

NOZIONI GENERALI SUGLI ACCIAI

A) ACCIAI DA COSTRUZIONE E DA UTENSILI

Si chiama *acciaio* un materiale in cui il ferro è l'elemento predominante e il tenore di carbonio è di regola minore del 2%, a cui si aggiungono altri elementi. Un numero limitato di acciai al cromo può avere un tenore di carbonio maggiore del 2%, ma tale valore del 2% è il tenore limite corrente che separa l'acciaio dalla ghisa.

Acciai non legati

Gli acciai non legati sono leghe ottenute allo stato di fusione i cui *elementi fondamentali* sono il ferro e il carbonio; sono altresì presenti *elementi d'inquinamento*, metalli e non metalli sotto forma d'impurezze tollerate, assorbiti durante il processo siderurgico per la necessità del suo svolgimento e che non è possibile eliminare completamente, quali il silicio (massimo 0,40%), il manganese (massimo 0,80%), il fosforo (massimo 0,05%), lo zolfo (massimo 0,05%) e molti altri in quantità trascurabile.

Con riferimento al diagramma ferro-cementite (fig. 1) gli acciai si distinguono in:

- *eutettoi* quando la percentuale di carbonio è 0,83%;
- *ipoeutettoi* quando la percentuale di carbonio è inferiore a 0,83%;
- *ipereutettoi* quando la percentuale di carbonio è superiore a 0,83%.

La composizione e la ripartizione dei costituenti e degli aggregati strutturali degli acciai allo stato ricotto è rilevabile dal diagramma di figura 1, nel quale si nota che:

- gli *acciai eutettoi* hanno la struttura totalmente costituita da *perlite*, aggregato di lamelle di ferrite e di cementite formato dalla decomposizione eutettoide dell'austenite nel corso della trasformazione eutettoide;
- gli *acciai ipoeutettoi* hanno la struttura formata dal costituente *ferrite* (soluzione solida di uno o più elementi nel ferro) e dall'aggregato *perlite* (con quantitativi variabili proporzionalmente alla percentuale di carbonio);
- gli *acciai ipereutettoi* hanno la struttura formata dall'aggregato *perlite* e dal costituente *cementite* (carburo di ferro rispondente alla formula Fe_3C).

Acciai legati

Rispetto agli acciai non legati hanno:

- una purezza superiore, particolarmente nei confronti delle inclusioni non metalliche;
- una percentuale minore di elementi d'inquinamento (zolfo, fosforo, ecc.);
- una profondità specifica di indurimento per tempra;
- la possibilità di essere temprati a cuore senza dover ricorrere a mezzi di tempra molto drastici, con conseguente riduzione dei rischi di cricche, distorsioni, deformazioni, tensioni interne, ecc.;
- caratteristiche meccaniche generalmente elevate.

Evidentemente negli acciai legati hanno un'influenza fondamentale gli *elementi di alligazione*: metalli e non metalli, aggiunti intenzionalmente in proporzione definita e controllata come nichel, cromo, molibdeno, vanadio, silicio, manganese, alluminio, tungsteno, ecc. con lo scopo di migliorare una o più caratteristiche dell'acciaio quali resistenza meccanica, temprabilità, tenacità, resistenza alla corrosione, ecc., ed eliminarne altre non desiderate.

Il prospetto seguente illustra l'influenza dei principali componenti ed elementi di alligazione sulle più importanti caratteristiche d'impiego e di lavorazione degli acciai.

Risulta evidente che le annotazioni costituiscono solo una indicazione qualitativa riferita agli effetti dei singoli componenti.

Per un approccio più completo si rimanda ai numerosi testi sugli acciai.

Si rammenta inoltre di consultare la tabella UNI EN 10 020 del maggio 1989 per una più completa definizione e classificazione dei tipi di acciaio.

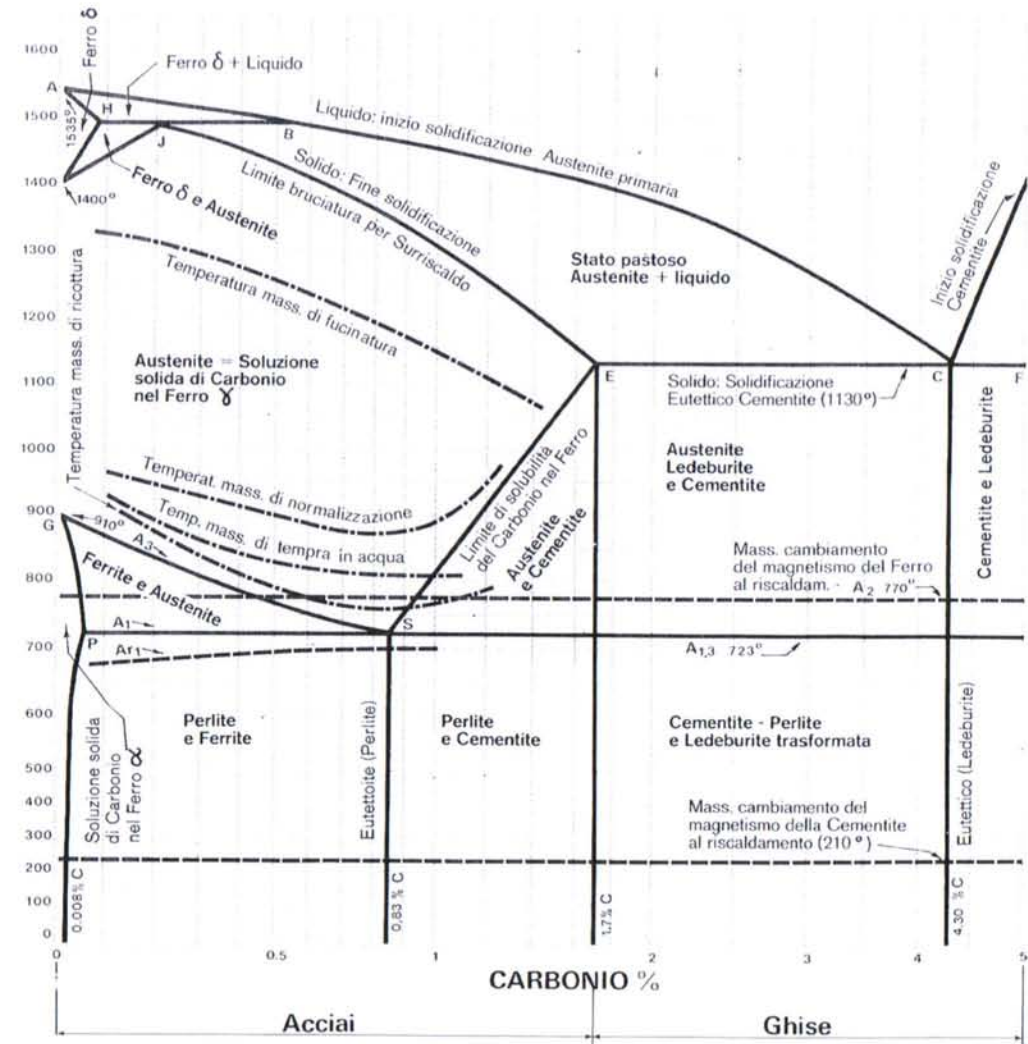


Figura 1 - LEGA FUSA

B) ACCIAI INOSSIDABILI

Gli acciai legati speciali inossidabili resistenti alla corrosione e al calore (UNI EN 10088-1-2-3-97) sono leghe a base di ferro, cromo, carbonio, eventualmente con percentuali variabili di altri elementi quali il nichel, il molibdeno, il silicio, il cobalto, il titanio, ecc. che permettono di variare sensibilmente le caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche dei vari tipi di acciaio in modo da soddisfare le molteplici esigenze dell'industria moderna:

- per l'allestimento di pezzi o di complessi soggetti in esercizio a sollecitazioni di carattere prevalentemente chimico, a temperatura ambiente o non eccessivamente elevata, si adottano gli **acciai inossidabili resistenti alla corrosione**;
- per l'allestimento di pezzi o di complessi soggetti in esercizio a sollecitazioni di carattere prevalentemente chimico, a temperature molto elevate (≥ 900 °C), si adottano gli **acciai inossidabili resistenti al calore**, denominati anche **acciai refrattari**.

La resistenza alla corrosione di questi acciai è dovuta alla *passivazione* che consiste nella formazione, spontanea nell'ambiente di utilizzazione o provocata prima del contatto con questo, di una pellicola estremamente sottile di ossido che protegge dalla corrosione il materiale sottostante. La *pellicola passiva* è dovuta all'aria o a qualche altro gas o liquido capace di fornire ossigeno alla superficie del materiale. Il suo valore protettivo, fintanto che tale pellicola rimane intatta, deriva dal fatto di essere insolubile in acqua e in molti altri liquidi e di essere impermeabile a questi come a molti gas. I fenomeni della corrosione sono invece innescati dalle sostanze riducenti (cloro, fluoro, ecc.) che, eliminando la pellicola passiva, riportano la superficie del materiale allo stato attivo.

Gli acciai inossidabili, secondo la Norma Europea UNI EN 10020 del maggio 1989, sono acciai la cui analisi chimica corrisponde a $C \leq 1,20\%$, $Cr \geq 10,5\%$ (con o senza altri elementi di lega), e che si suddividono secondo il tenore di nichel nei due sottogruppi: $Ni < 2,5\%$ ed $Ni \geq 2,5\%$.

Ciascuno dei due sottogruppi è suddiviso in classi come riportato nel seguente prospetto:

Ni < 2,5%	Ni \geq 2,5%
Cr	Cr-Ni
Cr-Ni	Cr-Ni-Mo
Cr-Mo	Cr-Ni + Ti o Nb
Cr-Co	Cr-Ni-Mo + Ti o Nb
Cr-Al	+V, W, Co
Cr-Si	Cr-Ni-Si
Altri	Altri

NB. Il segno.... (4 puntini) significano che nella classe corrispondente sono comprese anche delle leghe contenenti altri elementi.

Secondo la composizione chimica e quindi la relativa struttura gli acciai inossidabili vengono normalmente divisi in tre gruppi, contraddistinti dall'elemento essenziale ai fini dell'azione passivante, il cromo, e dal trattamento di tempra (ai fini del miglioramento della durezza):

- **martensitici**, al cromo, temprabili, magnetici in tutte le condizioni, fragili a temperature inferiori a 0 °C;
- **ferritici**, al cromo, non temprabili, magnetici in tutte le condizioni, fragili a temperature inferiori a 0 °C;
- **austenitici**, al cromo-nichel, non temprabili, amagnetici, di elevata tenacità anche a bassissima temperatura.

ACCIAI MARTENSITICI

Gli acciai unificati di questo gruppo hanno un tenore di carbonio compreso tra lo 0,08% fino a più dell'1% e un tenore di cromo compreso tra l'11,5% e il 20% bilanciati in modo da garantire dopo tempra una struttura totalmente o prevalentemente martensitica. Per esigenze di fabbricazione contengono limitate aggiunte di altri elementi di lega quali manganese, silicio e nichel.

La resistenza alla corrosione di questo gruppo di acciai cresce con l'aumento del tenore di cromo e diminuisce con il crescere del tenore di carbonio; raggiunge il suo massimo valore allo stato temprato o temprato e disteso a bassa temperatura; è buona dopo la bonifica (con temperatura di rinvenimento ≥ 600 °C), ma inferiore comunque a quella dei ferritici ed austenitici.

Gli acciai inossidabili martensitici, sono impiegati per applicazioni che richiedono un'elevata resistenza meccanica ed all'usura ed una buona resistenza all'acqua pura, all'acido nitrico diluito freddo, ai prodotti alimentari, ai sali neutri, ad alcuni acidi organici, ecc.

ACCIAI FERRITICI

Gli acciai ferritici unificati hanno un tenore limite di carbonio dello 0,08% e un tenore di cromo compreso tra l'11% e il 27%, bilanciati in modo da garantire che non presentino alcuna temperatura di trasformazione; contengono inoltre limitate aggiunte di altri elementi quali manganese, silicio, nichel, ecc. per soddisfare particolari esigenze. Essendo questi acciai caratterizzati da una struttura totalmente o prevalentemente ferritica, non sono induribili con il trattamento di tempra, ma solamente mediante incrudimento a freddo.

Se si riscaldano questi acciai a temperature elevate (1 000 ÷ 1 200 °C), si verifica un ingrossamento irreversibile del grano con conseguente infragilimento che nessun trattamento termico è in grado di eliminare. Poiché presentano una discreta duttilità, quando è possibile è consigliabile ricorrere a lavorazioni di formatura a freddo (piegatura, imbutitura, trafilatura, ecc.) che incrudiscono l'acciaio determinando un ingrossamento del grano in questo caso rigenerabile con la ricottura di ricristallizzazione.

Quando è indispensabile ricorrere ad una lavorazione a caldo (laminazione, stampaggio, ecc.), occorre adottare la minor temperatura possibile e quindi sottoporre i pezzi ad un riscaldamento a circa 800 °C seguito da un brusco raffreddamento.

Gli acciai inossidabili ferritici hanno un basso coefficiente di dilatazione lineare, una buona resistenza all'ossidazione a caldo ed una saldabilità relativamente buona; pertanto sono adatti per applicazioni ad alte temperature che non necessitino di elevate caratteristiche

meccaniche a caldo, poiché presentano bassi valori dei carichi unitari di resistenza a rottura ed allo scorrimento a temperature elevate. Inoltre, per la loro ottima resistenza alla corrosione (che aumenta con il crescere del tenore di cromo, ma a scapito della tenacità) questi acciai sono impiegati per particolari destinati a resistere all'acqua di mare, agli acidi deboli, alle soluzioni saline fredde o comunque non molto calde, per decorazioni architettoniche esposte alle atmosfere urbane, per utensili da cucina, elettrodomestici, accessori per auto, posaterie, ecc.

ACCIAI AUSTENITICI

Gli acciai austenitici unificati hanno un tenore di carbonio compreso tra lo 0,03% e lo 0,15%, un tenore di cromo compreso tra il 16% e il 26% e un tenore di nichel compreso tra il 6% e il 22%, avente lo scopo di mantenere stabile a temperatura ambiente la struttura austenitica. Contengono inoltre limitate aggiunte di altri elementi quali manganese, silicio, molibdeno, titanio, niobio, tantalio per soddisfare particolari esigenze (ad esempio: il manganese per sostituire parzialmente il nichel come elemento austenitizzante; il silicio per aumentare la resistenza all'ossidazione a caldo e la stabilità della pellicola passivante; il titanio e il niobio per formare con il carbonio dei carburi molto stabili in grado di evitare o di ridurre fortemente il pericolo di corrosione intercristallina che si verifica in corrispondenza dei bordi dei grani).

Come i ferritici anche gli austenitici non presentano temperature di trasformazione e quindi non possono essere induriti mediante la tempra, ma solo con l'incrudimento provocato da una lavorazione a freddo.

La resistenza alla corrosione degli acciai austenitici viene ridotta dalla segregazione di carburi di cromo al contorno del grano austenitico quando vengono riscaldati e raffreddati lentamente nell'intervallo da 450 a 850 °C (il carbonio presente nella matrice si accumula ai bordi dei grani formando carburi di cromo; in queste zone, determinandosi un impoverimento locale di cromo rispetto alla rimanente struttura, si ha una forte riduzione della resistenza alla corrosione). Il ripristino della matrice austenitica originaria è ottenuto sottoponendo i tipi di acciaio austenitico che possono subire questo trattamento ad una tempra di solubilizzazione, la quale comporta un riscaldamento a temperatura elevata seguito da un raffreddamento sufficientemente rapido per conservare una struttura austenitica omogenea dopo il ritorno alla temperatura ambiente.

Gli acciai inossidabili austenitici, se non incruditi per una qualsiasi causa, presentano una notevole duttilità che li rende particolarmente adatti per lo stampaggio profondo e la formatura a freddo ed una buona saldabilità.

Anche alle alte temperature la resistenza all'ossidazione e le caratteristiche meccaniche si mantengono soddisfacenti; occorre però tenere presente che nei confronti degli acciai non legati o debolmente legati il coefficiente di dilatazione termica lineare è maggiore del 50% circa, mentre la conducibilità termica si riduce del 25% circa.

RESISTENZA ALLA CORROSIONE

Il comportamento delle diverse classi degli acciai inossidabili varia sensibilmente sia in funzione dell'ambiente corrosivo nel quale sono chiamati ad operare sia, a parità di ambiente corrosivo, della temperatura di esercizio, delle sollecitazioni, degli eventuali contatti con materiali diversi, dei trattamenti termici subiti, dell'uniformità strutturale, dello stato superficiale, ecc.

Specificando ulteriormente, si ricorda che i trattamenti termici degli acciai inossidabili, che in genere hanno lo scopo di conferire determinate caratteristiche meccaniche, in alcuni casi servono esclusivamente a migliorare la resistenza alla corrosione mediante l'omogeneizzazione della struttura. Gli acciai aventi una struttura formata da un unico costituente (gli austenitici ed i ferritici), hanno un comportamento migliore di quelli a struttura mista (i martensitici) che danno luogo alla formazione di coppie galvaniche tra i diversi costituenti con conseguente possibilità di corrosioni localizzate.

Un acciaio austenitico (la cui resistenza alla corrosione in condizioni normali è nettamente superiore a quella di un acciaio ferritico) può presentare una resistenza alla corrosione minore se sono presenti in quantità non trascurabili delle inclusioni non metalliche che ne compromettono l'uniformità strutturale.

A parità di acciaio e degli altri parametri influenti, la resistenza alla corrosione è maggiore dove la finitura superficiale del pezzo è migliore. La superficie dei pezzi deve essere mantenuta pulita per evitare inneschi di corrosione; eliminare particelle di ossido o di altre sostanze che, aderendo alla superficie, impediscono la formazione e/o il mantenimento della pellicola passiva nelle zone ad esse sottostanti; evitare l'impiego di utensili già utilizzati per lavorare acciai non legati o legati che possono contaminare con particelle di ferro «piantate» nella superficie degli acciai inossidabili; ecc.

Da quanto succintamente elencato risulta evidente che la scelta di un acciaio inossidabile nei riguardi della resistenza alla corrosione non è un compito agevole o da sottovalutare. Al fine di facilitare tale scelta riportiamo nella tabella a pagina 32 il grado di resistenza alla corrosione di alcuni acciai inossidabili di frequente impiego riferito agli agenti corrosivi che normalmente si incontrano nella pratica. I dati riportati, devono essere intesi come valori medi indicativi di resistenza alla corrosione dedotti da esperienze di laboratorio.

Naturalmente i fenomeni corrosivi che si incontrano nella pratica sono molto più complessi e dipendono da molteplici parametri dei quali non è possibile tenere conto nelle prove di laboratorio. Siamo pertanto a disposizione dei nostri Clienti per fornire altre informazioni sull'argomento.

TRATTAMENTI TERMICI

A) ACCIAI DA COSTRUZIONE E DA UTENSILI

Si definisce *trattamento termico* la successione di operazioni nel corso delle quali un acciaio viene sottoposto, totalmente o in parte, a un *ciclo termico* che dà luogo ad un'evoluzione della temperatura: riscaldamento, permanenza a temperatura costante, raffreddamento; si ottiene così un cambiamento delle proprietà e/o della struttura dell'acciaio.

Si definisce *temperatura di trasformazione o temperatura critica*, la temperatura alla quale si verifica un cambiamento di fase e, per estensione, la temperatura alla quale inizia e termina la trasformazione quando quest'ultima interessa un intervallo di temperatura. Per gli acciai si distinguono le seguenti temperature di trasformazione relative ai trattamenti termici principali:

Ac_1 temperatura alla quale l'austenite inizia a formarsi nel corso del riscaldamento.

Ac_3 temperatura alla quale la ferrite cessa di trasformarsi in austenite nel corso del riscaldamento.

Ac_m temperatura alla quale la cementite di un acciaio ipereutettoide cessa di dissolversi.

Ar_1 temperatura alla quale l'austenite cessa di trasformarsi in ferrite o in ferrite e cementite nel corso del raffreddamento.

Ar_3 temperatura alla quale la ferrite inizia a formarsi nel corso del raffreddamento.

Ar_m temperatura alla quale la cementite inizia a formarsi nel corso del raffreddamento dell'austenite in un acciaio ipereutettoide.

M_s temperatura alla quale l'austenite inizia a trasformarsi in martensite nel corso del raffreddamento.

M_f temperatura alla quale cessa la trasformazione totale dell'austenite in martensite nel corso del raffreddamento.

Riportiamo nel seguente prospetto le temperature di trasformazione relative alla tempra di alcuni acciai speciali riportati nel catalogo.

ATTITUDINE ALLA TEMPRA

Questa caratteristica, vincolata alle condizioni di tempra, è espressa:

- dalla *penetrazione di tempra* (o *temprabilità*), per designare lo sviluppo della penetrazione dell'*indurimento mediante tempra*, rappresentata dall'andamento decrescente della durezza dalla superficie verso il cuore del pezzo;
- dall'*intensità dell'indurimento*, grandezza che esprime le possibilità massime di indurimento: dipende essenzialmente dalla quantità di carbonio messa in soluzione solida a caldo, cioè dalla percentuale di martensite presente dopo la tempra (fig. 2).

Temprabilità

La temprabilità di un acciaio è l'attitudine a dare luogo alle trasformazioni martensitica e/o bainitica nella sezione del pezzo trattato. Essa è influenzata in minima parte dalla percentuale di carbonio e soprattutto da quella dei costituenti di lega messi in soluzione solida mediante l'austenitizzazione e, in taluni casi, dalla grossezza del grano austenitico. Pertanto acciai aventi la stessa composizione chimica possono avere diverso comportamento qualora abbiano diversa grossezza del grano, caratteristica peculiare che ogni acciaio assume, al momento della colata, generalmente come conseguenza dei materiali di carica e del processo di elaborazione.

La grossezza del grano austenitico può quindi essere considerata un vero e proprio elemento formativo delle caratteristiche di un acciaio: infatti ha influenza sulla sensibilità al riscaldamento (maggiore e minore attitudine all'ingrossamento del grano a parità di condizioni di trattamento termico e di composizione chimica), sulla penetrazione di tempra (grano piccolo: temprabilità più bassa, minori deformazioni e maggiore tenacità), sulla lavorabilità all'utensile (grano grosso: migliore lavorabilità), sulla corrosione (grano piccolo: minore corrosione), ecc.

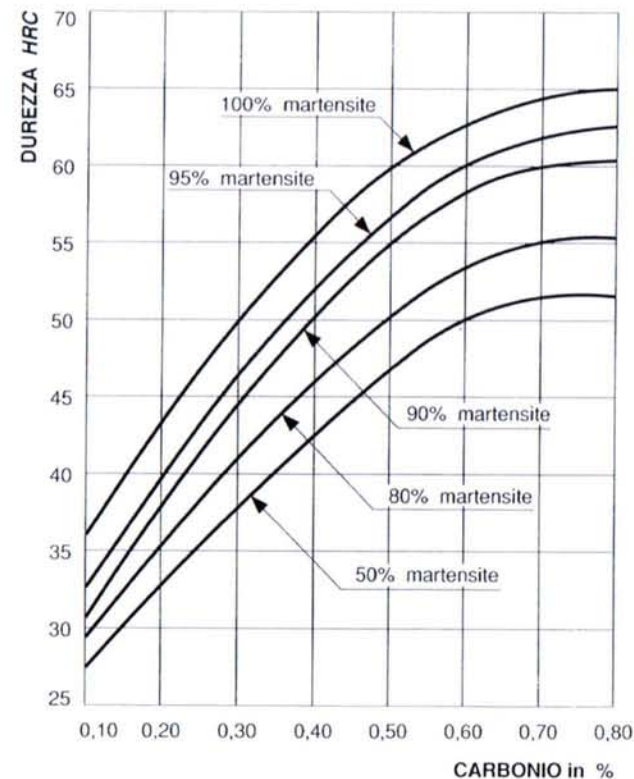


Figura 2

Relazione approssimata tra tenore di carbonio e durezza HRC in funzione della percentuale di martensite dopo tempra

Conseguentemente la temprabilità è in relazione alla *velocità di raffreddamento* e quindi alla drasticità del *mezzo di spegnimento*, cioè alla sua capacità di sottrarre calore all'acciaio; infatti è palese che la struttura di ogni regione del pezzo soggetta ad una velocità di raffreddamento superiore a quella critica si trasforma in *martensite*, mentre alle regioni più interne, soggette a velocità progressivamente inferiori, si trasformano nei *costituenti intermedi* con durezza decrescenti.

Se ne deduce che per la scelta di un acciaio per una determinata applicazione occorre considerare l'*effetto di massa*, cioè l'influenza del volume del pezzo sul raffreddamento del pezzo stesso, ed i conseguenti valori di durezza che si possono ottenere dall'esterno fino al cuore.

La penetrazione di tempra è minima negli acciai al carbonio ed aumenta progressivamente con le aggiunte di elementi quali il cromo, il nichel, il molibdeno, il manganese, il boro, ecc. raggiungendo il massimo negli acciai speciali da costruzione nei tipi autotemperanti al nichel - cromo - molibdeno.

Pertanto, a parità di caratteristiche meccaniche che si desiderano conseguire, tanto maggiori sono le dimensioni del pezzo, tanto più legato dovrà essere l'acciaio al fine di permettere al cuore di raggiungere le caratteristiche necessarie e sufficienti per garantire la perfetta funzionalità del pezzo stesso.

Valutazione della temprabilità

La temprabilità viene valutata mediante la prova Jominy (UNI 3150/74) che consiste nell'austenitizzare una provetta di un acciaio e nel raffreddarla ad una delle due estremità mediante un getto di acqua. La variazione della durezza a partire dalla estremità temprata (curva di temprabilità Jominy) caratterizza la temprabilità dell'acciaio.

La curva di temprabilità della provetta è quella reale che si rileva sperimentalmente sulla provetta ricavata dal saggio secondo quanto stabilito dalla UNI 3150/74.

Poiché diverse colate dello stesso acciaio di normale produzione comportano inevitabilmente differenti dispersioni della composizione chimica, le curve di temprabilità sono rappresentate in questo caso da una fascia di temprabilità definita dalla curva limite superiore e dalla curva limite inferiore entro le quali deve essere compresa la curva reale (fig. 3).

Nel catalogo sono riportati i valori dei limiti della fascia di temprabilità stabiliti dalle norme UNI per i diversi tipi di acciai unificati, esclusi quelli al solo carbonio a causa della loro scarsa temprabilità.

Per particolari applicazioni è possibile ordinare gli acciai elencati nel catalogo con fascia di temprabilità ristretta, ottenuta con una minore differenziazione della composizione chimica tra le diverse colate e con differenti metodi di elaborazione.

È già noto che la profondità di indurimento mediante tempra può essere definita oltre che dallo stato strutturale anche dal livello di durezza.

Infatti, per barre tonde di diametro diverso, a parità della temperatura di tempra e del mezzo di spegnimento, le leggi della fisica sulle modalità di trasmissione del calore stabiliscono che esiste una corrispondenza biunivoca tra le posizioni sul raggio di un tondo e le distanze dall'estremità temprata della provetta Jominy che hanno uguali velocità di raffreddamento.

Poiché per ogni qualità di acciaio la durezza che si ottiene con la tempra dipende essenzialmente dalla velocità di raffreddamento, ne consegue che la durezza stessa può essere prevista con discreta approssimazione utilizzando i diagrammi di Gerber - Wyss e la curva Jominy, al di sopra della quale può essere posta la tabella di correlazione distanza Jominy-diametri dei tondi che, per un determinato mezzo di spegnimento, hanno in superficie, a 3/4 del raggio dal centro ed al centro la medesima durezza di un determinato punto della provetta Jominy.

Nella figura 3 è riportata la fascia di temprabilità dell'acciaio da cementazione 18 NiCrMo 5 (temperatura di tempra della provetta Jominy 850 ± 5 °C).

Al di sopra del diagramma, nella tabella valida per tutti gli acciai, compaiono due mezzi di tempra (olio ed acqua), entrambi poco agitati e mediamente agitati (si ricordi che il mezzo usuale di tempra di questo acciaio è l'olio (*); l'acqua è stata riportata solo per dare una visione panoramica più completa).

Poiché questo acciaio, con tenore medio di carbonio dello 0,18% dopo tempra deve avere al centro almeno il 70% di martensite, dal diagramma di figura 2 si rileva una durezza corrispondente a 33 HRC.

(*) Gli oli da tempra debbono avere le seguenti caratteristiche: massa volumica = 0,9 kg/dm³; viscosità cinematica a 50 °C = 12 + 25 mm²/s; punto d'inflammabilità ≥ 170 °C.

Diametro, in mm, dei tondi che hanno in superficie, a 3/4 del raggio dal centro ed al centro la medesima durezza di un determinato punto della provetta Jominy	Posizione nel tondo	Mezzo di tempra
- 96 - - - - - - - - - -	in superficie	acqua mediamente agitata
28 43 57 74 88 96 118 156 193 -	a 3/4 del raggio dal centro	
18 25 31 41 45 51 57 75 91 104	al centro	
- 96 - - - - - - - - - -	in superficie	acqua poco agitata
14 25 41 55 70 84 99 115 154 - -	a 3/4 del raggio dal centro	
13 18 25 33 39 45 52 58 74 90 102	al centro	
- 20 39 53 64 70 76 84 96 - -	in superficie	olio mediamente agitato
- 13 21 31 41 44 51 57 75 91 110	a 3/4 del raggio dal centro	
- 5 12 19 25 31 36 41 54 74 82	al centro	
10 20 35 49 61 69 77 84 101 - -	in superficie	olio poco agitato
5 13 20 29 38 45 52 58 74 90 106	a 3/4 del raggio dal centro	
- 5 11 17 24 30 36 41 54 70 82	al centro	

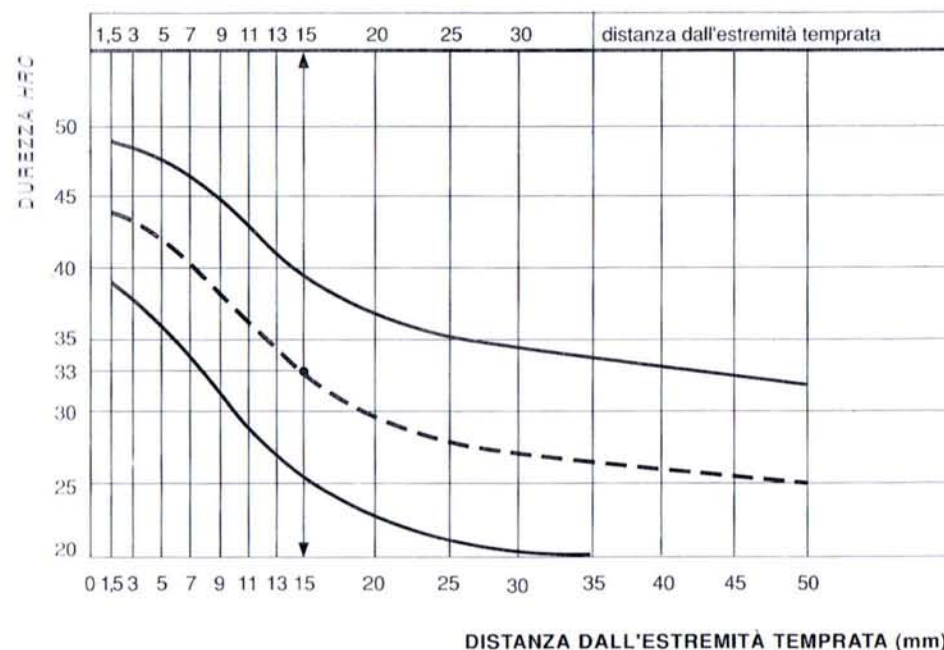


Figura 3

Fascia di temprabilità Jominy dell'acciaio da cementazione 18 NiCrMo 5 (la curva tratteggiata è quella mediana della fascia di Jominy).

Questa durezza, riportata orizzontalmente nella figura 3, interseca la curva mediana della fascia Jominy a 15 mm dall'estremità temprata.

Innalzata la verticale da tale distanza, nella tabella di correlazione si constata che tale durezza, ad esempio con mezzo di tempra olio poco agitato, si può ottenere al centro di un tondo del diametro di 41 mm, a 3/4 di raggio dal centro per un tondo del diametro di 58 mm, oppure in superficie se il diametro è di 84 mm. In modo analogo si procede per determinare i diametri con gli altri mezzi di tempra.

Risulta evidente che, conoscendo di un qualsiasi acciaio la fascia di temprabilità Jominy, sopra il diagramma di questa si può porre la parte della tabella relativa al mezzo di tempra impiegato, esistendo, come già noto, una corrispondenza biunivoca tra le posizioni sul raggio di un tondo e le distanze dall'estremità temprata della provetta Jominy che hanno uguali velocità di raffreddamento.

Considerando la fascia di temprabilità dell'acciaio 18 NiCrMo 5 (fig. 3) si deduce che al centro di un tondo, di diametro 41 mm, temprato in olio mediamente agitato, la durezza è compresa fra 26 e 40 HRC. Tali limiti potrebbero essere eccessivi per cui si potrà richiedere una colata d'acciaio 18 NiCrMo 5 con fascia di temprabilità ristretta.

Nella figura 4 è riportato il grafico di conversione delle sezioni rettangolari in sezioni circolari per lo stato bonificato.

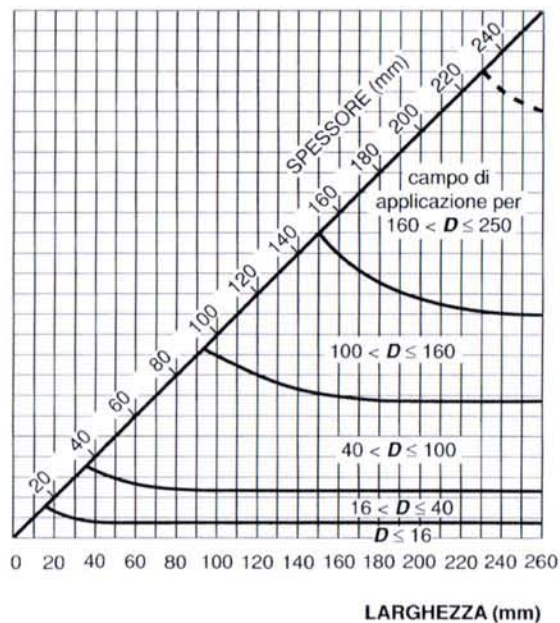


Figura 4

Grafico di conversione delle sezioni rettangolari in sezioni circolari per lo stato bonificato. Esempio d'impiego: per un piatto di 80 mm di spessore e di 140 mm di larghezza occorre riferirsi alle caratteristiche meccaniche dei diametri D compresi tra 100 e 160 mm

Profondità di indurimento mediante tempra

La profondità di indurimento mediante tempra è la distanza tra la superficie di un particolare di acciaio ed un limite che caratterizza la penetrazione dell'indurimento mediante tempra. Detto limite può essere definito con riferimento ad uno stato *strumentale* o ad un *livello di durezza*.

Nel caso dello stato strutturale la durezza (e naturalmente le altre caratteristiche meccaniche tensili, di tenacità e di resistenza a fatica) conseguita dopo la tempra dipende dalla percentuale di martensite che si è formata. La durezza della martensite dipende, a sua volta, dal tenore di carbonio presente nell'acciaio e in minima parte dalla natura e dalla percentuale degli elementi di alligazione. Nella figura 2 si riporta la corrispondenza durezza-tenore di carbonio per alcune percentuali di martensite.

Praticamente si ritiene soddisfacente il trattamento di tempra che permette di avere a cuore, cioè al *centro dei pezzi*, il 50% di martensite negli acciai da bonifica, il 70% in quelli da cementazione e l'80% in quelli per molle (valori minimi).

CURVE DI RAFFREDDAMENTO

Le curve di raffreddamento sono la rappresentazione grafica della legge di raffreddamento, cioè delle variazioni successive, in funzione del tempo, della temperatura di un punto del prodotto dell'acciaio considerato, dall'inizio del raffreddamento fino alla fine dell'operazione.

A tale scopo si impiega il diagramma TTT (temperatura, tempo, trasformazione) e quello TRC (trasformazione in raffreddamento continuo) detto anche CCT (Continuous Cooling Transformation), entrambi di importanza essenziale per prevedere le trasformazioni strutturali che avvengono durante il trattamento termico dell'acciaio.

Naturalmente ogni tipo di acciaio, in relazione alla sua composizione chimica ed alla grossezza del suo grano austenitico, ha delle specifiche curve di trasformazione determinate sperimentalmente, che permettono di stabilire quale temperatura, quale tipo e quale velocità di raffreddamento debbono essere scelte per ottenere determinate strutture finali e quindi determinate caratteristiche meccaniche.

I diagrammi riportano:

- sull'asse delle ascisse i valori dei tempi in scala logaritmica decimale per comodità di rappresentazione;
- sull'asse delle ordinate i valori delle temperature in °C (θ_A è la temperatura di austenitizzazione, cioè la temperatura massima alla quale l'acciaio viene mantenuto nel corso dell'austenitizzazione);
- la traccia delle linee orizzontali che si riferiscono alle temperature di trasformazione;
- la traccia delle linee che definiscono le regioni nelle quali l'austenite si trasforma qualora sia sottoposta ad un raffreddamento continuo od isotermico.

Diagramma di trasformazione in raffreddamento continuo, in condizioni anisotermiche

Questo diagramma è relativo a curve anisotermiche detta anche TRC (o CCT), cioè è un insieme di curve tracciate nel sistema di coordinate semilogaritmiche: logaritmo decimale del tempo/temperatura, che definisce, per ogni legge di raffreddamento continuo (non interrotto), le temperature a cui iniziano e terminano le trasformazioni dell'austenite.

Dal diagramma TRC relativo ad un generico acciaio ipereutettoide (fig. 5) si può constatare che:

- se l'acciaio austenitizzato alla temperatura Θ_A è raffreddato velocemente in modo che la curva di raffreddamento non intersechi né la zona di trasformazione bainitica né quella perlitica, l'austenite rimane stabile fino alla temperatura M_s , alla quale inizia a trasformarsi progressivamente in martensite; alla temperatura M_f la trasformazione è praticamente completata, con eventuali tracce di austenite residua, cioè di austenite non trasformata, che sussiste a temperatura ambiente;
- se l'acciaio austenitizzato alla temperatura Θ_A è raffreddato moderatamente in modo che la curva di raffreddamento attraversi i campi di trasformazione, l'austenite si trasforma negli aggregati tipici della regione attraversata: bainite, ferrite, ferrite + cementite;
- se l'acciaio austenitizzato alla temperatura Θ_A è raffreddato lentamente, l'austenite si trasforma nei costituenti stabili ferrite e cementite.

Ad ulteriore esplicitazione di quanto esposto si esaminano nel diagramma TRC (fig. 5) i seguenti casi.

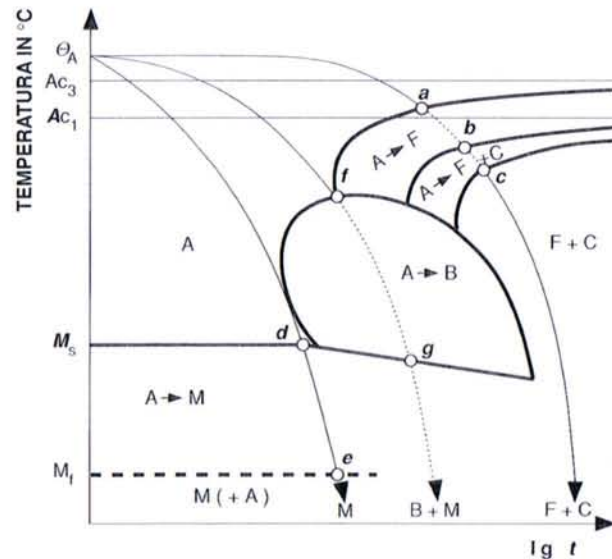


Figura 5

Diagramma simbolico TRC le cui curve sono relative a trasformazioni non anisotermiche, con curve a raffreddamento continuo (non interrotto) degli acciai:

Θ_A = temperatura di austenizzazione; A = austenite; (+A) = austenite residua; F = ferrite; C = cementite; B = bainite; M = martensite; = zona di trasformazione continua.

$\Theta_A a b c$ = ricottura completa; $\Theta_A f g$ = raffreddamento critico di tempra (bainitica);

$\Theta_A d e$ = raffreddamento critico di tempra (martensitico).

Ricottura completa.

È rappresentata dalla curva di raffreddamento $\Theta_A a b c$. L'austenite stabilizzata alla temperatura Θ_A si conserva fino alla temperatura rappresentata dall'ordinata del punto a e per un tempo rappresentato dalla sua ascissa.

Il raffreddamento è lento affinché la trasformazione austenite → ferrite continui fino al punto b (le cui coordinate indicano temperatura e tempo). Nell'intervallo b-c l'austenite, non trasformata precedentemente, si trasforma totalmente in cementite nel punto c.

Il risultato di questa trasformazione è pertanto ferrite+cementite nelle diverse forme di aggregazione definite dalla composizione chimica dell'acciaio: ferrite+perlite, perlite, perlite+cementite.

Legge di raffreddamento critico (*) di tempra (martensitico).

È rappresentata dalla curva $\Theta_A d e$ in seguito alla quale la formazione di costituenti intermedi (perlite, bainite, ecc.) è appena evitata (tangenza con la curva inferiore la quale rappresenta la velocità limite, cioè la velocità critica di raffreddamento), rendendo possibile la formazione della martensite.

Infatti l'austenite stabilizzata alla temperatura Θ_A , si conserva fino alla temperatura M_s (ordinata del punto d), alla quale comincia a trasformarsi in martensite. Alla temperatura M_f (ordinata del punto e) la trasformazione è ultimata.

Legge di raffreddamento critico di tempra (bainitico).

È rappresentata dalla curva $\Theta_A f g$ che corrisponde alle condizioni limite di raffreddamento (tangenza con la curva superiore) per le quali la formazione di perlite e di costituenti proeutettoidi è evitata, rendendo possibile quella della bainite.

Infatti l'austenite, stabilizzata alla temperatura Θ_A , si conserva per il tempo e fino alla temperatura corrispondente alle coordinate dal punto f. La trasformazione austenite → bainite prosegue fino alla temperatura rappresentata dall'ordinata del punto g. Al di sotto di questa temperatura si inizia la trasformazione in martensite dell'austenite indecomposta per cui la trasformazione si conclude con bainite e martensite.

Tempra scalare martensitica.

Ricordando che per tempra scalare si intende la tempra nel corso della quale si interrompe momentaneamente il raffreddamento mediante permanenza in un mezzo-ambiente e ad una temperatura opportunamente scelta, si riporta nella figura 6 la curva di raffreddamento relativa alla tempra scalare martensitica.

Il ciclo termico comprende successivamente il riscaldamento alla temperatura di austenizzazione, il raffreddamento con velocità maggiore di quella critica di tempra fino ad una temperatura appena maggiore di M_s , seguito da una permanenza isotermica (**) appena sufficiente perché l'austenite non si trasformi in modo sensibile, e quindi il raffreddamento fino alla temperatura ambiente secondo determinate condizioni, affinché la formazione della martensite sia pressoché totale.

Nella tempra scalare martensitica il raffreddamento deve essere sufficientemente rapido per evitare qualsiasi formazione di ferrite o di perlite o di bainite, con permanenza ad una temperatura di circa 10 °C superiore a M_s (temperatura alla quale inizia la formazione della martensite) per una durata sufficientemente lunga per uniformare tale temperatura in tutte le parti del pezzo, ma nello stesso tempo sufficientemente breve per evitare la formazione di bainite.

(*) Per legge di raffreddamento critico si intendono le condizioni di raffreddamento meno severe che consentono tuttavia il completo svolgimento di una data trasformazione.

(**) Questo trattamento non si deve considerare come comportante una trasformazione isotermica.

Quindi si procede con raffreddamento blando in aria calma ad attraversare l'intervallo $M_s \rightarrow M_f$, con conseguente buona uniformità di temperatura in tutte le zone del pezzo in modo da ottenere una struttura martensitica quasi del tutto priva di tensioni interne. Possono essere assoggettati a questa tempra scalare solamente i pezzi per i quali il salto termico $\Theta_A \rightarrow M_s$ provoca una velocità di raffreddamento maggiore di quella critica di tempra. Il procedimento è quindi applicabile a pezzi sottili di qualsiasi tipo di acciaio, i quali si raffreddano rapidamente anche se il mezzo di spegnimento è blando, e ai pezzi di acciai legati, per i quali la velocità critica di raffreddamento è minore.

Altri tipi di tempra con trasformazioni continue

Nella figura 7 sono rappresentate due altre possibili tempre i cui costituenti finali principali sono rispettivamente martensite pura (curva 1) e una miscela martensite-bainite (curva 2).

Curva 1: il ciclo termico comprende successivamente il riscaldamento alla temperatura di austenitizzazione, la permanenza a tale temperatura per un tempo sufficiente ad ottenere nelle zone interessate la completa austenitizzazione ed un raffreddamento continuo abbastanza rapido per escludere, al tempo stesso, la trasformazione superiore dell'austenite nel campo perlitico e la trasformazione intermedia nel campo bainitico. Soprattutto nei pezzi di forma complessa e con forti variazioni di sezione la tempra martensitica può generare pericolose tensioni interne che possono provocare scarti per cricche e deformazioni.

La causa è dovuta al fatto, che durante il raffreddamento, il materiale subisce contemporaneamente una contrazione dovuta al brusco abbassamento della temperatura e una dilatazione dovuta alla trasformazione $\gamma \rightarrow \alpha$.

In questa fase la parte esterna del pezzo, attraversa per prima la linea M_s (temperatura alla quale inizia la formazione della martensite), mentre il cuore raggiunge più tardi questa temperatura; quando la parte interna inizierà l'attraversamento della linea M_s con conseguente aumento di volume, troverà l'ostacolo della parte esterna già fredda e dura con conseguente nascita di pericolose tensioni interne e di deformazioni, tanto più elevate quanto maggiori sono gli spessori e le differenze di spessore in uno stesso pezzo. Facendo invece in modo che l'attraversamento del campo $M_s \rightarrow M_f$ avvenga lentamente e contemporaneamente per i diversi spessori e tra le parti esterne e interne dello stesso pezzo, si mantiene l'equilibrio termico necessario e sufficiente per evitare deformazioni e spesso rotture.

Curva 2: il ciclo termico comprende successivamente il riscaldamento alla temperatura di austenitizzazione, la permanenza a tale temperatura per un tempo sufficiente ad ottenere nelle zone interessate la completa austenitizzazione e quindi un raffreddamento continuo sufficientemente rapido per evitare un inizio di trasformazione austenite-perlite nel campo superiore; segue un rallentamento del raffreddamento nel campo intermedio in modo che si inizi la trasformazione di una porzione di austenite in bainite fino alla temperatura M_s ; al di sotto di questa l'austenite rimasta si trasforma in martensite.

Ne consegue che la quantità di martensite sarà tanto minore quanto maggiore è la durata di attraversamento del campo di trasformazione austenite-bainite, e quindi, in pratica, la struttura ottenuta non sarà mai totalmente bainite ma una miscela di martensite-bainite. I risultati che si conseguono non differiscono da quelli ottenuti, a parità di materiale e di dimensioni del pezzo, con la tempra bainitica con permanenza a temperatura costante (fig. 7).

La preferenza per l'uno o per l'altro dei due cicli è suggerita da condizioni economiche, da possibilità esecutive, da esigenze di indeformabilità ed inoltre dalla previsione di cicli ulteriori, in quanto la tempra bainitica con trasformazione isoterma non richiede il rinvenimento, che invece è richiesto per la tempra bainitico-martensitica.

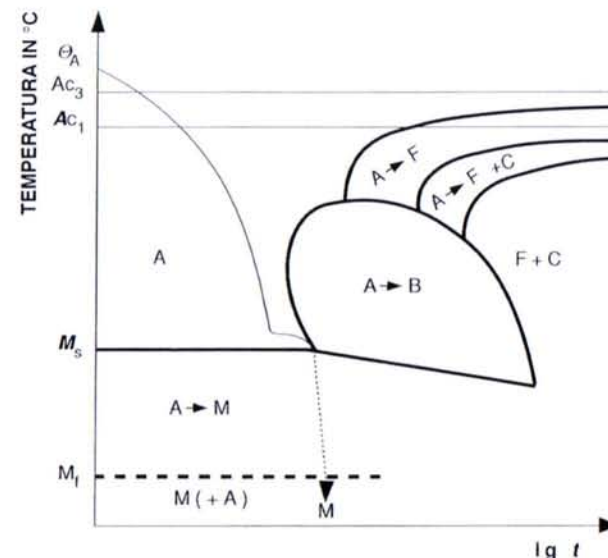


Figura 6

Diagramma simbolico TRC relativo alla tempra scalare martensitica.

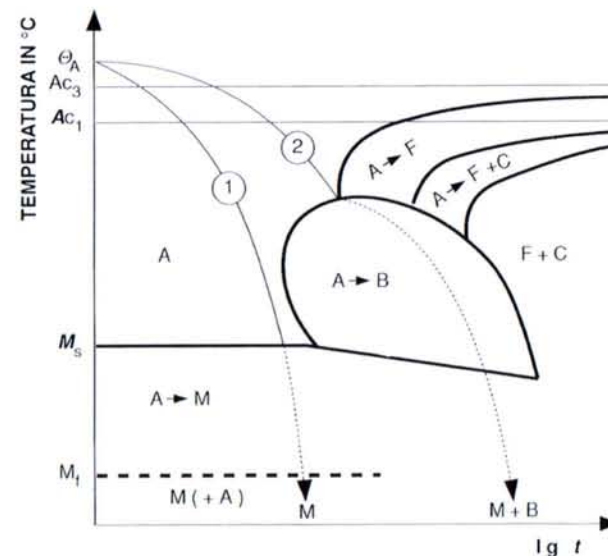


Figura 7

Diagramma simbolico TRC relativo a due risultati possibili della tempra:
 (1) martensite pura; (2) miscela martensitica + bainite.

Diagramma di trasformazione in condizioni isotermeche

Questo diagramma detto anche TTT (o di Bain), è relativo a curve isotermeche in quanto la trasformazione strutturale dell'austenite avviene a temperatura costante.

È un insieme di curve tracciate in un sistema di coordinate semilogaritmiche: logaritmo decimale del tempo/temperatura, che definisce, per ciascun livello di temperatura, gli istanti iniziali della trasformazione dell'austenite in condizioni isotermeche.

Il diagramma TTT relativo ad un generico acciaio ipoeutettoide (fig. 8) comprende i seguenti casi.

Ricottura isotermeche.

È rappresentata dalla curva $\theta_A a b c$ in seguito alla quale l'austenite si trasforma a temperatura costante in ferrite e in cementite. Infatti l'austenite stabile alla temperatura θ_A è raffreddata rapidamente fino alla temperatura corrispondente all'ordinata del punto a (cioè al di sotto dell'intervallo critico), ed a tale temperatura è conservata per un tempo conveniente (ascissa del punto c) in modo che nell'intervallo di tempo $a-b$ avvenga la trasformazione di una porzione di austenite in ferrite, mentre nell'intervallo $b-c$ si completa la trasformazione dell'austenite restante in cementite.

Le forme di aggregazione sono ancora: ferrite+perlite, perlite+cementite secondo la composizione dell'acciaio; il raffreddamento viene in seguito ultimato in modo qualunque. La ricottura isotermeche ha lo scopo di ottenere, nel tempo più breve, un elevato grado di addolcimento unitamente ad un'alta lavorabilità all'utensile.

Tempra bainitica.

La legge di raffreddamento è rappresentata dalla curva $\theta_A d e$ costituita da un primo periodo $\theta_A - d$ ad elevato gradiente nel quale l'austenite rimane invariata, da un secondo periodo $d - e$ in cui la temperatura è prossima ad M_s ($30 \div 50$ °C superiore) e rimane costante per consentire la completa trasformazione dell'austenite in bainite, ed infine dal terzo periodo, oltre il punto e , in cui al raffreddamento non compete alcuna trasformazione. Questo trattamento, per la sua scarsa penetrazione, è adatto per pezzi di piccolo spessore (non oltre 30 mm) e non richiede, di norma, il rinvenimento; di conseguenza molto spesso è detto anche *bonifica isotermeche* e presenta notevoli vantaggi sia per la semplicità del trattamento unico sia per la riduzione delle tensioni interne e quindi delle deformazioni e cricche tipica della tempra martensitica.

È pertanto particolarmente indicato per gli acciai che nell'intervallo $300 \div 500$ °C presentano fragilità di rinvenimento (acciai al cromo, al cromo-manganese e al nichel-cromo). Nelle figure 9 e 10 sono riportati rispettivamente il diagramma TTT e TRC dell'acciaio 18 NiCrMo 5.

Ai nostri Clienti possono essere forniti, a richiesta, i diagrammi TTT e/o TRC degli acciai ordinati.

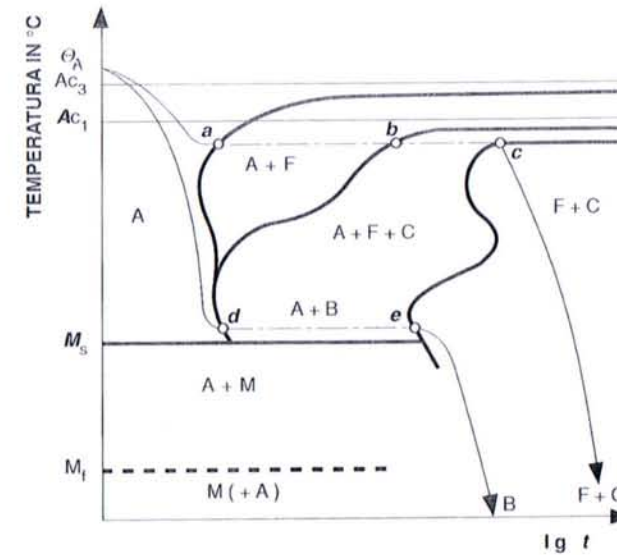


Figura 8

Diagramma simbolico TTT (detto anche di Bain o ad S) le cui curve sono relative alle trasformazioni isotermeche tempo-temperatura degli acciai:

θ_A = temperatura di austenitizzazione; A = austenite; (+A) = austenite residua; F = ferrite; C = cementite; B = bainite; M = martensite; = zona di trasformazione isotermeche.

$\theta_A a b c$ = ricottura isotermeche; $\theta_A d e$ = tempra bainitica.

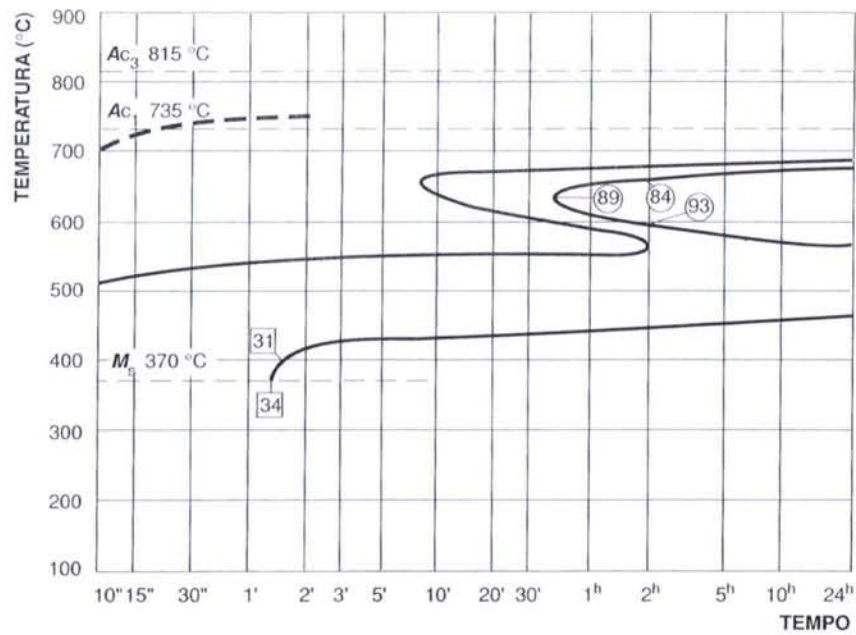


Figura 9

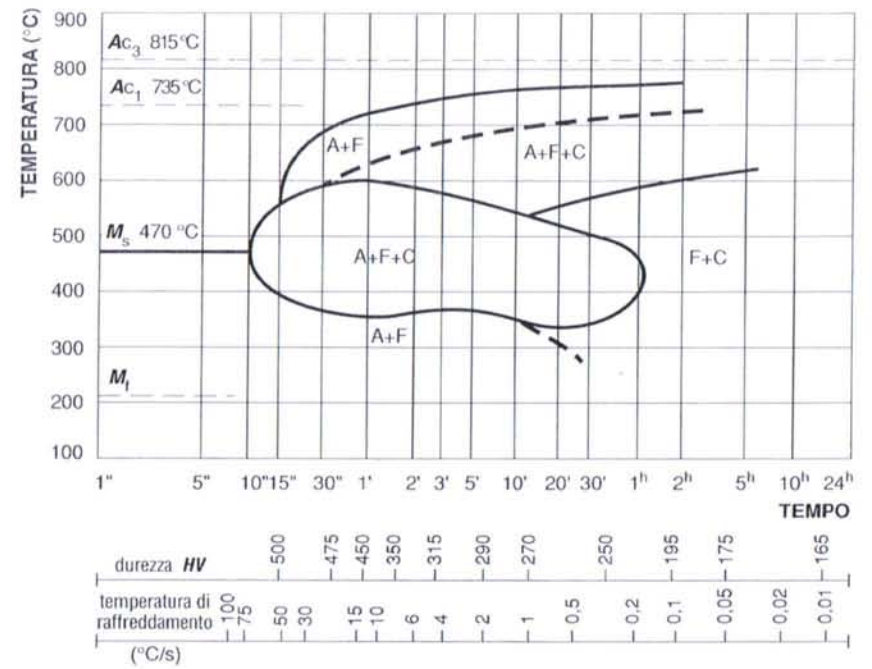


Figura 10

Diagramma TTT dell'acciaio 18 NiCrMo 5		
diametro della provetta 8 mm	austenizzazione 850 °C	permanenza 30 minuti
<p>in ottemperanza alle direttive CEE, nei diagrammi TTT il numero riportato entro un circoletto è relativo a durezza <i>HRB</i> mentre quello riportato entro un quadratino è relativo a durezza <i>HRC</i>.</p>		

Diagramma TRC dell'acciaio 18 NiCrMo 5		
dimensione provetta Ø 2 mm; lunghezza 12 mm	trattamento termico precedente ricottura 650 °C	austenizzazione 850 °C

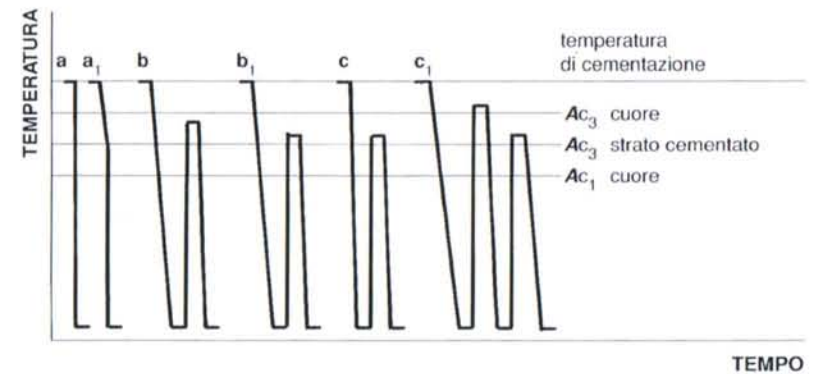


Figura 11

Tempre dopo la cementazione.

RICOTTURA DI LAVORABILITÀ O SUBCRITICA

Questo trattamento termico PRELIMINARE, definito anche RICOTTURA DI ADDOLCIMENTO, è il più diffuso fra le ricotture e prevede un riscaldamento a temperatura di 30-35 °C inferiore ad Ac1 e permanenza di breve durata (2-4 ore), seguito da un raffreddamento a temperatura ambiente, veloce quanto si desidera. La ricottura subcritica non modifica sostanzialmente la microstruttura dell'acciaio che resta sostanzialmente legata a quella di partenza e quindi può essere diversa da zona a zona dello stesso pezzo. È per questo motivo che la microstruttura non può essere oggetto di un capitolato d'accettazione per materiale ricotto subcriticamente in quanto tale trattamento può garantire esclusivamente una durezza inferiore ad un limite prefissato (vedi norme EN). La ricottura di lavorabilità viene eseguita principalmente su acciai da cementazione e da bonifica, ai quali conferisce buone caratteristiche di lavorabilità per asportazione truciolo.

RICOTTURA COMPLETA

La ricottura completa prevede:

- riscaldamento a temperatura di 20-50 °C superiore ad Ac3, con permanenza sufficiente alla completa austenizzazione dell'acciaio ed alla diffusione omogenea del carbonio nell'austenite
- un raffreddamento quanto più lento possibile per ottenere una trasformazione dell'austenite in condizioni prossime all'equilibrio; una volta completata la trasformazione dell'austenite nel campo delle alte temperature, la velocità di raffreddamento potrà essere aumentata a piacere.

L'alta temperatura propria di questa ricottura tramite la doppia trasformazione allotropica, provoca una rigenerazione delle strutture preesistenti annullando eventuali stati di tempra, incrudimenti, tensioni ecc. eventualmente presenti e migliora l'omogeneità microstrutturale.

I principali svantaggi di questo trattamento sono la lunga durata e la scarsa controllabilità della microstruttura ottenibile.

RICOTTURA GLOBULARE

Scopo di questa ricottura è quello di ottenere strutture con cementite o carburi a forma globulare, più o meno omogeneamente dispersi nella matrice al fine di raggiungere il massimo addolcimento dell'acciaio e la migliore plasticità a freddo. Nel caso degli acciai IPERUTETTOIDI (es. 100Cr6) questo trattamento rappresenta l'unico mezzo per rendere l'acciaio sufficientemente lavorabile alle macchine utensili e per lo stampaggio a freddo.

Uno dei cicli termici più usati per la globulizzazione è la RICOTTURA DI GLOBULIZZAZIONE PENDOLARE che consiste in un riscaldamento ad una temperatura di 15-20 °C sopra Ac1, seguito da oscillazioni di più o meno 20 °C attorno ad A1. Questo trattamento, che è destinato esclusivamente agli acciai Eutettoidici o Ipereutettoidici, consente una più veloce evoluzione della perlite lamellare in perlite globulare e permette di ottenere una migliore omogeneità strutturale.

NORMALIZZAZIONE

È un trattamento termico FINALE che prevede una completa austenizzazione ad una temperatura superiore ad Ac3 per una durata sufficiente per ottenere la completa solubilizzazione della cementite o dei carburi e l'omogeneizzazione dell'austenite, seguito da un raffreddamento in aria calma fino a temperatura ambiente. Si ottengono strutture ferritico perlitiche negli acciai ipoeutettoidici e strutture perlitico cementitico negli acciai ipereutettoidici.

Di solito ha lo scopo di affinare il grano e di renderlo omogeneo, migliorando la tenacità dell'acciaio a parità di resistenza meccanica; si esegue soprattutto su pezzi deformati a caldo, getti grezzi di fusione, pezzi saldati e/o surriscaldati.

B) ACCIAI INOSSIDABILI

Come già noto gli acciai inossidabili martensitici, ferritici ed austenitici sono tra loro diversi sia come composizione chimica sia come struttura, cosicché si comportano in modo diverso quando vengono sottoposti a trattamenti termici.

Martensitici

Sono gli unici in grado di essere temprati e successivamente distesi o rinvenuti, variando le caratteristiche meccaniche in funzione della composizione chimica e del trattamento termico eseguito.

Questi acciai allo stato temprato hanno una struttura totalmente o prevalentemente martensitica, allo stato ricotto una struttura mista costituita da carburi su una matrice di ferrite e allo stato bonificato una struttura costituita da carburi fini su una matrice di martensite rinvenuta.

Ricottura. Normalmente si esegue la *ricottura di lavorabilità* che consiste in un riscaldamento alla temperatura di circa 750 °C con permanenza per 4÷6 ore, seguita da un raffreddamento in forno a circa 15 °C/h fino a circa 600 °C e quindi in aria calma.

Per i martensitici con tenore di C \geq 0,20%, allo scopo di ottenere un elevato grado di addolcimento (diminuzione della durezza) e un'alta lavorabilità, è consigliabile la *ricottura isotermica* che consiste in un riscaldamento a 820÷840 °C seguito da un raffreddamento rapido a 700 °C, con permanenza isotermica a questa temperatura per circa 6 ore, fino a completa trasformazione dell'austenite, e quindi da un raffreddamento in aria calma.

Normalizzazione. Gli acciai inossidabili martensitici vengono raramente sottoposti al trattamento di normalizzazione. In ottemperanza alla norma UNI 6900 indichiamo nelle tabelle la temperatura di questo trattamento, con permanenza di almeno un'ora ogni 25 mm di spessore seguita da un raffreddamento in aria calma fino a temperatura ambiente. La struttura finale dovrebbe essere costituita da carburi finemente dispersi nella matrice ferritica. In caso contrario si dovrebbe considerare questo trattamento non come una normalizzazione, bensì piuttosto quale tempra bainitica o martensitica, parziale o totale.

Tempra. Come per i normali acciai da bonifica, il trattamento comprende una austenizzazione (nell'intervallo di temperatura riportato nella descrizione relativa ad ogni singolo acciaio), una permanenza di durata sufficiente ad uniformare la temperatura (1÷2 minuti per ogni millimetro di spessore del pezzo, evitando di prolungare la permanenza causa di decarburazione e di ingrossamento eccessivo del grano austenitico), seguita da un raffreddamento in olio (in alcuni casi in aria soffiata per i pezzi con variazioni notevoli di sezione); in questo modo l'austenite si trasforma totalmente o prevalentemente in martensite.

Occorre inoltre tenere presente che:

- a causa della limitata conducibilità termica dei martensitici per i pezzi di dimensioni notevoli e/o con variazioni brusche di sezione è bene effettuare due preriscaldi, uno a circa 500 °C e l'altro ad 800÷850 °C, con permanenza in entrambi di qualche ora, e quindi raggiungere direttamente la temperatura di austenizzazione;
- il materiale temprato alla temperatura più elevata nell'intervallo di tempra raggiunge il valore di durezza maggiore;

- il materiale temprato alla temperatura più elevata nell'intervallo di tempra e sottoposto quindi al trattamento di distensione raggiunge le migliori caratteristiche di durezza e un'ottima tenacità;
- il materiale temprato alla temperatura più bassa nell'intervallo di tempra e sottoposto poi a rinvenimento raggiunge le migliori caratteristiche di tenacità;
- la temperatura dell'olio per lo spegnimento di tempra deve essere circa di 80 °C (100 °C per i pezzi complessi con variazioni notevoli di sezione);
- prima di trasferire i pezzi alla distensione o al rinvenimento assicurarsi che la temperatura minima del pezzo non sia scesa al di sotto di 80 °C.

Distensione e rinvenimento. La distensione è un rinvenimento effettuato ad una temperatura generalmente minore di 200 °C su strutture totalmente o parzialmente martensitiche, allo scopo di ridurre le tensioni interne mediante un inizio di precipitazione di carburi, cioè senza ridurre troppo la durezza e migliorando le caratteristiche di duttilità, tenacità ed elasticità.

Il rinvenimento è effettuato nell'intervallo di temperatura compresa tra 600 e 650 °C, con riduzione della resistenza a trazione, del carico unitario di scostamento dalla proporzionalità e della durezza, mentre si ha un aumento della resilienza, dell'allungamento e della strizione.

Si tenga presente che questi acciai sono molto sensibili all'infragilimento da rinvenimento che si manifesta nell'intervallo di temperatura tra 250 e 570 °C. In questo intervallo critico si ha anche una notevole diminuzione della resistenza alla corrosione.

Si rammenta inoltre che:

- la permanenza alla temperatura di distensione o di rinvenimento deve essere di 2÷4 ore in rapporto al volume del pezzo;
- la velocità di raffreddamento dopo distensione o rinvenimento non influisce che in maniera trascurabile sulle caratteristiche meccaniche, e pertanto i pezzi possono essere raffreddati in aria, in acqua o in olio.

Ferritici

Questi acciai, come già accennato, non sono suscettibili di indurimento mediante tempra. Il solo trattamento eseguibile è la *ricottura di ricristallizzazione* che comprende il riscaldamento ad una temperatura specificata (indicata nel seguito per ogni singolo acciaio e dipendente dal suo grado di incrudimento, dovuto alle alterazioni strutturali provocate dalle saldature nel materiale base nelle vicinanze del cordone e nel materiale d'apporto, oppure alle tensioni interne per orientamenti unidirezionali della struttura nelle lavorazioni a freddo quali forgiatura, stampaggio, trafilatura, laminazione, ecc.), la permanenza per tempi contenuti di circa un minuto per ogni millimetro di spessore del pezzo e il successivo raffreddamento in aria per i profili sottili ed in acqua per quelli grossi.

Occorre inoltre tenere presente che:

- se la permanenza è troppo prolungata i grani diventano eccessivamente grossi e si ingenera fragilità;
- si deve evitare l'attraversamento lento dell'intervallo di temperatura compresa tra 400 e 570 °C che provoca in questi acciai una fragilità eccessiva.

Austenitici

La struttura austenitica non consente a questi acciai di indurire mediante la tempra; possono invece subire la *tempra di solubilizzazione*, detta anche tempra di austenitizzazione, ipertempra, tempra negativa o semplicemente solubilizzazione in quanto con la tempra usuale ha solamente in comune la velocità di raffreddamento dalla temperatura di austenitizzazione, ma non gli effetti strutturali e di indurimento (la tempra di solubilizzazione conferisce infatti all'acciaio austenitico la minima durezza ed una eccellente duttilità nonché la migliore resistenza alla corrosione possibile). Il ciclo termico comprende l'austenitizzazione alla temperatura di 1 050÷1 100 °C seguita da un raffreddamento le cui velocità permettono di evitare qualsiasi separazione di fasi.

Gli acciai austenitici vengono sottoposti a questo trattamento per conferire loro la massima inossidabilità e una buona tenacità diversamente compromesse dalla segregazione dei carburi di cromo ai bordi dei grani avvenuta durante la lavorazione a caldo o la saldatura.

Si tenga inoltre presente che:

- la permanenza alla temperatura di austenitizzazione deve essere di circa un minuto per ogni millimetro di spessore del pezzo;
- le permanenze di durata maggiore consentono di realizzare il massimo addolcimento, ma favoriscono l'ingrossamento del grano il quale non influisce sulla duttilità, ma causa una scadente finitura superficiale (a «buccia d'arancia») quando il materiale viene trafilato od imbutito;
- il raffreddamento dalla temperatura di austenitizzazione deve essere rapido per impedire la riprecipitazione dei carburi: in acqua nella maggior parte dei casi, in aria soffiata per i pezzi delicati e sottili.

ACCIAI DI QUALITÀ - NON LEGATI PER COSTRUZIONI MECCANICHE

In ottemperanza alla norma UNI EN 10020/89 del maggio 1989 gli acciai di qualità non legati sono gli acciai per i quali, in generale, non è richiesta alcuna regolarità di risposta ai trattamenti termici né alcuna prescrizione concernente la purezza nei confronti delle inclusioni non metalliche.

Questi acciai sono impiegati allo stato di provenienza, cioè senza subire trattamenti termici; possono però subire la ricottura (per esempio: ricottura di distensione, trattamento di addolcimento) e la normalizzazione che, nel quadro della norma europea, non sono da considerare come trattamenti termici (UNI EN 10052/95).

ACCIAIO NON LEGATO

E 235 (Fe 360) UNI EN 10025-90

COMPOSIZIONE CHIMICA PERCENTUALE

Di questo acciaio, la cui composizione chimica percentuale è C max. 0,20, P max 0,045 ed S max. 0,050 sono previste quattro qualità: A, B, C, D secondo il grado di insensibilità alla rottura fragile (UNI EN 10027/1/93).

PROPRIETÀ ED IMPIEGHI

È un acciaio di elevata tenacità, ottima lavorabilità e saldabilità, mediocre resistenza meccanica, buona resistenza al calore, discreta durezza, scarsa resistenza all'umidità. È adatto per parti economiche di macchine e strutture metalliche in genere poco sollecitate o di caratteristiche non impegnative. Per le caratteristiche meccaniche dei profilati, laminati mercantili, larghi piatti, lamiere e nastri per strutture metalliche e costruzioni meccaniche consultare la tabella UNI EN 10025/92. Normalmente impiegato trafilato a freddo. (UNI 10233/93).

Composizione chimica (analisi di colata) dei prodotti piani e dei prodotti lunghi

Designazione			Grado di disossidazione	C in % max. per uno spessore nominale di prodotto in mm			Mn % max.	Si % max.	P % max.	S % max.	N % max.
nuova secondo EN 10027/1	vecchia secondo EU 25-72	nazionale precedente UNI 7070-82		≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40					
E 235	Fe 360 B	Fe 360 B	a scelta	0,17	0,20	—	—	—	0,045	0,045	0,009
	Fe 360 B	Fe 360 B	FU	0,17	0,20	—	—	—	0,045	0,045	0,007
	Fe 360 B	Fe 360 B	FN	0,17	0,17	0,20	—	—	0,045	0,045	0,009
	Fe 360 C	Fe 360 C	FN	0,17	0,17	0,17	—	—	0,040	0,040	0,009
	Fe 360 D1	Fe 360 D	FF	0,17	0,17	0,17	—	—	0,035	0,035	—
	Fe 360 D2	Fe 360 D	FF	0,17	0,17	0,17	—	—	0,035	0,035	—

Caratteristiche meccaniche per prodotti piani e prodotti lunghi

Designazione		Grado di disossidazione	Carico unitario di snervamento minimo R_{eH} in N/mm ²								Carico unitario di rottura a trazione R_m in N/mm ²				Allungamento minimo per spessori da 63 a 100 mm $\% A_{5.65} \setminus SO$
nuova secondo EN 10027/1	nazionale precedente UNI 7070-82		Spessore nominale in mm								Spessore nominale in mm				
			≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤200	>200 ≤250	< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	
E 235	Fe 360 B3	a scelta	235	225	—	—	—	—	—	—	360-510	340-470	—	—	24
	Fe 360 B3	FU	235	225	—	—	—	—	—	—	360-510	340-470	—	—	22
	Fe 360 B	FN	235	225	215	215	215	195	185	175	360-510	340-470	340-470	340-470	24
	Fe 360 C	FN	235	225	215	215	215	195	185	175	360-510	340-470	340-470	340-470	22
	Fe 360 D	FF	235	225	215	215	215	195	185	175	360-510	340-470	340-470	340-470	22
	Fe 360 D	FF	235	225	215	215	215	195	185	175	360-510	340-470	340-470	340-470	22