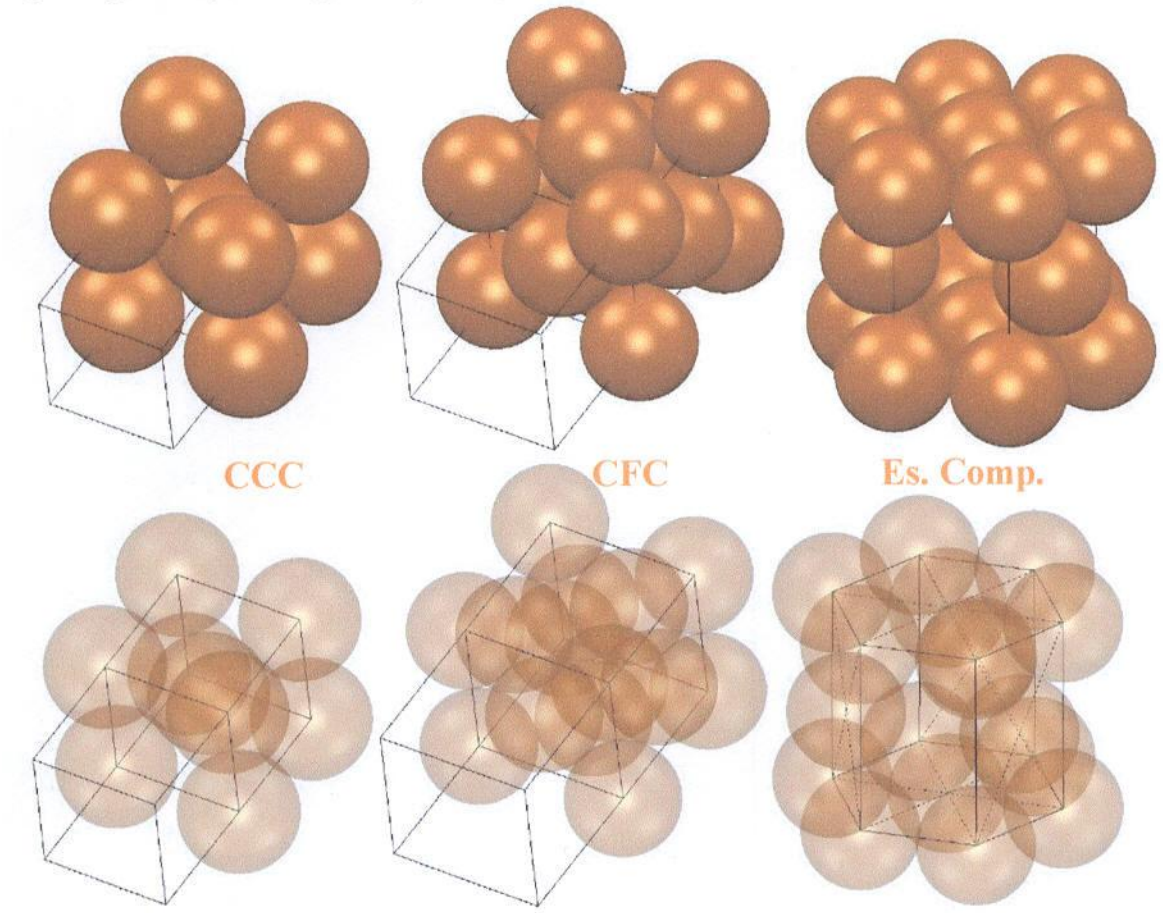
1. STRUTTURA DEI SOLIDI CRISTALLINI

La cella elementare *c.c.c.* (cubica corpo centrato ad otto atomi ai vertici del cubo ed uno al centro) ha **9** atomi.
Questa struttura è tipica degli elementi **duri** quali: Cr (cromo), V (vanadio), Mo (molibdeno), W (tungsteno),Na (sodio), Mn (magnesio), Fe α, Nb (niobio), U γ (uranio).

La cella elementare *c.f.c.* (cubico a facce centrate ha 8 atomi ai vertici del cubo e uno al centro di ogni faccia) ha **14** atomi.
Questa struttura è tipica degli elementi **malleabili** quali: Al (alluminio),Cu (rame), Ag (argento), Au (oro), Pb (piombo), Ni β (nichel), Fe γ, Pt (platino).

La cella elementare esagonale compatta ha **17** atomi.
Questa struttura è tipica degli elementi **fragili** quali: Mg (magnesio),Zn (zinco), Cd (cadmio), Ni α (nichel), Zr α (zirconio), Ti α (titanio).



2. DIAMETRO ATOMICO DEL FERRO

Il diametro d del Fe dipende dalla temperatura e vale:

d=0,2481 (nm)=2,481 (angstrom) alla temperatura ambiente [20(°C)-*c.c.c.*]
d=0,2585 (nm)=2,585 (angstrom) ad elevata temperatura [950(°C) –*c.f.c.*]

Nel reticolo *c.c.c.* **le sfere degli atomi di ferro risultano tangenti lungo la diagonale interna**; il lato del cubo è (non considerato la deformazione dovuta alla presenza del carbonio):

$$L = \frac{2}{\sqrt{3}} \bullet d = 1{,}155 \bullet d$$ **L=2,86 (angstron) a** 20(°C)

ad il volume è: $V_{ccc} = L^3 = \frac{8}{\sqrt{27}} \bullet d^3$

Nel reticolo *c.f.c*. le sfere degli atomi di ferro risultano tangenti lungo la diagonale della faccia; il lato del cubo è (non considerando la deformazione dovuta alla presenza del carbonio):

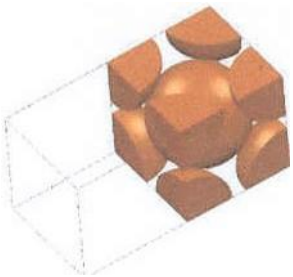
$$L = \sqrt{2} \bullet d = 1{,}414$$ **L=3,66 (Angstrom) a** 950(°C)

ed il volume è: $V_{cfc} = L^3 = \sqrt{8} \bullet d^3$

Il rapporto fra i volumi delle celle è:

$$\frac{V_{cfc}}{V_{ccc}} = \frac{\sqrt{8} \cdot d^3}{\frac{8}{\sqrt{27}} \cdot d^3} = \sqrt{\frac{27}{8}} = 1{,}837$$

Per tanto il volume del reticolo *c.f.c* **(Feγ)** è 1,84 volte il volume del reticolo *c.c.c.* **(Feα).** Ciò non deve far pensare che il passaggio dal Feα **al** Feγ avvenga con aumento di volume perché **pur essendo la** cella *c.f.c*. **più grande della** cella *c.c.c*., **la cella** *c.f.c*. è in grado di imprigionare nel **suo reticolo un maggior numero di atomi di ferro**, ha cioè una densità più elevata e quindi la massa M occuperà uno spazio complessivamente inferiore.
Quanto affermato si dimostra facilmente osservando le figure che seguono.



Nella cella c.c.c. gli atomi di competenza sono:

$$8 \cdot \frac{1}{2} + 1 = 2$$

Mentre nella cella c.f.c. gli atomi di competenza sono:

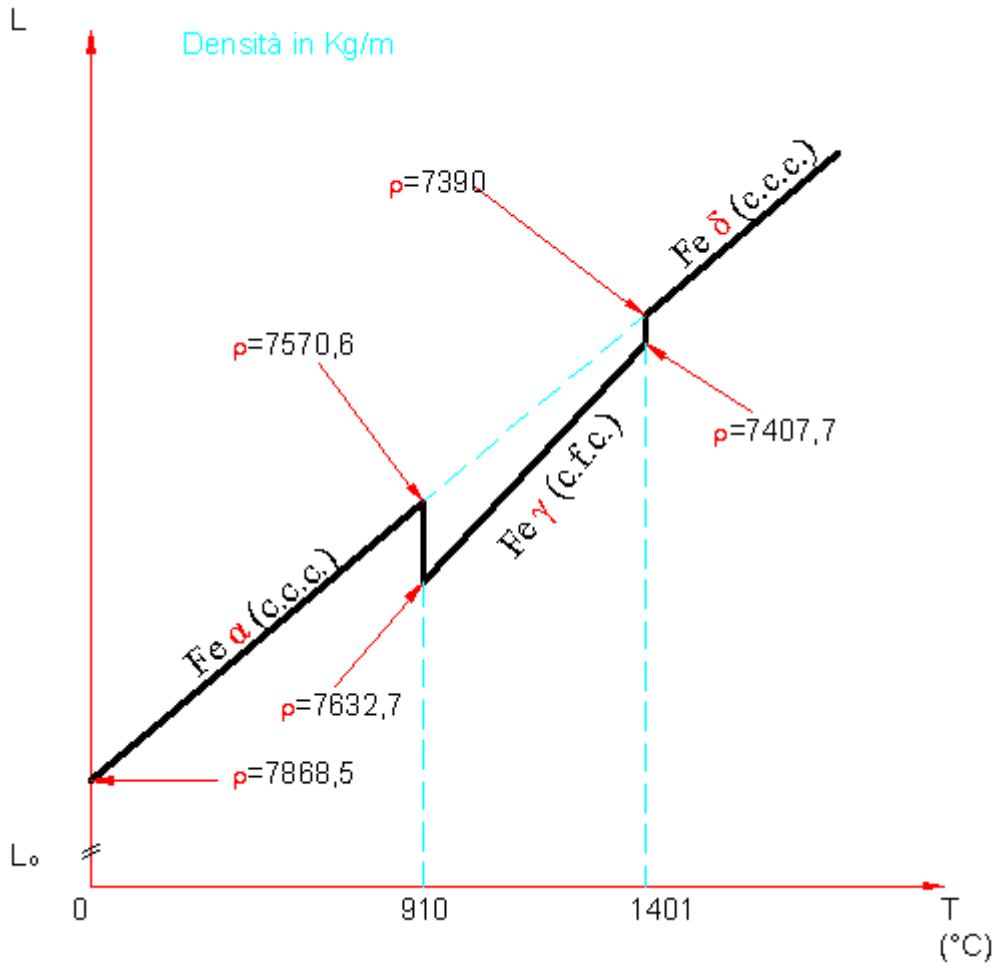
$$8 \cdot \frac{1}{8} + \frac{6}{2} = 4$$

Con N atomi si possono formare N/2 celle elementari c.c.c. e N/4 celle elementari c.f.c. ed il volume complessivo, a partirà di numero N d'atomi di ferro, occupato dai due tipi di reticolo sarà pertanto maggior nel caso della struttura *C.C.C.*:

$$\frac{\frac{N}{2} \cdot V_{ccc}}{\frac{N}{4} \cdot V_{cfc}} = \frac{2}{1{,}837} = 1{,}089$$

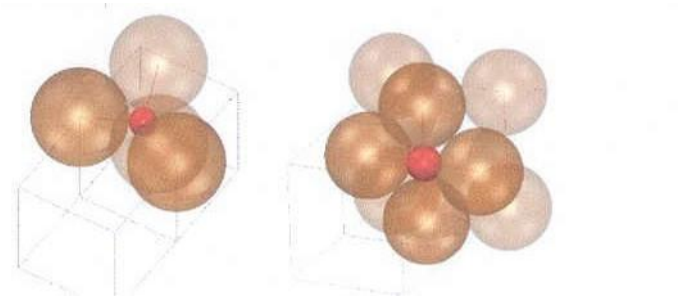
Infatti, il calcolo afferma che la **trasformazione** del reticolo c.f.c. in *c.c.c*. avviene con un **aumento di volume** (confermato dal diagramma d'analisi dilatometrica del ferro); se ciò non avviene nella misura calcolata [a 910 °C la densità del ferro varia da 7,57 a 7,82 (Kg/m^3) aumentando solamente

di un fattore 1,008 (1/10 di quella stimata)] possibili causate possono essere individuate anche nella presenza di dislocazione e di zone distorte e pensionate nei bordi dei grani.



3. ALLOCAZIONE DEL CARBONIO NEGLI INTERSTIZZI

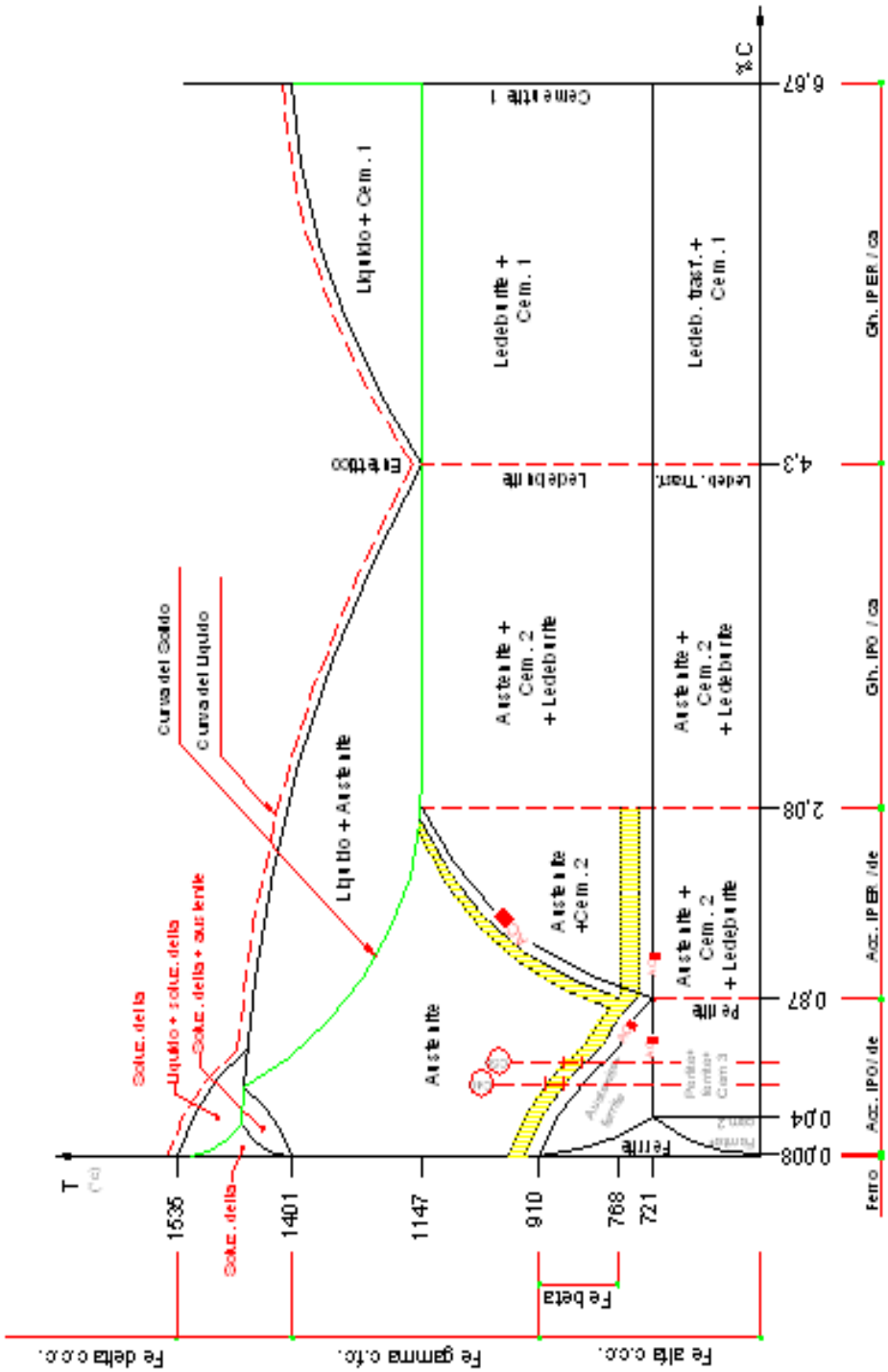
<u>La soluzione del carbonio per interstizione è causa di deformazione e torsione nel materiale.</u>
Di seguito vengono valutate le dimensioni degli interstizi nel ferro α e nel ferro γ dove possono essere collocati (soluzione di interstizione) atomi di piccole dimensioni rispetto all'atomo del solvente.



Nel primo caso l'interstizio può accogliere un atomo di raggio 0,36 Angstrom (*); nel secondo può accogliere, senza deformarsi, un atomo di raggio 0,52 Angstrom (**). Il carbonio ha un raggio atomico di 0,70 Angstrom (Crivelli-Visconti vol. 3)

4. DIAGRAMMA FE-C

Per lo studio dei trattamenti termici degli acciai del carbonio (in particolare) risulta fondamentale la conoscenza del diagramma ferro-carbonio, Fe-C. Vediamo sotto riportato sotto una riproduzione vorrebbe essere l'esemplificazione di un diagramma sperimentale.



Strutture del diagramma Fe-C

Cementite: carburo di ferro (per es.:Fe_3C) – composto intermetallico
Cementite I: si forma direttamente dal liquido.
Cementite II: proviene dall'austenite (v. curva di saturazione) per la diminuita

	capacità dell'austenite di solubilizzare il carbonio al diminuire della temperatura. Il carbonio in eccesso si separa in forma combinata.
Cementite III:	proviene dalla ferrite (v. curva di saturazione) per la diminuita capacità della ferrite di solubilizzare il carbonio al diminuire della temperatura.
Ferrite:	soluzione solide di Fe_3C nel ferro α
Austenite:	soluzione solide di Fe_3C nel ferro γ
Soluzione Delta:	soluzione solide di Fe_3C nel ferro δ
Ledeburite:	miscuglio di Austenite e Cementite I
Ledeburite trasformata:	miscuglio di Perlite e Cementite I
Perlite:	miscuglio di Ferrite e Cementite II; si forma dalla trasformazione Dell'austenite sotto il punto A_{C1}

Calcolo della %C nella cementite

Si riportano di seguito i valori delle masse atomiche del ferro e del carbonio in u.m.

M_{Fe}=56 (u.m.)
M_C=12 (u.m.)

$$M_{Fe3C}=3\cdot M_{Fe}+M_C=3\cdot 56+12=180(u.m.)$$

$$\%C_{Fe3C}=100\cdot\frac{M_C}{M_{Fe3C}}$$

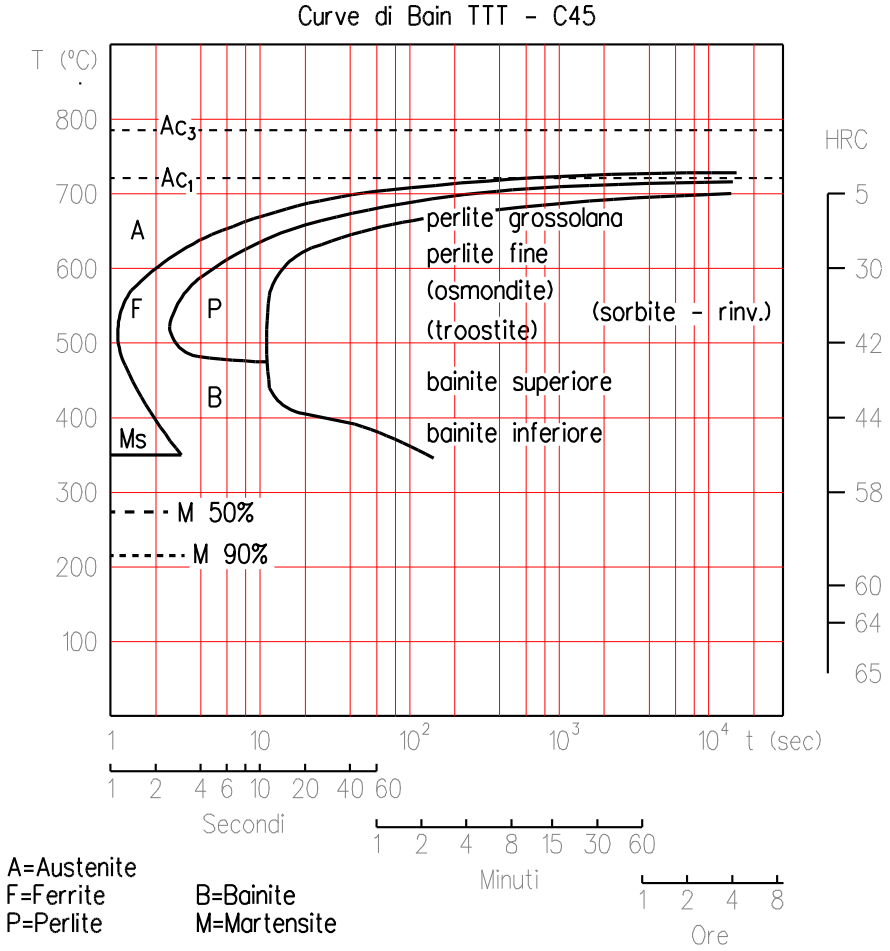
$$\%C_{Fe3C}=100\cdot\frac{12}{180}$$

$$\%C_{Fe3C}=6,\overline{6}$$

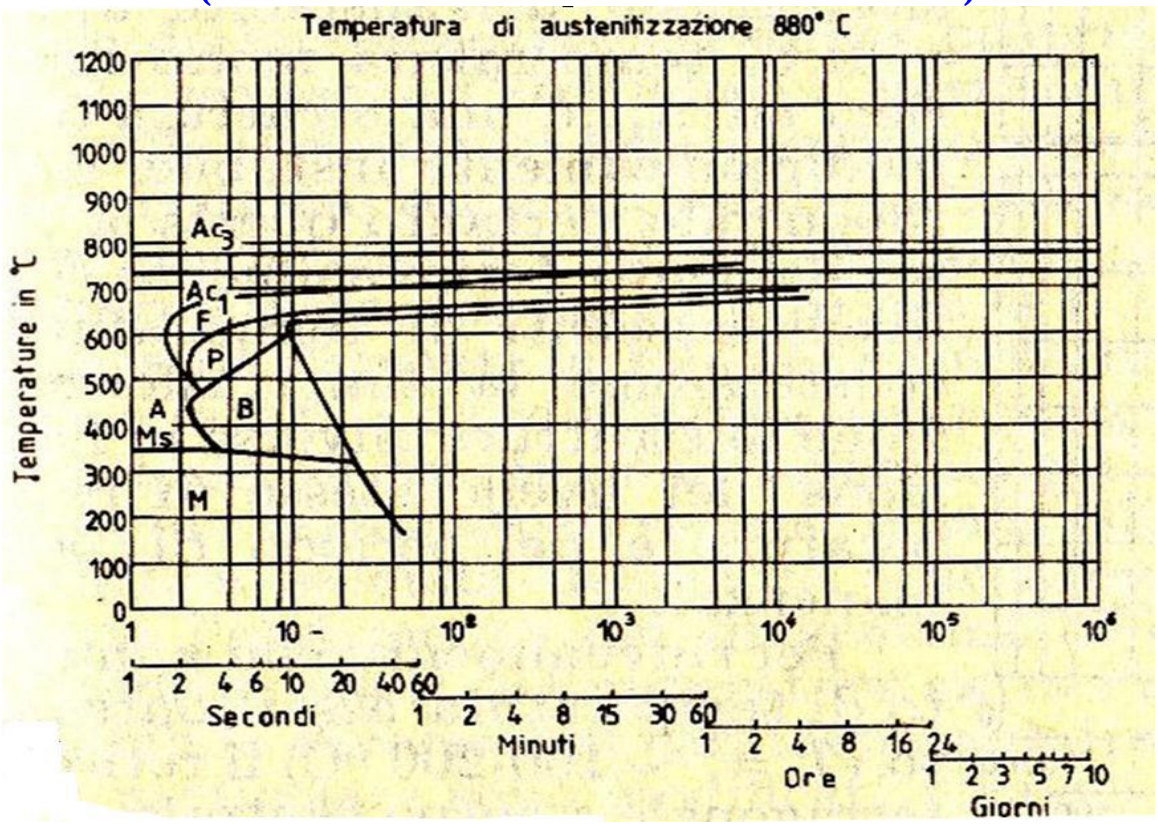
5. TEMPRA

La tempra è un trattamento termico col quale sì consegue, nell'acciaio, un aumento della durezza e conseguentemente dalla resistenza a trazione (un abbassamento dell'allungamento percentuale, e della resilienza). Consiste in:

- un *riscaldamento* ad una opportuna temperatura, detta di austenitizzazione (dipende dagli elementi in lega e dalle relative percentuali)
-
- una *permanenza* ad elevata temperatura per il tempo necessario perché avvenga la completa austenitizzazione in tutta la massa (una permanenza eccessiva potrebbe provocare l'ingrossamento del grano con conseguente aumento della fragilità dell'acciaio).
-
- Un *raffreddamento* tanto più veloce quanto meno elementi ci sono in lega (v. curve di Bain)



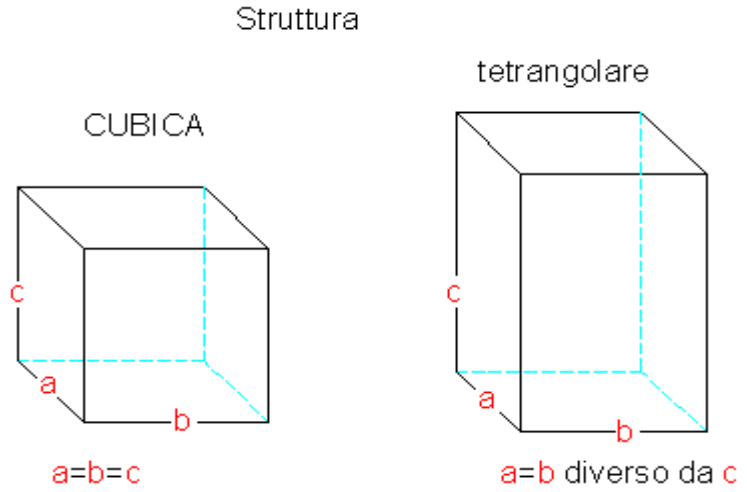
Curve TRC (Trasformazione con Raffreddamento Continuo) –C45



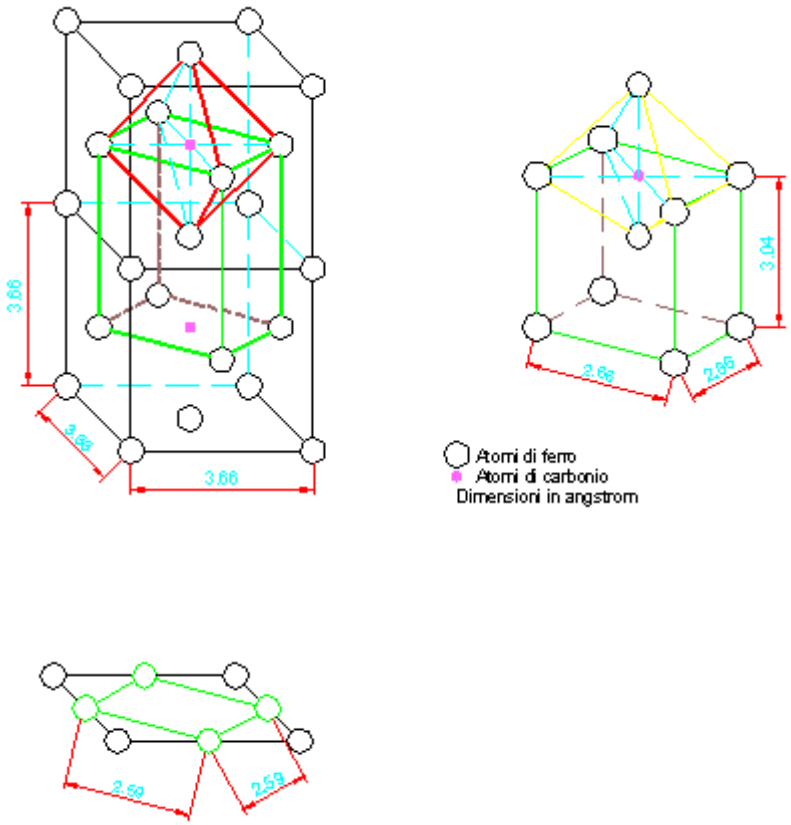
Il brusco raffreddamento blocca la fuoriuscita del carbonio della cella elementare CFC dell'austenite quando questa si trasforma in CCC. La nuova cella elementare si troverà cosi con un contenuto di carbonio in eccesso rispetto alla sua condizione di equilibrio; la nuova struttura viene chiamata MARTENSITE.

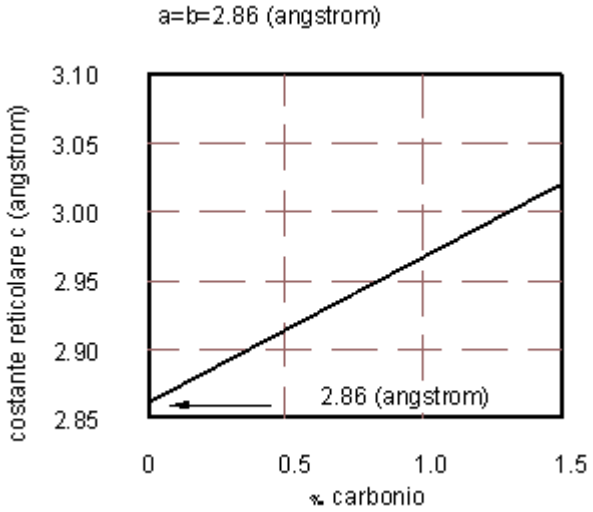
- **MARTENSITE**

LA martensite è, quindi, una soluzione metastabile, interstiziabile, soprasatura di carbonio (Fe_3C) nel ferro alfa; la struttura è tetrangolare (v. figura seguente), cioè un cubo deformato (a corpo centrato) nato non dalla deformazione (che presuppone un tempo finito, sia pur piccolo, per il cambiamento) ma allo scorrimento (ridimensionamento della cella) dei piani cristallografici (riassestamento praticamente istantaneo)

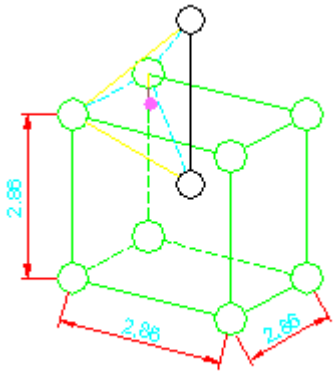


Osservando, di seguito, le caratteristiche geometriche della cella tetragonale della martenite si intuisce come la durezza sia una causa della **deformazione** delle calle elementari.
La figura seguente mostra la formazione della martensite dove la struttura cristallina presenta un reticolo TETRANGOLARE e a corpo centrato; nella cella l'atomo di carbonio si trova in posizione interstiziale con disposizione OTTAEDRICA (materiale alfa). La costante reticolare c (lato verticale) è funzione del contenuto di carbonio (v. diagramma).





Riscaldando anche a temperature limitate (± 100°C) la martensite tetrangolare tende a trasformarsi in materiale c.c.c.; in questa nuova fase l'atomo di carbonio interstiziale assume la disposizione **TETRAEDRICA** (*martensite rinvenuta*).



Martensite rinvenuta (100 °C)

- SCELTE OPERATIVE PER LA TEMPRA:

Materiale dei PROVINI
C50 UNI 5332-64

Caratteristiche dei materiali secondo la Acciai CIAS Bologna

Designazione UNI	Analisi chimica relativa		
	C	Mn	Si
C40	0,37	0,50	0,15
	0,44	0,80	0,40
C50	0,47	0,60	0,15
	0,55	0,90	0,15

Designazione UNI	Caratteristiche meccaniche				
	Stato del materiale	R	Rs min	A% min	KCU min (Nm/cm^2)
C40	Naturale	≤75	-	-	-
	Ricotto	≤65	-	-	-
	Normale	58 ÷ 73	33	18	20
	Bonifica	60 ÷ 86	38	16	20
C50	Naturale	≤85	-	-	-
	Ricotto	≤75	-	-	-
	Normale	64 ÷ 80	36	16	15
	Bonifica	69 ÷ 90	45	13	15

Designazione UNI	Trattamento Termico (temperatura °C) –da CIAS e man. P.I.				
	Fucinatura	Normalizzazione	Ricottura (HB)	Tempra	Rinvenimento
C40	850 ÷ 1100	840 ÷ 870	650 ÷ 700 (220)	830 ÷ 850 acqua	550 ÷ 650
C50	850 ÷ 1050	830 ÷ 860	650 ÷ 700	820 ÷ 840 acqua 830 ÷ 850 olio	550 ÷ 650

La temperatura di Austenitizzazione

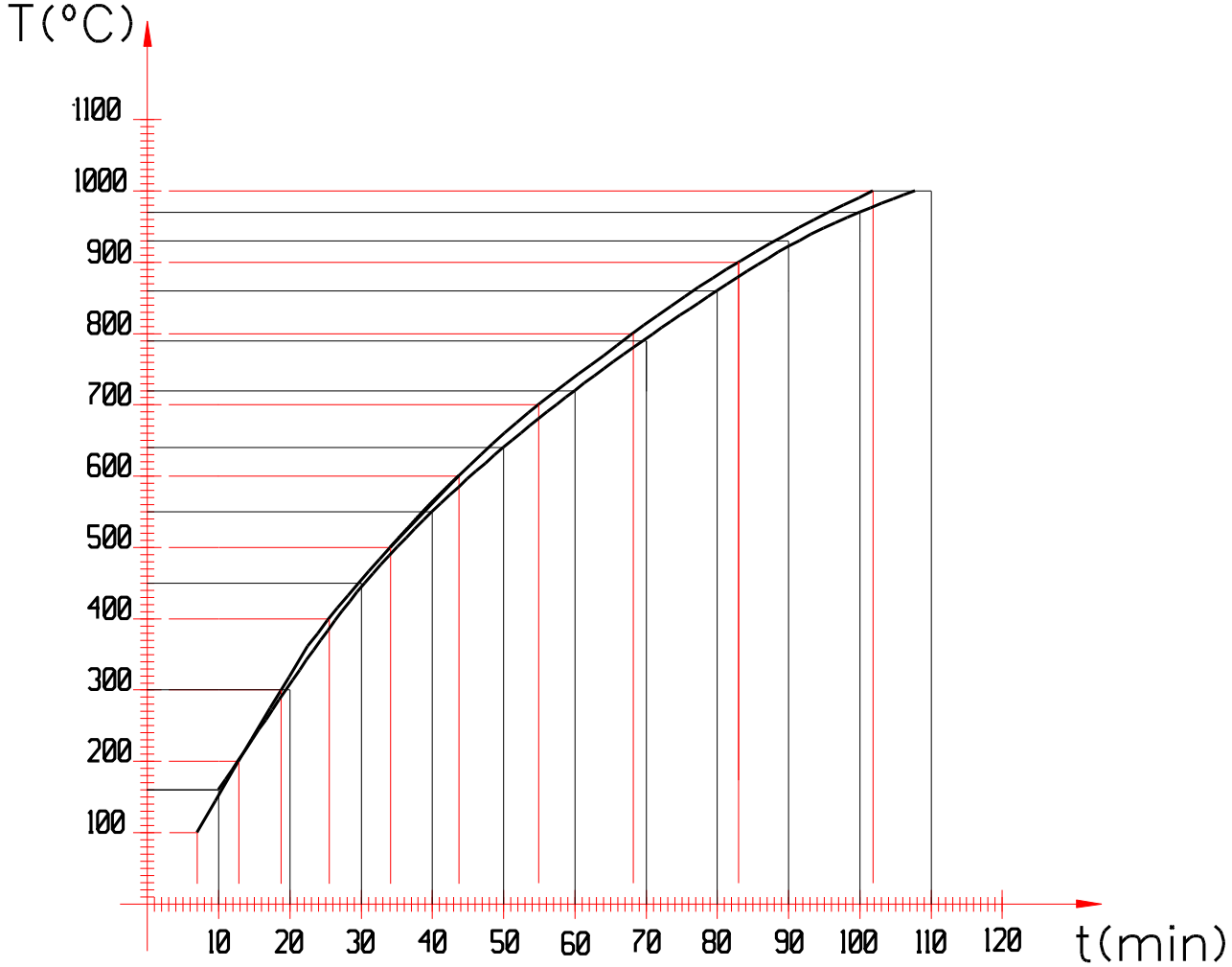
Riportiamo anche una tabella con i valori consigliati della temperatura da raggiungere e mantenere per l' austenitizzazione degli acciai al carbonio prima del brusco raffreddamento nel trattamento termico di tempra. Dopo aver analizzato i dati della tabella precedente, di quella sotto riportata e confrontati con il diagramma Fe-C si ritiene che per il C50 possa essere adattata la T = 830 (°C)

Tenore di carbonio (%)	**0,4**	**0,6**	**0,8**	**1,2**
Temperatura di Austenitizzazione (°C)	**850**	**820**	**780**	**770**

La temperatura di austenitizzazione è circa 30 ÷ 50 (°C) sopra Ac_3 per gli acciai ipoeutettoidi e sopra Ac_1 (a volte anche sopra Ac_{cm}) per gli acciai ipereutettoidi (v. zona tratteggiata del diagramma Fe-C).

Riscaldamento in forno
Per non ossidare il provino, ed avere cosi un trattamento non uniforme, il **riscaldamento si può fare in bagni di sali fusi**, in atmosfera controllata con gas inerte, o introducendo nel forno carbone vegetale.

Tempo di riscaldamento del forno:
Per eseguire un trattamento termico si inizia con l'accendere un **forno**(generalmente) elettrico diverso tempo prima del suo utilizzo. È utile, pertanto, poter prevedere il tempo di riscaldamento per non sprecare tempo o energia inutilmente. A tale scopo si è costruito il grafico che segue riferito al forno elettrico in uso nel reparto, in Istituto, attrezzato per i trattamenti termici.
Il forno elettrico arriva alla temperatura T = 830 (°C) in circa 75 (minuti)

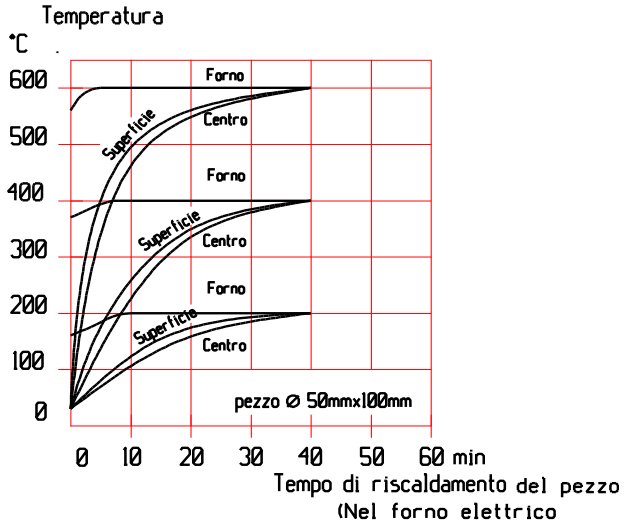


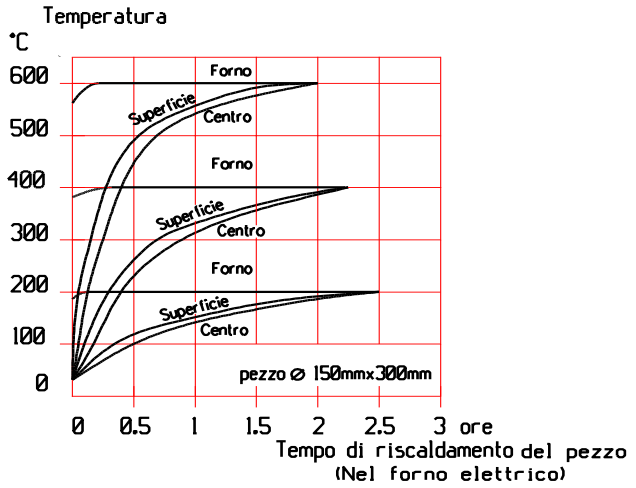
(CURVA SPERIMENTALE

Dimensione provini
25x25x19 (mm)

Tempo di riscaldamenti del provino

Anche la conoscenza del tempo necessario al provino (o il pezzo da trattare) per portarsi in temperatura è una delle necessità per l'esecuzione di un adeguato trattamento termico (un tempo eccessivo di permanenza ad elevata temperatura è spesso causa di ingrossamento del grano. Allo scopo vengono presentati di seguito due *diagrammi* (tratti dal manuale Perito Industriale).
In base alle dimensioni dei provini ed ai diagrammi citati si può ritenere sufficiente per portare in temperatura il C50 un tempo t_r =15 (minuti)





Manuale P.I.-ediz. Cremona-1995)

Tempo di permanenza del provino nel forno

Per un acciaio

1. 1 (minuto/mm) Secciani- Villani
2. 1(h/inch) Pasquinelli volume 2 (riscaldato compresso – indica il tempo totale di permanenza nel forno)

si assume un tempo di permanenza t_p =2 (minuti)

Mezzi de raffreddamento

La drasticità del mezzo del raffreddamento (velocità °C/sec) aumenta nel passare da: cenere, aria, olio, acqua, acqua con sale da cucina). Se l'acqua invece di essere a 20 (°C) è tiepida. 35 (°C), l'effetto della tempra è sensibilmente diverso.
Alcuni acciai legati, autotempranti, si preparano se lasciati raffreddare in aria.

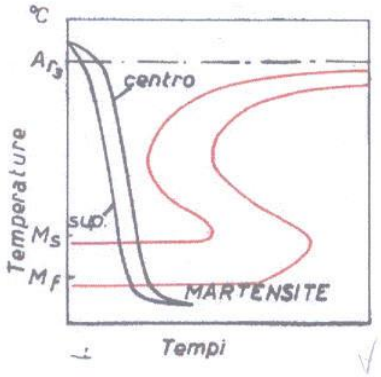
La reazione drasticità e diametro critico di tempra verrà trattata a parte (complessa)

Velocità di raffreddamento / Drasticità del mezzo reffreddante

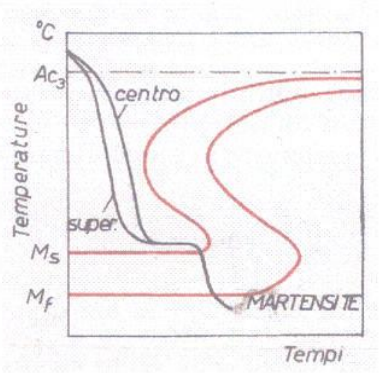
Le tabelle della SIAU, CIAS, manuale del P.I. consigliano per il raffreddamento del C50 sia l'acqua che (con temperatura di ustenitizzazione più alta) l'olio. Per la semplicità della forma del provino assumiamo come mezzo di raffreddamento l'acqua che consente un abbassamento di temperatura di V=300-400 (°C/secondo) sufficienti per superare il "ginocchio" della curva di Bain senza iniziare alcuna trasformazione (quando la V risulta maggiore della velocità critica V_r di raffreddamento).

Tipi di tempra

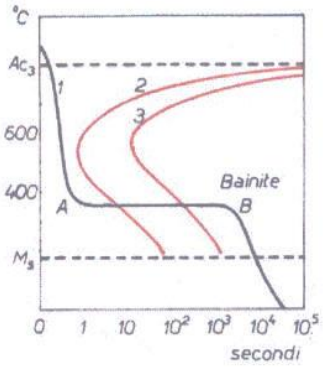
Tempra diretta



Tempra scalare martensitica (termale)



Tempra isotermica



Ciclo della tempra isotermica:

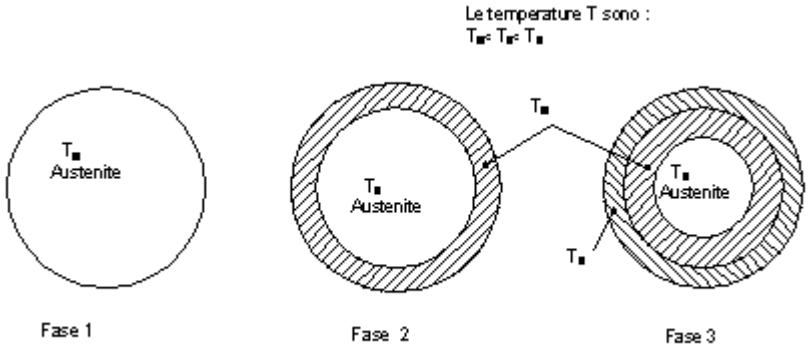
1. *Curva di raffreddamento*
2. *Curva d'inizio della trasformazione dell'austenite*
3. *Curva di fine trasformazione dell'austenite*

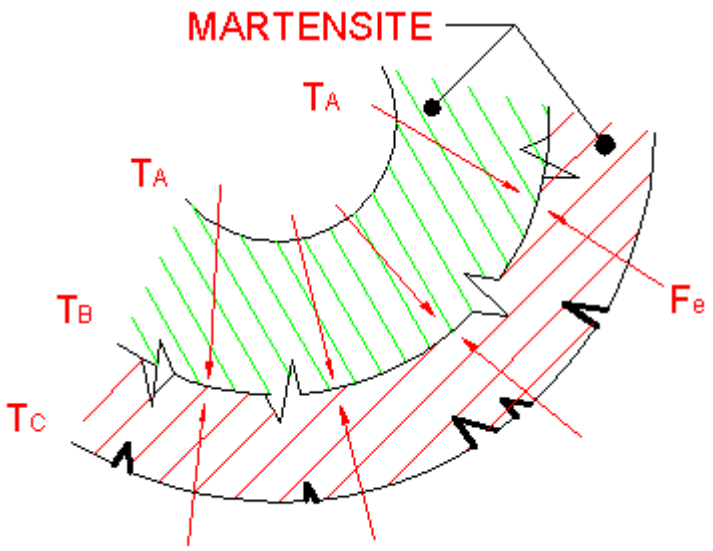
Trasformazione strutturali e tensioni nel provino

La trasformazione Austenite ($F_e\gamma \rightarrow F_e\alpha$ // c.f.c. $\rightarrow$c.c.c.) avviene con aumento di volume per cui, per non provocare la fessurazione del pezzo, alla tempra diretta è preferibile la tempra termale detta anche scalare martensitica.

Con la tempra isometrica si ottiene un struttura meno dura della mertensite, la bainite

Genesi delle tensioni interne (con la tempre diretta)





:Il pezzo si trova alla temperatura T_A ed è formato interamente da austenite.

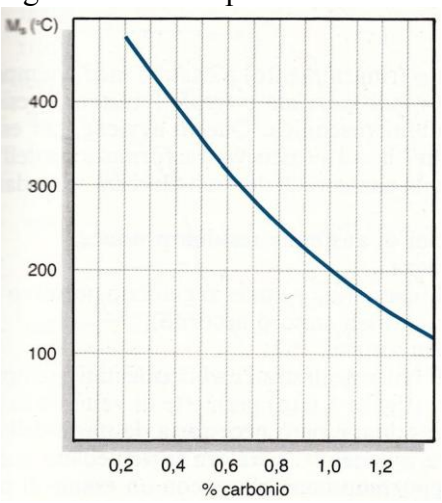
:con il raffreddamento, alla temperatura si forma una crosta superficiale di martensite dura e fragile; la trasformazione avviene con aumento di volume.

:proseguendo con il raffreddamento, la superficie del pezzo diminuisce la propria temperatura al valore T_c **concentrandosi** mentre la parte subito sottostante si ferma anch'essa in martensite alla temperatura **espandendosi**; sotto le forze esterne Fe di compressione che si oppongono alle forze interne di espansione lo stato tensionale può raggiungere, nel materiale, valori tanto elevati da provocare fessurazioni anche estese.

Tempra M_s di inizio lavorazione della martensite

Questo dato, in particolare, può essere utile per l'asecuzione della tempra isotermica e della tempra termale per fermarsi col raffreddamento qualche grado sopra M_s (in bagni di qualsiasi fusi).
La determinazione di M_s può avvenire sia per via grafica sia con l'uso di formule empiriche

Graficamente:
nel diagramma sotto riportato si nota l'influenza della % di carbonio sul valore di M_s



Analiticamente:
il valore di M_s per un acciaio può essere approssimativamente calcolato mediamente la formula di Grange e Steward:

- M_s (°C) = 540 – (361· %Mn) – (39 · %Mn) – (20 · %Ni) – (39 · % Cr) – (28 · %Mo)
  [valida per C $\leq$ 0,85%, Cr $\leq$ 1,5 %, Mo $\leq$ 1,0 %]

Altre formule empiriche consentono di calcolare il valore di M_f (molto meno importanre di M_s).

- M_f (°C) = 462 – (456· %C) – (39 · %Mn) – (20 · %Ni) – (39 · % Cr) – (28 · %Mo)

Formule [semplici ma meno precisa (?) della precedente] di *Stevens* e *Haynes:*

- $M_f = M_s - 215$

Da queste due ultime formule si nota che quando l'acciaio ha % importanti di elementi in lega la temperatura M_f può andare sotto gli 0 (°C) per cui si renderebbe necessario un criotrattamento per eliminare l'austenite residua convertendola in martensite

Secondo il lucchesi:

- Per gli acciai ipoeutettoidi, C$\leq$ 0,10 %, M_s ~500 (°C)
- Per gli acciai eutettoidi, C$\leq$ 0,87 %, M_s ~220 (°C)
- Per gli acciai ipoeutettoidi, C> 0,87 %, M_s $\leq$150 (°C)

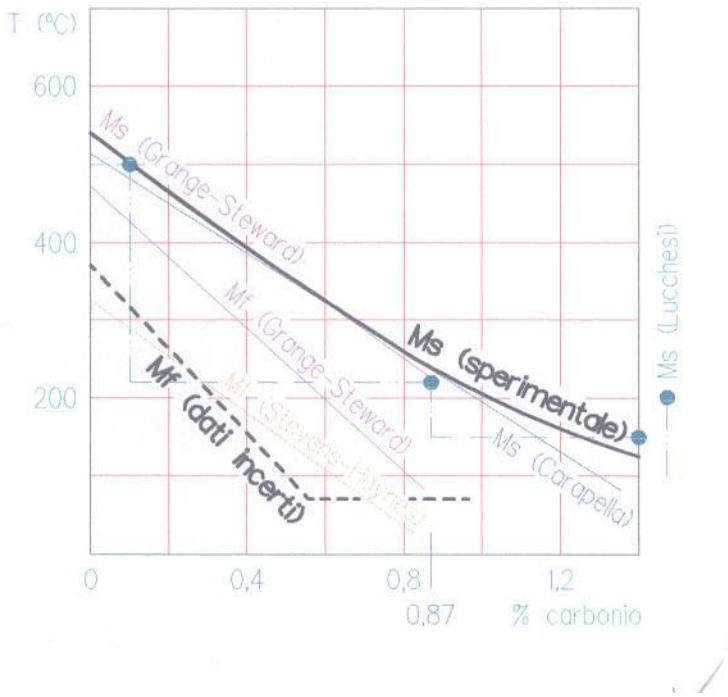
L'abbassamento della temperatura alla quale fa la sua comparsa la martensite si spiega con l'inerzia offerta dagli elementi in lega e del carbonio in particolare.

Carapella suggerisce la seguente relazione:

$$M_s(°C) = 514 \cdot (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 .... \cdot K_8) - 18$$

$$K_1 = 1 - 0{,}620 \cdot \%C \qquad K_5 = 1 - 0{,}045 \cdot \%Ni$$
$$K_2 = 1 - 0{,}120 \cdot \%Co \qquad K_6 = 1 - 0{,}033 \cdot \%Si$$
$$K_3 = 1 - 0{,}092 \cdot \%Mn \qquad K_7 = 1 - 0{,}029 \cdot \%Mo$$
$$K_1 = 1 - 0{,}620 \cdot \%C \qquad K_8 = 1 - 0{,}013 \cdot \%W$$

Rappresentazione grafica delle formule proposte
Nel grafico che segue si può rilevare anche il valore di M_f (temperatura di fine formazione della martensite) e si possono trovare utili spunti della rappresentazione delle rappresentazioni analitiche sopra riportate (i diagrammi sono stati ottenuti considerando la sola variabile C)



Attitudine della Tempra

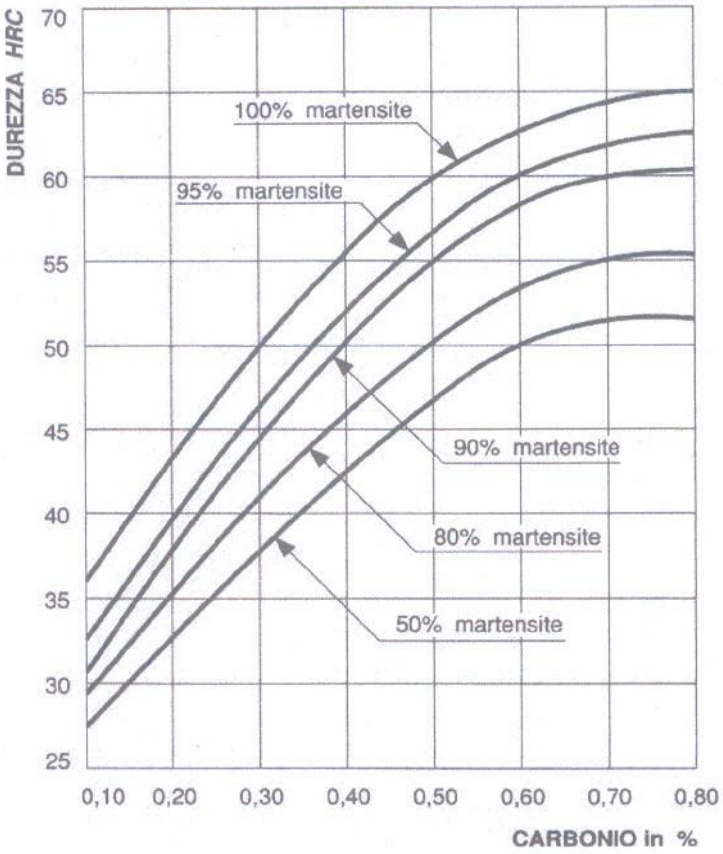
È definita dalla:

- Intensità dell'indurimento che è funzione della percentuale di elementi in lega (principalmente del carbonio) e dalla % di martensite ottenuta. È espressa dalla massima durezza ottenuta (Caratteristica 1).

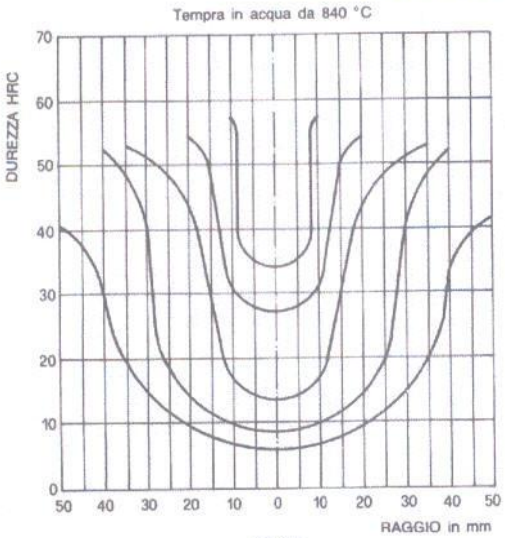
- **Penetrazione di tempra (temprabilità)** che dipende in particolare dagli elementi in lega (molto meno della % di carbonio). È caratterizzata dalla U poco accentuata dalle curve di durezza in regolazione al raggio del provino temprato (caratteristica 2).

Le due caratteristiche dell'attitudine alla tempra sono illustrate dalle curve sotto riportate.

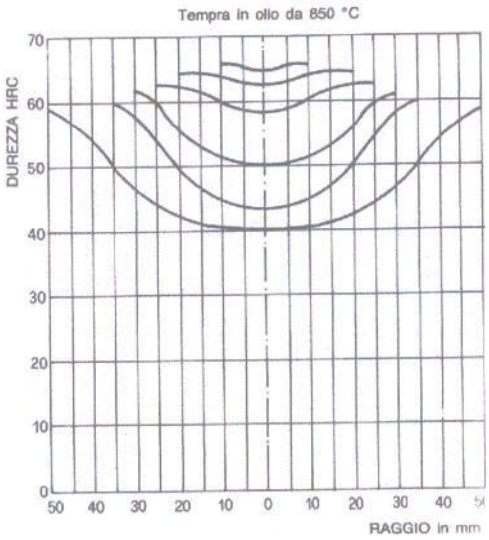
Caratteristica 1



Caratteristica 2

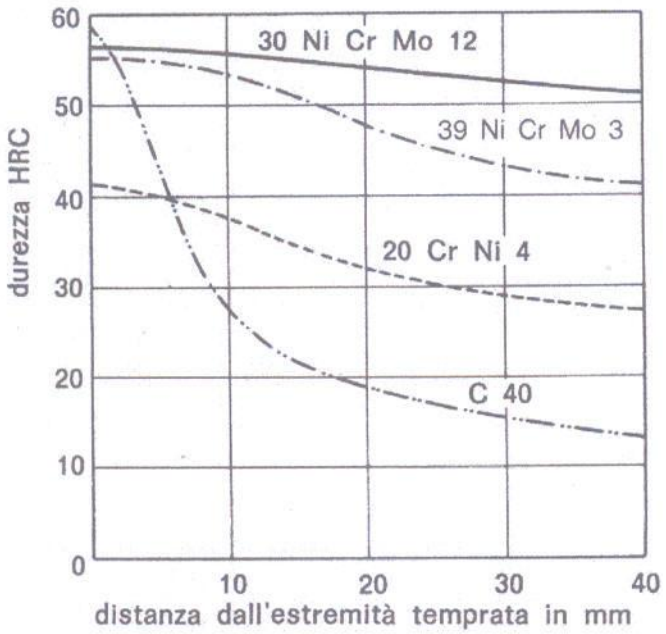


C40



100 Cr Mo 4

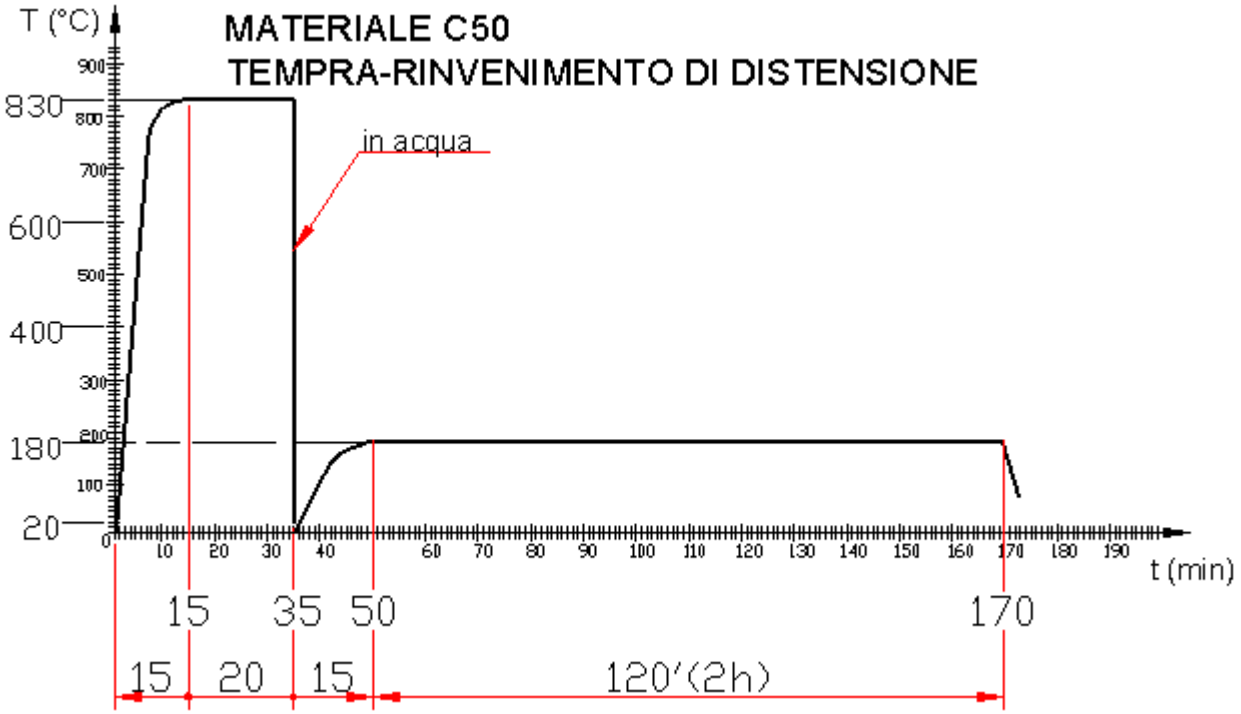
Curve Jominy e attitudine alla tempra



Come si vede il C40 è sicuramente migliore rispetto agli altri acciai del grafico per quanto riguarda la caratteristica 1 dell'attitudine alla Tempra mentre per quanto espresso dalla caratteristica 2 la performance del 30 Ni Cr Mo 12 è evidente.

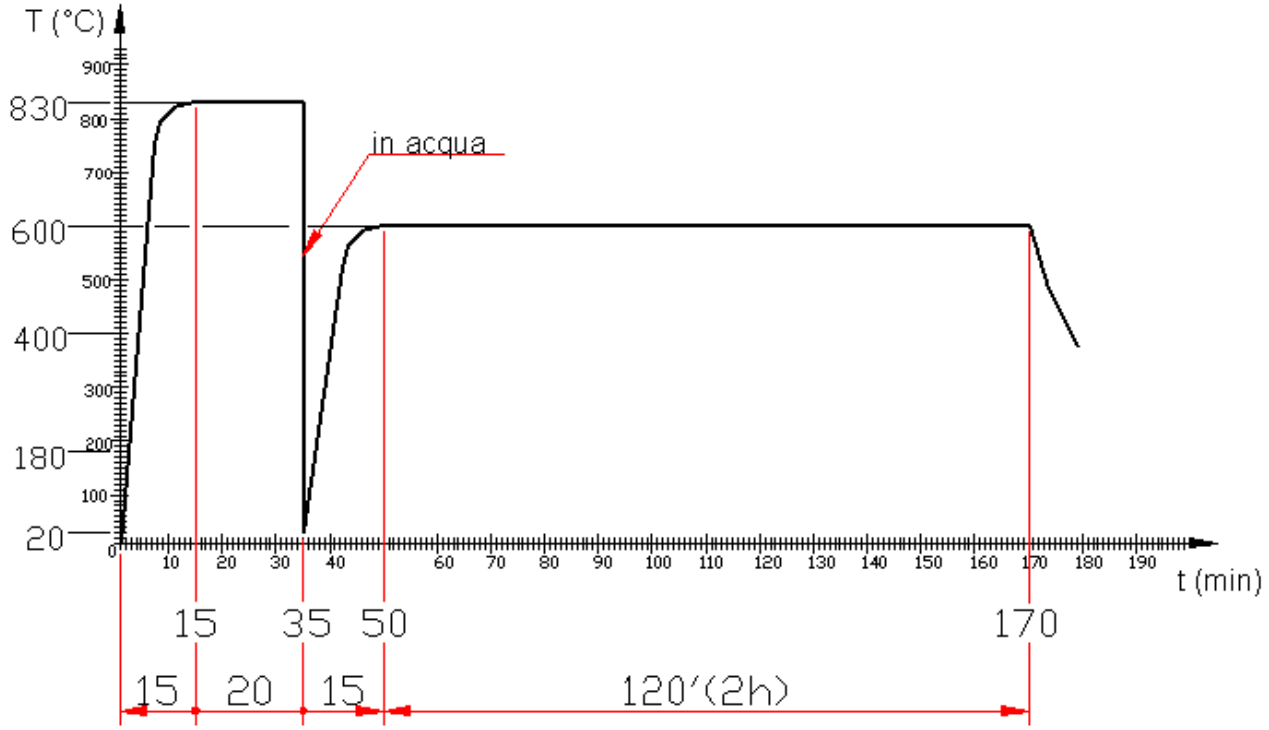
Dato che la durezza diminuisce procedendo dall'esterno verso l'interno del pezzo le case produttrici degli acciai danno come DIAMETRO CRITICO (o TEMPRABILE) il max diametro oltre il quale con la tempra otteniamo, NEL CUORE del pezzo, una percentuale di martensite inferiore al 50 %.

Diagrammi T-t per la TEMPRA (con RINVENIMENTO di distensione)

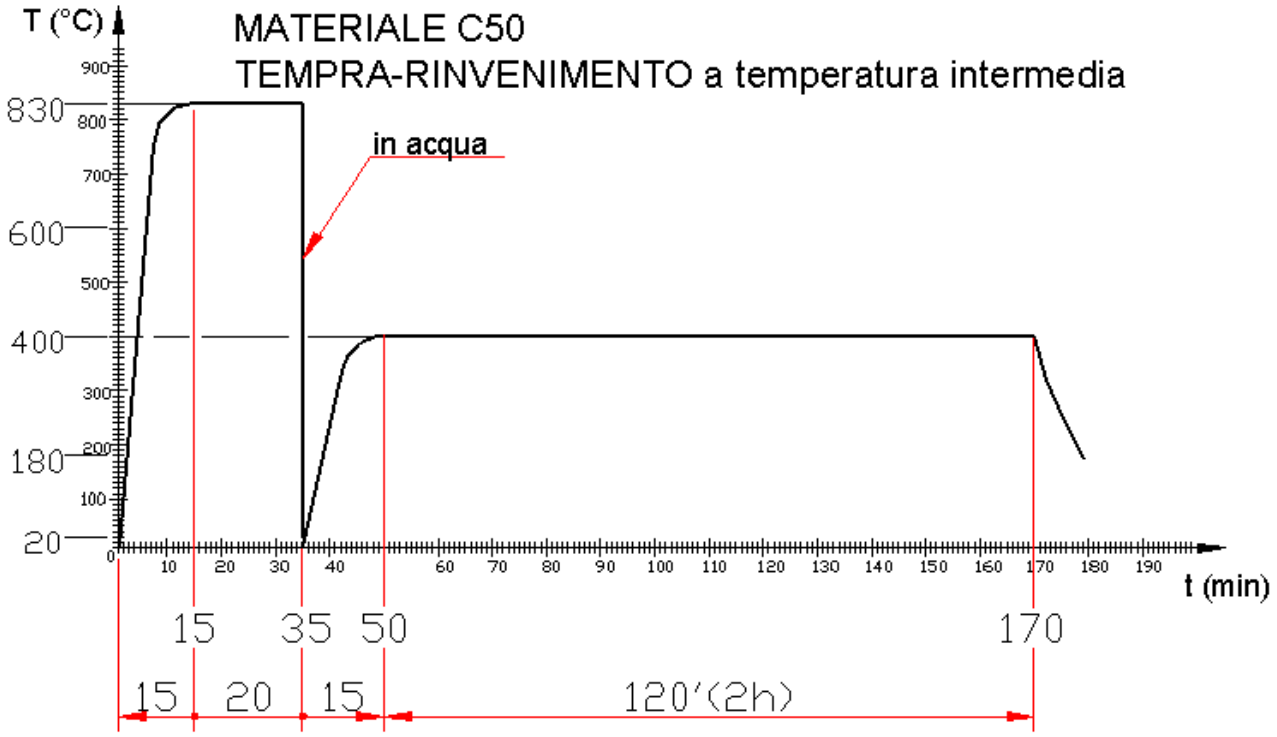


Diagrammi T-t per la BONIFICA (con RINVENIMENTO a 600 °C)

MATERIALE C 50 BONIFICA (TEMPRA-RINVENIMENTO ad alta temperatura)

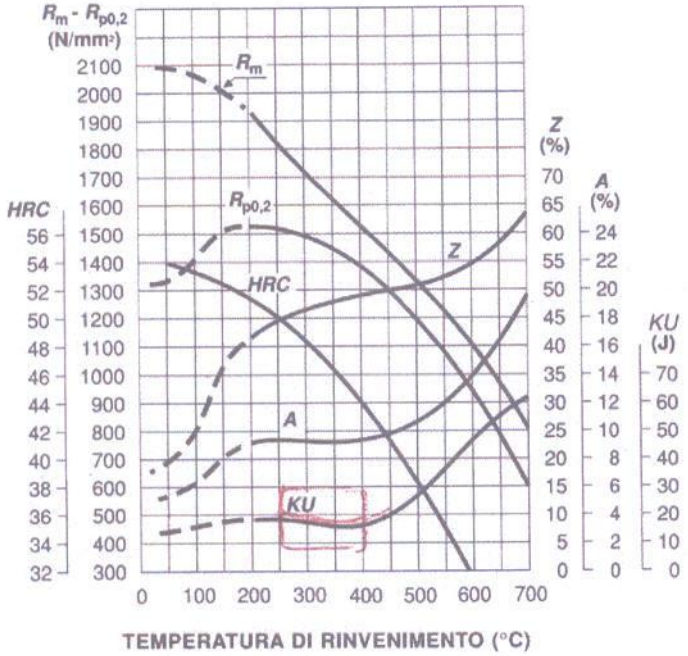


Diagrammi T-t per la TEMPRA (con RINVENIMENTO a temperatura di test)



6. RINVENIMENTO

Temperatura di rinvenimento Tr
La temperatura di rinvenimento è sempre inferiore al punto Acl (721°C)
Riferimento di distensione (viene normalmente eseguito dopo una tempra; in particolare per acciai al carbonio da utensili) fra 150 ÷ 180 (°C), comunque inferiore ai 200 (°C).
Per la bonifica Tr = 550 ÷ 650 (°C) – la scelta dell'intervallo di temperatura si oper in modo da rendere massimo il rapporto R*K (resistenza a trazione per la resilienza)
Per gli acciai al Ni-Cr evitare i 250 ÷ 450(°C) per la fragilità da rinvenimento (Fig. R1).
Si evita la diminuzione di resilienza se si aggiunge l molibdeno . Alcuni acciai speciali da utensili aumentano la loro durezza se rinvenuti a 550(°C) (Fig. R2). L'aumento di durezza è dovuto all'indurimento secondario (precisazione di carburi) e/o trasformazione dell'astenite residua (v. acciai autotempranti e criotrattamento).



Diametro della provetta 10 mm	Tempra in olio 840 °C	Permanenza di rinvenimento 1 ora

Fig. R1

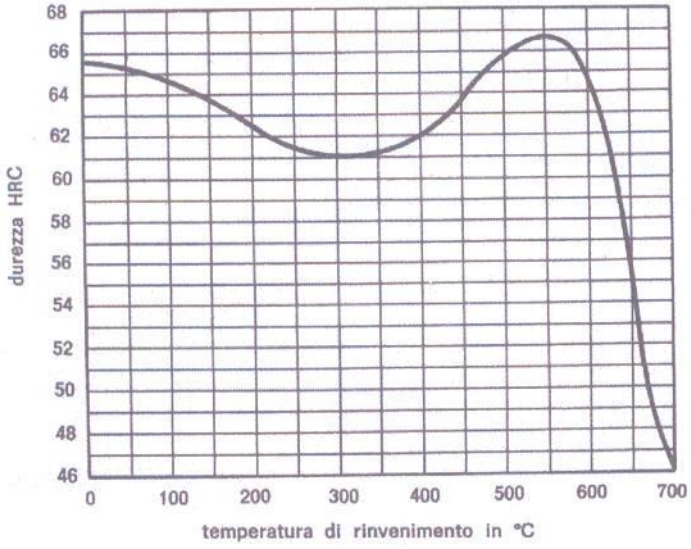


Fig. R2

Struttura da rinvenimento

Si ha la martensite rinvenuta sotto i 300 (°C) e la sorbite per temperature di 500(°C)

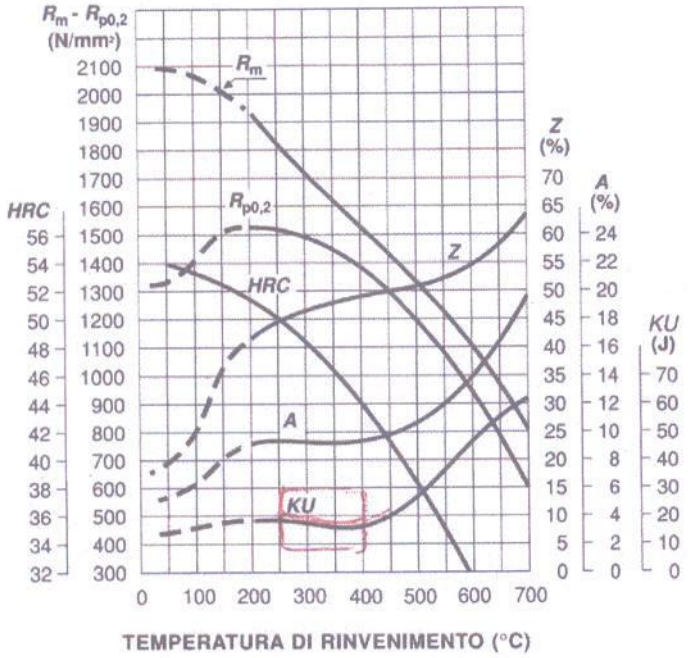
Tempo di permanenza del provino:
La permanenza alla temperatura di rinvenimento dovrebbe essere inferiore alle 2 ore. A titolo informativo riportiamo l'effetto sulla resistenza alla trazione mediamente riscontrato sull'acciaio 39NiCrMo[3] temprato e rinvenuto a 600°C per tempi variabili da 30 minuti a 10 ore, espresso in incrementi positivi o negatrivi, ponendo uguale a zetro lòa resistenza ottenuta dopo 2 ore.

Durata rinvenimento	30′	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h	7^h	10^h
$Б_R$ (N/mm^2)	+70	+30	0	-20	-35	-45	-60	-80

Questi valori possono essere ritenuti validi, con buona approssimazione, per quasi tutto i tipi di acciai da bonifica.

7. DATI ATTESI

Diagramma di rinvenimento del C40



Diametro della provetta 10 mm	Tempra in olio 840 °C	Permanenza di rinvenimento 1 ora

Fig. R1

secondo i diagrammi della IMI I.p.A.) per estrapolazione del C40 e del C45

C40

Normativa di riferimento UNI EN 10083-1
Reference Standard UNI EN 10083-1

IMS S.p.A.
acciai speciali

Corrispondenze
Comparable standards

SIAU	DIN	W.N.	AFNOR	BS	AISI/SAE
C4	CK40	1.1186	XC42	(060A42)	(1042)

Composizione
Chemical analysis

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cr+Mo+Ni
C40E C40R	.37÷.44	≤.40	.50÷.80	≤.035	≤.035 .020÷.040	≤.40	≤.10	≤.40	≤.63

Temperature per la lavorazione a caldo ed il trattamento termico
Hot work and heat treatment temperatures

Punti critici *Critical points*	Fucinatura *Forging*	Normalizzazione *Normalization*	Ricottura subcritica *Subcritical annealing*	Ricottura isotermica *Isothermal annealing*	Tempra *Hardening*	Rinvenimento *Tempering*
Ac_1 730* Ac_3 780* M_s 360*	1100÷850*	850÷890	650÷700*	840÷880 ↓ 660x1h*	830÷870 acqua/*water*	550÷660

* Dati non previsti dalla norma

Caratteristiche meccaniche laminati UNI EN 10083 / ***Hot rolled bars mechanical properties UNI EN 10083***

Stato *Condition*	Saggio Ø mm. *Specimen Ø mm.*	Re min. N/mm²	Rm N/mm²	A min. %	Z min. %	KV min. J	Durezze HB allo stato *HB hardness in the following conditions*	
Bonificato *Hardened and tempered*	d≤16	460	650÷800	16	35	30	Trattato per attitudine al taglio *	≤ 250
	16< d≤40	400	630÷780	18	40	30	Ricotto addolcito*	≤ 210
	40< d≤100	350	600÷750	19	45	30	Ricotto globulare*	≤ 180
Normalizzato *Normalized*	d≤16	320	≥580	16	-	-		
	40< d≤100	290	≥550	17	-	-		
	40< d≤250	260	≥530	17	-	-		

Caratteristiche meccaniche forgiati UNI EN 10250-2 / ***Forged bars mechanical properties UNI EN 10250-2***

Stato *Condition*	Saggio Ø mm. *Specimen Ø mm.*	Re min. N/mm²	Rm N/mm²	A min. %	Z min. %	KV min. J
Normalizzato *Normalized*	d≤100	290	≥550	17	-	-
	100< d≤250	260	≥530	17	-	-

Temprabilità
Hardenability

HRC / % Martensite		Diametro temprabile mm. / *Hardenable diameter mm.*	
90%	50%	olio/*oil*	acqua/*water*
53	42	-	25

C45

Normativa di riferimento UNI EN 10083-1
Reference Standard UNI EN 10083-1

IMS S.p.A.
acciai speciali

Corrispondenze
Comparable standards

SIAU	DIN	W.N.	AFNOR	BS	AISI/SAE
-	CK45	1.1191	(XC48)	(080M46)	-

Composizione
Chemical analysis

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cr+Mo+Ni
C45E C45R	.42÷.50	≤.40	.50÷.80	≤.035	≤.035 .020÷.040	≤.40	≤.10	≤.40	≤.63

Temperature per la lavorazione a caldo ed il trattamento termico
Hot work and heat treatment temperatures

Punti critici *Critical points*	Fucinatura *Forging*	Normalizzazione *Normalization*	Ricottura subcritica *Subcritical annealing*	Ricottura isotermica *Isothermal annealing*	Tempra *Hardening*	Rinvenimento *Tempering*
Ac_1 730* Ac_3 770* Ms 340*	1100÷850*	840÷880	650÷700*	820÷860 ↓ 600x1h*	820÷860 acqua/*water*	550÷660

* Dati non previsti dalla norma

Caratteristiche meccaniche laminati UNI EN 10083 / ***Hot rolled bars mechanical properties UNI EN 10083***

Stato *Condition*	Saggio Ø mm. *Specimen Ø mm.*	Re min. N/mm²	Rm N/mm²	A min. %	Z min. %	KV min. J
Bonificato *Hardened and tempered*	d≤16	490	700÷850	14	35	25
	16<d≤40	430	650÷800	16	40	25
	40<d≤100	370	630÷780	17	45	25
Normalizzato *Normalized*	d≤16	340	≥620	14	-	-
	16<d≤100	305	≥580	16	-	-
	100<d≤250	275	≥560	16	-	-

Durezze HB allo stato *HB hardness in the following conditions*	
Trattato per attitudine al taglio	≤ 255
Ricotto addolcito	≤ 207
Ricotto globulare*	≤ 188

Caratteristiche meccaniche forgiati UNI EN 10250-2 / ***Forged bars mechanical properties UNI EN 10250-2***

Stato *Condition*	Saggio Ø mm. *Specimen Ø mm.*	Re min. N/mm²	Rm N/mm²	A min. % l	A min. % t	KV min J l	KV min J t
Bonificato *Hardened and tempered*	d≤70	370	630	17		25	-
	70<d≤160	340	590	18	12	22	15
	160<d≤300	320	540	17	11	20	12
Normalizzato *Normalized*	d≤100	305	580	16		-	-
	100<d≤250	275	560	16	12	18	10
	250<d≤500	240	540	16	12	15	10
	500<d≤1000	230	530	15	11	12	10

Temprabilità
Hardenability

HRC / % Martensite		Diametro temprabile mm. / *Hardenable diameter mm.*	
90%	50%	olio/*oil*	acqua/*water*
55	45	-	30

8. DATI OTTENUTI

Provini/ tratt. Subito/ durezze rilevate/ tabelle rilevate con foto e file (parte ottenuta dagli aglievi)

9. considerazioni

…….in base ai dati attesi