Cr, Mo)
- La cementazione è ostacolata da elementi che formano soluzioni solide (Ni, Si, Al)

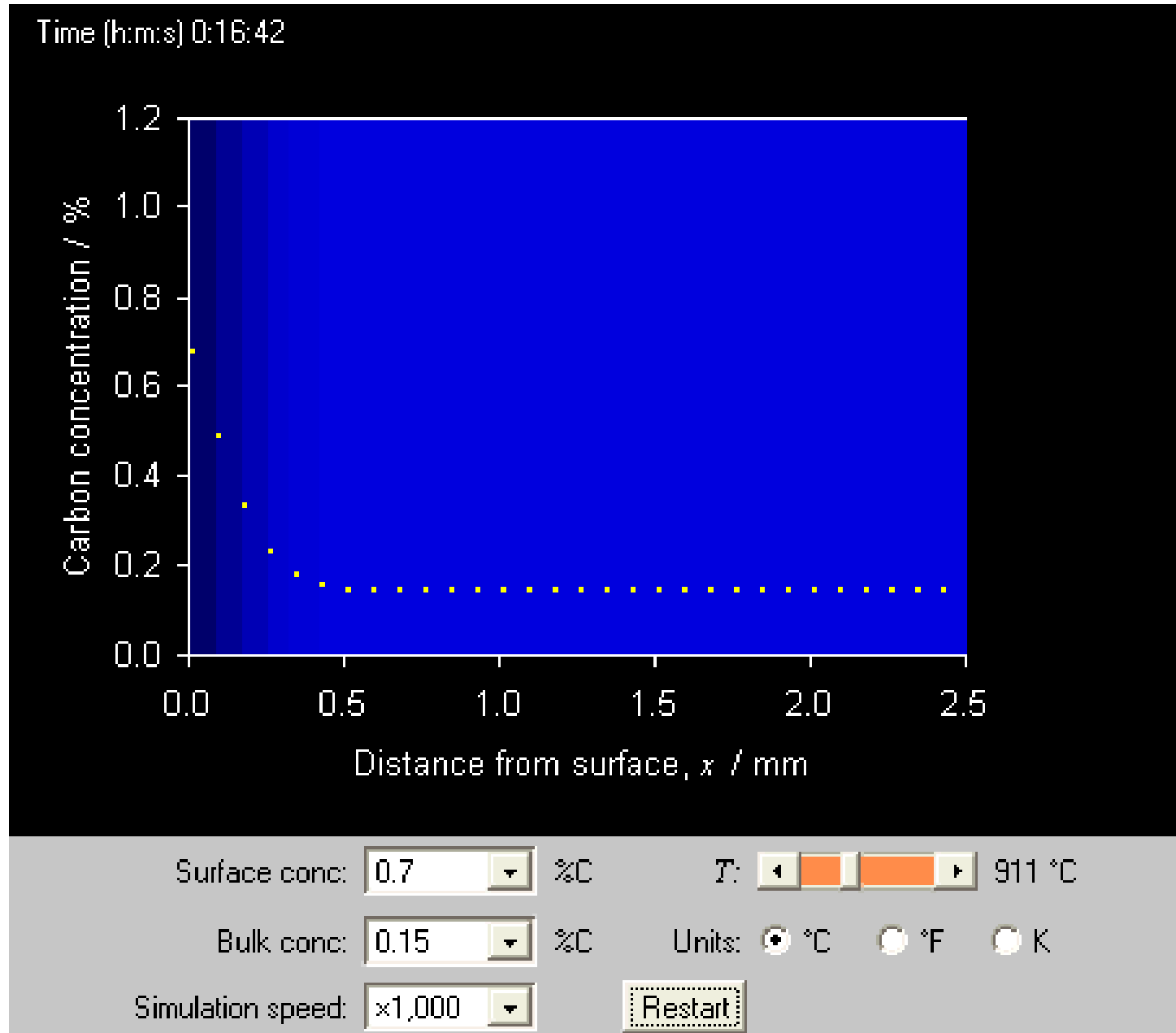
Solitamente: %C < 0.2% (C penetra meglio nel Fe γ)

%Mn < 0.4 (lo strato cementato diviene fragile)



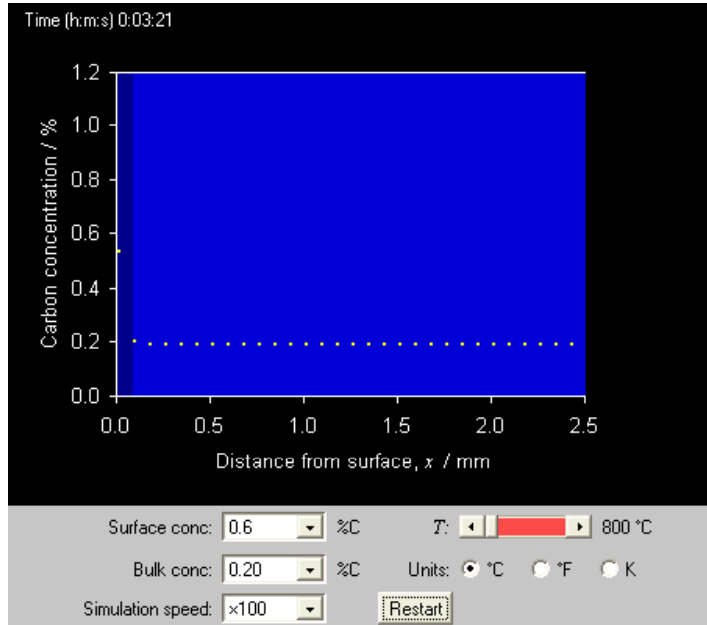


%C sup = 0,7
%C acc. = 0,15
 $T_{cem} = 911^{\circ}\text{C}$

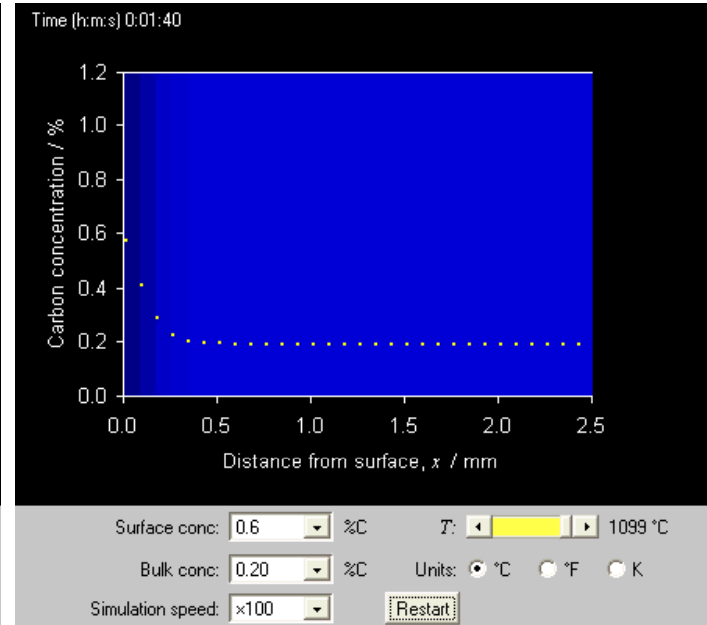




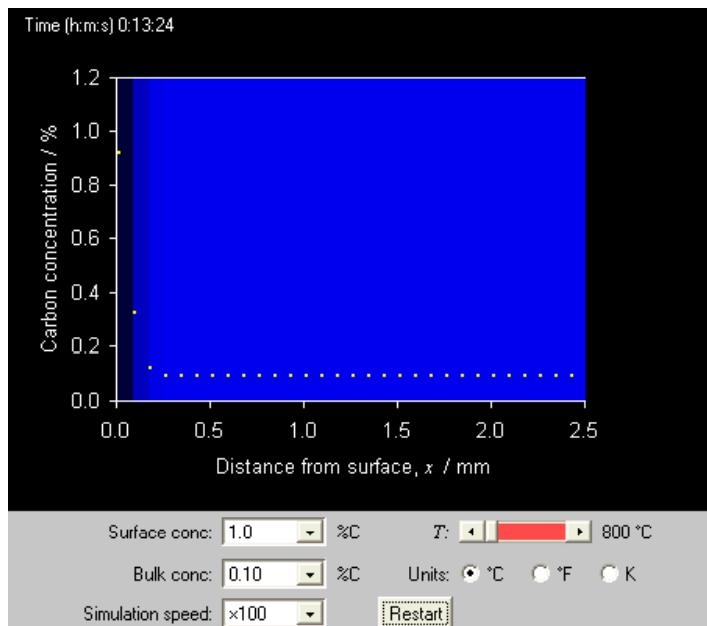
%C sup = 0,6
%C acc. = 0,2
 $T_{cem} = 800^{\circ}C$



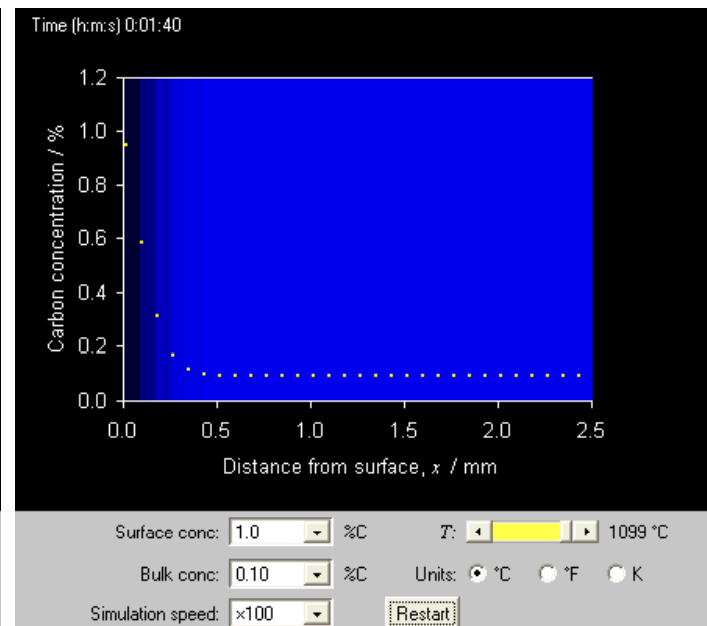
%C sup = 0,6
%C acc. = 0,2
 $T_{cem} = 1100^{\circ}C$



%C sup = 1,0
%C acc. = 0,1
 $T_{cem} = 800^{\circ}C$

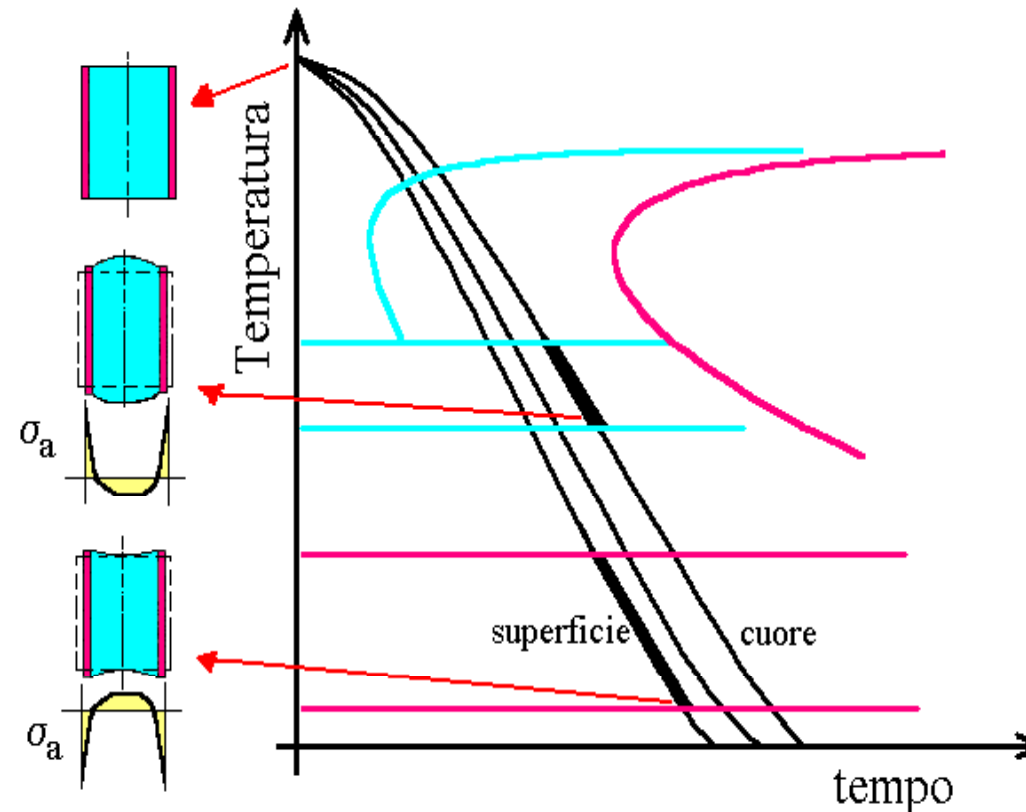


%C sup = 1,0
%C acc. = 0,1
 $T_{cem} = 1100^{\circ}C$



Trattamenti termici post-cementazione

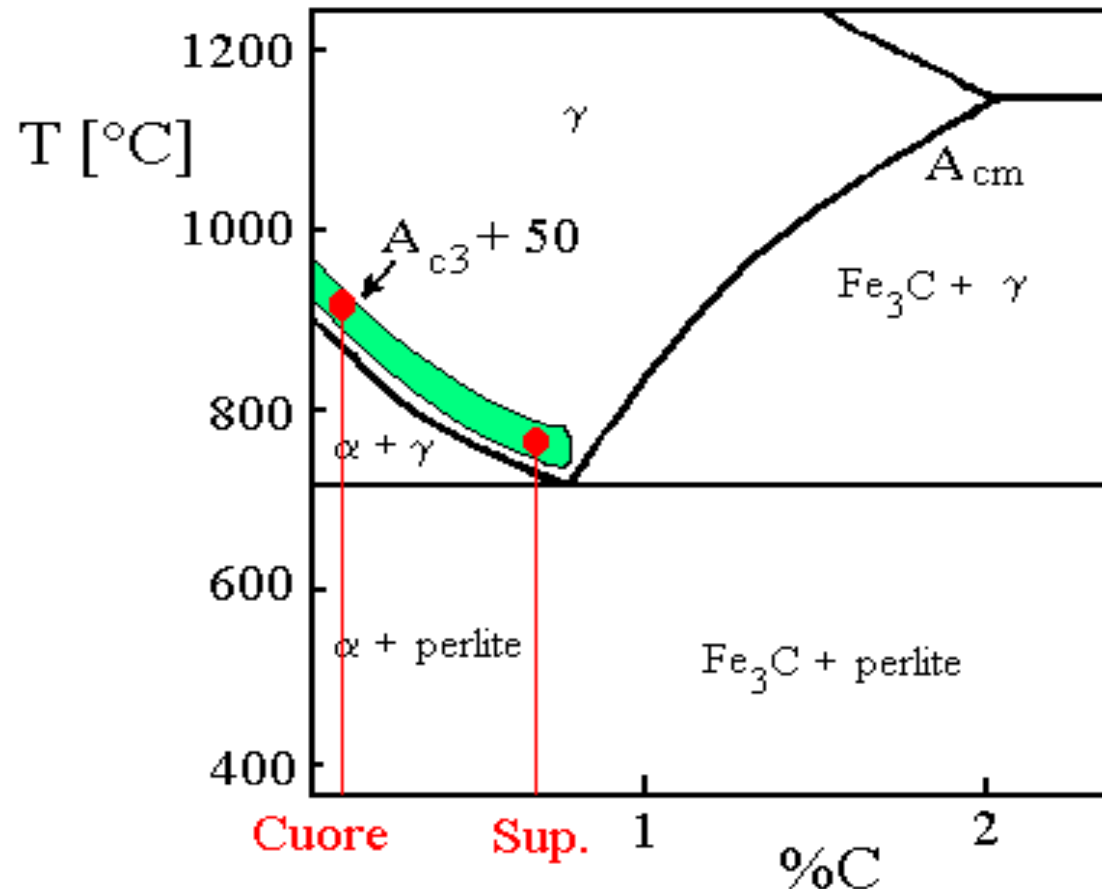
L'indurimento dello strato superficiale cementato si ottiene generalmente mediante tempra (in olio). I pezzi possono quindi subire un rinvenimento di distensione (150-190°C), con un aumento della tenacità dello strato cementato.



Trattamenti termici post-cementazione

Se la differenza di tenore di C fra cuore e superficie è elevata si effettuerà una tempra doppia

- Si austenitizza ad una $T > A_{c3}$ del cuore
- Si tempra
- Si austenitizza ad una $T > A_{c3}$ della sup.
- Si tempra
- Si rinviene a 100-200°C



Trattamenti termochimici di diffusione

Nitrurazione

- E' un trattamento termochimico di diffusione in cui l'acciaio viene arricchito superficialmente in azoto
- La temperatura migliore è di 520°C (\cong 50h)

Non è inferiore, in quanto il processo sarebbe troppo lento.

Non è superiore, in quanto si rischia la formazione di un eutettoide fragile detto braunite (590°C).

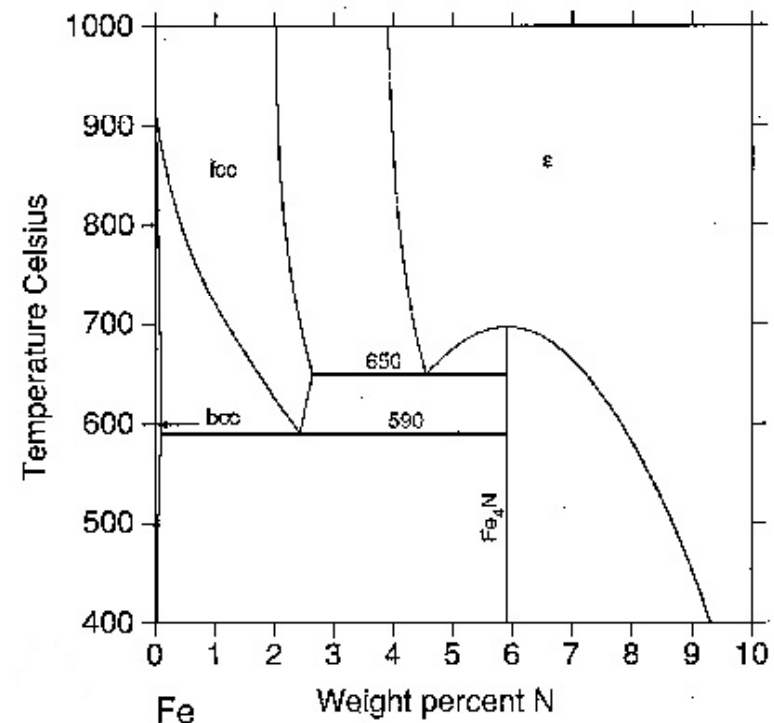
Si può avere la:

- Nitrurazione in bagno di sali
- Nitrurazione gassosa
- Nitrurazione ionica

E' l'ultima operazione del ciclo produttivo

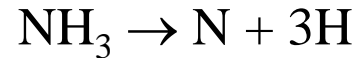
Si possono ottenere durezza fino a 1350HV

Lo spessore nitrurato è dell'ordine del decimo di millimetro



Nitrurazione gassosa

L'agente nitrurante è una miscela di gas di ammoniaca e di azoto



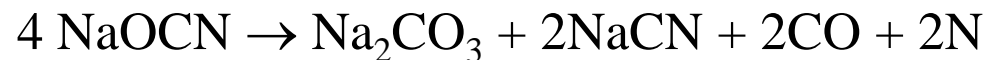
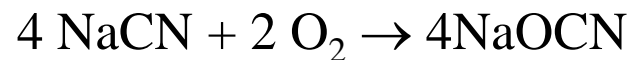
La T_{nitr} è compresa fra 500 e 550°C (50h)

Lo strato nitrurato comprende:

- una zona di combinazione (5-30µm) composta da nitruri γ' Fe_4N , duttile, ed ϵ Fe_{2-3}N , fragile
- una zona di diffusione (0.05-0.8 mm) costituita da una soluzione solida interstiziale di N, nella quale precipitano nitruri o carbonitruri di Cr, Al

Nitrurazione liquida

E' effettuato in sali fusi (cianuri alcalini) a 570°C.



Si forma:

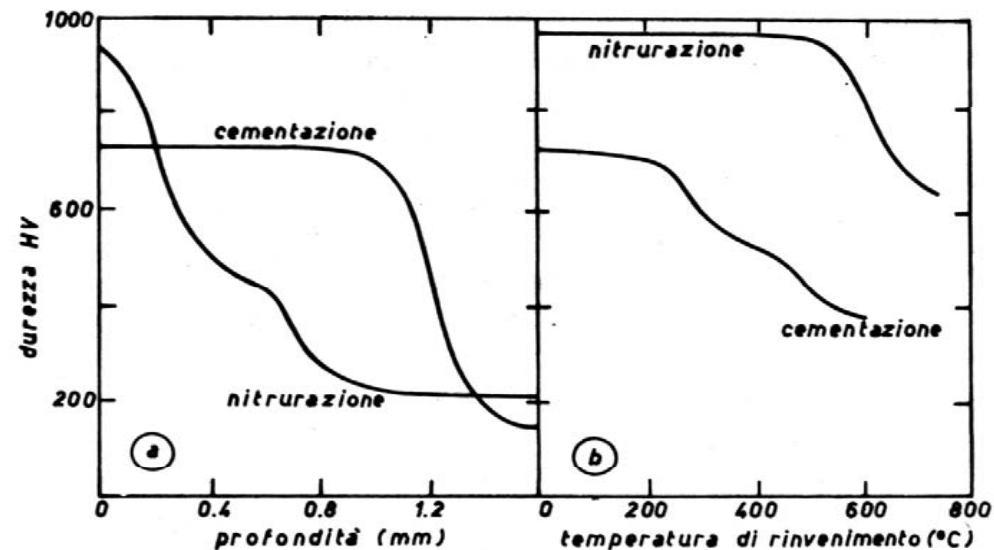
- zona superficiale (10-20 µm), contenente nitruri tipo ϵ Fe_{2-3}N
- zona di diffusione (0.5 mm), simile a quella ottenuta con la nitrurazione gassosa

Nitrurazione ionica

Si introduce l'azoto a partire da ioni in un plasma mediante scarica elettrica (qualche centinaio di V) in un ambiente di $\text{N}_2 + \text{NH}_3$ a bassa pressione.

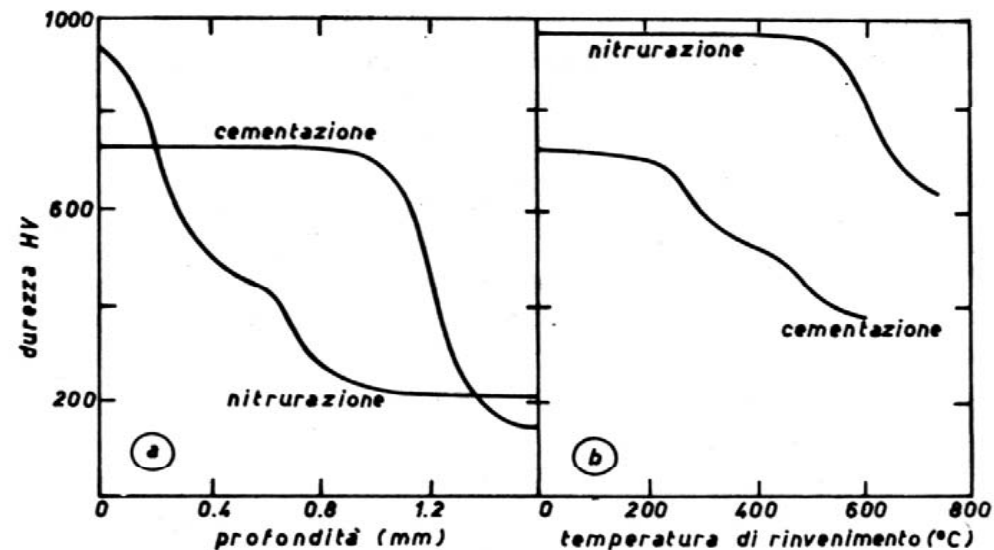
Vantaggi della nitrurazione sulla cementazione

- Durezza superficiale più elevata (1200HV rispetto a 700 HV)
- Invariabilità della durezza fino a 500°C (rispetto a 200°C per la cementazione)
- Il trattamento termico è fatto prima della nitrurazione (non si hanno deformazioni notevoli)
- Si utilizzano acciai da bonifica, mentre nella cementazione si utilizzano acciai a basso C
- Non si hanno pericoli di surriscaldamento



Inconvenienti della nitrurazione rispetto alla cementazione

- Lo strato indurito è molto più sottile
- Il ciclo di lavorazione è più lungo e costoso
- Si ha la necessità di utilizzare acciai legati
- Si ha un peggioramento della tenacità nel caso in cui non si abbia il Mo (problema della fragilità al rinvenimento)



Composizione chimica acciai da nitrurazione

Al (0.3-1.0%)

Cr (< 3%)

Mo (0.2-1%)

Ti, V (talvolta)

Si possono nitrurare:

- acciai al C
- acciai al Mn
- acciai al Cr
- acciai al Cr-Mo
- acciai al Cr-Al-Mo
- acciai al Ni-Cr-Mo
- acciai per utensili
- acciai inossidabili