



Corso di metallurgia e saldatura – Parte 2

“Classificazione degli acciai”

“Trattamenti termici degli acciai”



Move Forward with Confidence

**BUREAU
VERITAS**

L'ACCIAIO

L'acciaio è una lega ferro-carbonio in cui la percentuale di quest'ultimo elemento è variabile e raggiunge un valore massimo del 2,11%.

Al di sopra di tale percentuale e sino al 6,69% di C si parla di ghise.

Gli acciai, oltre al carbonio, contengono quantità variabili di altri elementi di lega (alliganti) come Cromo (Cr), Molibdeno (Mo), Manganese (Mn), Vanadio (V), Silicio (Si), Wolframio (W), Cobalto (Co), Nichel (Ni), Fosforo (P), Azoto (N), ecc. Questi elementi donano all'acciaio caratteristiche particolari e incidono fortemente sulle sue proprietà meccaniche.

Vediamo brevemente i principali effetti degli elementi di lega più comuni:

- ▶ **Carbonio (C)**: è l'elemento principale, il più importante. E' proprio grazie ad esso che l'acciaio può essere temprato, donandogli maggiore **durezza** e modificando profondamente la sua struttura le sue caratteristiche meccaniche. Dunque il carbonio **aumenta notevolmente la durezza** (grazie alla formazione di martensite e cementite), **la resistenza all'usura, resistenza a trazione e a flessione** ma **diminuisce la resilienza (resistenza all'urto), la resistenza all'ossidazione**.
- ▶ **Cromo (Cr)**: questo elemento è presente negli acciai in quantità estremamente variabili. La sua funzione principale è di **aumentare la resistenza all'ossidazione e a numerosi agenti corrosivi**, formando un sottilissimo strato protettivo (invisibile ad occhio nudo) sulla superficie dell'acciaio. Gli acciai con un contenuto di cromo superiore al 12% vengono detti inossidabili.
- ▶ **Manganese (Mn)**: Incrementa inoltre la penetrazione della tempra, la tenacità, la resistenza a trazione e all'usura migliora la deformabilità a caldo.
- ▶ **Molibdeno (Mo)**: questo elemento, formatore di carburi estremamente duri aumenta la durezza massima ottenibile grazie alla tempra, la resistenza all'usura, migliora la stabilità della pellicola protettiva formata dal cromo. Incrementa la durezza a caldo dell'acciaio dato che i carburi di tale elemento hanno un elevata resistenza alla coalescenza alle alte temperature.

Esistono dunque, a seconda della particolare composizione chimica, diverse categorie di acciai.

Acciai al carbonio:

Sono acciai con contenuto di elementi di lega estremamente variabile ma con contenuto di cromo inferiore dell'11%

Gli acciai al carbonio si possono dividere in:

1. Acciai non legati

Sono gli acciai più comunemente usati principalmente per scopi strutturali.

Rappresentano la categoria prodotta in maggiore quantità per usi generali e non di eccelsa qualità.

Sono caratterizzati dal fatto che vengono utilizzati senza trattamento termico o, in alcuni casi con una semplice normalizzazione.

Esempio di un acciaio al Carbonio : EN 10025 S275 JR (ex FE 360 B)

Dove S = acciaio strutturale (P = pressione) 275 = carico di snervamento

J = resilienza $\geq 27 J$ R = resilienza garantita a $+ 20^{\circ} C$

2. Acciai legati

Gli acciai legati a sua volta si suddividono in :

2.1 **bassolegati**

Ciascun elemento di lega che li costituisce ha una percentuale inferiore al 5%.

Troviamo solitamente acciai con contenuto di C variabile tra lo 0,4% circa e l'1,5% (anche se per saldabilità non si supera lo 0,25%) circa e bassissimo contenuto di cromo ed altri alliganti. Gli acciai bassolegati hanno:

- ▶ *scarsissima resistenza all'ossidazione e alla corrosione*
- ▶ *hanno buone doti meccaniche*
- ▶ *sono abbastanza semplici da temprare.*

Esempio di un acciaio al Carbonio bassolegato: Acciai al cromo-molibdeno

1 ¼ Cr, 2 ¼ Cr,

(ASTM A387 P11, ASTM A387 P22)

2.2 *Altolegati*

Elementi di lega con percentuale superiore al 5%.

Le caratteristiche possono essere molto diverse da acciaio ad acciaio, visto che la composizione può variare notevolmente. Per questo motivo è molto difficile fare un discorso generale sulle loro caratteristiche ed è buona norma analizzare singolarmente, a seconda dei casi, ogni singolo acciaio preso in esame.

Esempio : Acciaio INVAR (36% Ni) ed è noto perché ha un coefficiente di dilatazione termica estremamente ridotto

Acciai inossidabili

Gli acciai inox (o acciai inossidabili) sono leghe a base di ferro e carbonio che uniscono alle proprietà meccaniche tipiche degli acciai al carbonio caratteristiche peculiari di resistenza alla corrosione. Tali materiali devono la loro capacità di resistere alla corrosione alla presenza di elementi di lega, principalmente cromo, in grado di passivarsi, cioè di ricoprirsi di uno strato di ossidi invisibile, che protegge il metallo sottostante dall'azione degli agenti chimici esterni.

Il fenomeno della passivazione avviene per reazione del metallo con l'ambiente ossidante (aria, acqua, soluzioni varie, ecc). La natura dello strato passivante, formato essenzialmente da ossidi/idrossidi di cromo, è autocicatizzante e garantisce la protezione del metallo, anche se localmente si verificano abrasioni o asportazioni della pellicola.

Gli acciai inox si dividono tradizionalmente, secondo la loro microstruttura, in tre grandi famiglie:

- *Martensitici*
- *Ferritici*
- *Austenitici*

Oltre a queste tre categorie esistono anche gli inossidabili austeno-ferritici (duplex), il cui impiego è in forte ascesa

Acciai inossidabili martensitici:

Sono acciai con quantità di cromo superiori all'11% e contenuto di carbonio generalmente compreso tra lo 0,4% circa e il 2,1% circa. In questa "categoria" troviamo tutti gli acciai inossidabili che possono essere temprati

Alcuni esempi di acciai inossidabili martensitici: Aisi 420, 440 A, 440B, 440C.

Acciai inossidabili ferritici

*Come i precedenti, anche i gli **acciai ferritici** sono acciai inossidabili al solo cromo (variabile dall'11 al 30% circa).*

Questi acciai hanno buona resistenza meccanica ed alla corrosione.

Hanno un minor tenore di carbonio rispetto al martensitico. Un tipo particolarmente resistente al calore contiene il 26% di cromo. Altri elementi presenti sono il molibdeno, l'alluminio per aumentare la resistenza all'ossidazione a caldo, lo zolfo per facilitare la lavorabilità.

Le proprietà fondamentali sono: moderata resistenza alla corrosione che aumenta con la percentuale di cromo nonché con la introduzione in lega del molibdeno; è magnetizzabile; non è temprabile ed è da usare sempre dopo ricottura; la saldabilità è scarsa, in quanto il materiale che viene surriscaldato subisce l'ingrossamento del grano cristallino a causa del cromo.

Acciai inossidabili austenitici:

questi acciai hanno tenore di cromo compreso tra il 16% e il 30%, contenuto di nichel compreso tra il 6 e il 20% non che quantità di carbonio inferiori allo 0,1%.

Alcuni esempi di acciai inossidabili austenitici: AISI 316, 316L, AISI 304

La composizione base dell'acciaio inox austenitico è il 18% di Cr e l'8% di Ni, codificata in 18/8 (AISI 304). Una percentuale del 2-3% di molibdeno permette la formazione di carburi di molibdeno migliori rispetto a quelli di cromo e assicura una miglior resistenza alla corrosione dei cloruri (come l'acqua di mare e di sali disgelanti)(acciaio 18/8/3) (AISI 316). Il contenuto di carbonio è basso (0,08% max di C), ma esistono anche acciai inox austenitici dolci (0,03% di C max). L'acciaio inox austenitico può essere stabilizzato con titanio o niobio per evitare una forma di corrosione nell'area delle saldature. Considerando la notevole percentuale di componenti pregiati (Ni, Cr, Ti, Nb, Ta), gli acciai inox austenitici sono fra i più costosi tra gli acciai di uso comune.

Le proprietà fondamentali sono:

- Conservano la loro tenacità fino a temperature criogeniche (He liquido).*
- La dimensione dei grani, sensibilmente più elevata di quella degli acciai ferritici da costruzione, li rende resistenti allo scorrimento viscoso; di conseguenza fra gli acciai per costruzione di recipienti a pressione, sono quelli che possono essere utilizzati alle temperature più elevate (600 ° C).*

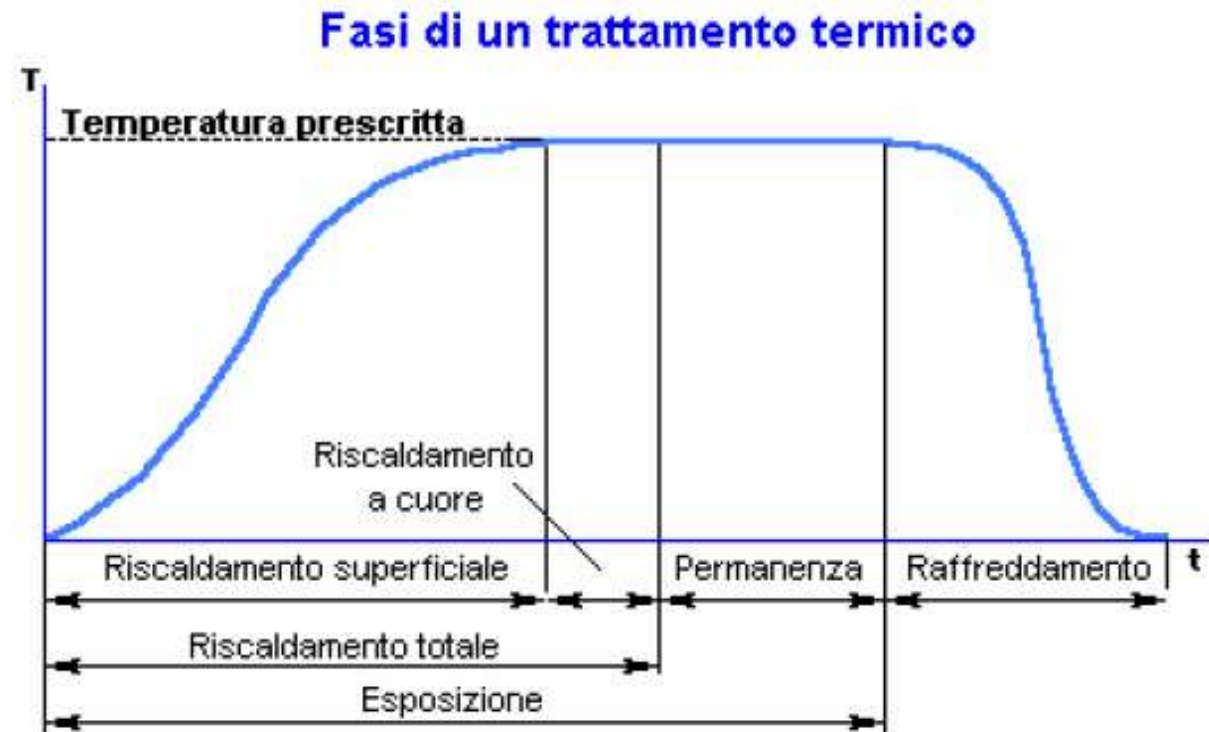
Rassegna dei trattamenti termici di interesse applicativo

- Ricottura
- Normalizzazione
- Tempra
- Bonifica
- Rinvenimento

I trattamenti termici sono dei processi cui viene sottoposto l'acciaio allo scopo di conferirgli particolari proprietà. Essi consistono in un riscaldamento e in un raffreddamento successivo, attuato secondo varie modalità, diverse da trattamento a trattamento.

Un generico trattamento termico si compone delle seguenti fasi:

- riscaldamento superficiale
- riscaldamento a cuore
- permanenza
- raffreddamento



Riscaldamento superficiale

Riscaldamento fino al raggiungimento della temperatura di trattamento voluta nella zona superficiale.

Riscaldamento a cuore

Riscaldamento fino al raggiungimento della temperatura di trattamento in tutta la sezione e quindi anche a cuore del pezzo.

Permanenza

Mantenimento della temperatura di trattamento su tutta la sezione del pezzo.

Raffreddamento

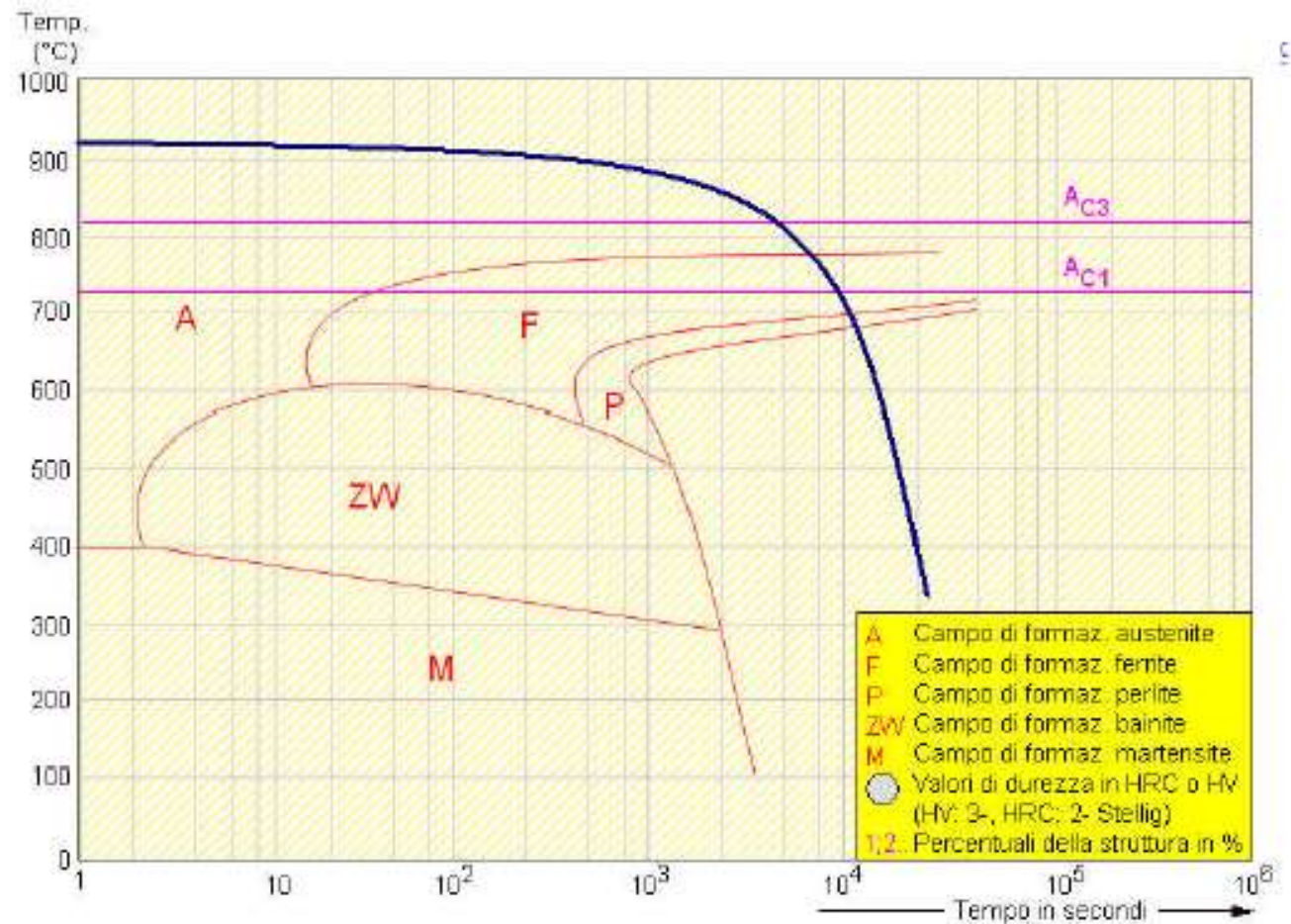
Diminuzione della temperatura di un pezzo.

RICOTTURA

È un trattamento termico che si realizza riscaldando il materiale sopra la temperatura A3 in modo da trasformare la struttura dell'acciaio in austenite. Si deve mantenere tale temperatura per fare in modo che la trasformazione austenitica interessi tutta la massa metallica.

Si fa poi seguire un raffreddamento lento in forno in modo da attraversare le linee A3 ed A1 in un tempo sufficientemente lungo per ottenere la completa separazione di ferrite e perlite.

Tale trattamento termico permette di cancellare le strutture di prima solidificazione che sono più fragili ed eliminare le tensioni interne conferendo maggiore deformabilità senza perdere in resistenza.

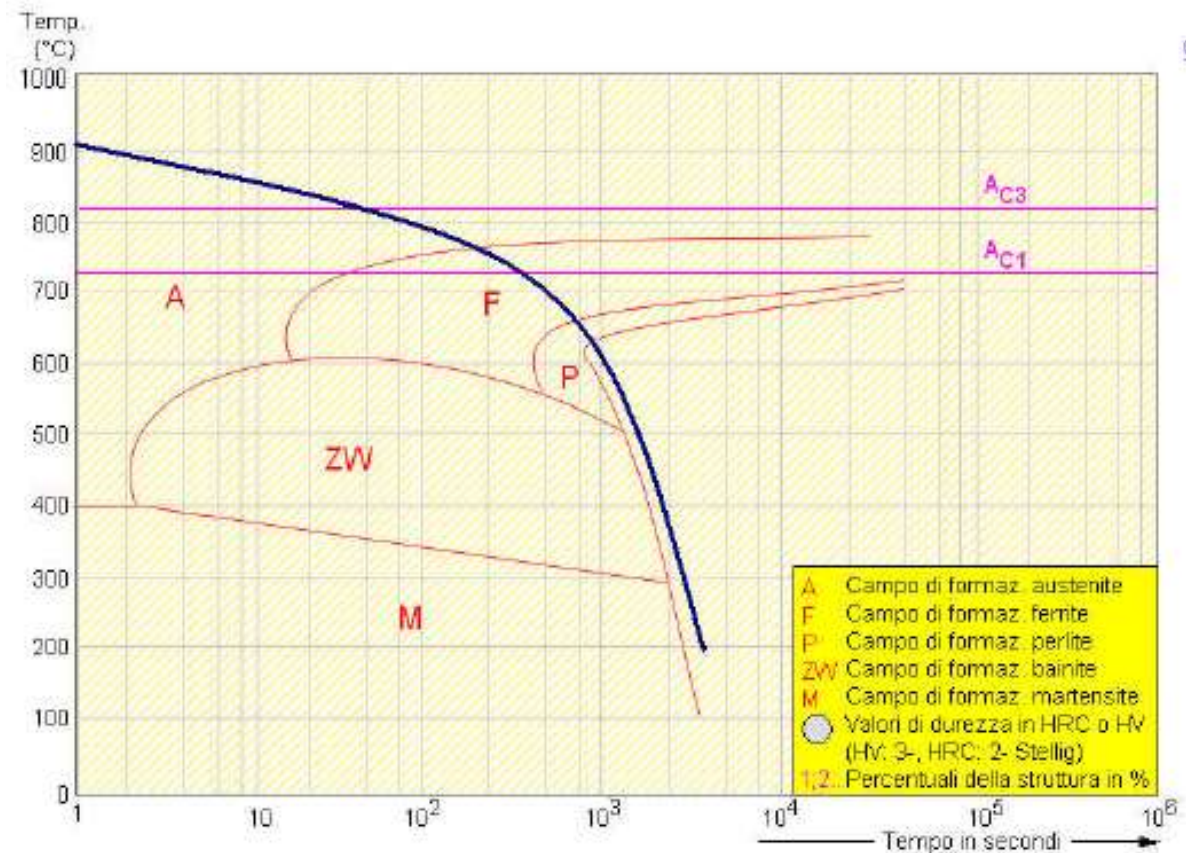


La normalizzazione è un trattamento termico che si differenzia dalla ricottura per la maggior velocità di raffreddamento.

Dopo la permanenza in campo austenitico, il pezzo viene raffreddato, anziché in forno, in aria tranquilla; l'intervallo A3 - A1 viene attraversato più rapidamente e ne deriva una struttura ferrite + perlite ancora di tipo granulare ma più fine.

La finezza del grano, tipica delle strutture normalizzate, come abbiamo visto conferisce al metallo in generale migliori proprietà meccaniche.

La normalizzazione ha anche lo scopo di trasformare una struttura disomogenea e grossolana in una struttura a grano fine ed omogenea.



Nelle figure che seguono sono esemplificati gli effetti della normalizzazione su un getto e su una lamiera.

Se però il tenore di C è piuttosto alto (oltre 0,30), il raffreddamento in aria può dar luogo ad incipienti fenomeni di tempra con sensibile peggioramento della duttilità; in questo caso si dovrà preferire la ricottura.



Fig. 61a – fuso allo stato grezzo

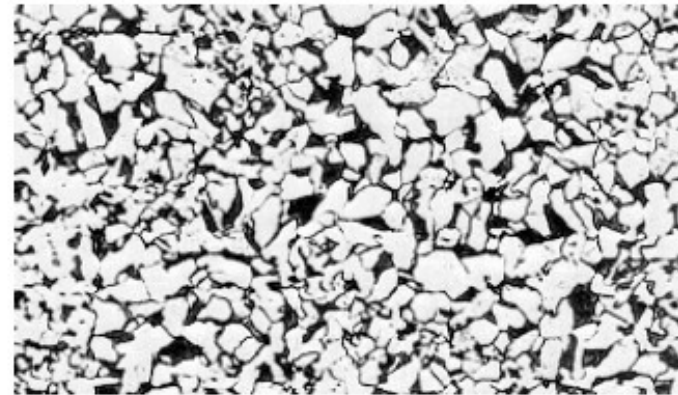


Fig. 61b fuso normalizzato

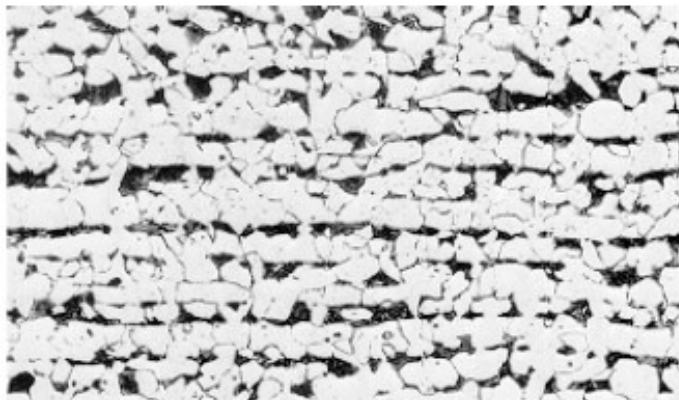


Fig. 62a – lamiera allo stato "as rolled"



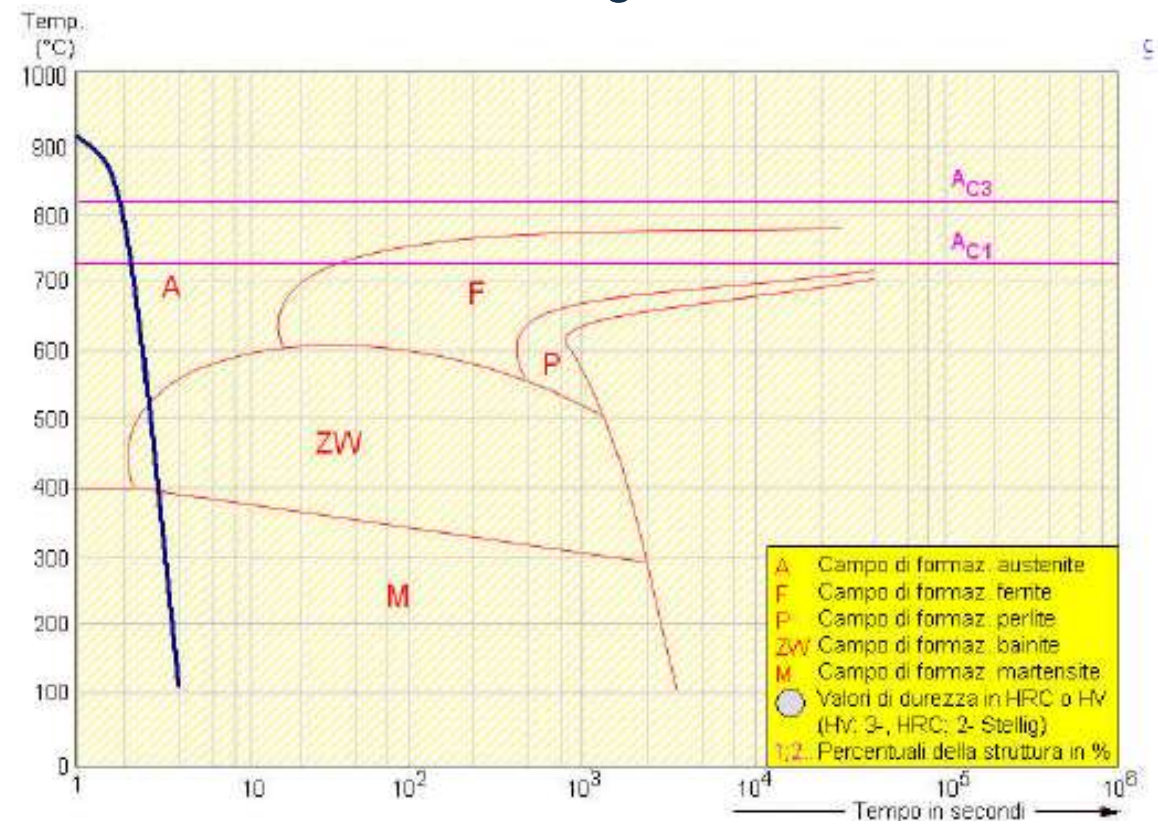
Fig. 62b lamiera normalizzata

La tempra è un trattamento termico che conferisce all'acciaio un grande aumento di durezza. Esso si realizza riscaldando il materiale ad una temperatura superiore ad A3 e facendo seguire un raffreddamento molto veloce in acqua o olio.

Il raffreddamento veloce non lascia il tempo per la trasformazione da austenite in ferrite/perlite e vengono a formarsi strutture bainitiche o, per velocità di raffreddamento molto elevate, strutture martensitiche dure e fragili.

I fattori di temprabilità', cioè gli elementi e le situazioni che favoriscono la tempra, sono molti:

- velocità di raffreddamento;
- percentuale di carbonio;
- presenza di elementi di lega;
- dimensioni dei grani;
- temperatura di austenitizzazione;
- presenza di elementi non disciolti;
- velocità di riscaldamento.



Oltre alla velocità di raffreddamento sono molto importanti anche altri fattori tra cui la percentuale di C e degli altri elementi di lega.

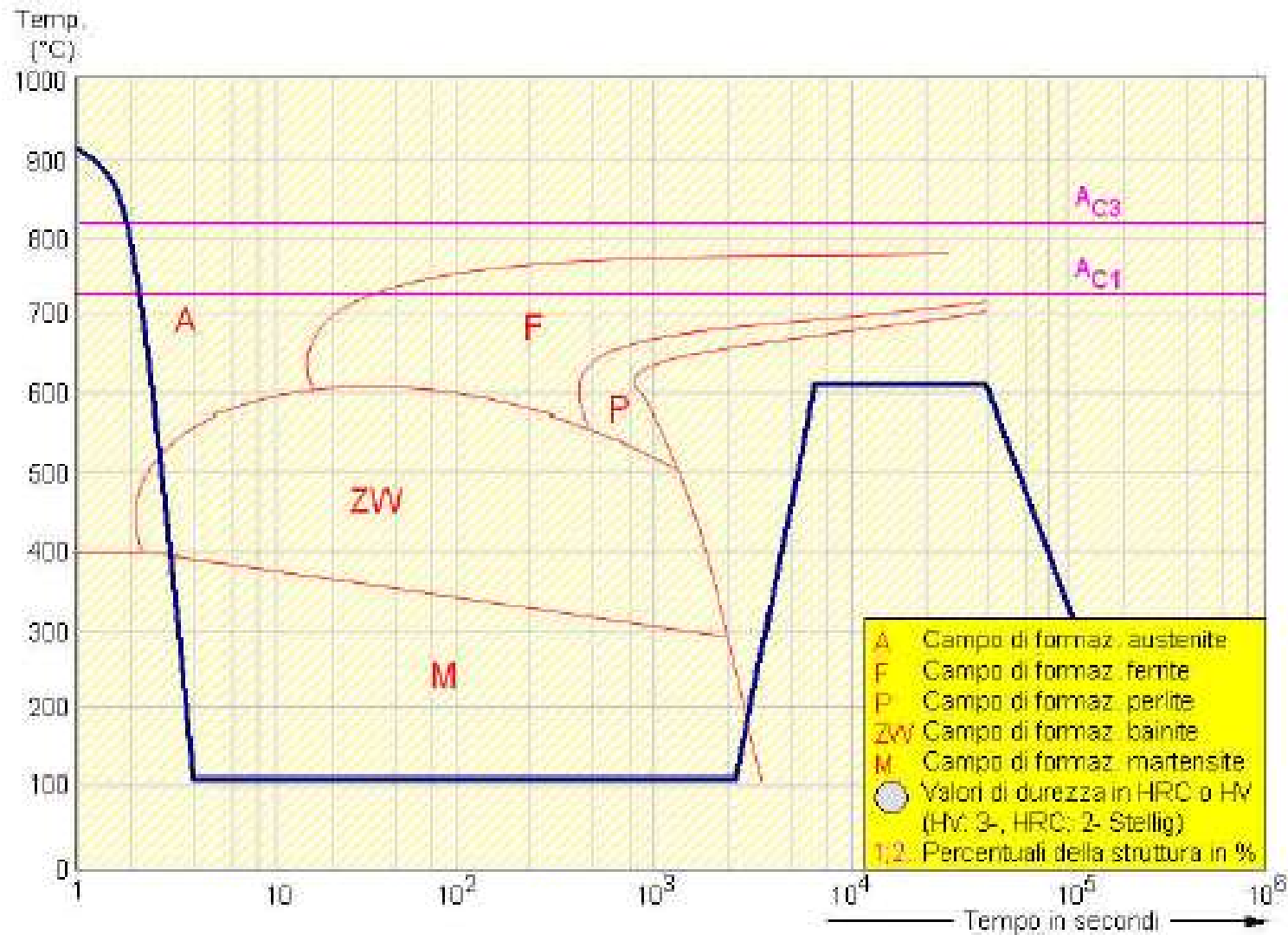
Esiste una formula che mette in relazione i vari elementi e la loro influenza sulla temprabilità del materiale, è la formula del C equivalente:

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$$

La tempra comporta un aumento della durezza del materiale ed una forte diminuzione della duttilità e della tenacità; è quindi molto importante cercare di evitare i fenomeni di tempra in particolare a seguito di operazioni di saldatura.

In alcuni casi il trattamento di tempra viene però volutamente applicato; è questo il caso della bonifica per mezzo della quale si possono ottenere materiali dotati di notevoli caratteristiche meccaniche associate a buone caratteristiche di tenacità.

La bonifica consiste nella combinazione di due trattamenti termici: la tempra e il successivo rinvenimento .



La durezza diminuisce fortemente e, tanto più, quanto più alta è la temperatura di rinvenimento; aumentano molto la duttilità e la tenacità dell'acciaio.

Ciò è determinato dalla fuoriuscita del carbonio, alle temperature di rinvenimento, dalla struttura tetragonale distorta della martensite, mentre rimane invariata la dimensione del grano, molto piccola perché ottenuta con elevate velocità di raffreddamento.

